

# Accionamientos Estándar Siemens

## Manual de Aplicaciones



Martin Brown  
Accionamientos Estándar Siemens  
Congleton, Diciembre 1997

1.	Introducción.....	5
1.1	¿Qué es un Accionamiento de Velocidad Variable?.....	5
1.2	Variador de Frecuencia.....	7
2.	Gama de Accionamientos Estándar Siemens.....	9
2.1	Gama de Productos.....	10
3.	Cómo Seleccionar un Accionamiento.....	12
3.1	Consideraciones Generales.....	12
3.2	Requerimientos Adicionales de la Fuente de Alimentación.....	13
3.2.1	Límites de Tensión.....	13
3.2.2	Disturbios en la Fuente.....	13
3.2.3	Suministros sin Puesta a Tierra.....	14
3.2.4	Armónicos de Baja Frecuencia.....	14
3.3	Limitaciones del Motor.....	16
3.4	Consideraciones sobre la Carga.....	18
3.4.1	Aplicaciones con Torque Variable.....	18
3.4.2	Otras Cargas.....	19
3.5	Requerimientos de Aceleración y Frenado.....	20
3.6	Consideraciones Ambientales.....	20
4.	Instalación y Preparación del VFD.....	21
4.1	Montaje del MICROMASTER.....	21
4.2	Enfriamiento.....	21
4.3	Cableado del MICROMASTER.....	22
4.3.1	Instalación Típica.....	23
4.4	Primer Encendido.....	24
4.5	Si el motor no arranca.....	25
5.	Algunas Aplicaciones y Posibilidades Sencillas.....	26
5.1	Uso de un Potenciómetro con la Entrada Analógica.....	26
5.2	Uso de una Entrada Digital.....	27
5.3	Uso de Frecuencias Fijas.....	27
5.4	Uso de Otras Funciones de las Entradas Digitales.....	28
5.5	Uso de salidas de control.....	29
5.6	Límite de Corriente y Sistemas de Protección.....	30
5.7	Otras Funciones de Protección.....	31
5.7.1	Protección $I^2t$ .....	31
5.7.2	Protección a través de Sensores PTC.....	32
5.7.3	Sobrevoltaje.....	32
5.7.4	Exceso de Temperatura Interna.....	32
5.8	Algunas Funciones Adicionales.....	33
5.8.1	Modalidad de Visualización P001.....	33
5.8.2	Atenuación de la Rampa P004.....	33
5.8.3	Graduación de la Pantalla P010.....	33
5.8.4	Frecuencias Omitidas P014, etc.....	34
5.8.5	Rearranque Volante P016.....	34
5.8.6	Control de Frenado Electromecánico P063, P064.....	34
5.8.7	Compensación de Deslizamiento P071.....	35
5.8.8	Selección de la Frecuencia de Pulsación P076.....	35
5.8.9	Elevación de Tensión. P078 y P079.....	36
5.8.10	Interfaz Serial P910.....	37

6.	Compatibilidad Electromagnética (EMC).....	37
6.1	¿Qué significa EMC? .....	37
6.2	Cómo reducir al mínimo el problema de EMI. ....	38
6.2.1	Inmunidad y Prueba de Inmunidad.....	38
6.2.2	Lineamientos sobre EMC .....	39
6.3	Reglas y Regulaciones de la Compatibilidad Electromagnética. ....	41
6.3.1	Reglamentos Europeos.....	41
7.	Algunas Aplicaciones Reales. ....	42
7.1	Aplicación Sencilla: Ventilador.....	42
7.1.1	Ventajas. ....	42
7.1.2	Detalles de la Aplicación. ....	42
7.1.3	Detalles de los Parámetros Clave.....	43
7.2	Control de Lazo Cerrado utilizando un Ventilador.....	43
7.2.1	Ventajas .....	44
7.2.2	Especificaciones del Sistema .....	44
7.2.3	Detalles de los Parámetros Clave.....	45
7.3	Control de la Operación de Puertas de un Elevador.....	46
7.3.1	Ventajas .....	46
7.3.2	Especificaciones del Sistema .....	46
7.3.3	Detalles de los Parámetros Clave.....	47
7.4	Un Sistema de Elevación para Aplicaciones Industriales .....	47
7.4.1	Ventajas. ....	48
7.4.2	Especificaciones del Sistema .....	48
7.4.3	Configuración de los Parámetros Clave. ....	49
7.5	Aplicación en Cinta Transportadora con varios MICROMASTER.....	51
7.5.1	Ventajas. ....	51
7.5.2	Especificaciones del Sistema .....	51
7.5.3	Detalles de la Aplicación. ....	51
7.5.4	Configuración de los Parámetros Clave. ....	52
7.6	Una Aplicación donde se Manejan Materiales.....	53
7.6.1	Ventajas. ....	53
7.6.2	Especificaciones del Sistema .....	53
7.6.3	Detalles de la Aplicación. ....	53
7.6.4	Configuración de los Parámetros Clave. ....	54
7.7	Una Máquina de Lavado Industrial. ....	55
7.7.1	Ventajas. ....	55
7.7.2	Especificaciones del Sistema .....	55
7.7.3	Detalles de la Aplicación. ....	56
7.7.4	Configuración de los Parámetros Clave. ....	56
7.8	Una Aplicación de una Máquina de Ejercicio.....	57
7.8.1	Ventajas. ....	57
7.8.2	Especificaciones del Sistema .....	58
7.8.3	Detalles de la Aplicación. ....	58
7.8.4	Configuración de los Parámetros Clave .....	59
8.	Información sobre Aplicaciones Avanzadas.....	59
8.1	Uso del Control de Lazo Cerrado.....	59
8.1.1	¿Qué es un control de lazo cerrado? .....	59
8.1.2	Control de Lazo Cerrado con MICROMASTER.....	60
8.2	Frenado y Disminución de Velocidad con VFD.....	64
8.2.1	¿Qué sucede cuando se para un motor? .....	64

8.2.2 Frenado y Parada con un VFD.....	65
8.3 Uso de la Interfaz Serial.....	68
8.4 Uso de PROFIBUS.....	68
8.4.1 ¿Qué es PROFIBUS?.....	68
8.4.2 Uso de PROFIBUS con los Accionamientos Estándar Siemens. .	69
8.5 Control Vectorial y FCC.....	69
8.5.1 ¿Qué es un Accionamiento Vectorial? .....	69
8.5.2 ¿Qué es el Control de Corriente de Flujo? .....	70
8.5.3 Control Vectorial.....	70
9. Opciones para los Accionamientos Estándar Siemens.....	72
9.1 Introducción .....	72
9.2 Panel de Operación OPm2.....	72
9.3 Módulos de Frenado y Resistores de Frenado.....	73
9.4 Filtros de Supresión RFI.....	73
9.5 Módulo PROFIBUS.....	74
9.6 Reactores de Entrada y Salida.....	74
10. APENDICE 1: Uso del Protocolo USS.....	74
10.1 Introducción.....	74
10.2 Resumen.....	74
10.3 Conexión del Equipo.....	75
10.4 Resumen del Protocolo USS.....	75
10.4.1 Telegrama Maestro a Esclavo.....	75
10.4.2 Telegrama Esclavo a Maestro.....	75
10.5 Interrupción del Mensaje.....	76
10.6 Descripción Detallada del Mensaje en Protocolo USS.....	76
10.7 Ejemplos del uso del Protocolo USS.....	83
10.7.1 Operar el VFD #3 a 50% de la Frecuencia.....	83
11. APENDICE 2: Niveles de Protección Ambiental (clasificación IP).....	83
12. APENDICE 3: Algunas Fórmulas Útiles.....	85
Relaciones Torque y Potencia.....	85

## **1. Introducción**

El propósito del presente manual es ayudar a los usuarios de accionamientos de velocidad variable a instalar y aprovechar con éxito los accionamientos estándar Siemens.

Este manual incluye una introducción a los accionamientos que puede ser informativa para los usuarios que utilizan por primera vez este tipo de accionamientos.

*La información avanzada aparece en itálicas y podrá omitirse durante la primera lectura.*

En el manual podrá encontrar información técnica detallada, así como descripciones completas de los parámetros.

### **1.1 ¿Qué es un Accionamiento de Velocidad Variable?**

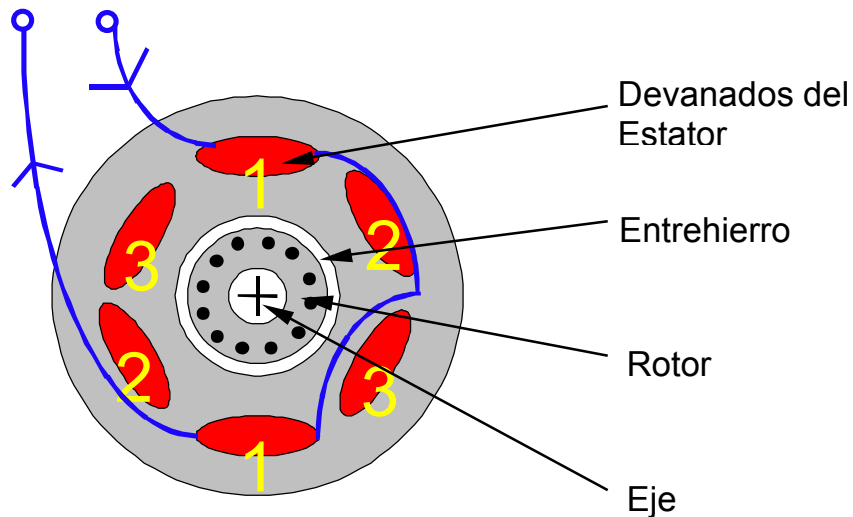
Un accionamiento de velocidad variable (VSD, Variable Speed Drive) está constituido por un motor y algún tipo de controlador. Los primeros accionamientos eléctricos consistían en combinaciones de motores de CA y CC que eran utilizados como controladores rotatorios. A su vez, los primeros controladores eléctricos empleaban rectificadores (SCR) tiristores para controlar la tensión y por consiguiente, la velocidad de los motores de CC. Esta clase de VSD de CC tiene todavía un extenso uso y ofrece una capacidad de control bastante sofisticada. Sin embargo, el motor de CC es caro, de gran tamaño y sus escobillas requieren de mantenimiento periódico.

El motor de inducción de CA, por el contrario, es sencillo, de bajo costo y tiene un extenso uso a nivel mundial. Pero para poder controlar la velocidad de un motor de inducción de CA, se requiere de un controlador más complejo que usualmente se denomina Convertidor de Frecuencia o Variador de Frecuencia (VFD, Variable Frequency Drives)

A fin de entender el funcionamiento de un VFD es necesario entender primero el funcionamiento de un motor de inducción.

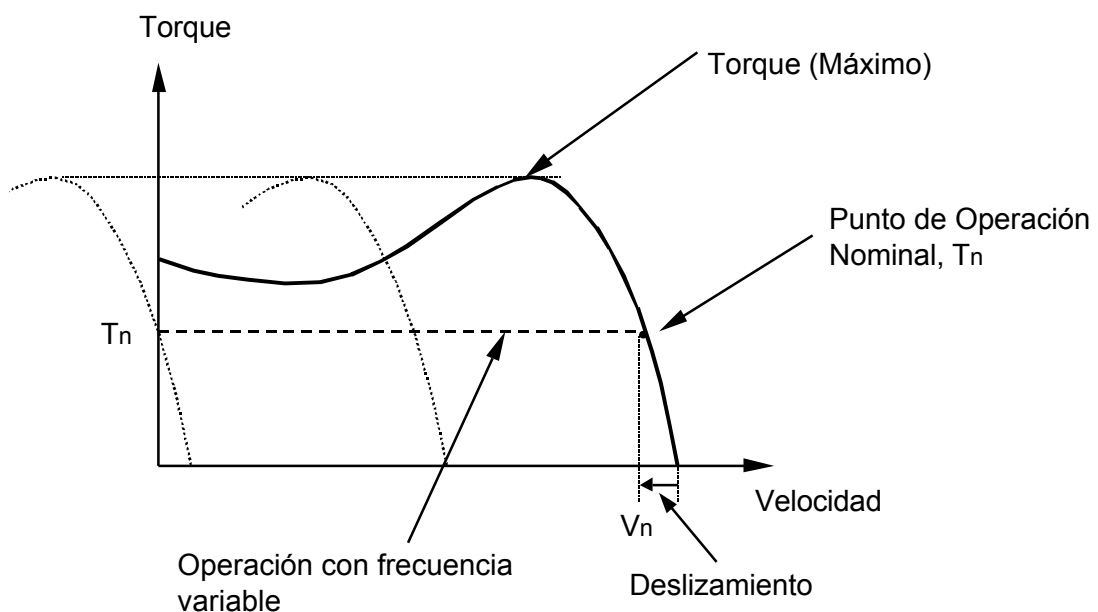
Un motor de inducción funciona igual que un transformador. Cuando se conecta el estator (devanado fijo externo) a una fuente de potencia trifásica, se genera un campo magnético rotatorio que gira de acuerdo a la frecuencia de la fuente.

Este campo giratorio cruza el entrehierro entre el estator y el rotor induciendo así corrientes en los devanados del rotor. Estas corrientes de rotor generan también un campo magnético rotatorio (en este caso, del rotor). Esto produce una fuerza sobre el rotor generándose un torque que pone al rotor en movimiento.



Sección Transversal de un Motor de Inducción Simplificado

Si el rotor girase a la misma velocidad que el campo rotatorio del estator entonces no existirán inducciones en el rotor ni campo magnético rotatorio del rotor y, en consecuencia, tampoco existirá Torque. Por lo tanto, para poder generar Torque, el rotor siempre gira a una velocidad un poco menor que la del campo rotatorio del estator. Esta diferencia de velocidades se conoce como deslizamiento.



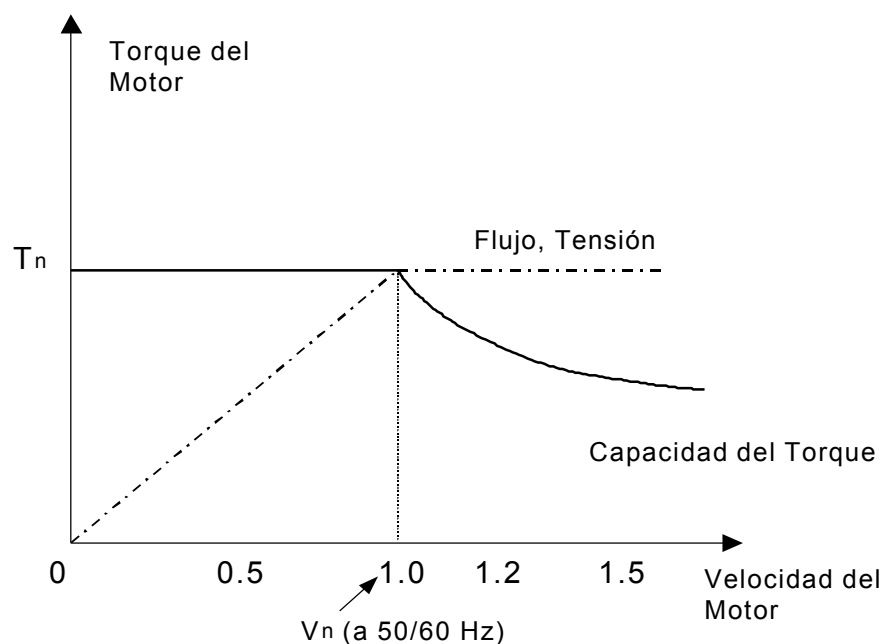
Curva característica Velocidad vs. Torque de un Motor de Inducción

*Al agrupar los devanados en pares (de polos), vemos que la frecuencia del campo rotatorio será menor a mayor número de polos en el motor. Por ejemplo, dos polos a  $50/60\text{Hz} = 3000/3600\text{ rpm}$ , pero cuatro polos a  $50/60\text{Hz} = 1500/1800\text{ rpm}$ . En cualquier caso, la velocidad del campo giratorio depende de la frecuencia aplicada desde la fuente.*

Por consiguiente, la velocidad del motor depende de la frecuencia aplicada, así como del arreglo del devanado y, en menor medida, de la carga.

Por lo tanto, para controlar la velocidad de un motor de inducción es necesario controlar la frecuencia de la fuente de alimentación.

Si se reduce la frecuencia, es necesario reducir la tensión o de lo contrario el flujo magnético será demasiado elevado y el motor se saturará. Por tal motivo también es necesario controlar la tensión. Si se eleva la frecuencia por encima del valor nominal del motor, se necesitaría más tensión de la normal para mantener el flujo; usualmente esto es imposible por la limitación de tensión de la fuente. Por ello, es que existe menos torque disponible sobre la velocidad nominal del motor.



Reducción del par por encima de la velocidad nominal

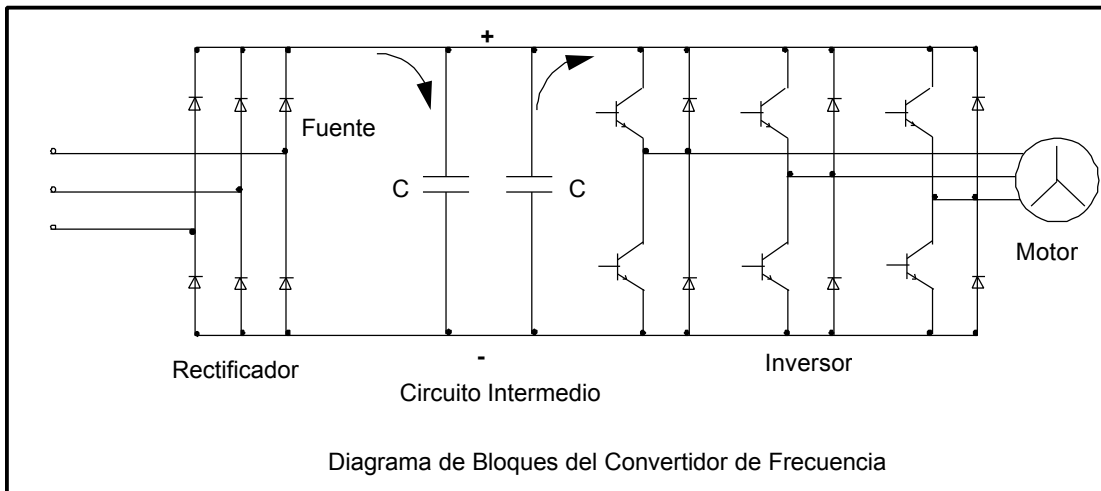
Por lo tanto, para poder controlar la velocidad de un motor de CA estándar es necesario controlar la frecuencia y tensión aplicadas.

A pesar de que es difícil controlar la tensión y las frecuencias a potencias elevadas, el uso de un motor de inducción estándar permite un sistema de control de velocidad a un costo razonable.

## **1.2 Variador de Frecuencia**

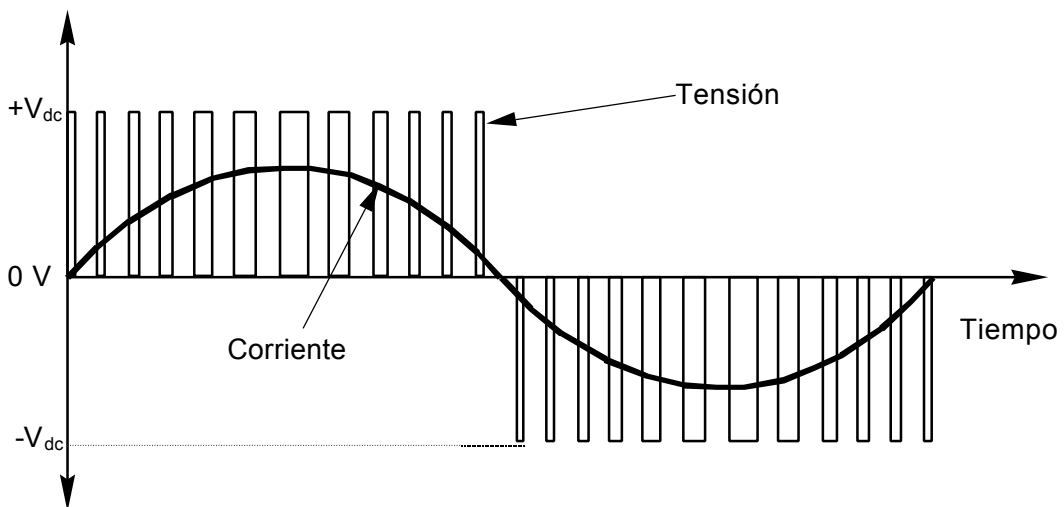
Se conoce como inversor a un circuito electrónico que transforma la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA). Los controladores electrónicos de velocidad para motores de CA, por lo general, convierten primero el suministro de CA en CC mediante el uso de un rectificador y, posteriormente, lo convierten una vez más utilizando un puente inversor, en una fuente de frecuencia y tensión de

CA variables. La conexión entre el rectificador y el inversor se denomina circuito intermedio. A continuación presentamos un diagrama de bloques de un controlador de velocidad, a menudo denominado VFD de Frecuencia.



La fuente, que puede ser monofásica (usualmente a baja potencia) o trifásica, es aplicada a un rectificador de onda completa que alimenta a los capacitores del circuito intermedio. Los capacitores reducen los rizados voltaje (especialmente en el caso de fuentes monofásicas) y suministra energía en lapsos cortos cuando existe una interrupción de la energía de entrada. La tensión en los capacitores no es controlada y depende de la tensión máxima del suministro de CA.

La tensión de CC es convertida nuevamente a CA a través de la Modulación por Ancho de Pulso (PWM, Pulse Width Modulation). La forma de onda deseada es creada conmutando los transistores de salida *IGBTs* (Insulated Gate Bipolar Transistors) entre encendido y apagado a una frecuencia fija (la frecuencia de conmutación). Se puede generar la corriente deseada al variar el tiempo de encendido y apagado de los transistores IGBT, pero la tensión de salida todavía es una serie de pulsos de onda cuadrada. En la siguiente figura se ilustra la Modulación por Ancho de Pulso.



Modulación por Ancho de Pulso



Existen muchos aspectos complejos de los Variadores de frecuencia que deben considerarse durante el diseño:

- *El sistema de control para calcular los requerimientos PWM es muy complejo y se necesitan circuitos integrados de diseño especial (ASIC).*
- *La electrónica de control a menudo se encuentra conectada al circuito intermedio, el cual está a su vez conectado a la fuente, por lo que las conexiones del cliente, pantalla, etc. deben de aislarse en forma segura.*
- *Es necesario monitorear cuidadosamente la corriente de salida para proteger el inversor y el motor durante alguna sobrecarga y/o cortocircuito.*
- *Los capacitores están descargados en la primera conmutación del circuito intermedio por lo que es necesario limitar la corriente de arranque utilizando, por lo general, un resistor que es desconectado (bypass) mediante un relé, después de algunos segundos de haber energizado el equipo.*
- *Todas las conexiones al VFD, en especial la fuente y las conexiones de control, pueden llevar mucha interferencia por lo que deben ser equipadas con componentes adecuados de protección.*
- *Se requiere una fuente de alimentación interna con distintas tensiones de salida para abastecer la electrónica de control.*
- *El VFD, en especial los transistores IGBT y diodos rectificadores, producen calor que debe ser disipado mediante el uso de un ventilador y un disipador.*
- *La tensión de salida PWM contiene muchos armónicos de alta frecuencia (debido a la rápida conmutación) que pueden ser una fuente importante de interferencia electromagnética (EMI).*
- *El rectificador de entrada absorbe corriente solamente durante el pico de la forma de onda de la fuente por lo que las corrientes de entrada tienen un factor de forma débil (es decir, el valor RMS [valor cuadrático medio] puede ser bastante elevado, pero esto no significa que el VFD sea ineficiente).*

El diseño de un VFD práctico debe ser de fácil uso e instalación. El diseño o ingeniería de los variadores de gran tamaño es por lo general específico para cada aplicación; el diseño de los variadores de menor tamaño es para aplicaciones generales y por tanto es estándar. La división A&D SD, Standard Drives, de Siemens fabrica variadores estándar hasta 125 HP (90 kW) para aplicaciones de este tipo.

## **2. Gama de Accionamientos Estándar Siemens**

La actual gama de variadores estándar está constituida por cuatro tipos de productos:

*MICROMASTER Vector.* Accionamiento de velocidad variable de alto desempeño para aplicaciones generales, disponible en diversas gamas de tensión y potencia hasta 10 HP (7.5 kW).

*MICROMASTER.* Gama similar con menos funciones para aplicaciones sencillas, como por ejemplo, donde requerimientos de baja velocidad y torque constante no son requeridos.

*MIDIMASTER Vector*. Versión de alta potencia del *MICROMASTER Vector*, con rango de potencia hasta 125 HP (90 kW).

*COMBIMASTER*. Motor de inducción con un VFD (Micromaster Integrated) instalado sobre la caja de terminales del motor.

La siguiente información se refiere a la operación de los productos *MICRO* y *MIDIMASTER Vector*, pero también puede ser útil en relación con el *COMBIMASTER*.

## **2.1 Gama de Productos**

A continuación presentamos los detalles de la gama de productos *MICROMASTER Vector*. El rango de potencia disponible varía desde 0.16 HP (120 W), en el caso de MMV12, a 10 HP (7.5 kW), en el caso de MMV750.

1/3 CA 208 – 240 V +/- 10%, IP 20 (NEMA 1)

1 CA 208 – 240 V +/- 10% con Filtro RFI integrado, IP 20 (NEMA 1)

Tipo	Potencia	Ancho (mm)	Alto (mm)	Profundidad (mm)	Tamaño (mm)
MMV12 – MMV75 MMV12/2 – MMV75/2	0.16 – 1 HP (120 – 750 W)	73	147	141	A
MMV110 – MMV150 MMV110/2 – MMV150/2	1.5 – 2 HP (1.1 – 1.5 kW)	149	184	172	B
MMV220 – MMV300 MMV220/2 – MMV300/2	3 – 4 HP (2.2 – 3.0 kW)	185	215	195	C
MMV400/2 (sólo 3 CA)	5 HP (4.0 kW)	185	215	195	C

3CA 380-500V +/- 10%, IP 20 (NEMA 1)

Tipo	Potencia	Ancho (mm)	Alto (mm)	Profundidad (mm)	Tamaño (mm)
MMV37/3 – MMV150/3	0.5 – 2 HP (0.37 – 1.5 kW)	73	147	141	A
MMV220/3 – MMV300/3	3 – 4 HP (2.2 – 3.0 kW)	149	184	172	B
MMV400/3 – MMV750/3	5 – 10 HP (4 – 7.5 kW)	185	215	195	C

El producto conocido como *MICROMASTER* básico, es un equipo similar al tipo vector pero con menores prestaciones. Está disponible en los mismos rangos de potencia y tensiones anteriores, en tipos MM12, MM12/2, etc.

Los productos *MIDIMASTER Vector* (no existen en versión básica) se encuentran disponibles en cuatro tamaños diferentes de bastidor y tres rangos distintos de

tensión. Se tienen disponibles rangos de potencia con torque variable hasta 125 HP (90 kW) o torque constante hasta 100 HP (75 kW); consultar la Sección 3.4.1.

3 CA 208 – 240 V +/- 10%, IP 21 (NEMA 1)

Tipo	Potencia, HP (kW)		Tamaño de Bastidor
	Torque = Cte.	Torque ~ n <sup>2</sup>	
MDV550/2	7.5 (5.5)	10 (7.5)	4
MDV750/2	10 (7.5)	15 (11)	5
MDV1100/2	15 (11)	-	5
MDV1500/2	20 (15)	25 (18.5)	6
MDV1850/2	25 (18.5)	30 (22)	6
MDV2200/2	30 (22)	40 (30)	6
MDV3000/2	40 (30)	50 (37)	7
MDV3700/2	50 (37)	60 (45)	7
MDV4500/2	60 (45)	-	7

3 CA 380-500V +/- 10%, IP 21 (NEMA 1)

Tipo	Potencia, HP (kW)		Tamaño de Bastidor
	Torque = Cte.	Torque ~ n <sup>2</sup>	
MDV750/3	-	15 (11)	4
MDV1100/3	15 (11)	20 (15)	4
MDV1500/3	20 (15)	25 (18.5)	5
MDV1850/3	25 (18.5)	30 (22)	5
MDV2200/3	30 (22)	40 (30)	6
MDV3000/3	40 (30)	50 (37)	6
MDV3700/3	50 (37)	60 (45)	6
MDV4500/3	60 (45)	75 (55)	7
MDV5500/3	75 (55)	100 (75)	7
MDV7500/3	100 (75)	125 (90)	7

Tamaño de Bastidor	Ancho (mm)	Altura (mm)	Profundidad (mm)
4	275	450	210
5	275	550	210
6	275	650	285
7	420	850	310

También existen disponibles unidades para 575V y grado de protección IP56. El catálogo DA64 contiene detalles completos sobre la gama de productos mencionados.

La información a continuación presentada se refiere a los productos MICROMASTER Vector y MIDIMASTER Vector. Algunas de las características mencionadas no están disponibles en las unidades MICROMASTER básicos o COMBIMASTER.

### **3. Cómo Seleccionar un Accionamiento**

Con frecuencia la selección de un accionamiento resulta poco complicada debido a que el motor ya se encuentra instalado y el requerimiento del rango de velocidad no es excesivo. Sin embargo, cuando se selecciona un sistema de accionamiento en base a fundamentos la consideración cuidadosa de los mismos puede evitar problemas durante su instalación y operación, y también producir ahorros significativos en el costo.

#### **3.1 Consideraciones Generales**

- Verificar el rango de corriente tanto del VFD, como del motor. El rango de potencia solamente sirve como una guía aproximada.
- Verificar que se haya seleccionado la tensión de operación correcta. MICROMASTER con entrada trifásica de 230V operarán con alimentación monofásica o trifásica (excepto para 4 kW); los MICROMASTER de 400V únicamente operarán con una alimentación trifásica. En algunas ocasiones, las unidades con entrada monofásica pueden ser una opción más económica, pero se debe tener en cuenta que las unidades de 230V se dañarán si son operadas a 400V. Consultar la sección section 3.2.1.
- Los MIDIMASTER sólo operarán con alimentación trifásica y existen modelos disponibles para fuentes de alimentación de 230V, 400V ó 575V.
- Verificar el rango de velocidad requerido. La operación sobre frecuencia nominal (50 ó 60 Hz) solamente es posible con un descenso en el torque del motor. La operación a baja frecuencia y alto torque puede ocasionar el sobrecalentamiento del motor debido a la falta de ventilación.
- Los motores síncronos requieren factor de corrección que usualmente es de 2 a 3 veces. *Lo anterior se debe al factor de potencia y por consiguiente, la corriente puede ser muy alta a baja frecuencia.*
- Verificar el desempeño con sobrecarga. El VFD limitará muy rápidamente la corriente a 150 ó 200% de la corriente nominal; un motor estándar de velocidad fija aceptará estas sobrecargas.
- ¿Se necesita una parada rápida? En caso afirmativo, se debe considerar el uso de un resistor de frenado (adicionalmente, una unidad de frenado en el caso de los MIDIMASTER) para absorber y disipar la energía.
- ¿Se necesita operar con cables de una longitud mayor a 50 m? o ¿Con cables apantallados o blindados de longitud mayor a 25 m? En caso afirmativo a cualquiera de las opciones, puede ser necesario aplicar el factor de corrección o insertar un reactor de salida para compensar la capacitancia de los cables.

## **3.2 Requerimientos Adicionales de la Fuente de Alimentación**

A fin de tener una operación confiable, la fuente de alimentación del VFD debe seleccionarse de acuerdo a la capacidad del mismo; además. es necesario considerar lo siguiente:

### **3.2.1 Límites de Tensión**

Los Variadores están diseñados para operar en un amplio rango de tensiones como sigue:

208 - 240 V +/- 10%, es decir 187-264V

380 - 500 V +/- 10%, es decir 342-550V

525 - 575 V +/- 10%, es decir 472-633V

Los variadores operarán a la frecuencia de la fuente de alimentación, en un rango permisible desde 47 hasta 63 Hz.

Las fuentes de alimentación pueden tener valores que exceden los rangos anteriores. Por ejemplo:

- Al final de líneas de alimentación largas, la tensión en áreas remotas puede aumentar excesivamente durante la noche y los fines de semana cuando ya no se encuentran presentes grandes cargas.
- Las industrias con fuentes de alimentación controladas y generadas localmente pueden tener una regulación y control deficientes.
- Los sistemas de alimentación en ciertas partes del mundo no satisfacen los límites de tolerancia establecidos.

Verificar, en todas las instalaciones, que la fuente de alimentación permanezca dentro de los límites antes mencionados. La operación fuera de dichas tolerancias muy probablemente ocasionará daños o el equipo simplemente no funcionará.

### **3.2.2 Disturbios en la Fuente**

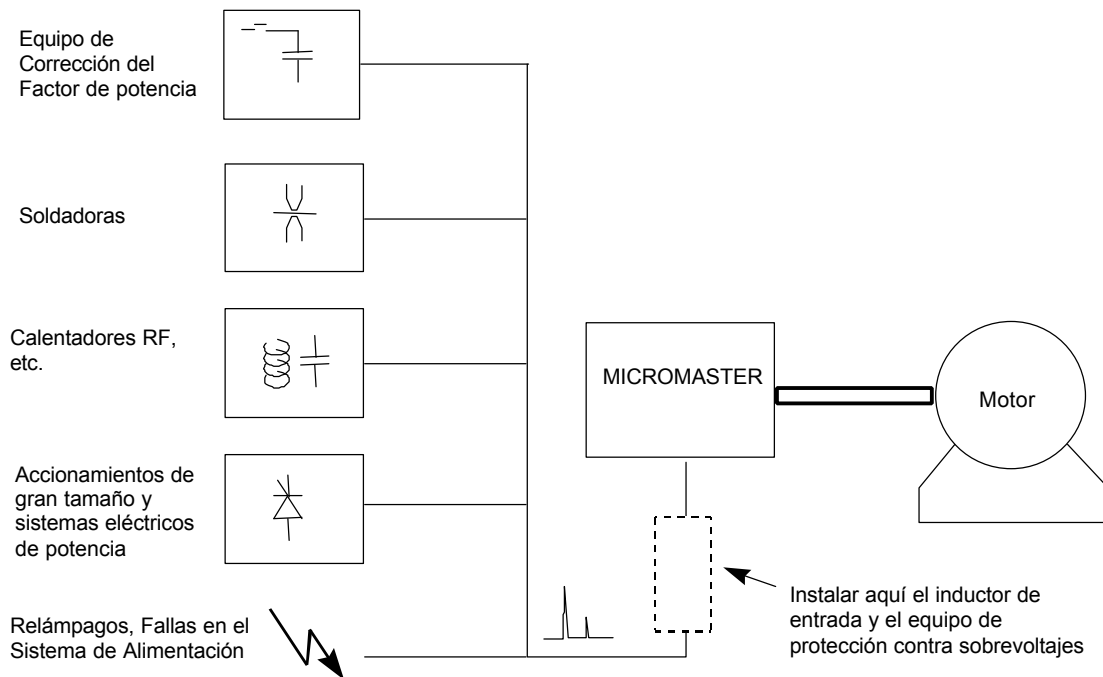
Muchas de las fuentes de alimentación están perfectamente controladas y permanecen dentro del rango de tolerancia, pero se ven afectadas por los disturbios locales. Dichos disturbios pueden ocasionar una operación con fallas y dañar los variadores. Revisar principalmente:

- El equipo para Corrección del Factor de Potencia. La conexión sin supresores de tensión de los bancos de capacitores puede producir tensiones transitorias muy grandes y es una causa muy común de daño de los Variadores.
- Los equipos soldadores en general, en especial las soldadoras RF y de resistencias.
- Otros accionamientos, controladores de temperatura por semiconductores, etc.

*El VFD está diseñado para absorber un alto nivel de disturbios en la fuente; por ejemplo, picos de tensión de hasta 4 kV. Sin embargo, los equipos antes mencionados pueden ocasionar disturbios en la fuente de alimentación mayores*

al indicado, por lo tanto, es necesario suprimir dicha interferencia, de preferencia en la fuente o por lo menos mediante la instalación de un reactor de entrada antes del VFD. Los filtros EMC no suprimen los disturbios con este nivel de energía; se deberán considerar productos de protección contra sobrevoltajes como varistores.

Las fallas en el suministro local y los efectos de tormentas eléctricas también pueden ocasionar daños. Se recomienda tener precauciones similares en áreas donde se espere tener este tipo de condiciones.



Fuentes de Disturbios en la Alimentación

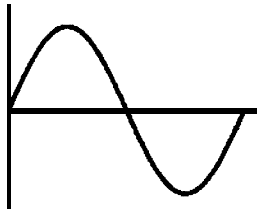
### 3.2.3 Suministros sin Puesta a Tierra

Algunas instalaciones industriales operan con suministros aislados de la tierra protectora (suministro IT). Esto permite que el equipo continúe operando después de una falla a tierra. Sin embargo, los MICROMASTER y MIDIMASTER están diseñados para operar en suministros puestos a tierra y equipados con capacitores supresores de interferencia entre la fuente suministro y tierra. Por consiguiente, es necesario restringir la operación de los mismos en redes no aterrizadas. En caso de tener alguna duda al respecto, favor de consultar con Siemens.

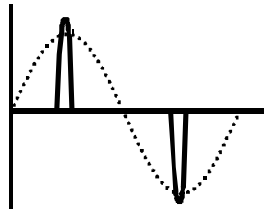
### 3.2.4 Armónicos de Baja Frecuencia

El VFD transforma el suministro de CA en CC a través de un puente con diodos rectificadores sin control. La tensión en el circuito intermedio es cercana a la tensión máxima del suministro de CA por lo que los diodos solamente conducen durante un breve período en el pico de la forma de onda de CA. Por lo tanto, la forma de onda de la corriente posee un valor RMS relativamente elevado mientras que la corriente fluye desde la fuente durante un breve lapso.

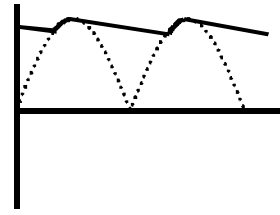
Tensión de Entrada



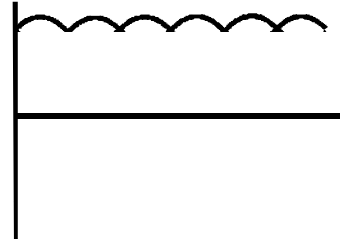
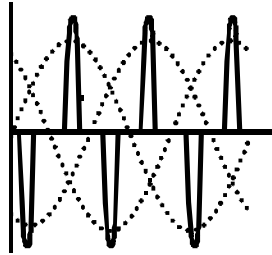
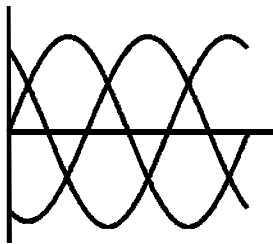
Corriente de Entrada



Tensión en el Circuito Intermedio



Caso Alimentación Monofásica



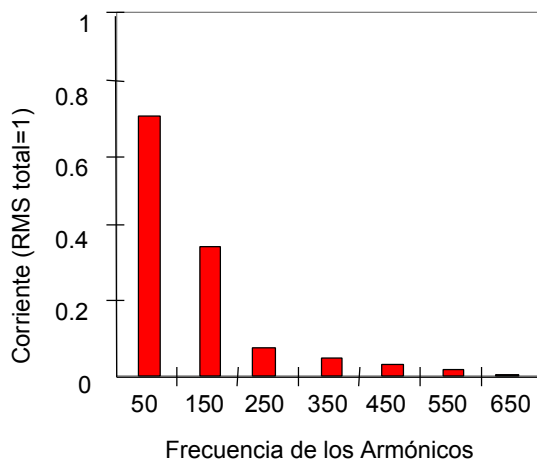
Caso Alimentación Trifásica

### Tensiones y Corrientes de Entrada del Rectificador

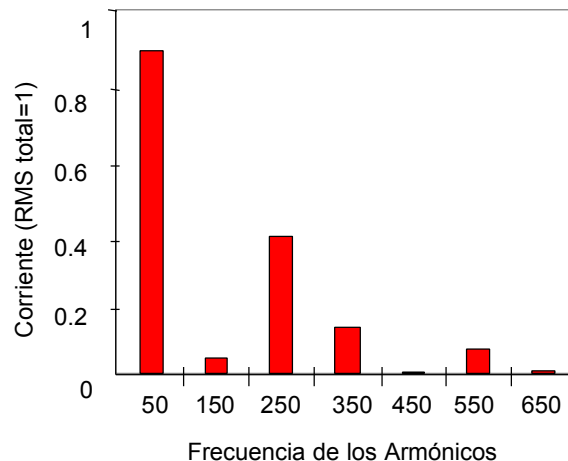
Lo anterior significa que la forma de onda de la corriente está compuesta por una serie de armónicos de baja frecuencia y esto a su vez, dependiendo de la impedancia del suministro, puede ocasionar una distorsión armónica en la tensión.

En algunas ocasiones, es necesario evaluar estos armónicos para garantizar que no se excedan niveles que ocasionen, por ejemplo, grandes pérdidas en transformadores o interferencia con otros equipos. En cualquier caso, al momento seleccionar el cableado y equipo de protección se deben tomar en cuenta estos elevados niveles RMS. A continuación ilustramos algunos niveles medidos de armónicos.

Fuentes Monofásicas



Fuentes Trifásicas



Contenido típico de armónicos – Resultados Medidos

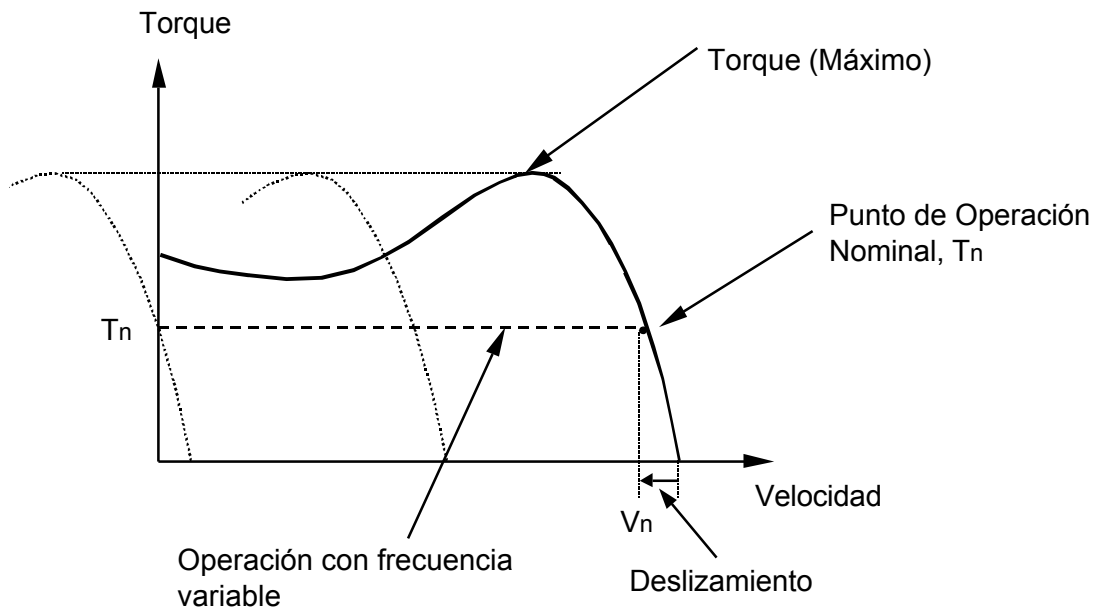
Para poder calcular los armónicos en un sistema de alimentación en particular, es esencial conocer la impedancia de la fuente. Esto generalmente se manifiesta en términos de niveles de corriente de falla, tamaño del transformador e impedancia instalada, como inductores de línea, etc. Existen programas de computación disponibles para calcular los niveles de armónicos en la tensión y corriente, dependiendo de la carga, tipo y número de inversores en el sistema. En general, los suministros industriales no requieren de este nivel de evaluación.

En lugares donde los suministros tienen muy baja impedancia (menor al 1%), se recomienda, en cualquier caso, instalar un inductor de entrada para limitar los picos de corriente en el accionamiento.

### **3.3 Limitaciones del Motor**

*Consultar la sección 12 para obtener mayor información sobre el cálculo de los requerimientos de Potencia, torque y Momento de Inercia.*

La velocidad del motor está determinada principalmente por la frecuencia aplicada. La velocidad del motor disminuye un poco conforme la carga y con ello deslizamiento aumenta. Si la carga es demasiada, el motor excederá el torque máximo y perderá velocidad o se detendrá. La mayoría de los motores y variadores operarán al 150% de la carga durante un lapso breve, por ejemplo, 60 segundos.



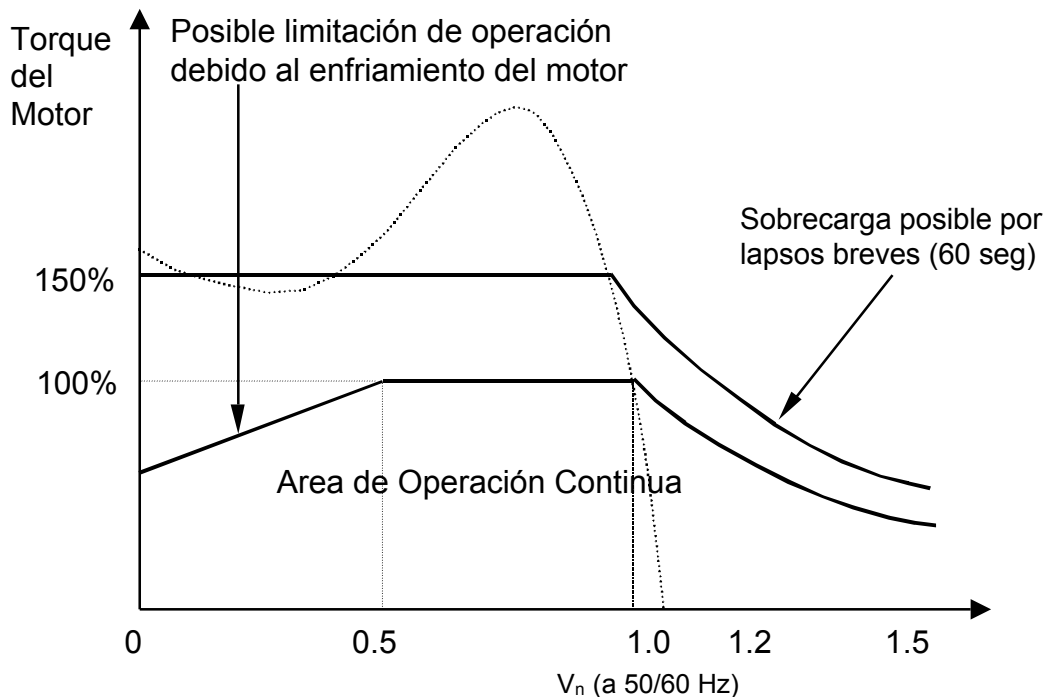
Curva característica Velocidad vs. Torque de un Motor de Inducción

Generalmente, el motor es enfriado mediante un ventilador integrado que opera a la velocidad del motor. Dicho ventilador está diseñado para enfriar el motor con carga máxima y a velocidad nominal. Si un motor opera a una frecuencia más baja y torque máximo (es decir, corriente elevada), el enfriamiento puede ser inadecuado. Los fabricantes de los motores proporcionan la información



necesaria sobre la aplicación del factor de corrección, pero una curva típica del corrección limitaría el torque de salida al 75% a una frecuencia de cero, alcanzando el torque nominal a 50% de la velocidad de placa (ver diagrama). Se debe asegurar que no se excedan dichos límites por períodos prolongados durante una operación.

*Considerar el uso de la función  $I^2t$  para ayudar a proteger el motor (P074, consultar la sección 5.7.1) o considerar el uso de un motor con una protección integrada como un PTC.*



Opciones de Operación Motor/Inversor

*Debido a las limitaciones de los rodamientos, la operación a alta velocidad de los motores estándar de dos polos generalmente se limita al doble de la velocidad nominal de operación (es decir, hasta 6000 ó 7200 rpm). Sin embargo, dado el debilitamiento de campo sobre velocidad nominal del motor (ya que la tensión de salida se limita a aproximadamente la tensión de entrada), se reduce la velocidad máxima antes mencionada y el torque máximo también caerá en proporción inversa a la velocidad.*

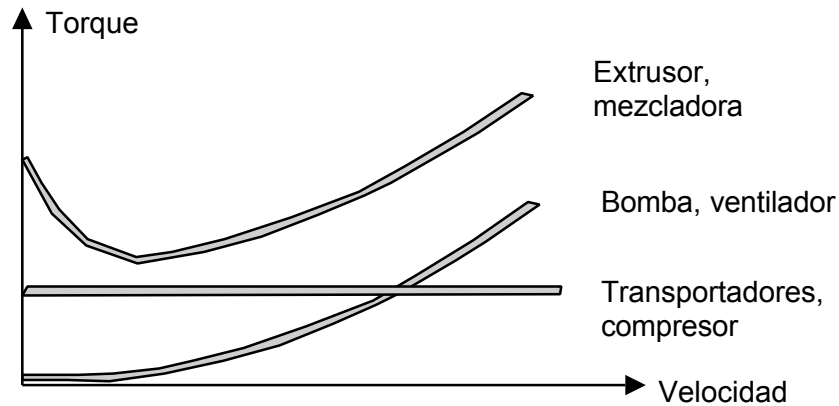
*No obstante, si la configuración del VFD es la correcta, cuando se conecta un motor como un motor de baja tensión (delta) y se opera con un VFD de mayor tensión, se puede obtener un torque máximo de hasta 1.7 veces la frecuencia nominal. Los parámetros del motor para obtener la curva correcta de tensión/frecuencia son los siguientes:*

*P081= 87*

*P084= 400 (o de acuerdo con la fuente)*

### 3.4 Consideraciones sobre la Carga

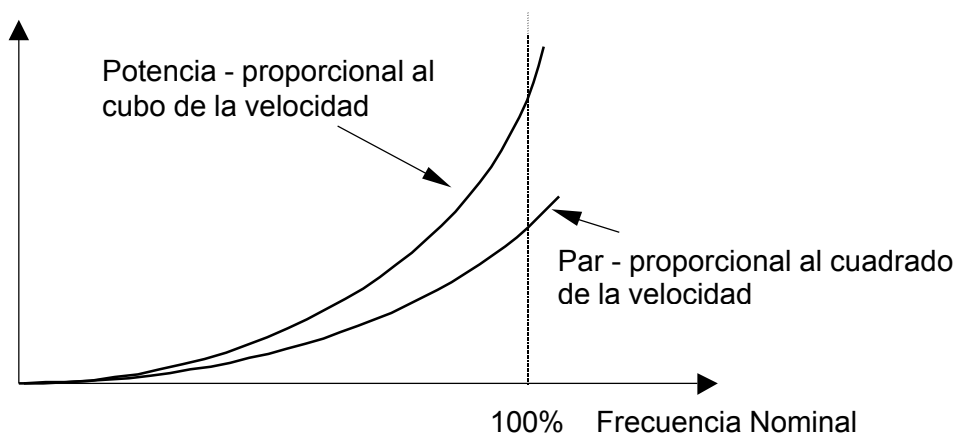
Los requerimientos del VFD y del motor están determinados por el rango de velocidad y los requerimientos de torque de la carga. La relación entre Velocidad y Torque es diferente para cargas distintas. Muchas cargas pueden considerarse como cargas de torque constante. Es decir, que el torque permanece durante el rango de la velocidad de operación. Ejemplos típicos de cargas de torque constante son las bandas transportadoras, compresores y bombas de desplazamiento positivo.



Curvas Características Par-Velocidad de Algunas Cargas

#### 3.4.1 Aplicaciones con torque Variable

Algunas cargas tienen una característica de torque Variable, es decir, que el torque aumenta con la velocidad. Ejemplos típicos de cargas de torque variable son las bombas centrífugas y ventiladores. En dichas aplicaciones, la carga es proporcional al cuadrado de la velocidad y por lo tanto, la potencia es proporcional al cubo de la velocidad. Esto significa que a bajas velocidades existe una gran reducción de potencia y por consiguiente, ahorro de energía; una ventaja importante derivada de instalar accionamientos de velocidad variable en bombas y ventiladores. Por ejemplo, una reducción de velocidad del 10% producirá una reducción teórica de potencia del 35%.



Curva Característica de una Carga de torque Variable

Debido a que se reduce en gran medida la potencia, la tensión aplicada al motor también se puede reducir y lograr un ahorro adicional de energía. Para carga cuadráticas como “bomba y ventilador” existe disponible una relación especial tensión-frecuencia, configurando P077=2.

Generalmente, no resulta conveniente operar bombas o ventiladores arriba de la velocidad nominal ya que la potencia se elevará excesivamente y el ventilador o bomba pueden perder eficiencia. Por consiguiente, cuando se configure P077=2 automáticamente se reducirá la capacidad de sobrecarga (P086=100) de los MIDIMASTER. Esto permite la selección de un rango continuo más elevado (es decir, se aumenta el valor máximo permitido de P083).

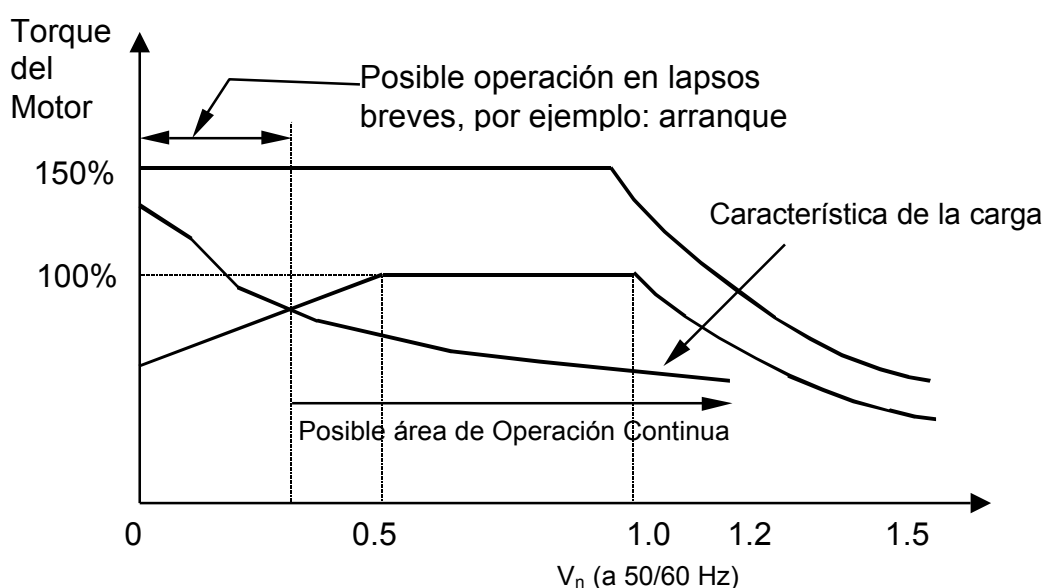
Por lo tanto, los MIDIMASTER cuentan con **capacidad dual** y la capacidad más alta disponible para la operación de bombas y ventiladores puede ofrecer ahorros adicionales en la inversión inicial de estas aplicaciones.

### 3.4.2 Otras Cargas

Muchas otras cargas tienen relaciones de torque no lineal o variable. Es necesario entender primero el requerimiento de torque de la carga antes de seleccionar el VFD y el motor.

Se puede seleccionar el motor correcto comparando el requerimiento de carga/velocidad con la capacidad del motor. Recordemos que un arreglo distinto del pares de polos puede adaptarse mejor a las necesidades de carga.

Probablemente, se necesite considerar en forma especial el torque de arranque. Durante el dimensionamiento se debe evaluar si se requiere un torque elevado de arranque.



Opciones de Operación Motor / Inversor

### **3.5 Requerimientos de Aceleración y Frenado**

Si la carga tiene una alta inercia y existe un requerimiento de rápida aceleración y/o frenado, es necesario considerar la carga derivada de la inercia.

Durante la aceleración se requerirá torque adicional. El torque total necesario será la suma del torque en estado de reposo más el torque adicional. En la sección 12 se describen los detalles de estos cálculos.

*Durante el frenado es necesario disipar la energía de inercia de la carga. No existirá problema alguno cuando se utilice un freno mecánico, siempre y cuando se deshabilite el VFD durante la operación de frenado. Si se desacelera el motor reduciendo la frecuencia de salida del VFD, la energía derivada de la carga regresará al VFD. Otras opciones como el frenado de CC y frenado Compuesto reducirán al mínimo la regeneración al VFD, pero en este caso la energía será disipada en los devanados del motor. En la sección 8.2 se describen con detalle las opciones y métodos de frenado.*

### **3.6 Consideraciones Ambientales**

El VFD está diseñado para operar en un ambiente industrial. Sin embargo, existen ciertas limitaciones que deben considerarse; a continuación presentamos una lista de verificación que será de utilidad:

- Verificar que el flujo de aire a través del VFD no se encuentre bloqueado, por ejemplo, cables, objetos, etc.
- Asegurarse que la temperatura del aire no exceda 50 °C. No olvidar permitir algún aumento de temperatura en el interior de la caja o cubículo.
- Existen disponibles variadores con niveles de protección IP20 (MICROMASTER), IP21 ó IP56 (MIDIMASTER). Los equipos IP20 e IP21 requieren protección adicional contra polvo, suciedad y agua. Consultar la sección 11 para obtener una descripción detallada de la clasificación IP.
- El VFD está diseñado para ser instalado en forma fija y no está diseñado para soportar vibración y choques excesivos.
- El VFD sufrirá daños en ambientes corrosivos.
- Proteger la unidad contra el polvo; el polvo puede acumularse en el interior de la unidad, dañar los ventiladores y evitar el enfriamiento adecuado de la misma. El polvo conductivo, como el polvo metálico, dañará la unidad.
- Considerar adecuadamente la Compatibilidad Electromagnética (EMC):
  - ¿Estará protegido el VFD contra los efectos de equipos de potencia, como por ejemplo, Equipo de Corrección del Factor de Potencia, Equipo de Soldadura de Resistencias, etc.?
  - ¿Estará el VFD puesto a tierra?
  - ¿De qué manera interactuará el VFD con cualquier otro equipo de control como contactores, controladores lógicos programables [PLC], sensores de relevadores, etc?

EN CASO DE TENER DUDAS, consultar los lineamientos e información sobre las especificaciones contenidos en el manual o consultar la sección 6.1.

## **4. Instalación y Preparación del VFD**

### **4.1 Montaje del MICROMASTER**

- Montar el MICROMASTER utilizando los orificios de montaje de acuerdo con las instrucciones del manual. Asegurar que no se excedan los rangos correctos de torque para los tornillos de fijación.
- La unidad puede montarse horizontal, vertical o lateralmente sin necesidad de aplicar el factor de corrección. Las unidades no deben montarse de cabeza ya que el enfriamiento del ventilador se opondrá al enfriamiento natural por convección.

### **4.2 Enfriamiento.**

- El MICROMASTER operará a una temperatura de +50°C sin factor de corrección. La temperatura máxima del MIDIMASTER es de +40°C.
- Asegurarse de que los ductos de admisión y descarga no estén obstruidos.
- *Es de suma importancia asegurarse que no se excedan las temperaturas máximas de operación en el interior del cubículo. Cuando se instale un VFD en un gabinete es necesario calcular el aumento de temperatura:*

*1. Calcular la pérdida total de calor ( $P_{pérdida}$ ) para todas las unidades dentro del gabinete. Utilizar los datos del fabricante o asumir una pérdida de 3%.*

*2. En el caso de un gabinete sellado, calcular el aumento de temperatura utilizando la siguiente fórmula:*

$$T_{\text{aumento}} = P_{\text{pérdida}} / (5.5 \times A)$$

*En donde A corresponde al área total expuesta del gabinete, en (m<sup>2</sup>).*

En el caso de un gabinete enfriado con ventilador:

$$T_{\text{aumento}} = 0.053 \times P_{\text{pérdida}} / F$$

*En donde F corresponde al flujo de aire, en (m<sup>3</sup> / minuto).*

*3. Sumar el aumento de temperatura más la temperatura ambiente del exterior. Si dicha temperatura es superior a la temperatura de operación del accionamiento, se requerirá enfriamiento adicional o será necesario aplicar el factor de corrección a las unidades.*

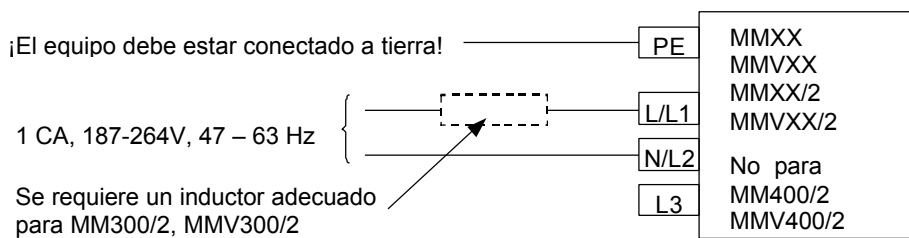
*También será necesario aplicar el factor de corrección en altitudes arriba de 1000 m. Aplicar el factor de corrección de la siguiente manera:*

2000 m	85% de la capacidad de carga nominal.
3000 m	75% de la capacidad de carga nominal.
4000 m	65% de la capacidad de carga nominal.

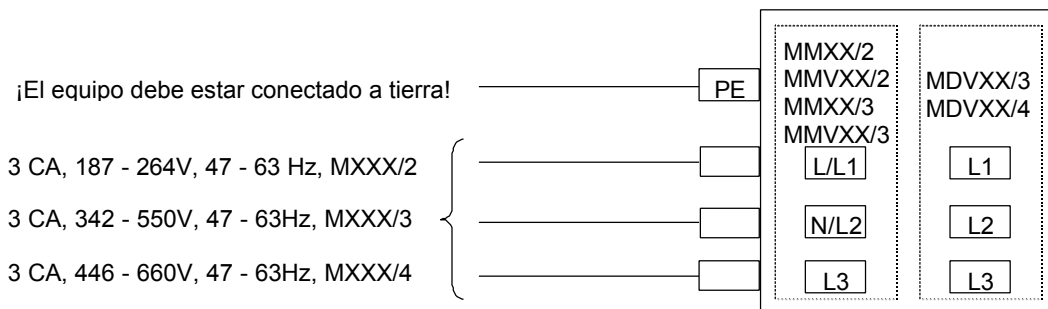
*Consultar el catálogo DA64 para obtener mayor información.*

### 4.3 Cableado del MICROMASTER

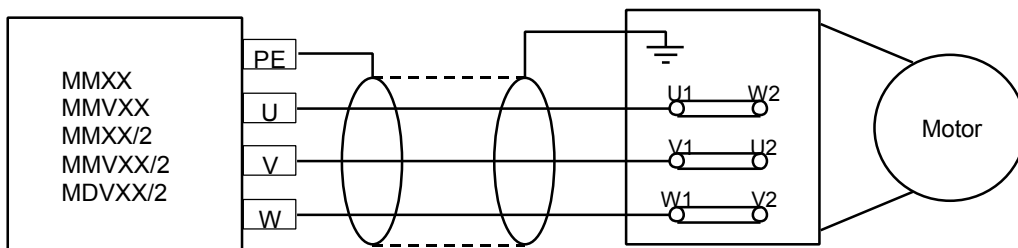
- Observar los lineamientos de advertencia contenidos en el manual y asegurar que se cumpla con todos los reglamentos de seguridad. ¡EL EQUIPO DEBE ESTAR CONECTADO A TIERRA!
- El VFD se dañará si la fuente de alimentación se conecta a las terminales donde debe ir conectado el motor.
- Seguir las instrucciones de cableado contenidas en el manual, incluyendo los lineamientos sobre Compatibilidad Electromagnética (EMC).
- Revisar el cableado antes de encender la unidad. En particular, ¿está la unidad conectada a la fuente de alimentación correcta? (las unidades conectadas a un voltaje mayor del que pueden soportar sufrirán daño permanente) y ¿Está conectada la tierra de protección?



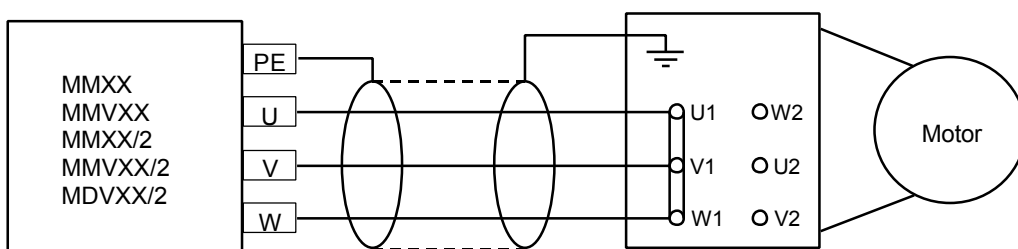
Cableado de entrada, fuentes monofásicas



Cableado de Entrada, Fuentes Trifásicas

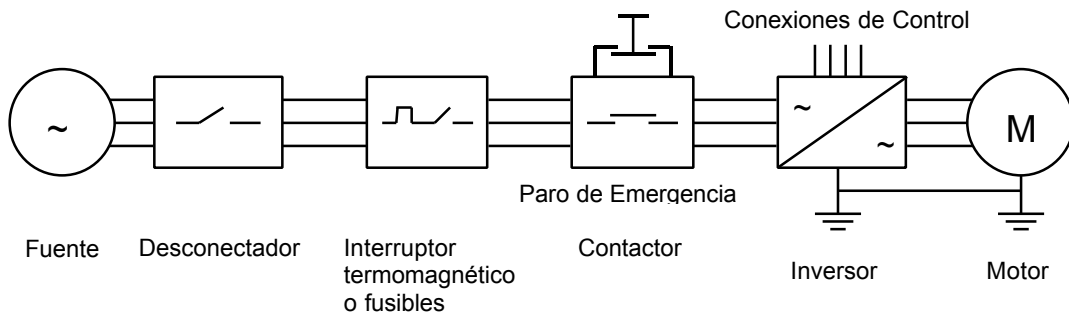


Entradas: 1 CA ó 3 CA, 230V => Salida: 3 CA, 230V, Motor usualmente conectado en delta



Entradas: 3 CA, 400V / 575V => Salidas: 3 CA, 400V / 575V, Motor usualmente conectado en estrella

### 4.3.1 Instalación Típica



#### Fuente

La fuente de alimentación puede ser monofásica o trifásica dependiendo del tipo de VFD. En el manual se describen los calibres recomendados de cable.

#### Desconectador

Generalmente se requiere un desconectador por razones de seguridad.

#### Interruptor termomagnético o fusibles

De acuerdo con lo descrito en el manual, la capacidad de protección se basa en la corriente de entrada. La corriente de entrada es mayor que la corriente de salida debido a que el factor de forma de la corriente es elevado. No se recomienda el uso de termomagnéticos de acción rápida o fusibles para semiconductor.

*Generalmente, se recomienda el uso de interruptores termomagnéticos dado que en variadores de diseño más reciente, las corrientes de arranque son el doble o triple de la corriente de carga nominal, por lo que disparos involuntarios de los interruptores termomagnéticos ya no representa problema alguno.*

#### Contactador

Posiblemente sea necesario el uso de un contactor con parada de emergencia tanto para control auxiliar, como para aislamiento de seguridad. **El contactor no debe utilizarse como un medio de parada/arranque.** Lo anterior producirá desgaste innecesario en el contactor y siempre habrá un ligero retardo al momento que se inicialice el VFD. Utilizar las terminales o botones de control para dicho propósito. No está permitido el uso del control de Operación/Parada del VFD como una función de parada de emergencia. **No se recomienda intercalar un contactor entre la salida del VFD y el motor.**

#### Motor

De acuerdo con lo ilustrado en los diagramas anteriores, la mayoría de los motores, en particular a bajas potencias, están diseñados para operar a tensiones de 230 V o 400V. La tensión se selecciona generalmente arreglando las terminales del motor adecuadamente.

Las instrucciones para la conexión a 230V (delta) o 400V (estrella o delta, según la potencia del motor) por lo general vienen en la tapa de la caja de terminales. Es claro que un VFD con una entrada monofásica o trifásica de baja tensión producirá una salida trifásica de baja tensión y el motor deberá conectarse en forma correspondiente. *Consultar también la sección 3.3.*

#### **4.4 Primer Encendido**

- Aplicar energía a la unidad. La pantalla deberá iluminarse y parpadear 0.0, 5.0. Cuando el VFD se detiene, la pantalla parpadeará entre 0.0 y la frecuencia a la que operará cuando sea arrancado (el valor de referencia).
- Cómo cambiar los parámetros. En este momento ya se pueden configurar los parámetros correctos para el motor. Los parámetros P080 a P085 deben modificarse para adaptarlos al motor de acuerdo con las instrucciones del manual. Realizar lo siguiente para modificar un parámetro:
  - a) Oprimir **P**. En la pantalla o display aparece P000.
  - b) Oprimir la tecla de flecha ascendente ▲ o descendente ▼.
  - c) Recorrer los parámetros hasta que aparezca el parámetro deseado.
  - d) Oprimir nuevamente **P**. La pantalla muestra los valores del parámetro.
  - e) Oprimir la tecla de flecha ascendente ▲ o descendente ▼.
  - f) Recorrer los valores hasta que aparezca el valor deseado en el parámetro.
  - g) Oprimir **P** para fijar el valor del parámetro.
  - h) Oprimir la tecla de flecha ascendente ▲ o descendente ▼ para volver a P000.
  - i) Oprimir nuevamente **P**. Finalmente, la pantalla vuelve a parpadear.

No olvidar que para acceder a un parámetro mayor a P009, es obligatorio configurar el parámetro P009 con el valor 3.

- Si la pantalla parpadea en lugar de cambiar significa que el parámetro no puede ser modificado, ya sea porque es un valor fijo o porque el variador está en operación y dicho parámetro no puede ser modificado durante la operación.
- Si el display no muestra los valores deseados probablemente se deba a que los parámetros fueron modificados por alguna razón. Configurar el parámetro P941 en 1 para regresar los parámetros a su configuración original (reset del equipo).
  - a) Oprimir **P**. En la pantalla aparece P000.
  - b) Oprimir la tecla de flecha descendente ▼. Recorre P971, P944 hasta P941.
  - c) Cuando aparezca P941 oprimir **P**. En la pantalla aparece 0000.
  - d) Oprimir la tecla de flecha ascendente ▲ para cambiar el valor de 0000 a 0001.
  - e) Oprimir **P**. En la pantalla aparece P000.
  - f) Oprimir **P** nuevamente. En la pantalla aparece 0.0 / 5.0 alternadamente.

¡ Siempre regresar los parámetros a sus valores originales cuando se desconozca cuáles son los parámetros que han sido modificados y configurados !

- Oprimir ahora el botón de color verde localizado I en el panel frontal. El motor deberá girar con una frecuencia de 5.0 Hz.



- Si el motor opera en la dirección incorrecta, desconecte la alimentación, espere cinco minutos para que se descarguen los capacitores internos e intercambie dos conexiones del motor. Por supuesto, también se puede invertir la dirección del motor a través de los controles del panel frontal, entradas digitales, etc.
- Es posible que no arranque si la carga del motor es muy pesada o si los parámetros no son los correctos. Configurar los parámetros del motor de acuerdo con las instrucciones del manual.

#### **4.5 Si el motor no arranca**

Revisar la siguiente tabla. En general, si el VFD opera sin el motor y carga conectados significa que probablemente el VFD no esté dañado y que la falla radica en una mala programación o en la carga. No olvidar que en caso de tener dudas es aconsejable regresar los parámetros a su valores originales de fábrica y comenzar nuevamente.

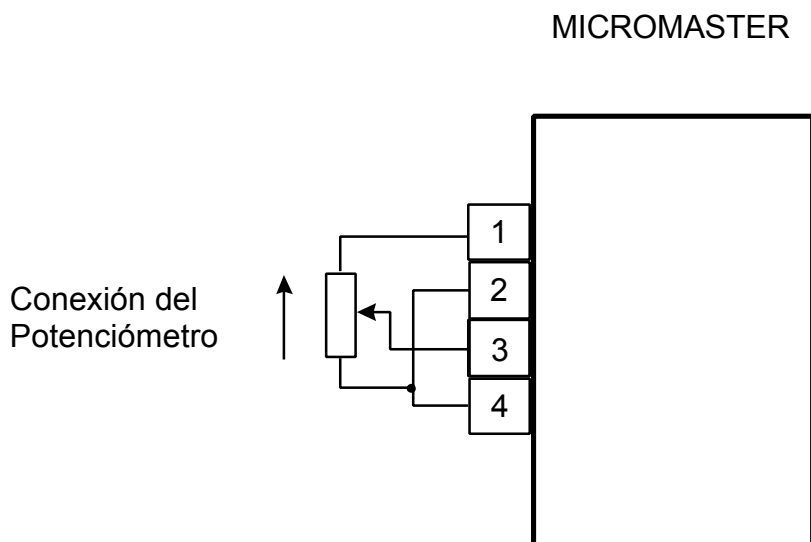
<b>Resumen para Detección y Solución de Problemas</b>			
<b>Acción</b>	<b>Pantalla</b>	<b>Causa posible</b>	<b>Solución: Parar y...</b>
Aplicar energía	Nada	No hay energía, bajo suministro, unidad defectuosa.	Verificar que el suministro esté en el rango de tolerancia. Revisar los fusibles, etc.
Aplicar energía	----, 8888	Bajo suministro, unidad con falla.	Verificar que el suministro esté en el rango de tolerancia.
Aplicar energía	FXXX	Configuración errónea de parámetros, falla interna.	Verificar el tipo de falla en el Manual. Intentar nuevamente. Reset de falla presionando dos veces seguidas la tecla <b>P</b> .
Comando de marcha	Parpadea	Advertencia de sobrecarga o similar.	Verificar el tipo de advertencia en el Manual. Restablecer los parámetros, revisar la carga y reducirla en caso necesario. Intentar nuevamente.
Comando de marcha	F002	Sobrecarga, unidad con falla.	Restablecer la Falla (Oprimir dos veces el botón <b>P</b> ). Restablecer los parámetros, desconectar la carga y el motor, en caso necesario. Intentar nuevamente.
Comando de marcha	000.0	No se recibió la instrucción de ejecución, o el Valor de Referencia = 000.0	Restablecer los parámetros. Intentar utilizar los controles del panel frontal, verificar la configuración del valor de referencia, por ejemplo, P005.
Comando de marcha	FXXX	Otra falla.	Restablecer la falla. Restablecer los parámetros, desconectar la carga. Intentar nuevamente.

## 5. Algunas Aplicaciones y Posibilidades Sencillas

La mayoría de los Variadores empleados en la industria se controlan a través de las terminales de control y no a través del panel frontal antes mencionado. En esta sección describiremos algunas posibilidades sencillas de control utilizando dichas entradas, así como algunas de las funciones programables que pueden resultar útiles. En las siguientes descripciones se incluyen números de terminales y valores de parámetros que son válidos para los Variadores MICROMASTER Vector y MIDIMASTER Vector; favor de verificar los números de terminales incluidos en el manual cuando se utilicen otros productos.

### 5.1 Uso de un Potenciómetro con la Entrada Analógica

Configurar el Parámetro P006 = 001 y conectar un potenciómetro (entre 5 k $\Omega$  y 10 k $\Omega$ ) a la entrada analógica de acuerdo con la ilustración del manual. El cableado del potenciómetro es el siguiente:



Es posible arrancar el VFD a través de los controles del panel frontal y ajustar la frecuencia de salida utilizando el potenciómetro.

Los valores de fábrica mínimo y máximo para la entrada analógica son 50 (P022) y 0 Hz (P021), respectivamente, por lo que el VFD operará a una frecuencia entre dichas frecuencias dependiendo de la posición del potenciómetro.

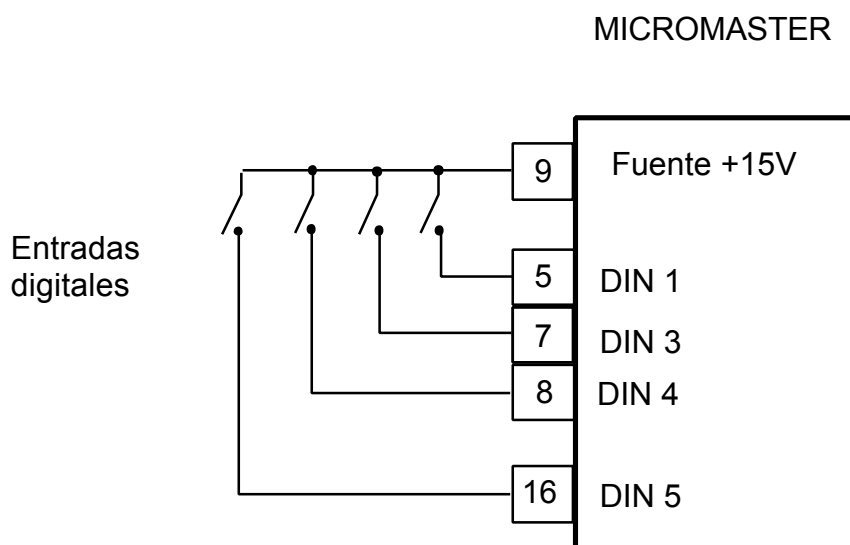
*El cambio de los parámetros P021 y P022 modificará el rango del potenciómetro en forma correspondiente, pero no debemos olvidar que los valores absolutos máximo y mínimo son establecidos por los parámetros P012 y P013. Observar que no es posible modificar muchos de los parámetros cuando el VFD está en operación. La pantalla parpadeará si se intenta realizar lo anterior.*

Observar que el control de operación y parada se lleva a cabo a través de los botones del panel frontal.

## 5.2 Uso de una Entrada Digital

Las entradas digitales del VFD son programables y se pueden seleccionar una gran cantidad de distintas funciones. Las entradas digitales tienen valores de fábrica que son los empleados en el ejemplo, pero dichos valores pueden ser modificados fácilmente.

Estando todavía conectado el potenciómetro, configurar el parámetro P007 a 0 para deshabilitar los controles del panel frontal y conectar un interruptor entre las terminales 5 (entrada digital 1, programación de fábrica MARCHA horaria) y 9 (fuente de 15 V para este propósito). Al cerrar el interruptor deberá arrancar el VFD, el cual operará a la frecuencia establecida por el potenciómetro de igual manera.



## 5.3 Uso de Frecuencias Fijas

Se pueden seleccionar frecuencias fijas a través de las entradas digitales. Configurar el parámetro P006 a 2 (selecciona la operación a frecuencia fija) y conectar interruptores adicionales desde la terminal 5 hasta las terminales 7, 8, 16 (entradas digitales 3, 4 y 5). Estos interruptores ahora pueden emplearse para seleccionar las frecuencias fijas 1, 4 y 5 (valores de fábrica 5, 20, 25 Hz). No obstante, aún se requiere una señal de operación y parada utilizando el interruptor existente conectado a la terminal 5. El cerrar más de un interruptor simplemente sumará las dos frecuencias fijas.

Las funciones de marcha horaria y antihoraria pueden seleccionarse a través de los parámetros P045 y P050. El cambiar el parámetro P045 a 7 invertirá la dirección de las frecuencias fijas 1 y 4. Una vez más, el cerrar más de un interruptor sumará o restará los valores de frecuencia fija.

En resumen:

P006 = 2, selecciona frecuencias fijas.

P053, P054, P055, etc. = 6 selecciona las entradas digitales para el control de las frecuencias fijas.

P045, P050 selecciona las opciones de dirección de marcha.

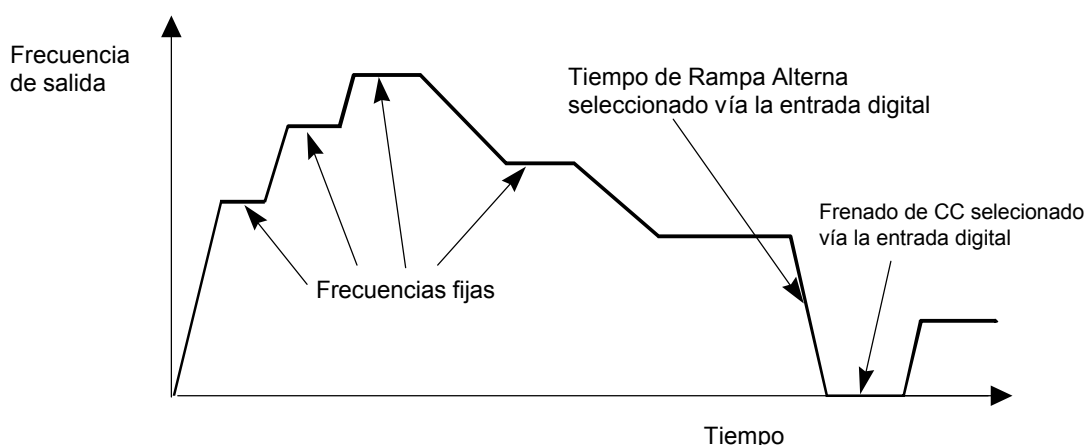
### Usos Más Complejos de Frecuencias Fijas:

Si las entradas digitales correspondientes se vuelven a programar de 6 a 17, las entradas seleccionarán las frecuencias fijas en código binario, permitiendo que las tres entradas seleccionen un máximo de 8 entradas digitales.

El configurar las entradas digitales a 18 permitirá el control de Marcha/Parada también a través de dichas entradas, por lo que no se requerirá de un control de Marcha/Parada independiente, es decir, el VFD arrancará cuando cualquiera de las entradas sea habilitada.

Se pueden sumar o aumentar gradualmente frecuencias fijas a las frecuencias fijas cambiando el parámetro P024.

Favor de consultar el manual para obtener mayores detalles al respecto.



Ciclo de control posible utilizando frecuencias fijas, Frenado de CC y Velocidades Variables de Rampa

## **5.4 Uso de Otras Funciones de las Entradas Digitales**

Las entradas digitales son activadas por un voltaje (7.5 - 33V) en la terminal correspondiente o a través de un interruptor y la fuente de 15V según lo antes descrito.

Todas las entradas digitales cuentan con una gran cantidad de distintas funciones que pueden programarse a través de los parámetros P051-53, (y P054, 55, y P356 en las unidades Vector).

Algunos usos sencillos son:

- 001 Marcha horaria.
- 002 Marcha antihoraria.
- 003 Cambio de rotación.
- 007 Marcha lenta horaria.

Otras configuraciones que pueden ser útiles:

- 006 Selecciona una frecuencia fija (consultar párrafos anteriores).
- 010 Restablecimiento de fallas.
- 019 Disparada externo.

*Funciones avanzadas:*

- 009 *Operación local/remota. Permite alternar entre operación remota (según lo establecido por P910) y control local. El motor se para entre una y otra..*
- 014 *Deshabilitar el botón "P". El uso de esta configuración con cable en lugar de un interruptor evita que usuarios no expertos manipulen indebidamente los parámetros.*
- 015 *Habilitar el freno de CC. Se puede habilitar la función de frenado de CC para proporcionar un torque de frenado en caso necesario. Consultar la sección 8.2.*

*Favor de consultar el manual para obtener mayores detalles.*

## **5.5 Uso de salidas de control**

Existen diversas salidas de control que se pueden utilizar como indicadores externos de control o advertencia de problemas potenciales.

Salida Analógica (exclusiva de las unidades Vector). Se puede configurar la salida analógica para emitir varias indicaciones distintas de acuerdo con lo establecido en el parámetro P025. La salida es 0/4-20mA, pero puede convertirse fácilmente a salida de tensión mediante la instalación de un resistor (500 ohms para 0-10V, por ejemplo). La unidad MIDIMASTER Vector cuenta con dos salidas analógicas.

Relevadores. Se proporciona un relevador indicador (dos en las Unidades Vector) que puede programarse para emitir una variedad de indicaciones a través del parámetro P061. El relevador a menudo se utiliza para indicar el valor de referencia alcanzado (P061=7), advertencia activa (P061=8), corriente de salida excedente a un valor establecido (P061=9).

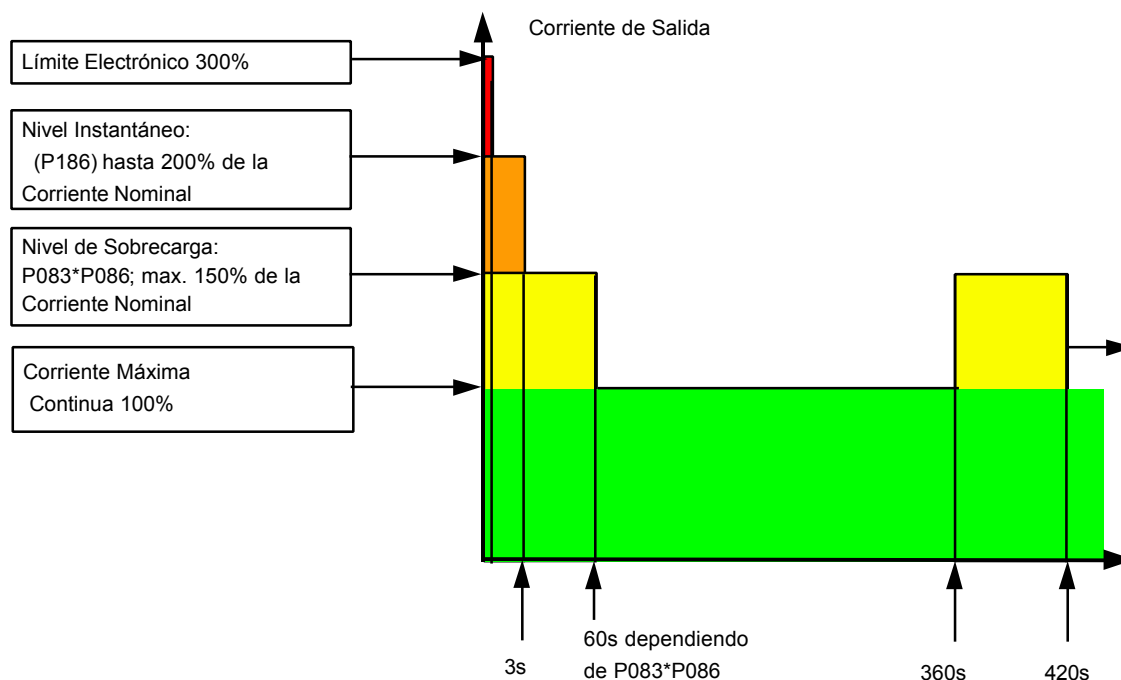
*Los relevadores pueden servir para controlar un frenado externo. En este caso, se puede utilizar una función de sincronización para arrancar el VFD y liberar el freno de acuerdo con lo establecido en el parámetro P063. En tal caso, es necesario suprimir el relevador y utilizar un contactor para conmutar el freno en sí. Consultar la sección 5.8.6.*

**Se deben conectar supresores de voltaje en los contactos de los relevadores en los casos donde se conecten cargas inductivas, como bobinas de contactor o frenos electromagnéticos.**

## 5.6 Límite de Corriente y Sistemas de Protección

El VFD debe protegerse a sí mismo, al motor y al sistema contra sobrecargas y posibles daños. El límite de corriente aquí opera muy rápidamente, limitando la corriente y evitando que se presente algún disparada.

El VFD cuenta con varios niveles de limitación de corriente:



Características de Sobrecarga de la Corriente de Salida

Disparo Electrónico. Este es un límite de corriente muy rápido que opera cuando se presenta un cortocircuito (línea a línea, o línea a tierra) en la salida. Este es un disparo de nivel fijo y opera en unos cuantos microsegundos. La Falla F002 es la indicación de este tipo de disparo.

Límite de Sobrecarga. Este es un límite rápido que se establece a través del parámetro P186 y puede ser tan alto como 200% del nivel de corriente nominal establecido en P083. Si la corriente de salida está entre el nivel establecido por P186 y el establecido por P086 (consultar más adelante), el VFD reducirá su frecuencia de salida después de tres segundos hasta que la corriente descienda al valor determinado en P086. Posteriormente, el límite de sobrecarga de períodos prolongados puede volverse activo después de cierto tiempo (consultar más adelante).

Límite de Sobrecarga de Períodos Prolongados. Este es un límite más lento que permite una sobrecarga de mínimo 60 segundos cuando la corriente está entre el valor establecido en P083 y P086. *El tiempo real depende de la cantidad de sobrecarga, pero el mínimo son 60 segundos. Después de dicho tiempo, la frecuencia de salida se reduce hasta alcanzar el nivel establecido por P083.*

Límite Continuo. Este corresponde al nivel establecido en P083. El VFD controlará la corriente hasta dicho nivel después de que las sobrecargas descritas anteriormente hayan terminado.

*En todos los casos anteriores, con excepción del disparo electrónico, el VFD reducirá la frecuencia de salida para poder reducir la carga. Algunos valores de P074 ocasionarán un disparo en lugar de limitar la corriente. Como alternativa, se pueden utilizar relevadores de salida para alertar sobre un límite de corriente (P061 ó 2 = 10) o que el VFD está por debajo de una frecuencia mínima, por ejemplo (P061 ó 2 = 5).*

*Si se establecen los parámetros P086 y P186 al 100%, el límite de corriente establecido en P083 operará en forma instantánea. Si se establece el parámetro P083 por debajo del valor nominal, entonces se puede establecer el parámetro P086 más elevado; por ejemplo, hasta 250%, que representa la capacidad del VFD, pero no necesariamente el motor o la carga, es decir, el valor máximo permitido de P083 x P086 es constante para cualquier tipo de VFD.*

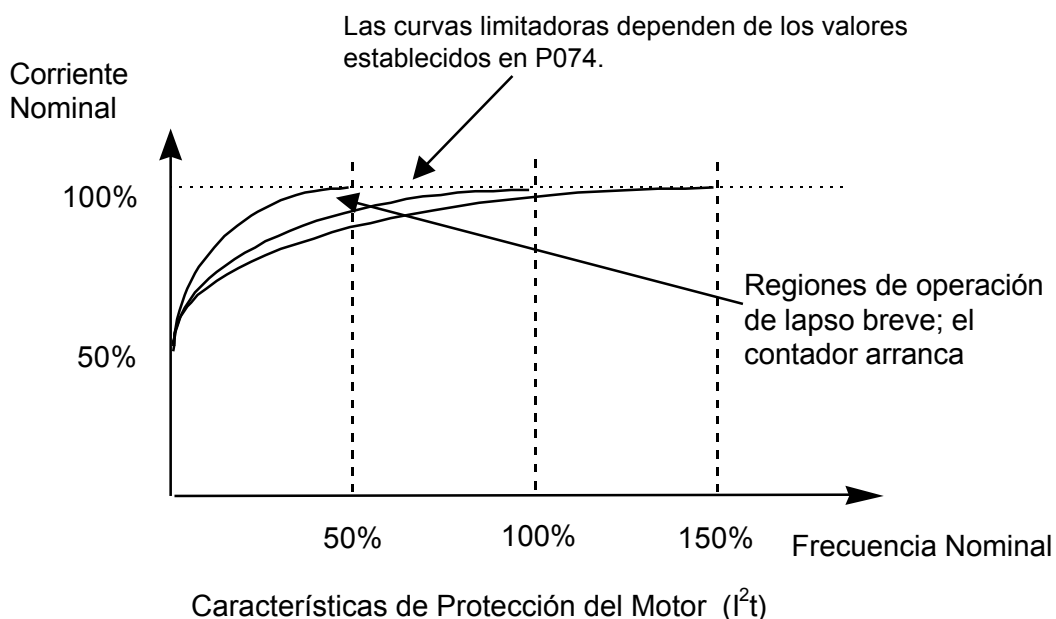
*Cuando se selecciona la operación Vector (P077=3), el límite de corriente opera efectivamente como limitador de torque entre 5 y 50 Hz.*

*Si el límite de corriente está activo, la pantalla parpadeará y el código de advertencia 002 será introducido al parámetro P931 (la advertencia más reciente).*

*La manera de limitar la corriente es reduciendo la frecuencia de salida; la forma de controlar un límite rápido de corriente, por ejemplo durante la rampa de aceleración, es reduciendo la tensión de salida.*

## **5.7 Otras Funciones de Protección**

### **5.7.1 Protección $I^2t$**



Cuando el motor opera a baja velocidad y con carga elevada, es posible que la ventilación no sea la suficiente y que el motor se sobrecaliente. El parámetro P074 permite la activación de un límite  $f_t$ , que depende de la frecuencia, para proteger el motor.

*Cuando el VFD opera en la región arriba de la curva seleccionada (es decir, a baja frecuencia y corriente elevada), un contador arranca y después de cierto tiempo (en base a la corriente, tamaño del motor e historial de operación) el VFD se disparará o reducirá la frecuencia de salida, dependiendo de la configuración del parámetro. El manual contiene mayor información al respecto.*

### 5.7.2 Protección a través de Sensores PTC

Gran cantidad de motores vienen con un sensor PTC (Coeficiente de Temperatura Positivo) integrado en los devanados. La resistencia del sensor PTC aumenta rápidamente a determinada temperatura y este cambio puede ser detectado por el VFD. Si el sensor PTC se conecta a las terminales 14 y 15, y se activa la entrada PTC configurando el parámetro P087=001, entonces cuando la resistencia del sensor PTC aumente arriba de 2 k $\Omega$ , el VFD se disparará y en la pantalla aparecerá F004.

*La mayoría de los sensores PTC para proteger motores tienen una resistencia de 2 hasta 300 ohms en frío. Dicho valor aumenta rápidamente al punto de disparo, por lo general, a 10 kW o más. La entrada PTC está configurada de tal manera que opere a 1 kW mínimo, 1.5 kW nominal y 2 kW máximo. La entrada cuenta con un filtro debido a que la conexión del sensor PTC generalmente transporta considerable interferencia electromagnética. Tomando en cuenta lo anterior, se pueden conectar dos o tres sensores PTC en serie cuando un motor tenga más de un sensor PTC integrado o cuando dos o tres motores estén conectados a la salida del VFD y requieren protección individual.*

### 5.7.3 Sobrevoltaje

Cuando el VFD esté conectado a una tensión elevada o cuando la tensión interna aumenta debido a una carga externa, el VFD se disparará y en la pantalla aparecerá F001. Un sobrevoltaje generalmente se presenta como resultado de una carga de frenado o regenerativa; consultar la sección 8.2.

Si la tensión de la fuente es demasiado elevada, el VFD puede sufrir daños aún cuando se dispare la protección.

### 5.7.4 Exceso de Temperatura Interna

El VFD está protegido contra sobrecalentamiento. La temperatura del disipador de calor es monitoreada a través de un sensor PTC y el VFD se desconectará cuando se exceda la temperatura máxima. En la pantalla aparecerá F005.

*El exceso de temperatura en el VFD generalmente se deriva de una temperatura ambiente elevada, ventilador con fallas u obstruido, o de una admisión o descarga de aire bloqueada.*



## 5.8 Algunas Funciones Adicionales

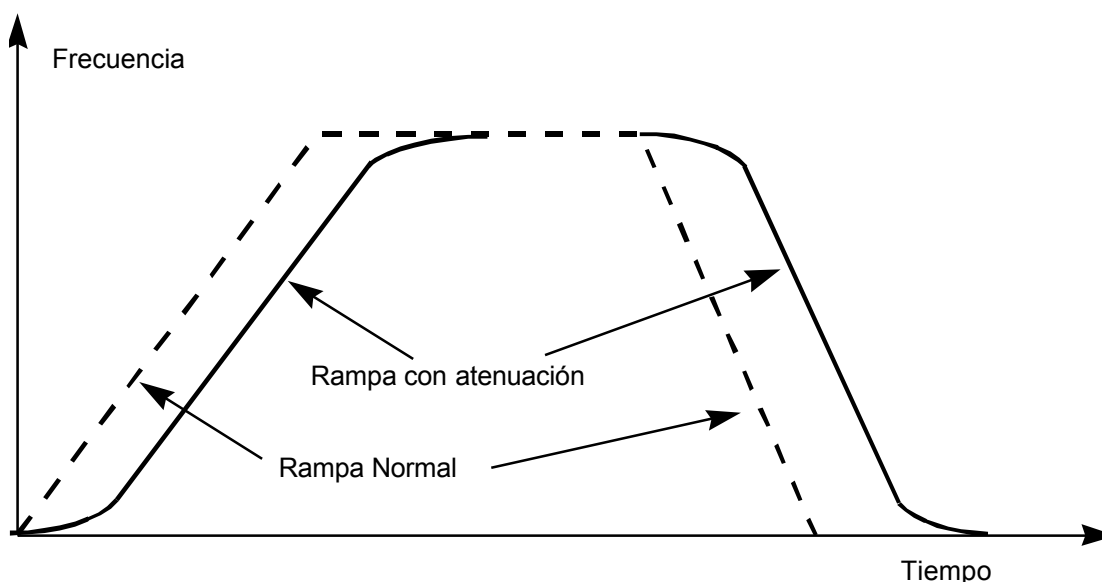
Los MICROMASTER cuentan con una gran cantidad de funciones útiles que están integradas en el software y disponibles para el usuario. A continuación describiremos algunas de estas funciones, pero el manual contiene detalles sobre la forma de seleccionar y usar dichas funciones. La sección 8 contiene funciones avanzadas como la Interfaz Serial, Control de Lazo Cerrado, Operación de Frenado, etc.

### 5.8.1 Modalidad de Visualización P001

Normalmente, la pantalla muestra la frecuencia de salida, pero se puede seleccionar la corriente de salida, velocidad del motor, u otras en lugar de ésta.

### 5.8.2 Atenuación de la Rampa P004

El tiempo de aceleración de la rampa puede limitarse para evitar “jalones” ( *jerk*). La atenuación se calcula a partir del tiempo de aceleración de la rampa, así que si el tiempo de desaceleración de la rampa es muy distinto, el suavizado no será tan eficaz durante la desaceleración. La atenuación no resulta tan eficaz a velocidades de rampa inferiores a 0.3 segundos. *El suavizado tiene el efecto de que si el VFD está en rampa ascendente y se emite una señal de parada, habrá un retardo antes de que el VFD comience nuevamente en rampa descendente. Se tiene la opción de poder deshabilitar este efecto a través del parámetro P017.*



Atenuación aplicada a rampas de aceleración y desaceleración

### 5.8.3 Graduación de la Pantalla P010

El valor presentado en la pantalla puede graduarse para adaptarse al proceso y mostrar “litros por minuto” o “metros por segundo”, etc.

#### 5.8.4 Frecuencias Omitidas P014, etc

Si se configuran dichas frecuencias, el VFD no operará a estas frecuencias de salida; se pueden evitar problemas de resonancia utilizando esta función.

*El ancho de banda puede ajustarse configurando el parámetro P019. Es decir, si el parámetro P019 = 2 y el parámetro P014 = 15, entonces el VFD no operará entre 13 y 17 Hz. Sin embargo, durante la aceleración o desaceleración el VFD trabajará normalmente a través de estas frecuencias para evitar un “escalón”.*

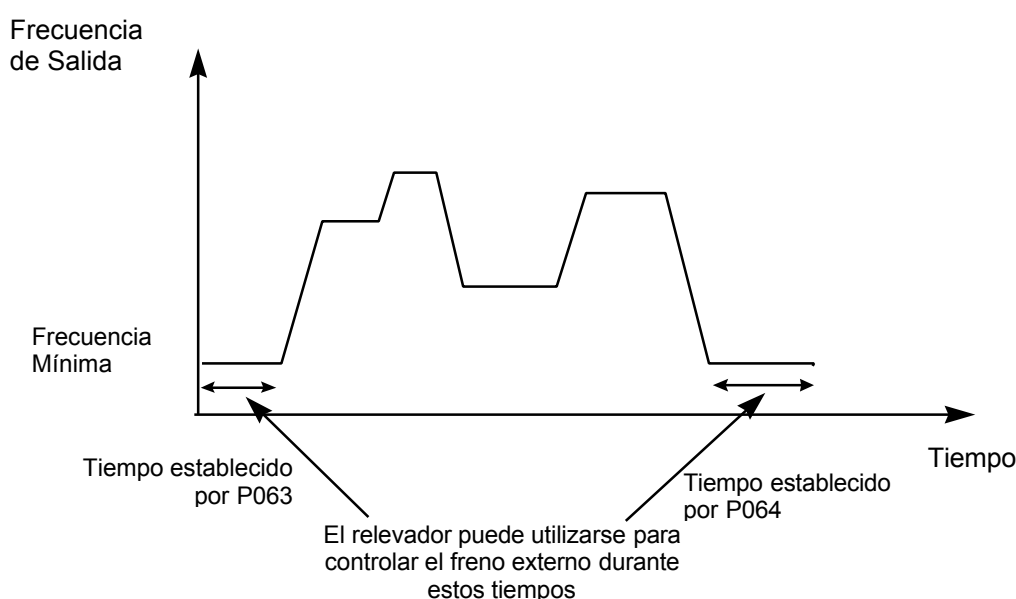
#### 5.8.5 Rearranque Volante P016

Normalmente, cuando el VFD intenta arrancar un motor que ya está girando, limitará la corriente, se parará o disminuirá la velocidad del motor. Si se selecciona la función de Rearranque Volante, el VFD detectará la velocidad del motor y acelerará o desacelerará el motor desde esa velocidad hasta el valor de referencia. Lo anterior es útil cuando el motor ya está en operación por algún motivo, por ejemplo, después de una interrupción en la alimentación principal.

*La función de “Rearranque Volante” puede servir cuando la carga está girando en dirección opuesta, por ejemplo, cuando un ventilador está girando debido a una presión inversa. En tal caso, se prueba la dirección del motor a torque bajo en marcha horaria y antihoraria. Esto puede ser el efecto indeseable de que el motor gire en ambas direcciones en el arranque. El parámetro P016 brinda la opción de realizar la operación de prueba exclusivamente en una dirección para evitar esto.*

#### 5.8.6 Control de Frenado Electromecánico P063, P064

Se pueden programar los relevadores para controlar un freno individual (P061 ó 62 = 4) y establecer un retardo (P063, P064) para que el motor pueda ser energizado antes de la liberación del relevador. El VFD opera a su frecuencia mínima, durante el tiempo establecido en los parámetros P063 y P064, mientras que el freno es energizado para que al momento de la liberación del freno el motor se mueva de inmediato.



Possible ciclo de control utilizando tiempos y un relevador para controlar el freno.

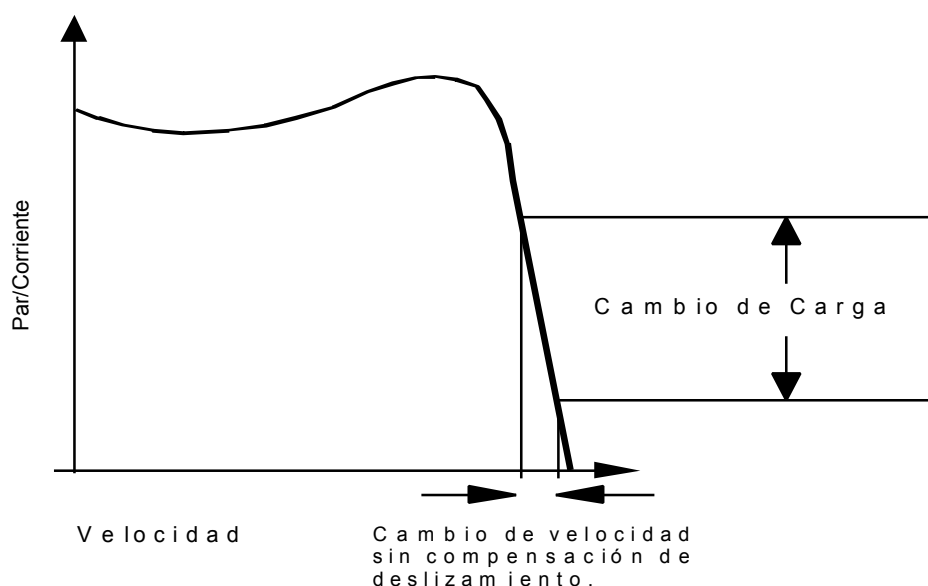
*Aún cuando no esté conectado algún freno, esta función del contador puede resultar útil cuando se requiera operación a baja velocidad o incluso a velocidad cero (lo cual tiene el mismo efecto que el frenado de CC; consultar la sección 8.2.2) durante un tiempo definido (P063, P064) al inicio o final de una secuencia.*

### 5.8.7 Compensación de Deslizamiento P071

Conforme a lo anteriormente descrito, la velocidad del motor se reduce dependiendo de la carga debido al deslizamiento. Un deslizamiento puede producir una reducción de la velocidad de hasta 10%, en el caso de motores pequeños. El VFD puede compensar esto aumentando ligeramente la frecuencia de salida conforme la carga aumente. El VFD mide la corriente y aumenta la frecuencia de salida para compensar el deslizamiento esperado. Esto puede producir el mantenimiento de más del 1% de la velocidad.

La compensación del deslizamiento no tiene efecto alguno durante la Operación Vectorial sin Sensores de Retroalimentación debido a que la compensación es inherente.

*La compensación del deslizamiento es un efecto de retroalimentación positivo (el aumento de la carga, aumenta la frecuencia de salida) y demasiada compensación puede ocasionar una ligera inestabilidad. Esto se determina empíricamente..*



### 5.8.8 Selección de la Frecuencia de Pulsación P076

La conmutación o frecuencia de modulación con ancho de pulso no cambia con la frecuencia de salida (consultar la sección 1.2); el parámetro P076 la determina. La frecuencia de conmutación del inversor puede seleccionarse entre 2 y 16 kHz. Una frecuencia de conmutación elevada tiene pérdidas mayores y produce más Interferencia Electromagnética. Una frecuencia de conmutación menor puede producir ruido audible. La frecuencia de conmutación puede modificarse de acuerdo con la aplicación, pero en algunas unidades puede ser necesario cierto factor de corrección (según lo descrito en el manual).

*El ruido acústico generado posee una frecuencia que es dos veces la frecuencia de conmutación, salvo en el caso de cargas ligeras donde existe cierto contenido de frecuencia fundamental. Por consiguiente, una frecuencia de conmutación de 8 kHz normalmente será inaudible.*

#### 5.8.9 Elevación de Tensión. P078 y P079

Conforme a lo descrito anteriormente, la tensión de salida es baja a frecuencias de salida bajas para poder mantener constante el nivel de flujo de campo en el motor. Sin embargo, la tensión puede ser demasiado baja como para superar las pérdidas en el sistema. Se puede aumentar la tensión a través del parámetro P078. El parámetro P079 solamente producirá un aumento durante la aceleración y por lo tanto, es útil para un torque adicional durante el arranque. Dicha elevación de tensión no tiene algún efecto durante la operación vectorial debido a que el VFD calcula continuamente las condiciones de operación óptima. El parámetro P078 viene configurado a 100% desde la fábrica.

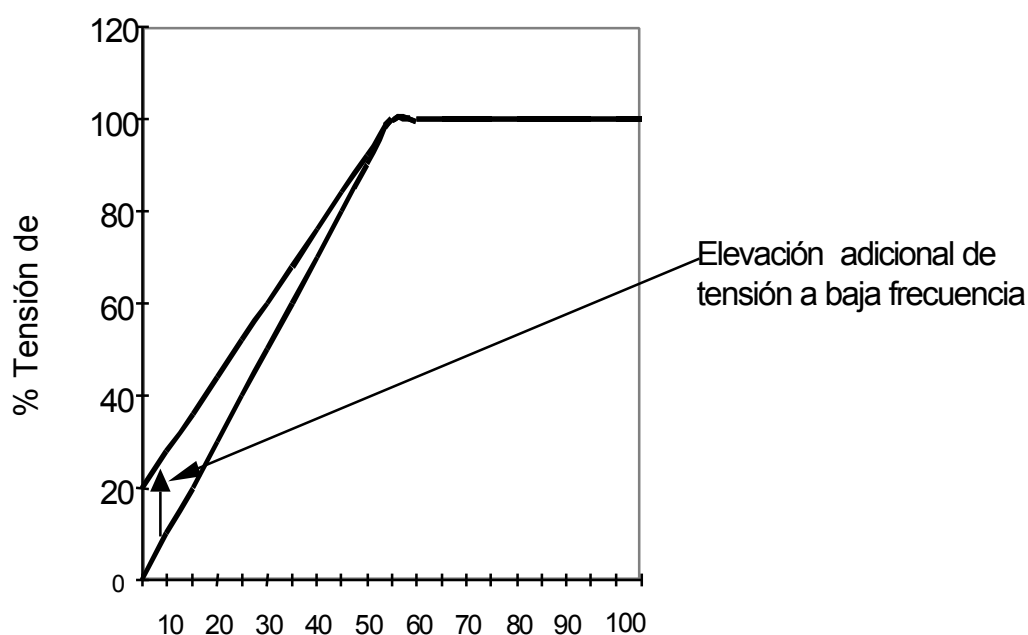
La suma del parámetro P078 más el parámetro P079 se limita a 250%.

*La cantidad de elevación de tensión se calcula a partir del valor de resistencia del estator (P089) y el valor de la Corriente Nominal (P083), por lo que:*

$$\text{Aumento de Tensión} \times (P078 + P079) = P083 \times P089.$$

*Es decir, si  $P078 + P079 = 100\%$ , el nivel de elevación será suficiente para suministrar una corriente nominal al estator, incluso a una frecuencia de cero. Arriba de la frecuencia cero, los niveles de elevación se reducen conforme se alcanza la velocidad nominal.*

*Lo anterior significa que si se modifica el parámetro P083 ó P089, también se modificará la elevación de tensión.*



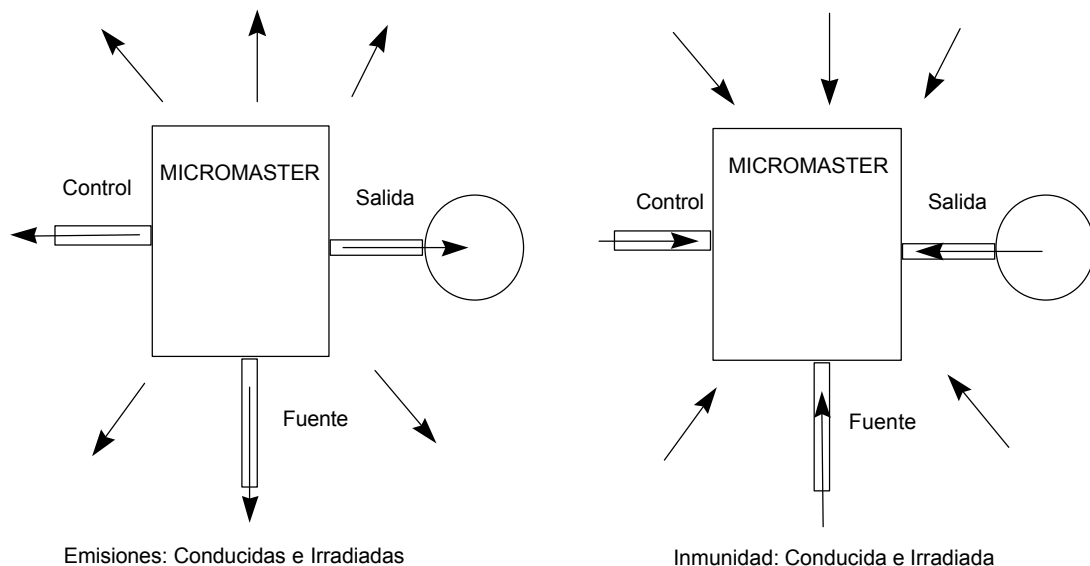
### 5.8.10 Interfaz Serial P910

Se puede controlar el VFD a través de una interfaz serial utilizando un conector tipo "D" en el panel frontal. El Panel de Operación (OPm2) y el módulo *Profibus* también pueden utilizar este conector y la interfaz serial. En la sección 10 se encuentra descrita con detalle la interfaz serial.

## 6. Compatibilidad Electromagnética (EMC)

### 6.1 ¿Qué significa EMC?

Todos los equipos electrónicos y eléctricos generan señales no deseadas. Dichas señales pueden emitirse desde el equipo a través de cables que están conectados al mismo (entrada, salida, señal, etc.) o a través de "radiación electromagnética". Estas señales pueden ser recibidas por otros equipos (a través de las mismas rutas) y pueden interferir con el correcto funcionamiento del producto.



Cualquier producto produce en particular cierto nivel de emisiones y tiene cierto nivel de inmunidad contra señales entrantes de otros equipos. Si la inmunidad de todos los equipos es mayor que sus emisiones, todo está en perfecto estado, pero si este no es el caso, pueden presentarse graves problemas que ocasionen problemas de calidad, daños o en casos extremos, hasta lesiones.

La Compatibilidad Electromagnética (EMC) se refiere a la forma en que el equipo funciona conjuntamente; la Interferencia Electromagnética (EMI) se refiere en sí a las señales no deseadas.

La EMI recientemente se ha convertido en un problema más grave debido a que cada vez se usan más sistemas electrónicos (que resultan tener menos inmunidad) en aplicaciones industriales y a que los productos electrónicos de

potencia, como los accionamientos, generan señales de alta frecuencia que producen altos niveles de interferencia.

## **6.2 Cómo reducir al mínimo el problema de EMI**

Actualmente, se tiene un mejor entendimiento de EMI y EMC que en años anteriores y la mayoría de los fabricantes de equipo electrónico tienen el cuidado durante el diseño e instalación para reducir al mínimo las emisiones y maximizar la inmunidad. Los Variadores Siemens han sido cuidadosamente diseñados teniendo esto en mente y se pueden especificar filtros opcionales (ya sea integrados o como una opción externa) para reducir las emisiones en la fuente.

Antes de poder describir las soluciones prácticas para EMI, es importante entender los problemas prácticos asociados con la EMC y los Variadores.

- La salida de todos los Variadores genera alta frecuencia, formas de onda de conmutación de alta frecuencia, en los cables de salida entre el motor y el VFD.
- Gran cantidad de la EMI se presenta a alta frecuencia. La forma y longitud del cable, a altas frecuencias, tiene un gran efecto sobre su impedancia. Por consiguiente, los conductores trenzados gruesos de poca longitud serán más eficaces en puestas a tierra y se requerirá de cable blindado de alta calidad, puesto a tierra en ambos extremos, para limitar los efectos sobre los conductores de señales..
- Si el equipo está erróneamente puesto a tierra, es posible que altos niveles de EMI se conecten de la parte de potencia del equipo hacia las conexiones de control. Efectos similares pueden presentarse cuando además el equipo es puesto a tierra inadecuadamente y EMI es conducida a través de los cables de control.
- Se requiere cuidado especial cuando el equipo se usa con sensores de señales bajas, como por ejemplo, celdas de carga y sensores capacitivos.
- Es más probable que la interferencia conducida genere más problemas que la interferencia irradiada.
- Generalmente, los terminales de control y señalización en cualquier sistema electrónico son de baja tensión, alta impedancia y por consiguiente, son particularmente sensibles al alto nivel de EMI presente en los sistemas industriales.
- Las cargas inductivas de conmutación, como frenos electromecánicos, relevadores y bobinas de contactores, generan bastante EMI.

### **6.2.1 Inmunidad y Prueba de Inmunidad**

La inmunidad es muy importante debido a daños y disparos innecesarios que generarán costos por interrupción y de servicio, independientemente de la fuente de la falla. Por consiguiente, las pruebas realizadas durante el desarrollo del producto son bastante estrictas y representan condiciones reales en la industria.

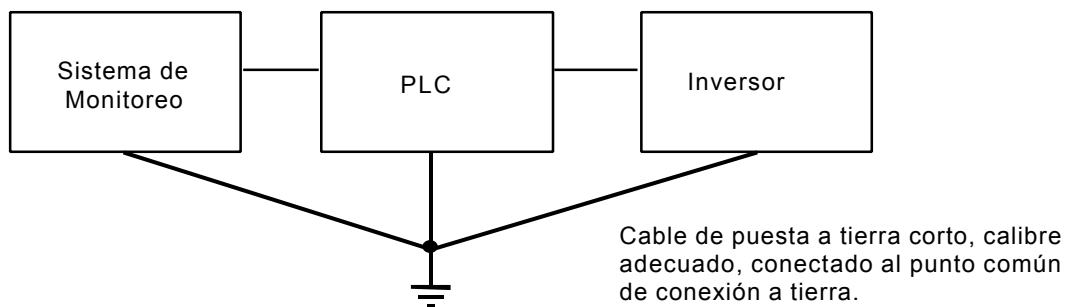
Algunas de las pruebas son:

- Prueba de Descarga Electrostática de todas las superficies expuestas, terminales y botones que utilicen pistola de descarga de alta tensión. Dicha prueba simula el efecto de la descarga de un cuerpo humano con carga electrostática derivada de una alfombra, por ejemplo.
- Descargas de frecuencia muy elevada de alta tensión acopladas capacitativamente en las líneas de control. Esta prueba simula la interferencia que se acopla de la conmutación de potencia (contactores, etc.) en las terminales conductores de control.
- Descargas similares directamente en las terminales de alimentación, línea a línea y línea a tierra. Esta prueba simula la interferencia conducida derivada de la apertura o cierre de contactos en otros equipos.
- Interferencia de frecuencia más baja de alta energía en las terminales de alimentación, línea a línea y línea a tierra. Esta prueba simula la interferencia producida por un relámpago y disturbios similares en la alimentación.

### 6.2.2 Lineamientos sobre EMC

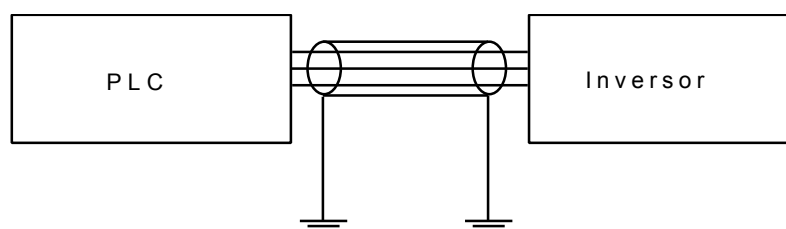
El manual contiene los lineamientos detallados sobre instalación y cableado, pero a continuación presentamos los puntos clave:

1. Asegurar que todo el equipo en el cubículo esté puesto a tierra adecuadamente, utilizando un cable de conexión a tierra corto y del calibre adecuado. Poner a tierra el equipo de control de la misma forma en el mismo punto de tierra. La puesta a tierra en estrella ilustrada es ideal, pero es aceptable una barra conductora siempre y cuando esté puesta a tierra correctamente.



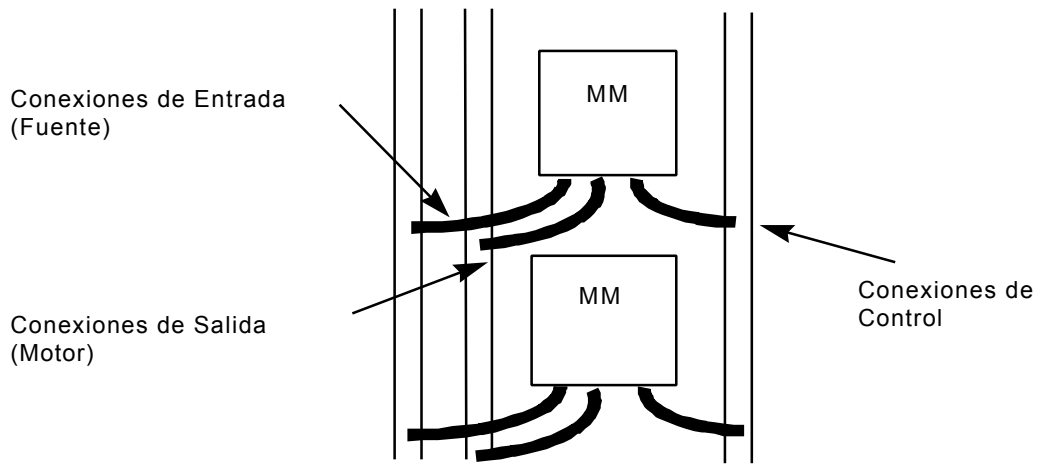
Puesta a tierra en estrella

2. Utilizar conductores blindados en las conexiones hacia el conjunto de circuitos de control. Poner a tierra el blindaje de ambos extremos.



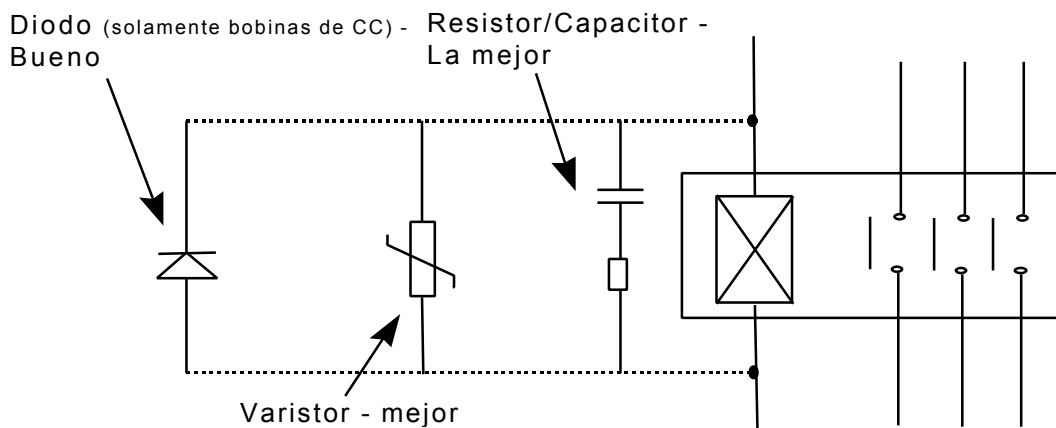
Blindado de Cables de Control

3. Separar lo más que se pueda los cables de control de las conexiones de fuerza (por ejemplo, conexiones de la fuente y del motor) utilizando una canalización separada, etc.



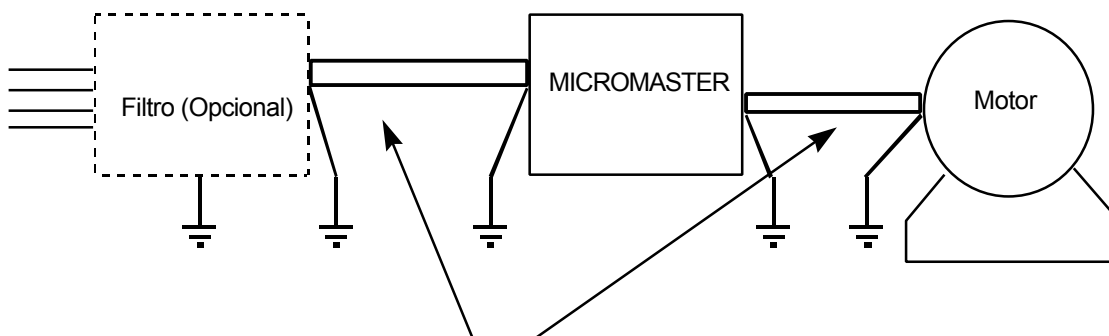
Conexiones de control y fuerza en Canalizaciones Separadas

4. Proteger los relevadores, bobinas de contactor, etc., utilizando una conexión resistor-capacitor, diodo volante o varistores instalados en las bobinas.



Supresores de Tensión en las Bobinas de Contactor

5. Utilizar cables blindados o apantallados para las conexiones de fuerza; aterrizar ambos extremos del blindaje.



Cable blindado o apantallado— Puesto a tierra en ambos extremos



6. Considerar el uso de un filtro RFI en la alimentación hacia el VFD.

7. Considerar la conexión de la referencia 0V del VFD al punto de aterrizaje. Lo anterior con frecuencia puede reducir el ruido en el sistema de 0V.

### **6.3 Reglas y Regulaciones de la Compatibilidad Electromagnética**

Los reglamentos referentes a la EMC son complejos, variables y distintos de un país a otro. El punto más importante es recordar que si no existe algún problema es poco probable que surja alguna cuestión legal y en cualquiera de los casos más vale prevenir (y es menos costoso) que lamentar.

#### **6.3.1 Reglamentos Europeos**

Las reglas en Europa son complejas porque dependen del tipo de producto, la forma de venta y la persona que lo instale.

Las leyes que entraron en vigencia a partir del primero de enero de 1996 se diseñaron para controlar las emisiones e inmunidad de muchos tipos de equipo eléctricos y electrónicos para aplicaciones tanto industriales, como domésticas. Dichas leyes están contenidas en la directriz EEC/89/336 sobre EMC que se refiere a una gran cantidad de normas europeas (como por ejemplo, EN55011, EN55022, etc.) para establecer los niveles requeridos.

Sin embargo, recientemente se introdujo la norma individual sobre productos para EMC (EN 61800-3) que invalida dichas normas con respecto a productos de accionamientos. Este también es un reglamento complejo, pero en sí define dos "ambientes": Doméstico e Industrial, básicamente; y dos métodos de distribución: Restringido y Sin Restricciones.

Distribución restringida significa que el producto es vendido a un cliente con cierta suficiencia con respecto a EMC. Esencialmente no existen límites para la distribución restringida y las instalaciones industriales con respecto a los niveles de emisión. En el caso de instalaciones domésticas, los niveles Clase A1 ó B1 son aplicables a la distribución Restringida y Sin Restricciones, respectivamente.

Debido a que los MICROMASTER son vendidos a través de distribución restringida para aplicaciones industriales, ningún límite sobre emisiones es aplicable; sin embargo, es posible que los clientes requieran que los MICROMASTER, o la instalación o equipo final, cumplan con otras especificaciones como la directriz sobre EMC. En la práctica, y debido a lo anterior, la mayoría de los MICROMASTER de baja tensión se venden en Europa con un filtro integrado.

## 7. Algunas Aplicaciones Reales

Los ejemplos a continuación descritos se basan en aplicaciones donde se han instalado Accionamientos Siemens con gran éxito. En algunos casos, se simplificó el conjunto de circuitos, así como los valores de los parámetros.

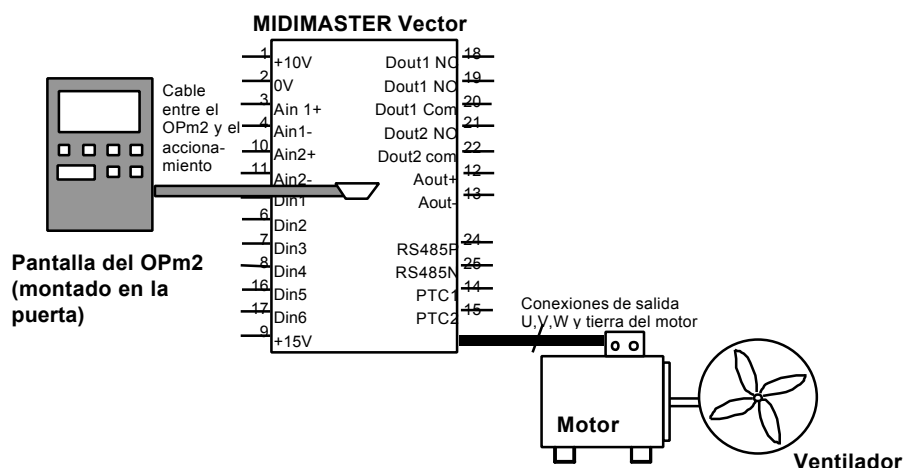
### 7.1 Aplicación Sencilla: Ventilador

Esta aplicación utiliza un MIDIMASTER para controlar un ventilador en una aplicación donde el ajuste de este último es manual. Mediante el uso del Panel de Operación OPm2, montado en la puerta del cubículo, se logra una solución de control sencilla sin necesidad de cableado adicional. El operador posteriormente puede ajustar la velocidad del ventilador de acuerdo con los requerimientos de ventilación con sólo oprimir algunos botones del panel.

#### 7.1.1 Ventajas

- A frecuencias menores de 50 Hz existe un significativo ahorro de energía. La potencia es proporcional al cubo de la velocidad, así que la reducción de frecuencia a 45 Hz generará un ahorro de aproximadamente 30%. Los sistemas mecánicos ofrecen ahorros mínimos o nulos.
- Se reduce el ruido acústico cuando se hace funcionar el ventilador por debajo de la velocidad nominal.
- El montaje completo puede ofrecer la protección IP54 cuando el MIDIMASTER es montado en un cubículo adecuado.
- El Panel de Operación (OPm2) ofrece una solución sencilla de control; no se requiere de etiquetas en el panel, interruptores adicionales, etc.
- Se puede habilitar fácilmente el control de lazo cerrado a través del controlador PID ubicado en la tarjeta..

#### 7.1.2 Detalles de la Aplicación



Especificaciones del Sistema:

Motor	Motor de inducción trifásico, 25 HP (18.5 kW), 400V.
Sistema de Control	Panel de control frontal.
Accionamiento	MIDIMASTER Vector 6SE32, 20/25 HP (15/18.5 kW), 400V.

Interfaz de Control del Accionamiento

Teclado de control con arranque, parada y potenciómetro motorizado (funciones de cambio de rotación y marcha lenta desactivadas).

### 7.1.3 Detalles de los Parámetros Clave:

Parámetro	Valor	Descripción
P006	2	Potenciómetro motorizado activado. Esto permite el uso de los botones del OPm2 para controlar la velocidad.
P009	3	Permite el acceso a todos los parámetros del equipo.
P011	1	Configuración del potenciómetro motorizado almacenada durante la desconexión de energía. El VFD volverá a arrancar a la frecuencia seleccionada previamente.
P016	3	Arranque volante horario activado. Esto garantiza que si el ventilador está girando, el VFD detectará su velocidad y arrancará nuevamente a la velocidad deseada.
P077	2	Curva cuadrática V/f seleccionada. La selección de esta opción permite una salida continua más elevada, pero limita la capacidad de sobrecarga del equipo. La curva cuadrática también reduce el consumo de energía debido a que éste es optimizado para las aplicaciones de ventiladores y bombas.
P122	0	Tecla de cambio de rotación desactivada. No se requiere la función de cambio de rotación.
P123	0	Tecla de marcha lenta desactivada.
P125	0	Dirección inversa desactivada.

Observar que en este caso se utilizan los valores de fábrica de las velocidades mínima y máxima ((0 – 50 Hz).

En la pantalla aparece toda la información requerida como la velocidad, corriente y estado del accionamiento.

Si llegara a existir resonancia en el sistema, ésta puede eliminarse mediante el uso de las bandas de frecuencias omitidas P014, P027, P028 y P029.

## **7.2 Control de Lazo Cerrado utilizando un Ventilador**

La aplicación utiliza un MIDIMASTER de 100/125 HP (75/90 kW) que acciona un motor de 125 HP (90 kW), acoplado al ventilador del extractor principal de una

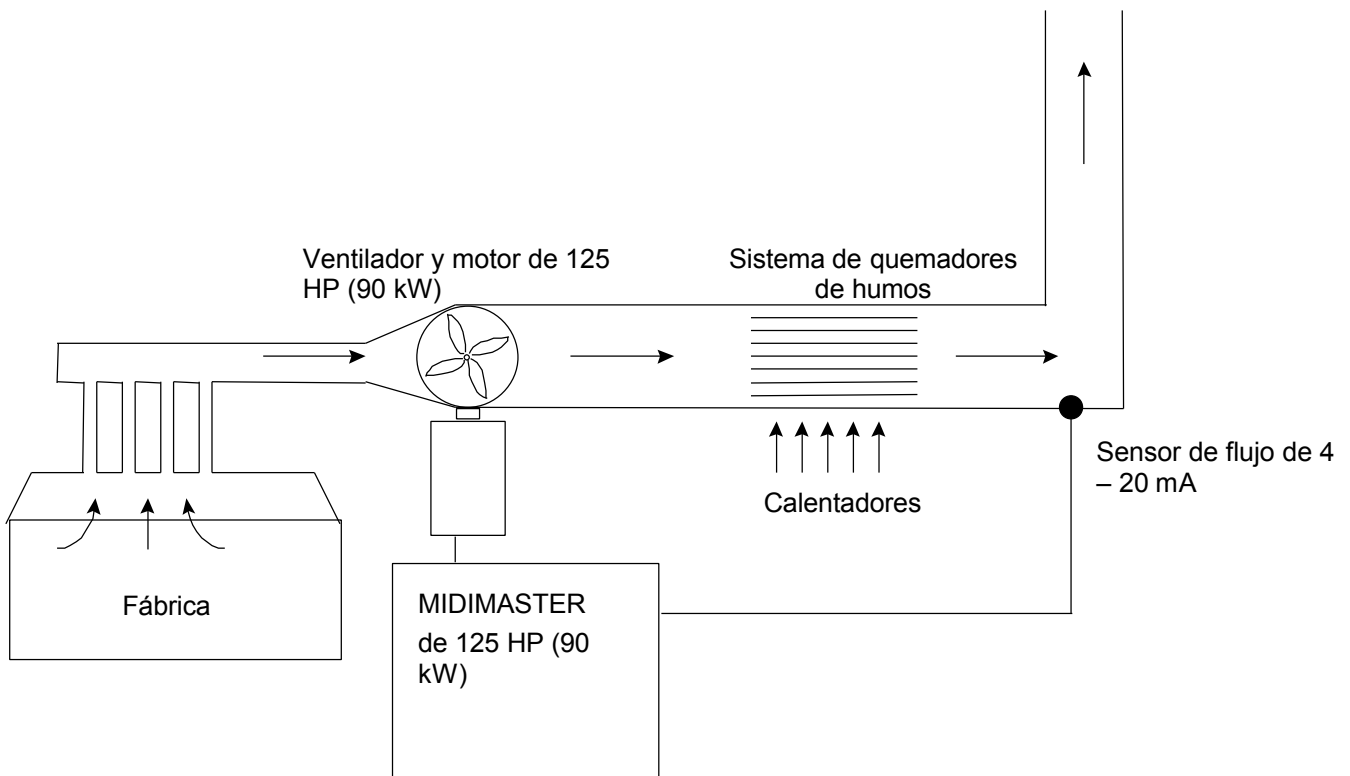
planta de productos químicos. El extractor mantiene una velocidad de flujo constante midiendo el flujo corriente abajo de un sistema de quemadores. El MIDIMASTER está instalado en un cubículo cercano al sistema de ventilación y se utiliza una señal sencilla de operación/parada como medio de control.

### 7.2.1 Ventajas

- Ahorros de energía muy significativos en comparación con la operación a velocidad fija.
- Mejor control de proceso; en este caso, menor contaminación debido a que el quemador opera a su máxima eficiencia.
- PID integrado, lo cual significa que no se requieren controladores adicionales, etc.
- No se requiere ajuste manual; sencillas órdenes de operación/parada.

### 7.2.2 Especificaciones del Sistema

Motor	Motor de inducción trifásico, 4 polos, 125 HP (90 kW), 420V.
Sistema de Control	Sistema PID de lazo cerrado.
Sensor	Sensor de velocidad de flujo de 4 –20 mA.
Accionamiento	MIDIMASTER Vector 6SE32 100/125 HP (75/90 kW) 400V.



Sistema de Extractores con Control de Flujo de Bucle Cerrado

### 7.2.3 Detalles de los Parámetros Clave

Parámetro	Valor	Descripción
P006	0	Valor de referencia digital preestablecido en el MIDIMASTER. Normalmente no se requiere ajuste manual.
P007	0	Control a través de las terminales de entrada; teclado frontal desactivado.
P009	3	Permite el acceso a todos los parámetros del equipo.
P012	10	Velocidad mínima del ventilador.
P013	30	Velocidad máxima del ventilador.
P025	100	Salida analógica de 4 – 20 mA que indica la frecuencia de salida. Esta señal se emplea como parte del sistema general de administración de la fábrica.
P077	2	Curva cuadrática V/f seleccionada. La selección de esta opción permite una salida continua más elevada, pero limita la capacidad de sobrecarga del equipo. La curva cuadrática también reduce el consumo de energía debido a que éste es optimizado para las aplicaciones de ventiladores y bombas.
P080-85	***	Valores de acuerdo con el motor.
P089	0.06	Resistencia del estator; motor grande, baja resistencia.
P201	1	PID activado. Los siguientes parámetros proporcionan la mejor estabilidad general en esta aplicación en particular.
P202	0.3	Ganancia P.
P203	0.06	Ganancia I.
P204	0	Ganancia D.
P205	1	Intervalo de muestra.
P206	0	Filtración del sensor.
P207	100	Rango de captura integral.
P208	1	Tipo de sensor.
P211	25	Valor de referencia de 0%
P212	80	Valor de referencia del 100%.
P220	1	Apagado bajo frecuencia mínima.
P323	1	PID de 4–20mA (entrada analógica 2) según con el transductor de flujo.

### 7.3 Control de la Operación de Puertas de un Elevador

Las puertas de un elevador necesitan cerrarse a diversas velocidades, arrancando lentamente, acelerando rápidamente y disminuyendo su velocidad conforme alcanzan el cierre. En este caso, las puertas se mantienen cerradas debido a que el motor opera a baja frecuencia a una velocidad cero. La carga puede variar considerablemente debido a los cambios mecánicos cuando el elevador se mueve, y a variaciones en el peso de la puerta cuando las puertas externas son puestas en operación también. Se ha obtenido muy buenos resultados con el uso de microinterruptores para seleccionar varias velocidades.

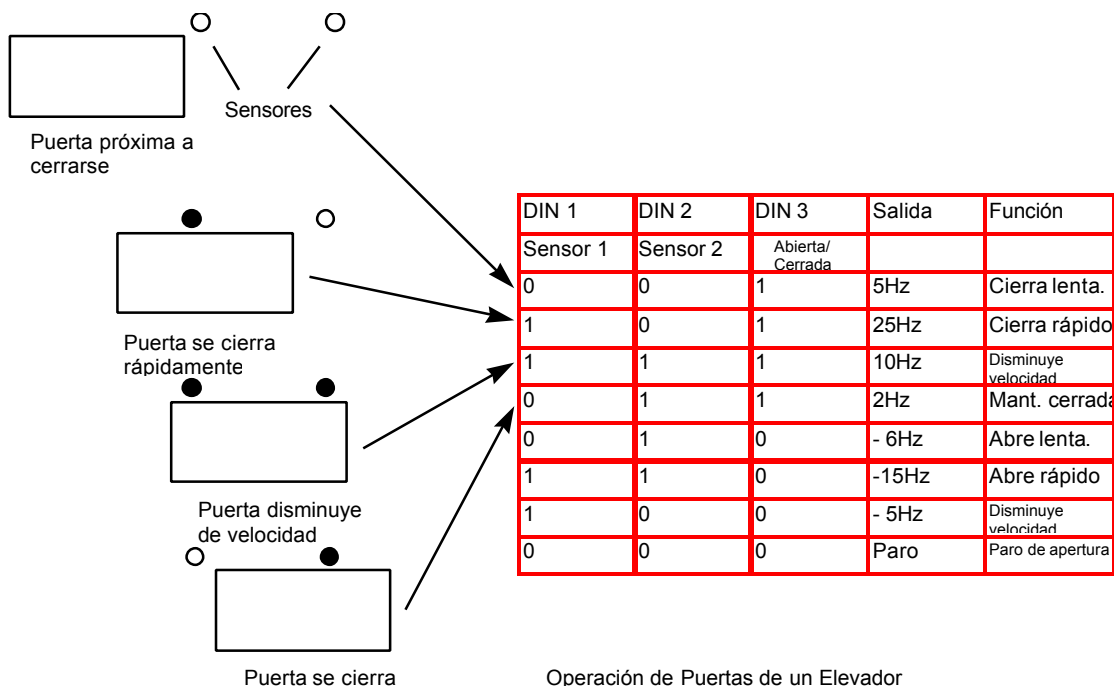
#### 7.3.1 Ventajas

- Sistema muy sencillo que proporciona el perfil deseado de velocidad. Las puertas operan sin problemas y de manera silenciosa.
- El torque a velocidad cero mantiene las puertas cerradas.
- Se puede ajustar fácilmente el perfil de velocidad.

#### 7.3.2 Especificaciones del Sistema

Motor	Motor de inducción trifásico, 4 polos, 1 HP (0,75 kW), 230V. Sobredimensional sin ventilador externo, lo cual permite la operación a velocidad cero.
Sistema de Control	Dos microinterruptores que seleccionan frecuencias fijas; señal de abierto/cerrado en la tercera entrada digital.
Accionamiento	MICROMASTER 6SE92, 1 HP ( 750 W) 230V.

Nota : Los siguientes diagramas y tablas corresponden a la configuración y parámetros empleados en el MICROMASTER; la configuración para el MICROMASTER Vector puede ser distinta.



### 7.3.3 Detalles de los Parámetros Clave

Observar que se requiere la selección cuidadosa de las entradas para asegurar que sea posible la combinación correcta de las frecuencias horarias y antihorarias.

Parámetro	Valor	Descripción
P006	2	Frecuencias fijas seleccionadas.
P007	0	Control a través de las terminales de entrada; teclado frontal desactivado.
P009	3	Permite el acceso a todos los parámetros del equipo.
P041	- 5	Frecuencia Fija 1. La configuración de los siguientes parámetros permite la selección de una gama compleja de frecuencias fijas, horarias y antihorarias, utilizando solamente las entradas de los dos microinterruptores y la señal de abierto/cerrado. La selección de la combinación correcta de frecuencias horaria y antihoraria y hacia atrás es un poco compleja.
P042	-6	Frecuencia Fija 2.
P043	- 15	Frecuencia Fija 3.
P044	5	Frecuencia Fija 4.
P045	6	Frecuencias Fijas 1, 2 y 3 antihorarias.
P046	+25	Frecuencia Fija 5.
P047	+2	Frecuencia Fija 6.
P048	+10	Frecuencia Fija 7.
P050	0	Frecuencias Fijas 5, 6, 7 horarias.
P053-5	17	Selección binaria de frecuencias fijas.
P080-85	***	Configuración de acuerdo con el motor.

### 7.4 Un Sistema de Elevación para Aplicaciones Industriales

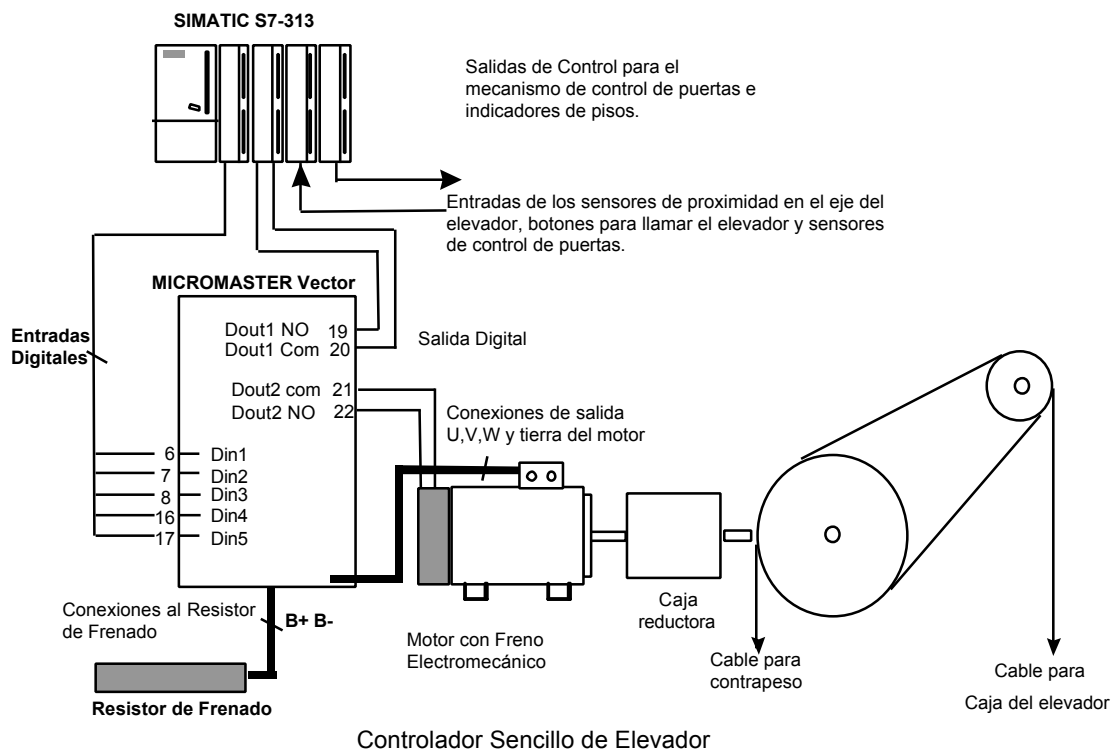
Un sistema de elevación que incorpora un controlador SIMATIC y un MICROMASTER Vector opera un sistema de elevación sencillo. Se incluye un resistor de frenado para proporcionar el frenado regenerativo para el sistema. El motor acciona el elevador y contrapeso a través de una caja reductora.

### 7.4.1 Ventajas

- El desempeño del MICROMASTER Vector asegura un torque excelente a baja velocidad, buena respuesta de la carga transitoria y fijación de la velocidad independiente de la carga.
- El MICROMASTER Vector ofrece 200% de sobrecarga durante un máximo de tres segundos; esencial para un arranque y aceleración sin problemas.
- Atenuación de rampas para brindar una aceleración y desaceleración controladas.
- Control de resistor de frenado integrado; resistor de frenado externo de bajo costo.
- La entrada digital externa puede controlar el frenado de CC, permitiendo el control preciso de frenado y fijación antes de aplicar el freno mecánico.
- Se puede controlar el freno mecánico utilizando el relevador integrado en el MICROMASTER.

### 7.4.2 Especificaciones del Sistema

Motor:	Motor de inducción trifásico, 10 HP (7.5 kW), 400V, con freno electromecánico.
Sistema de Control:	PLC SIMATIC S7-313 con Módulos de E/S, 64 entradas digitales y 32 salidas digitales.
Accionamiento:	MICROMASTER Vector 6SE32 , 10 HP (7.5 kW), 400V.
Interfaz de Control del Accionamiento:	Control de entrada digital con operación horaria, antihoraria, 2 frecuencias fijas y activación de frenado de CC.





En ejemplo ilustrado, se utiliza un MICROMASTER Vector en un sistema de elevación pequeño (3 pisos).

Se emplea un resistor de frenado para mejorar el desempeño de parada del sistema del elevador.

Existen dos frecuencias fijas: 15 Hz que equivale a 1 m/s y 3.5 Hz para el momento en que el elevador está por llegar a un parada.

Los tiempos de rampa son 3 segundos con 0.7 segundos de atenuación de rampa.

El control se ejerce sobre las entradas digitales que se utilizan para seleccionar la dirección de operación (Din1, Din2), la frecuencia fija (Din4, Din5) y en este caso, la activación del freno por inyección de CC (Din3).

Uno de los relevadores de salida se utiliza para operar el freno del motor y el otro está configurado para informar las fallas al controlador del elevador.

Después de liberar el freno del motor, el freno de CC es liberado y el elevador se acelera a lo largo del eje hasta alcanzar su velocidad de operación a 15 Hz.

Existen sensores de proximidad en el eje del elevador que están conectados al PLC y los cuales informan al sistema que la caja del elevador está por llegar a un piso y que debe disminuir la velocidad y posteriormente pararse.

Cuando la caja pasa frente al primer sensor de proximidad, el elevador se desacelera hasta su velocidad más baja. Cuando pasa frente al segundo sensor, el elevador para y se vuelve a aplicar el freno del motor.

Se seleccionó un SIMATIC S7-313 como controlador con desempeño y capacidad de expansión para manejar todas las E/S de los sensores de proximidad, interruptores de petición en el elevador y pisos, indicadores, etc.

El freno del motor debe equiparse con un supresor adecuado o ser controlado a través de un contactor, en cuyo caso ambos deberán ser protegidos con supresores de picos de voltaje.

#### 7.4.3 Configuración de los Parámetros Clave.

Parámetro	Valor	Descripción
P002	3	Aceleración
P003	3	Desaceleración.
P004	0.7	Atenuación de rampa.
P006	2	Operación a frecuencia fija.

P007	0	Control a través de las terminales de entrada; panel frontal desactivado.
P009	3	Permite el acceso a todos los parámetros del equipo.
P012	2	Frecuencia Mínima de Salida.
P041	15	Frecuencia Fija 1 a través de DIN 5.
P042	3.5	Frecuencia Fija 2 a través de DIN 4.
P051	1	Marcha horaria a través de DIN 1.
P052	2	Marcha antihoraria a través de DIN 2.
P053	15	Activación del Frenado de CC a través de DIN 3.
P054	6	Frecuencia Fija 2 a través de DIN 4.
P055	6	Frecuencia Fija 1 a través de DIN 5.
P061	4	Relevador de Salida 1 – Opera el Freno Externo.
P062	6	Relevador de Salida 2 – Indicación de falla.
P063	0.5	Freno aplicado durante 0.5 seg antes del arranque.
P064	1.0	Freno aplicado durante 1.0 seg antes del parada. Estos relevadores aseguran que el motor sea controlado totalmente y se genere torque antes de la liberación o aplicación una vez más del freno.
P070	3	Ciclo de trabajo del resistor de frenado al 50% (de acuerdo con el resistor). Con un resistor de gran tamaño es posible operar con un ciclo de trabajo pesado. Sin embargo, si se emplea un resistor pequeño es necesario tener cuidado al momento de configurar este parámetro.
P075	1	Resistor de frenado activado.
P077	3	Modalidad del Control Vectorial sin Sensores de Retroalimentación. La obtención del control vectorial necesario sin sensores de retroalimentación de baja velocidad es esencial en esta aplicación.
P080-85	***	Valores de acuerdo con el motor.

## 7.5 Aplicación en Cinta Transportadora con varios MICROMASTER

Se utilizan MICROMASTER para controlar cintas transportadoras de longitud reducida. Cada una de las cintas se emplea como un punto de fijación mientras los productos son clasificados; los productos avanzan mediante la aceleración rápida de las cintas transportadoras sujetas al control de la computadora.

### 7.5.1 Ventajas

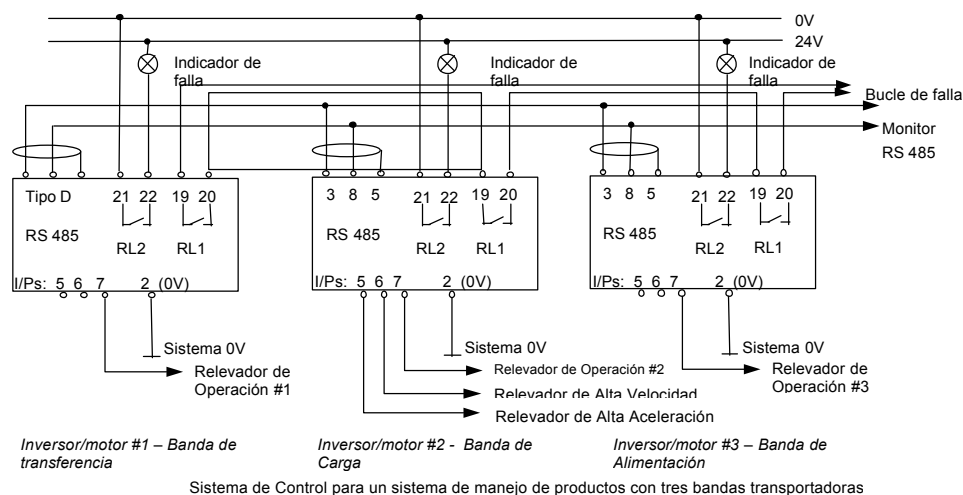
- Las velocidades controladas de aceleración aseguran que el producto avance lo más rápido posible sin ser dañado.
- No existe arranque a tensión plena del motor, ni sacudidas o corriente de arranque elevada.
- Se puede monitorear continuamente tanto el estado del accionamiento, como los parámetros a través de la interfaz serial.
- Se puede modificar la configuración a través de la interfaz serial.
- Su reducido tamaño permite que el sistema de control pueda montarse debajo de la cinta transportadora y cerca del motor.

### 7.5.2 Especificaciones del Sistema

Motor:	Motor de inducción trifásico, 1 HP (0,75 W), 400V.
Sistema de Control:	Sistema de computación especial que se comunica con el controlador central.
Accionamiento:	MICROMASTER Vector 6SE32, 1 HP (750 W), 400V.
Interfaz de Control del Accionamiento:	Control de entradas digitales con 1 ó 2 frecuencias fijas, selección alterna de velocidad de rampa, relevadores de salida.

### 7.5.3 Detalles de la Aplicación

Se utilizan un máximo de cinco variadores y motores en cinco bandas transportadoras y un controlador local. En el diagrama siguiente se ilustran tres de los mismos. La computadora se utiliza para establecer los parámetros y monitorear la operación del accionamiento. El control real y monitoreo de fallas se lleva a cabo a través de las entradas digitales y salidas de los relevadores.



#### 7.5.4 Configuración de los Parámetros Clave

Parámetro	Valor	Descripción
P002	0.6	Aceleración.
P003	0.6	Desaceleración. La desaceleración rápida es posible con esta configuración.
P006	002	Marcha a frecuencia fija.
P007	000	Control a través de las terminales de entrada; panel frontal desactivado.
P009	003	Permite el acceso a todos los parámetros del equipo.
P013	110	Frecuencia Máxima de Salida. La operación a alta velocidad es posible en ciertas circunstancias.
P033	0.3	Marcha lenta (alterna) de aceleración.
P034	0.3	Marcha lenta (alterna) de desaceleración.
P044	40	Frecuencia fija 4.
P046	45	Frecuencia fija 5.
P051	18	Marcha a la frecuencia fija 5.
P052	18	Marcha a la frecuencia fija 4.
P053	16	Uso de los tiempos de rampa en marcha lenta.
P062	6	Relevador de Salida 2 – Indicación de falla.
P077	3	Modalidad de control vectorial sin sensores de retroalimentación.
P080-85	***	Configuración de acuerdo con el motor.
P910	4	Control local, pero lee e introduce valores en los parámetros.

Si se configuran los parámetros P051 y P052 a 18, el accionamiento arrancará y operará a la frecuencia seleccionada.

## 7.6 Una Aplicación donde se Manejan Materiales

Se emplean varios MICROMASTER para manejar planchas de piezas grandes y frágiles de material. El sistema se controla a través de un Controlador Lógico Programable (PLC) utilizando las entradas digitales y analógicas. Se utilizan los relevadores para monitorear el estado del VFD y controlar el Frenado de CC.

### 7.6.1 Ventajas

- Freno electromecánico controlado directamente desde el VFD con control a prueba de fallas.
- Fácil configuración y monitoreo de las salidas analógicas y digitales del PLC.
- La entrada PTC se puede emplear para monitorear la temperatura del motor y evitar daños al mismo; en este caso, un interruptor de sobrettemperatura, en lugar de un PTC, detecta el sobrecalentamiento.
- La elevación de tensión durante la aceleración asegura un torque conveniente a baja velocidad.
- La operación de atenuación con velocidades controladas de rampa asegura que el material no sufra daños durante el manejo.

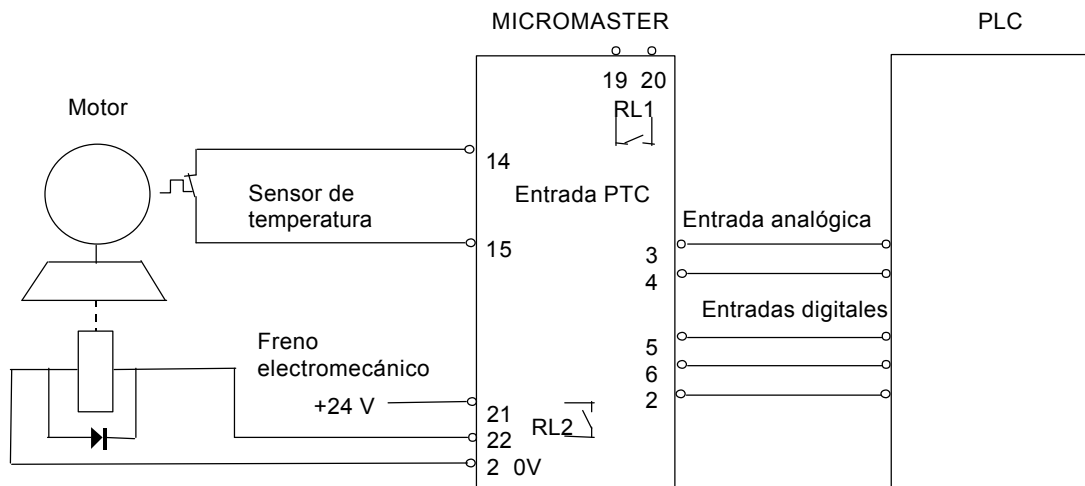
### 7.6.2 Especificaciones del Sistema:

Motor: Motor de inducción trifásico, 0.75 HP (0.55 kW), 230V.  
 Sistema de Control: Controlador Lógico Programable (PLC).  
 Accionamiento: MICROMASTER Vector 6SE32, 0.75 HP (0.55 kW), 230V.

Interfaz de Control del Accionamiento: Control de entradas analógicas, indicación de fallas a través de los relevadores de salida, control de freno, protección de temperatura del motor.

### 7.6.3 Detalles de la Aplicación

Cada una de las máquinas se controla mediante un PLC que, a su vez, controla el VFD a través de una entrada analógica y los controles digitales.



Conexiones de control para Manejo de Material

#### 7.6.4 Configuración de los Parámetros Clave

Parámetro	Valor	Descripción
P002	0.3	Aceleración,
P003	0.3	Desaceleración.
P006	001	Control de frecuencia de la entrada analógica.
P007	000	Control a través de las terminales de entrada; panel frontal desactivado.
P009	003	Permite el acceso a todos los parámetros del equipo.
P013	100	Frecuencia Máxima de Salida. Este amplio rango de velocidades es posible debido a que los requerimientos de torque no son excesivos a alta velocidad.
P022	100	Frecuencia Máxima Analógica.
P051	2	Marcha antihoraria.
P052	1	Marcha horaria.
P061	6	Relevador de Salida 1: indicación de falla.
P062	4	Relevador de Salida 2: control del freno. Con este parámetro, el control del freno opera de inmediato cuando los parámetros P063 y P064 son configurados a 0.
P063	0	Tiempo de liberación del freno.
P064	0	Tiempo de parada del freno.
P078	0	Elevación continua de tensión. En esta aplicación, la elevación de tensión al arranque (P079) resultó ser más útil que la elevación continua.
P079	100	Elevación de tensión al arranque.
P080-85	***	Configuración de acuerdo con el motor.
P087	1	PTC activado. El interruptor detector de temperatura utiliza esta entrada.

## 7.7 Una Máquina de Lavado Industrial

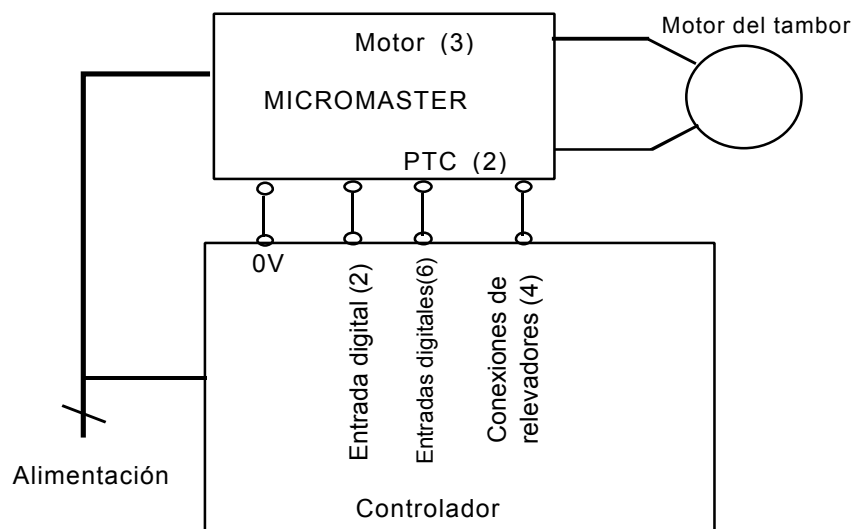
Se emplea un MICROMASTER para controlar el motor del tambor principal en una máquina de lavado industrial de gran tamaño. La amplia gama de velocidades permite controlar las velocidades de los ciclos de lavado y centrifugado.

### 7.7.1 Ventajas

- El control vectorial a baja velocidad proporciona un excelente desempeño y control consistente de la velocidad durante el ciclo de lavado.
- Las velocidades de rampa seleccionables permiten distintas velocidades de rampa durante el ciclo de centrifugado.
- Filtro EMC integrado para aplicaciones industriales suaves.
- Arranque y marcha suaves.
- Protección del motor utilizando PTC.
- Adición analógica que se emplea para ajustar la velocidad.

### 7.7.2 Especificaciones del Sistema

Motor:	Motor de inducción trifásico, 1 HP (0.75 kW), 230V.
Sistema de Control:	Sistema de control con microprocesador integrado.
Accionamiento:	MICROMASTER Vector 6SE32, 1 HP (0.75 kW), 230V.
Interfaz de Control del Accionamiento:	Controles de entradas analógicas y digitales, indicación de fallas a través de los relevadores de salida, protección de temperatura del motor.



Control del Motor del Tambor de una Máquina de Lavado

### 7.7.3 Detalles de la Aplicación

El sistema de la máquina de lavado se controla a través de un sistema de Microprocesador que controla y selecciona varios ciclos de lavado.

El sistema de control selecciona las frecuencias fijas del MICROMASTER utilizando códigos binarios en las entradas digitales.

Uno de los relevadores se programa para indicar cuando se ha alcanzado el valor de referencia; el otro se utiliza para indicar una falla.

Se conecta un PTC del motor hacia el MICROMASTER para proteger el motor contra sobrecalentamiento. Esto es una posibilidad real debido a que el ciclo de lavado opera a baja frecuencia con carga pesada.

Durante el ciclo de centrifugado, se selecciona una velocidad de rampa más rápida a través de una entrada digital.

Las cargas no balanceadas pueden ocasionar problemas a ciertas velocidades, así que la entrada analógica se utiliza para ajustar la velocidad cuando se detecta un exceso de vibración.

### 7.7.4 Configuración de los Parámetros Clave.

Parámetro	Valor	Descripción
P002	40.0	Aceleración. Velocidades de rampa lentas aquí debido a que la velocidad de rampa se basa en la frecuencia máxima y no se requiere aceleración rápida.
P003	40.0	Desaceleración.
P006	002	Control de frecuencias fijas.
P007	000	Control a través de las terminales de entrada; panel frontal desactivado.
P009	003	Permite el acceso a todos los parámetros del equipo.
P013	170	Frecuencia Máxima de Salida. Elevada para la operación del ciclo de centrifugado.
P022	10	Frecuencia Máxima Analógica. Exclusivamente para ajuste.
P024	001	Adición de valores de referencia. Esto permite que la entrada analógica ajuste la velocidad fija para evitar resonancia.



P033	20	Marcha lenta (alterna) de aceleración. Estas rampas se emplean para el ciclo de centrifugado.
P034	20	Marcha lenta (alterna) de desaceleración.
P041	8	Frecuencia Fija 1 (Lavado 1).
P042	10	Frecuencia Fija 2 (Lavado 2)
P043	40	Frecuencia Fija 3 (Centrifugado Lento)
P044	160	Frecuencia Fija 4 (Centrifugado Rápido)
P046	15	Frecuencia Fija 5 (Clasificación y Separación)
P051	1	Marcha horaria.
P052	2	Marcha antihoraria.
P053	18	Selección de frecuencia fija (en códigos binarios).
P054	18	Selección de frecuencia fija (en códigos binarios).
P055	18	Selección de frecuencia fija (en códigos binarios).
P356	16	Selección de las velocidades de rampa de marcha lenta.
P061	7	Relevador de Salida 1. Valor de referencia alcanzado.
P062	6	Relevador de Salida 2. Indicación de fallas.
P077	3	Operación vectorial sin sensores de retroalimentación.
P080-85	***	Configuración de acuerdo con el motor.
P087	1	PTC activado.

## **7.8 Una Aplicación de una Máquina de Ejercicio**

Una caminadora utiliza un accionamiento de velocidad variable para controlar la velocidad de la banda ejercitadora de caminata lenta a carrera rápida.

### **7.8.1 Ventajas**

- El control vectorial sin sensores de retroalimentación asegura una operación sin problemas, aún cuando la banda opere a baja velocidad con carga pesada.
- La amplia gama de velocidades hace que el motor sea aprovechado al máximo.

- El filtro externo cumple con los requerimientos industriales y domésticos.
- Protección automática del motor derivada del monitoreo continuo de la corriente.

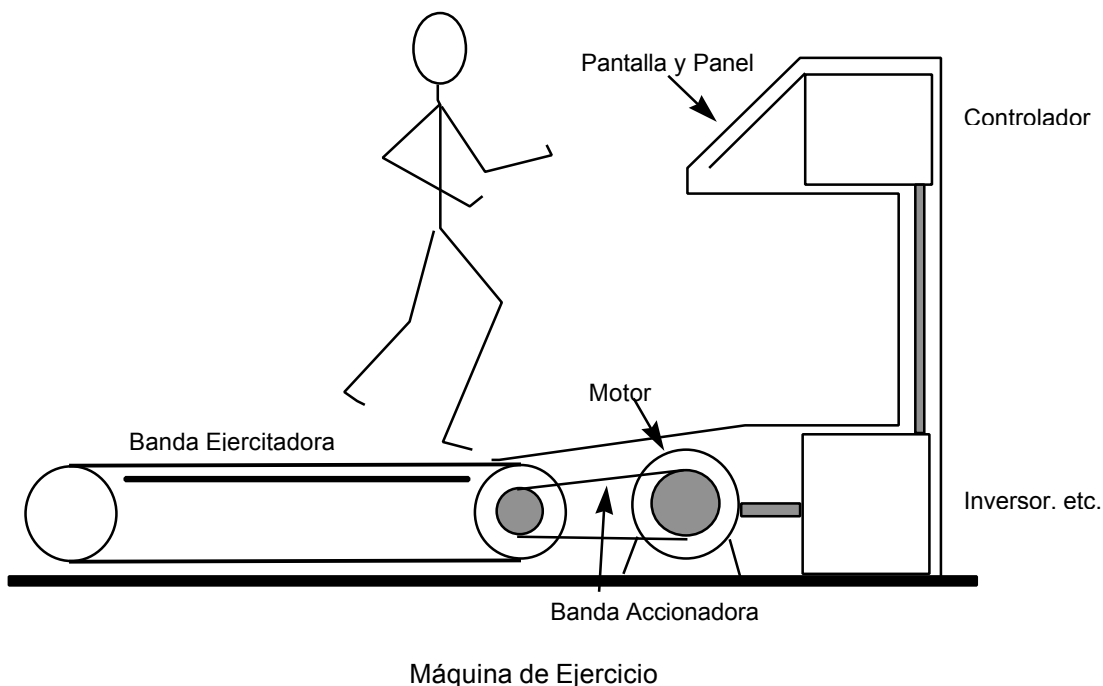
### 7.8.2 Especificaciones del Sistema

Motor:	Motor de inducción trifásico, 3 HP (2.2 kW), 230V.
Sistema de Control:	Sistema de control vía Microprocesador con pantalla, teclado, etc.
Accionamiento:	MICROMASTER Vector 6SE32, 3 HP (2.2 kW), 230V.
Interfaz de Control del Accionamiento:	Controles de entradas analógicas y digitales, indicación de fallas a través de los relevadores de salida.

### 7.8.3 Detalles de la Aplicación.

Un motor de 3 HP (2.2 kW) acciona una polea y un sistema volante a través de una banda dentada. El motor se controla mediante un VFD de 3 HP (2.2 kW) con un filtro de entrada externa para reducir la Interferencia Electromagnética (EMI). El VFD está conectado al controlador principal a través de un control de frecuencia analógica y las entradas digitales. Dichas entradas digitales se utilizan para marcha, parada y restablecimiento de fallas en el VFD.

*Se habilita la función  $I^2t$  para proteger el motor. Es poco probable que la operación sea continua con carga pesada, pero el VFD se disparará si el motor está en peligro de sobrecalentarse. Lo anterior es aceptable en esta aplicación. El relevador de falla se emplea para alertar al usuario sobre dicha condición.*



#### 7.8.4 Configuración de los Parámetros Clave

Parámetro	Valor	Descripción
P006	001	Control de frecuencia analógica.
P007	000	Control a través de las terminales de entrada; panel frontal desactivado.
P009	003	Permite el acceso a todos los parámetros del equipo.
P012	3	Frecuencia Mínima de Salida.
P013	83	Frecuencia Máxima de Salida.
P022	83	Frecuencia Máxima Analógica.
P051	1	Marcha horaria.
P052	10	Restablecimiento de fallas.
P061	6	Relevador de Salida 1: indicación de fallas.
P062	8	Relevador de Salida 2: indicación de advertencia.
P074	5	Disparadas del VFD activados por i <sup>2</sup> t.
P077	3	Operación vectorial sin sensores de retroalimentación.
P080-85	***	Configuración de acuerdo con el motor.

## **8. Información sobre Aplicaciones Avanzadas**

### **8.1 Uso del Control de Lazo Cerrado**

#### **8.1.1 ¿Qué es un control de lazo cerrado?**

El uso del control de lazo cerrado es muy amplio en aplicaciones industriales para controlar una extensa variedad de procesos. La ingeniería de control es un tema complejo, pero un control de lazo cerrado sencillo utiliza una señal de retroalimentación del proceso (como temperatura, presión, velocidad, etc.), un valor deseado a partir del valor de referencia (que con frecuencia se establece manualmente) y un sistema de control que compara los dos y deriva una señal de error. La señal de error posteriormente es procesada y utilizada para controlar el VFD y el motor (en este caso) e intentar reducir el error.

El procesamiento de las señales de error puede ser muy complejo debido a los retardos en el sistema. La señal generalmente se procesa utilizando un calculador Proporcional, Integral y Derivativo (PID) y se pueden ajustar dichos parámetros

para optimizar el desempeño y estabilidad del sistema. Una vez configurando y estabilizando un sistema, se puede lograr un control muy eficaz y preciso.

### 8.1.2 Control de Lazo Cerrado con MICROMASTER

Se incorporó al MICROMASTER una función estándar de control de lazo cerrado PID que solamente requiere la conexión de un transductor de retroalimentación adecuado y la configuración de los parámetros P201-P212.

El lazo de control no es adecuado para sistemas de control de respuesta rápida, pero es ideal en casos donde la velocidad variable controlada cambia muy lentamente o donde los errores transitorios no son críticos (por ejemplo, control de temperatura o presión).

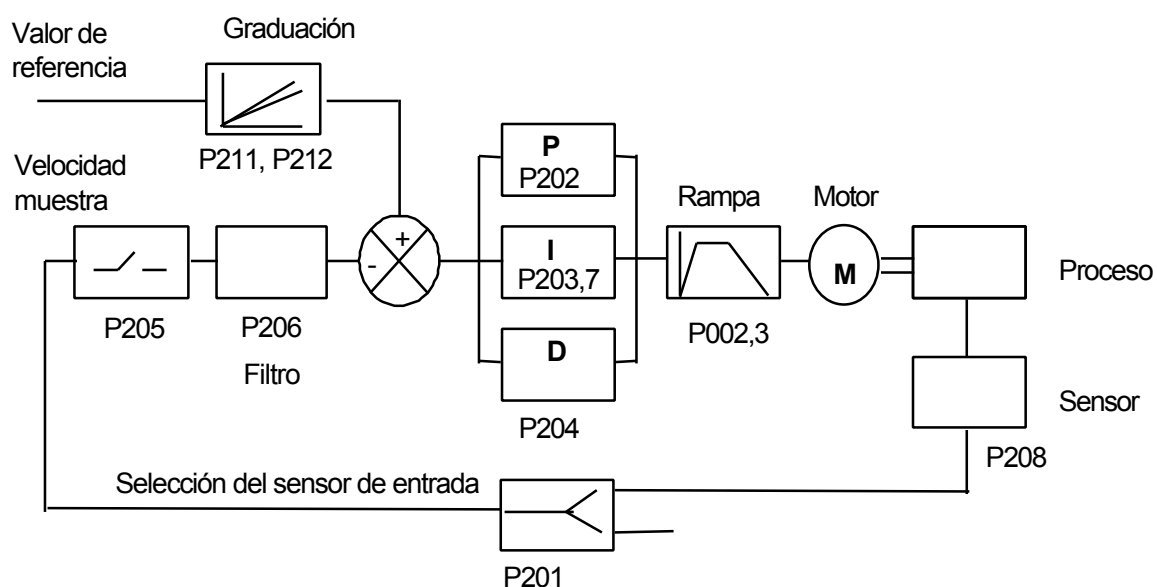
Observar que el propósito específico del sistema no es el control de velocidad, sino que puede utilizarse para tal propósito siempre y cuando no se requiera una respuesta rápida.

Cuando se activa el control de lazo cerrado (P201=1), todos los valores de referencia varían de 0 a 100% (un valor de referencia de 50.0 equivale a 50%). Esto permite el control general de cualquier proceso accionado por la velocidad del motor y para el cual exista disponible un transductor de retroalimentación adecuado.

Los valores de referencia pueden alimentarse a través de las entradas analógicas o de las digitales. En cada uno de los casos, el valor de referencia alimentado es un porcentaje del valor de escala completa del transductor de alimentación.

Por ejemplo, transductor con capacidad de 0-250 mbar:

250 mbar	=	100%, 20 mA
0 mbar	=	0%, 4 mA



### Conexiones de Retroalimentación

La señal de retroalimentación externa generalmente estará conectada a la entrada dedicada en las terminales 10 y 11. Dicha entrada acepta una señal de retroalimentación de 0-10V (0/4) a 20mA (seleccionado por los interruptores selectores DIP) y cuenta con una resolución de 10 bits.

En los MICROMASTER básicos (es decir, unidades que no son Vector) es posible conectar la señal de retroalimentación a las terminales X501 3 y 4 (P201 = 2). Cuando se emplea dicha opción, se invalidan todas las opciones “analógicas” de P006, P023 y P024 y no deberán ser utilizadas.

### Configuración

Consultar la lista de parámetros P201 a P212 para obtener la descripción de los parámetros necesarios para configurar el sistema PID. Además, los parámetros P000, P010 y P220 proporcionan funciones que son útiles en aplicaciones de lazo cerrado.

### Procedimiento Típico

Recordar que una vez que ha activado la Operación de Lazo Cerrado, los valores, como el valor de referencia, ahora aparecerán en la pantalla como porcentaje de una escala completa.

- En caso posible, operar primero el lazo abierto del accionamiento para verificar, en particular, la tensión o corriente de retroalimentación del sensor.
- Verificar el valor del parámetro P208 para que la operación de “detección” sea correcta. Configurar el parámetro P208 de acuerdo con los tipos de sensor/actuador; si la señal de retroalimentación disminuye conforme la velocidad del motor aumenta, seleccionar P208=1. De otra manera, seleccionar P208=0.
- Configurar el parámetro P206 a cero; el contenido de esta pantalla no deberá parpadear demasiado. Los sistemas de respuesta lenta se benefician de un intervalo más largo entre las lecturas de la señal de retroalimentación cuando se aplica la ganancia D. Dicho intervalo puede ajustarse en aumentos de 25 mseg hasta 1 minuto mediante el parámetro P205.
- Realizar el arranque con las ganancias PID todavía con los valores originales de fábrica: ganancia P = 1, sin acción integral o derivativa.
- Configurar el parámetro P001 a 7 para mostrar %. Activar la operación de lazo cerrado configurando el parámetro P201.
- Seleccionar tiempos de aceleración y desaceleración rápidas (P002, P003), ya que de lo contrario dichos tiempos limitarán el desempeño del lazo cerrado. Probar con 1 segundo.

Revisar el parámetro P210 para confirmar que el valor de retroalimentación esté dentro de los límites de graduación razonables. Utilizar los parámetros P211 y P212 para configurar la graduación. Observar que se pueden incluir compensaciones a través del parámetro P211 (por ejemplo, la retroalimentación es de 4-20 mA para 0 – 100% de variación del valor de referencia; P211 = 20(%), P212 = 100(%), es decir, de 20 mA). Cuando no aparezca algún valor detectable en el parámetro P210, intentar invertir las conexiones de la señal de retroalimentación y repetir el proceso antes descrito.

En el siguiente ejemplo presentamos mayores detalles al respecto:

Considerar una aplicación que utiliza un sensor de temperatura. La salida del sensor es de 0-10 V de 30°C - 150°C, es decir, un rango de 120°C. Se desea mantener la temperatura dentro del rango de 50°C a 80°C. Esto significa que 50°C es el 0% del valor de referencia y 80°C es el 100% del valor de referencia.

Ahora, calculemos P211:

$$\frac{(50-30)}{(150-30)} = 16.6\% \quad \frac{(\text{Temp. Min.} - \text{Temp. Min. del Sensor.})}{\text{Rango del Sensor}}$$

Calculemos P212:

$$\frac{(80-30)}{(150-30)} = 41.6\% \quad \frac{(\text{Temp. max.} - \text{Temp. Min. del Sensor.})}{\text{Rango del Sensor}}$$

El proceso debe operar y mantenerse a 70°C.

El valor de referencia es un porcentaje de la diferencia entre P211 y P212. Por lo que:

$$\frac{(70^{\circ} - 50^{\circ})}{(150^{\circ} - 30^{\circ})} = \frac{(20)}{(30)} = 66\%.$$

Para utilizar un valor de referencia analógico de 0-10V y una entrada de 6.6 voltios con un valor de referencia digital, se tendría que alimentar un valor de 66% (en lugar de un valor de frecuencia o temperatura).

- Aumentar la ganancia P (P202) hasta que el sistema comience a oscilar, posiblemente observando el valor de P210 si los efectos físicos no son obvios. Reducir el valor de P202 al 35% del valor al que comenzó la oscilación.
- Aumentar la ganancia Integral (P203) hasta que el sistema oscile nuevamente. Reducir el valor al 50% del valor al que comenzó la oscilación. Este método rápido de configuración dará buenos resultados en la mayoría de las aplicaciones. Con frecuencia no se requiere la ganancia D; ésta puede utilizarse en aplicaciones donde la configuración de las ganancias P e I no produce una respuesta estable en todas las situaciones. Normalmente, métodos de configuración más precisos requieren el uso de un osciloscopio para observar la respuesta de la señal del sensor y graduar los cambios al valor de referencia.
- Usar el Rango de Captura P207 para que durante la aceleración o desaceleración hasta el valor de referencia no se acumule el error y produzca inestabilidad. Si se presentaran disparadas excesivos de REPOSO a MARCHA al 100% (durante la aceleración o desaceleración al valor de referencia), intentar configurar  $P207 = 5 + 100/P202$ .

El propósito de este parámetro es reducir los efectos de la saturación integral deshabilitando la ganancia integral hasta que la diferencia de la retroalimentación/valor de referencia sea menor que el por ciento de P207. La

configuración del parámetro P207 = 100 deshabilita eficazmente dicha función y al mismo tiempo disminuye el período durante el cual estará activa la ganancia integral.

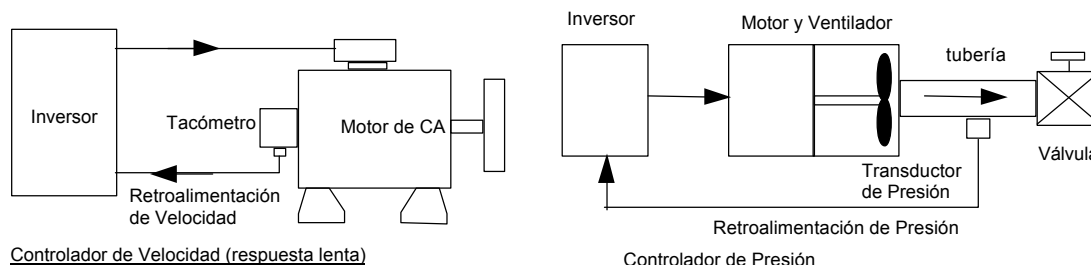
- Observar que los sistemas, como el enfriamiento por ventilador, pueden requerir que el motor esté en “apagado” la mayoría del tiempo. Configurar P220 = 1 en tales casos para evitar el calentamiento excesivo del motor por corriente de CC.

### Parámetros del Lazo Cerrado

P201	Modalidad de lazo cerrado	0-2 [0]	0 = Operación normal. (PID desactivado). 1= Control de lazo cerrado (MMV,MDV) 2= Control de lazo cerrado utilizando una entrada analógica (MM).	Ejemplos (consultar más adelante) 1,1
P202	Ganancia P	0.0-999.9 [1.0]	Ganancia proporcional.	20,0.2
P203	Ganancia I	0.00-99.99 [0.00]	Ganancia integral; 0.00 corresponde al tiempo de acción integral más largo y 99.99 corresponde al más corto.	0.2,0.05
P204	Ganancia D	0.0-999.9 [0.0]	Ganancia derivativa; si se configura este parámetro a 0.0 no habrá acción derivada.	0,0
P205	Intervalo de muestra	1-2400 [1]	Intervalo de muestra para el sensor de retroalimentación en múltiplos de 25 mseg.	1,1
P206	Filtro del sensor	0-255 [0]	0 = Filtro apagado. 1-255 = Filtración de baja proporción aplicada al sensor.	5,0
P207	Rango de captura integral	0-100 [100]	Porcentaje de error arriba del cual el término integral se restablece a cero..	5,100
P208	Tipo de sensor	0-1 [0]	0 = en operación de lazo abierto, un aumento en la velocidad del motor produciría un aumento en la tensión (o corriente) del sensor. 1 = en operación de lazo abierto, un aumento en la velocidad del motor produciría un descenso en la tensión (o corriente) del sensor.	0,0
P210	Lectura del sensor	0.00-100.00 [-]	Lectura solamente. El valor es un porcentaje de la escala completa de la entrada seleccionada (5V, 10V ó 20mA).	(40),(20)
P211	0% del valor de referencia	0.00-100.00 [0.00]	Valor P210 que debe mantenerse para 0% del valor de referencia.	0,20
P212	100% del valor de referencia	0.00-100.00 [100.00]	Valor P210 que debe mantenerse para 100% del valor de referencia.	80,100
P220	Modalidad de frecuencia mínima	0-1 [0]	0 = Operación normal. 1 = Deshabilita la tensión del motor a la frecuencia mínima o abajo de la misma.	0,0

## Ejemplos

En la siguiente tabla se muestran dos ejemplos de valores. El primer conjunto de valores se utilizó con un sistema de tacómetro de CC instalado en un MIDIMASTER de 10 HP (7.5 kW). El segundo conjunto de valores se utilizó con un transductor de presión/flujo (salida de 1-5V, por lo que P211 = 20% para permitir compensación), instalado en un motor y soplador de .53 HP aprox. (0.4 KW).



## Valores para el Control de Lazo Cerrado en otros Parámetros

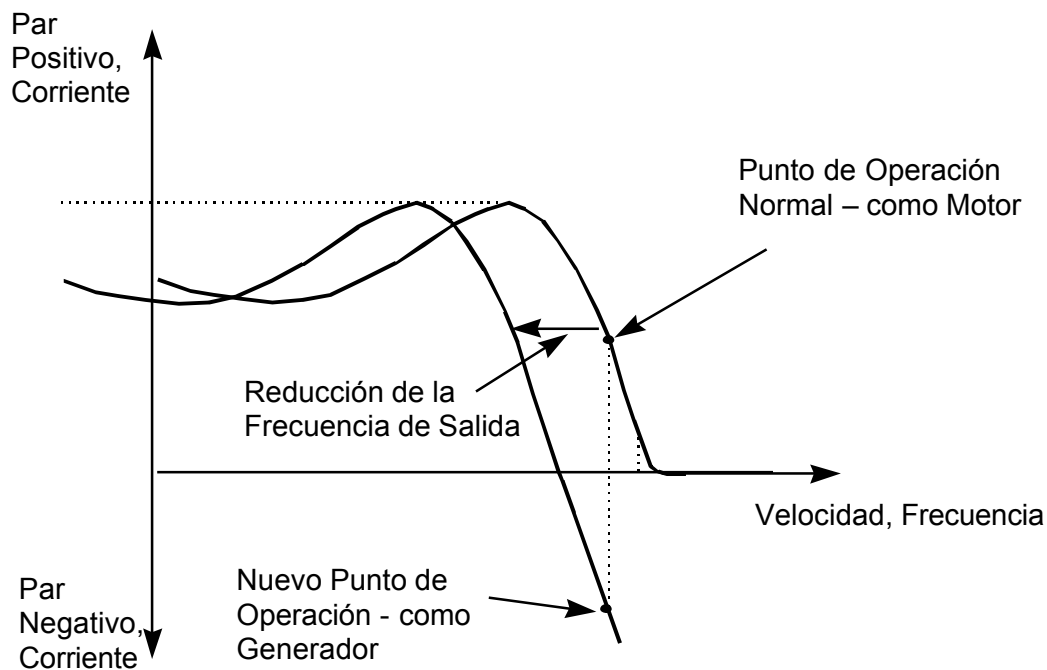
P001	*	Pantalla de selección	0-7 [0]	7 = Modalidad de visualización de lazo cerrado.
P061		Salida del relevador de selección RL1	0-13 [6]	12 = Límite de lazo cerrado para BAJA velocidad del motor, es decir, frecuencia de salida $\leq$ P012, relevador activo. 13 = Límite de lazo cerrado para ALTA velocidad del motor, es decir, frecuencia de salida $\geq$ P013, relevador activo. Esta función podría servir para arrancar y parar un motor de velocidad fija que opera en paralelo con el motor accionado por el VFD.
P062		Salida del relevador de selección RL2	0-13 [8]	Igual que el anterior.

## 8.2 Frenado y Disminución de Velocidad con Variadores

### 8.2.1 ¿Qué sucede cuando se para un motor?

Cuando se reduce la frecuencia de salida del VFD, el motor disminuirá su velocidad. Si la frecuencia de salida del VFD desciende rápidamente, el motor probablemente ya no funcionará como "motor", pero podrá actuar como generador.





Si el motor y la carga tienen una elevada inercia, el motor tardará más en disminuir de velocidad por lo que es más probable que opere como generador. La energía generada regresa al inversor (es decir, se regenera) como una corriente negativa. Esto se conoce como regeneración. La corriente regresa al circuito intermedio, pero no puede regresar a la fuente debido a la acción bloqueadora del rectificador de entrada. Por consiguiente, la corriente carga los capacitores del circuito intermedio y si la tensión del circuito intermedio se eleva demasiado, el VFD se protegerá contra el sobrevoltaje al dispararse. Si el VFD se dispara, deja de existir flujo del motor, éste ya no se regenera y se produce un parada sin control. Sin embargo, existen varias posibilidades para controlar el frenado y parada a través de un VFD.

## 8.2.2 Frenado y Parada con un VFD

### Desaceleración y Frenado

Conforme anteriormente se mencionó, si el VFD reduce la frecuencia de salida (es decir, se desacelera) el motor y la carga disminuirán de velocidad. Si la inercia de la carga y el motor es elevada, se presentará la regeneración.

En muchos casos, la regeneración es insuficiente como para producir un exceso de tensión; de hecho, con frecuencia se pueden utilizar velocidades de desaceleración muy rápidas en ciertos procesos sin problema alguno. Adicionalmente, la energía es absorbida por otras pérdidas, como fricción o caja reductoras. El tiempo de desaceleración, controlado por el VFD, permite desaceleración y tiempos de parada predecibles.

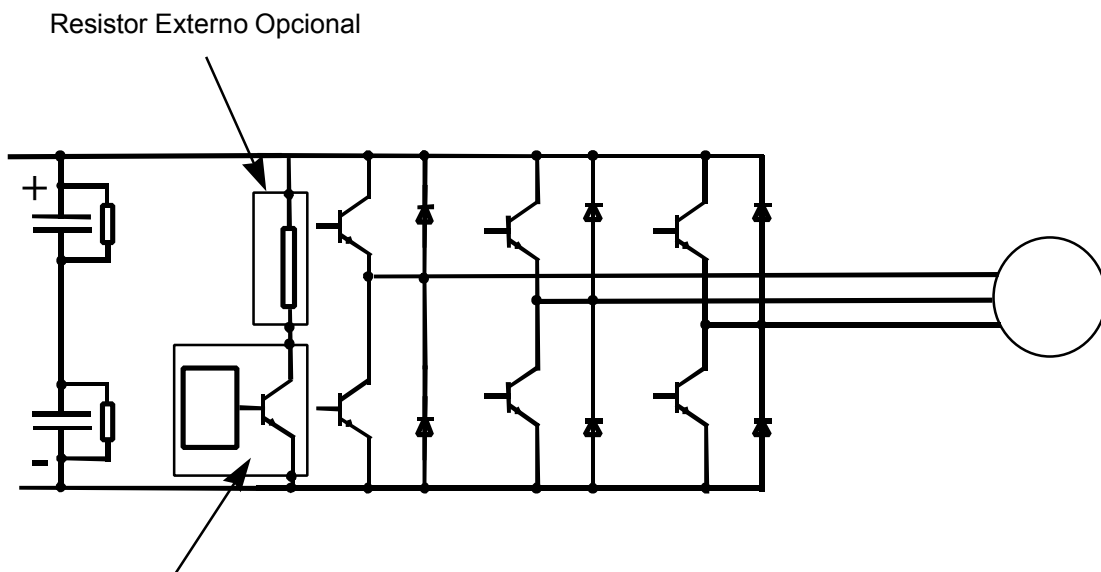
En los casos en donde la regeneración sí ocasiona disparos existen varias soluciones posibles. Se puede utilizar un freno externo, frenado de CC o frenado compuesto. En la sección 8.2.2 describimos dichas soluciones.

Sin embargo, una solución sencilla es conectar un resistor a través del circuito intermedio del VFD para disipar la energía regenerada.

El MICROMASTER Vector incorpora un controlador que conecta y desconecta el resistor para mantener la tensión del circuito intermedio a un nivel constante.

El modelo básico del MICROMASTER no cuenta con dicho controlador y el uso de un controlador o resistor externo es imposible.

El MIDIMASTER requiere un controlador externo, así como un resistor adicional. Este método de frenado proporciona un control efectivo y disipa la energía de manera eficiente sin partes desgaste.



Controlador de Freno Resistivo  
Estándar en MICROMASTER Vector.  
Opción externa en MIDIMASTER Vector.

*En algunas ocasiones es necesario calcular el rango de potencia del resistor en base al ciclo de trabajo de frenado y la cantidad de energía que será disipada. Los resistores de frenado opcionales, diseñados para operar con el MICROMASTER, disiparán toda la potencia del accionamiento en un rango de trabajo del 5%. Es decir, un VFD de 1 HP (750 W) equipado con un resistor estándar disipará 750 W durante (por ejemplo) 10 segundos en 200 segundos o 37 W continuos. Para poder evitar el daño a dichos resistores, se limita el ciclo de trabajo del resistor a través de software, controlado por el parámetro P070. El parámetro P070 está configurado a 5% de acuerdo con el resistor estándar, pero puede ajustarse en caso de se requieran ciclos de trabajo mayores o se utilicen resistores de mayor tamaño.*

*En la práctica, debido a las pérdidas del sistema y al corto ciclo de trabajo, los resistores generalmente operan dentro de su rango con buenos resultados.*

## Frenado de CC

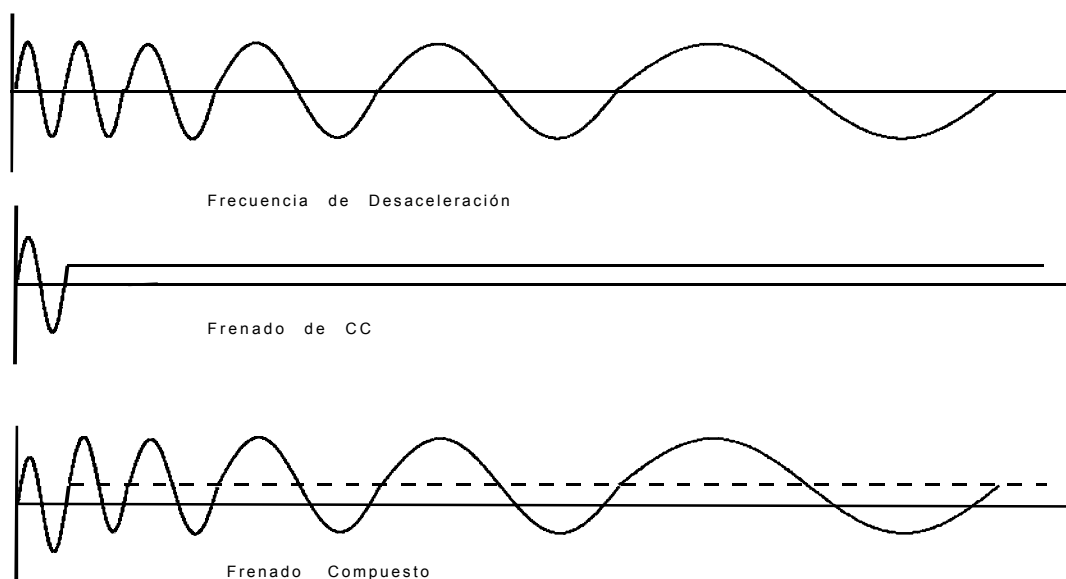
Cuando se aplica al motor una tensión de CC controlada, se produce un frenado y torque de fijación en el rotor. Durante el frenado de CC, la energía almacenada del motor y de la carga es disipada en el rotor mismo, de tal modo que no se produzca regeneración nuevamente hacia el inversor. Sin embargo, debido a que no se aplica alguna frecuencia, no existe control alguno sobre la velocidad del motor y no es posible pronosticar el tiempo de parada del motor ni de la carga. El torque en el rotor se mantiene estático, así que el frenado de CC puede emplearse para fijar el rotor y la carga durante cortos períodos, en caso necesario.

*El parámetro P073 determina el nivel de Frenado de CC y el frenado será aplicado durante el tiempo de desaceleración independiente de la velocidad del motor. El valor del parámetro corresponde a un porcentaje de la tensión necesaria para generar una corriente nominal en los devanados del motor. En la práctica, no es posible calcular el torque de frenado derivado de lo anterior. El uso continuo del frenado de CC producirá el sobrecalentamiento en el motor, así que es necesario considerar sistemas de protección adecuados para el motor. El frenado también puede activarse a través de un interruptor externo.*

## Frenado Compuesto

Si se combina el frenado de CC con el frenado regenerativo, será posible el frenado con mínima regeneración, pero con velocidad del motor controlada. Lo anterior consiste en reducir la frecuencia agregando el componente de CC a éste. Este sistema de frenado, desarrollado por Siemens especialmente para el MICROMASTER y MIDIMASTER, se conoce como frenado Compuesto. El frenado compuesto puede resultar muy eficaz ya que combina lo mejor del frenado de CC y del frenado Regenerativo. Al igual que con el frenado de CC, la energía de la carga se disipa en el motor y en consecuencia, el frenado excesivo y frecuente puede producir el sobrecalentamiento del mismo.

En el diagrama siguiente resumimos los métodos de frenado antes mencionados.



### **8.3 Uso de la Interfaz Serial**

Todos los Accionamientos Siemens ofrecen una interfaz serial integrada. Dicha interfaz serial utiliza una conexión RS485 de dos hilos que está diseñada para aplicaciones industriales.

Se pueden conectar un máximo de 30 accionamientos en un solo enlace RS485 y los accionamientos se direccionan individualmente o con un mensaje de transmisión. Se requiere de un controlador maestro por separado y los accionamientos actúan como unidades esclavas.

Siemens desarrolló un protocolo de comunicación que se conoce como protocolo USS y es común para todos los productos de accionamiento Siemens. Dicho protocolo operará a un máximo de 19 kBaudios y utiliza telegramas de longitud fija, por lo general 14 bytes. Se puede configurar cada uno de los Variadores utilizando parámetros que reciben y contestan los telegramas en el protocolo USS.

El uso de una interfaz serial tiene varias ventajas:

- Se puede reducir el cableado en gran medida.
- Se pueden modificar las funciones de control sin necesidad de volver a cablear.
- Se pueden configurar y modificar parámetros a través de la interfaz.
- Se puede monitorear y controlar continuamente el desempeño.

El Apéndice 1 contiene los detalles del protocolo de la interfaz serial.

### **8.4 Uso de PROFIBUS**

#### **8.4.1 ¿Qué es PROFIBUS?**

PROFIBUS es un protocolo de comunicación estándar que se diseñó y desarrolló para utilizarse en aplicaciones industriales generales. La norma se encuentra definida en EN50170 (volumen 2) y ha sido desarrollada, aceptada y adoptada por una gran cantidad de fabricantes a nivel mundial.

Actualmente se encuentra disponible el control PROFIBUS para una amplia variedad de productos de una gran cantidad de distintas compañías, como por ejemplo, accionamientos, válvulas, controladores lógicos programables (PLC), así como controladores de otros sistemas. PROFIBUS opera en una variedad de interconexiones de equipo como fibra óptica y RS485.

Existen tres versiones de PROFIBUS: FMS, DP y PA; estas versiones funcionarán conjuntamente. La versión de uso más común es la versión DP destinada a aplicaciones industriales en general. Esta es la versión soportada por los Accionamientos Siemens.

## 8.4.2 Uso de PROFIBUS con los Accionamientos Estándar Siemens

Para poder conectar un sistema PROFIBUS se requiere de un módulo adaptador PROFIBUS. Dicho módulo se monta en la parte frontal del accionamiento de la misma forma que la unidad OPm2 y utiliza un puerto serial RS485 para comunicarse con el accionamiento.

En la parte frontal del módulo se incorpora un conector “tipo D” de nueve vías que es una norma de PROFIBUS.

El accionamiento puede controlarse y monitorearse a través del sistema PROFIBUS principal en forma similar al protocolo USS. El protocolo PROFIBUS es más complejo que el protocolo USS (de hecho, el USS es una versión simplificada) y los programas de control se desarrollan mejor utilizando un software propio.

A pesar de que el sistema PROFIBUS es más complejo que el Protocolo USS, por ejemplo, el primero ofrece las siguientes ventajas:

- Sistema abierto claramente definido.
- Muchos productos distintos de muchos fabricantes distintos.
- Resultados satisfactorios en muchas aplicaciones industriales.
- Menor cableado; fácil configuración, reprogramación, monitoreo y control.
- Muy rápido; hasta 12 Mbaudios.
- Un máximo de 125 unidades esclavas en un sistema DP.
- Es posible la operación sencilla a multimodal.
- Comunicación individual o de transmisión.
- Software de soporte y desarrollo disponible.

## **8.5 Control Vectorial y FCC**

### 8.5.1 ¿Qué es un Accionamiento Vectorial?

El control vectorial es una función matemática de control compleja que mejora el desempeño de un accionamiento de CA. Es necesario entender el control convencional de tensión a frecuencia, así como el control de corriente para poder entender el control vectorial.

#### Control de Tensión a Frecuencia

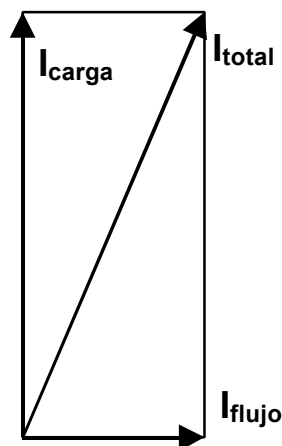
El accionamiento sencillo de un VFD produce una frecuencia y tensión variables hacia el motor, con un aumento adicional de tensión (consultar la sección 5.8.9) para superar las pérdidas y no linealidad a baja frecuencia. En este caso, la tensión aumenta linealmente conforme la frecuencia aumenta, lo cual teóricamente mantiene el nivel de flujo correcto en el motor hasta la frecuencia nominal ( $P_{077}=0$ ). En el caso de aplicaciones de bombas y ventiladores, la carga se reduce a frecuencias inferiores a la frecuencia nominal, por lo que una tensión

menor es aceptable. En tales casos, se puede determinar una curva cuadrática (curva de la bomba y ventilador) ( $P077=2$ ).

Estos niveles de tensión son adecuados para muchas aplicaciones. Sin embargo, para obtener un mejor desempeño se necesita una mejor estrategia de control. En particular, para ofrecer la misma capacidad que un accionamiento o motor de CC (operación a baja velocidad de respuesta rápida y con control de par) se requieren modelos matemáticos más complejos. Hasta a penas hace poco tiempo se hizo disponible, a bajo costo, la velocidad de procesamiento para lograr lo anterior. Los accionamientos estándar Siemens han ofrecido distintas soluciones como el Control de Corriente de Flujo y ahora ofrecen el control vectorial sin sensores de retroalimentación en las unidades MICROMASTER y MIDIMASTER Vector.

### 8.5.2 ¿Qué es el Control de Corriente de Flujo?

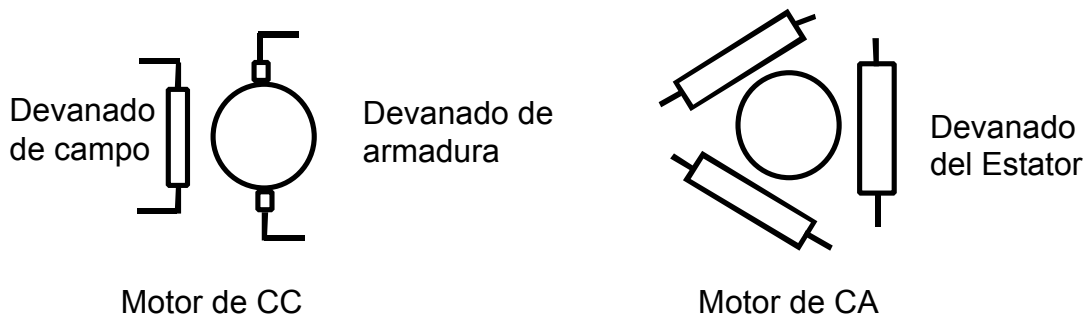
Los Accionamientos Estándar Siemens desarrollaron un sistema mejorado de monitoreo de corriente que permite medir en forma precisa la corriente de salida con referencia a la tensión del motor. Esto permite que el sistema de monitoreo divida la corriente de salida total en parte real (carga) y parte imaginaria (flujo).



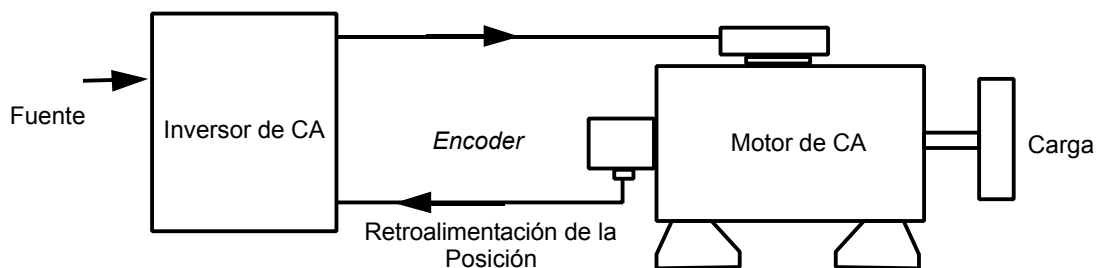
Ahora se puede controlar la parte del flujo y en consecuencia, se puede optimizar el flujo en el motor para todas las condiciones. Esto es el control de corriente de flujo (FCC, por sus siglas en inglés;  $P077=1$ ). Dicho control ha resultado muy conveniente para una amplia gama de aplicaciones. Ofrece una mejor eficiencia en el motor y mejor torque y respuesta transitoria que la operación estándar de tensión a frecuencia. Aunque no es tan eficaz como el control vectorial total o control vectorial sin sensores de retroalimentación.

### 8.5.3 Control Vectorial

Podremos entender mejor el control vectorial si consideramos la operación de un motor de CC. Un motor de CC está constituido por un devanado de campo y uno de armadura. Por consiguiente, la corriente en la armadura (Torque) y la corriente en el campo (Flujo) pueden controlarse de manera independiente. El control independiente de las corrientes que producen el Flujo y Torque permite un óptimo desempeño; torque a velocidad cero, rápida respuesta a cambios en la carga, etc.



En un motor de CA, las corrientes en el devanado del estator determinan el Flujo y el Torque; por consiguiente, es difícil controlar el torque y el flujo por separado. Como consecuencia, es necesario controlar la magnitud y fase – *el Vector* – de la corriente. Para controlar la fase con referencia al rotor, es necesario conocer la posición del rotor. Por lo tanto, **para obtener un control total del vector es necesario utilizar un *encoder* para informar al VFD la posición del rotor.**



Con el arreglo anterior es posible lograr un desempeño equivalente al de un Motor de CC siempre y cuando se conozcan todos los parámetros del motor y el VFD pueda “modelar” su comportamiento.

Sin embargo, la mayoría de los motores de CA no están equipados con *encoders* y el costo adicional y complejidad de los mismos podrían resultar un gasto innecesario.

Los recientes desarrollos en el control y diseño de motores han permitido que sea posible la operación vectorial sin sensores de retroalimentación (es decir, sin retroalimentación del *encoder*)).

El control vectorial sin sensores de retroalimentación (P077=3) pronostica la posición del rotor diseñando matemáticamente el motor. Para realizar lo anterior el VFD debe:

- Monitorear la tensión y corriente de salida de manera muy precisa.
- Conocer los parámetros del motor (Rotor, resistencia del estator, reactancia de fuga, etc.)
- Conocer el historial del motor (es decir, la carga anterior, etc.) para poder pronosticar la temperatura del motor.
- Poder realizar cálculos muy rápidamente.

Resulta *muy difícil* a bajas velocidades poder pronosticar el desempeño del motor y en consecuencia, la posición del rotor. Los accionamientos estándar Vector de

Siemens utilizan un complejo sistema matemático, desarrollado por primera vez para sus accionamientos, el cual produce un muy buen desempeño del control vectorial sin sensores de retroalimentación.

Se tiene disponible el control de Corriente de Flujo y el control de tensión y frecuencia en adición al del desempeño del control vectorial sin sensores de retroalimentación.

## **9. Opciones para los Accionamientos Estándar Siemens**

### **9.1 Introducción**

Existen diversas opciones disponibles para utilizarse con los Accionamientos Estándar Siemens. El propósito de dichas opciones es ayudar en la selección, instalación y puesta en marcha de productos en ciertas aplicaciones.

### **9.2 Panel de Operación OPm2**

El panel de operación está constituido por una unidad de control y visualización que se adapta directamente a la parte superior del panel de control del MICROMASTER o MIDIMASTER. Un enchufe tipo "D" se conecta directamente a la parte frontal de la unidad para que el panel OPm2 pueda recibir alimentación del accionamiento y comunicarse con el mismo a través de la interfaz RS485. El panel OPm2 ofrece las siguientes funciones:

- Operación en siete idiomas (inglés, alemán, francés, italiano, español, holandés y danés) y explicación de los parámetros, fallas, etc.
- Diagnóstico; ayuda a encontrar la falla.
- Accesa y baja hasta 9 sets de parámetros de las unidades al panel OPm2 y viceversa. Esto permite la programación y copiado rápidos y confiables de los parámetros.
- El panel OPm2 se monta directamente en las unidades MICROMASTER y MIDIMASTER.
- Estuche para montaje en puerta con protección IP54 incluida.
- VFD de RS232 a RS485 incluido para facilitar su conexión a la computadora.
- Conector de alimentación externa para su operación remota y programación fuera de línea.

El panel OPm2 tiene varios usos prácticos, como por ejemplo:

- El panel OPm2 puede montarse directamente en el VFD y utilizarse para controlar el accionamiento en forma directa.
- El panel OPm2 puede montarse en un panel separado (utilizando un cable opcional de máximo 5 m) para permitir el control y monitoreo remotos del accionamiento.
- Cuando se conecta una fuente de alimentación externa al panel OPm2, se permite el control remoto a distancias mayores de 5 m.
- El convertidor de RS232 a RS485 integrado puede utilizarse para permitir la comunicación entre una PC y el accionamiento.



- Se pueden almacenar parámetros en el panel OPm2 y cargarlos o bajarlos, según se requiera. Esto es particularmente útil cuando se requiere programar muchos Variadores durante producción.

### **9.3 Módulos de Frenado y Resistores de Frenado**

Durante la regeneración (consultar sección 8.2.2) puede ser necesario disipar la energía que regresa al inversor.

Las unidades MICROMASTER Vector cuentan con un “transistor de frenado” y solamente requieren de un resistor externo para permitir la disipación controlada. Los resistores pueden suministrarse como partes opcionales de los Variadores y adaptarse a lo largo de los mismos. Estos están especialmente diseñados para operar con las altas tensiones presentes en el circuito intermedio y cuentan con revestimiento metálico y diseño IP54. Los resistores de frenado utilizados en los primeros MICROMASTER fueron diseñados para montarse debajo de los inversores. También se pueden utilizar otros resistores, pero se debe tener cuidado para asegurar que tengan la tensión y rango de potencia adecuados.

Las unidades básicas MICROMASTER no tienen la capacidad para disipar energía regenerada, por ello requieren de una Unidad de Frenado Externa (*EBU*) y un resistor externo. La unidad de frenado externa necesita conectarse a la alimentación principal y al circuito intermedio del MIDIMASTER. Existen disponibles versiones de 240V y 400V. Los MIDIMASTER de 575V se operan con unidades de frenado MASTERDRIVE. Se pueden adquirir resistores de frenado externos (en este caso IP00) con la EBU o unidades adecuadas seleccionadas por el cliente.

### **9.4 Filtros de Supresión RFI**

Los inversores de las unidades MICROMASTER y MIDIMASTER están diseñados para reducir al mínimo la interferencia irradiada y conducida. Sin embargo, son productos electrónicos de potencia y generan niveles significativos de interferencia en un amplio espectro electromagnético. En muchas aplicaciones, es posible operarlos sin filtros o con el filtro integrado, sin embargo, se requiere de un filtro externo para poder lograr niveles más elevados de atenuación. En particular, se requerirá de un filtro externo para satisfacer los niveles residenciales y comerciales, así como los industriales.

El propósito de los filtros RFI es reducir los niveles conducidos de interferencia del VFD hacia la fuente. Su propósito no es reducir la interferencia irradiada o atenuada en el VFD. Este deberá instalarse en la entrada de la red de alimentación hacia el VFD y sufrirá daños si se instala en la salida del mismo.

Los filtros están diseñados para montarse debajo de las unidades MICROMASTER para reducir al mínimo los requerimientos de espacio. Los MIDIMASTER cuentan con filtros externos por separado; también existen disponibles unidades con filtros integrados. El manual contiene todas las instrucciones de instalación e información con respecto a los filtros correspondientes.

## **9.5 Módulo PROFIBUS**

Los Accionamientos Estándar Siemens incorporan una interfaz serial RS485 de diseño. Para poder operar con un sistema PROFIBUS se requiere un módulo de conversión individual. En la sección 8.4.2 se encuentra la descripción tanto del módulo PROFIBUS, como del sistema PROFIBUS.

## **9.6 Reactores de Entrada y Salida**

Se pueden instalar reactores en la entrada de un VFD para reducir la distorsión por armónicos y para reducir en el VFD el efecto de los disturbios en la alimentación. También se recomiendan reactores en sitios donde la impedancia sea menor al 1%.

Los reactores se instalan a la salida del VFD para permitir la operación con cables de gran longitud. El reactor compensa las corrientes capacitivas de los cables. Existen disponibles varios tipos de reactores para distintas longitudes de cable y Variadores.

## **10. APENDICE 1: Uso del Protocolo USS**

### **10.1 Introducción**

En el presente documento se describe la manera de conectarse y comunicarse con la gama de Variadores MICROMASTER.

### **10.2 Resumen**

El VFD puede controlarse totalmente a través de la interfaz serial, incluyendo encendido/apagado, demanda de frecuencia, establecimiento de parámetros, etc.

Se puede conectar conjuntamente un máximo de 30 MICROMASTER a la interfaz serial. Dichos Variadores pueden controlarse desde un dispositivo maestro, como por ejemplo, un PC o SIMATIC.

El sistema de comunicación es el Protocolo USS de Siemens que es un sistema de comunicación común para todos los Productos de Accionamiento Siemens.

A cada uno de los accionamientos conectados a la interfaz se le asigna un número único de esclavo (determinado en un parámetro), el cual es utilizado por el dispositivo maestro para identificar a cada uno de ellos.

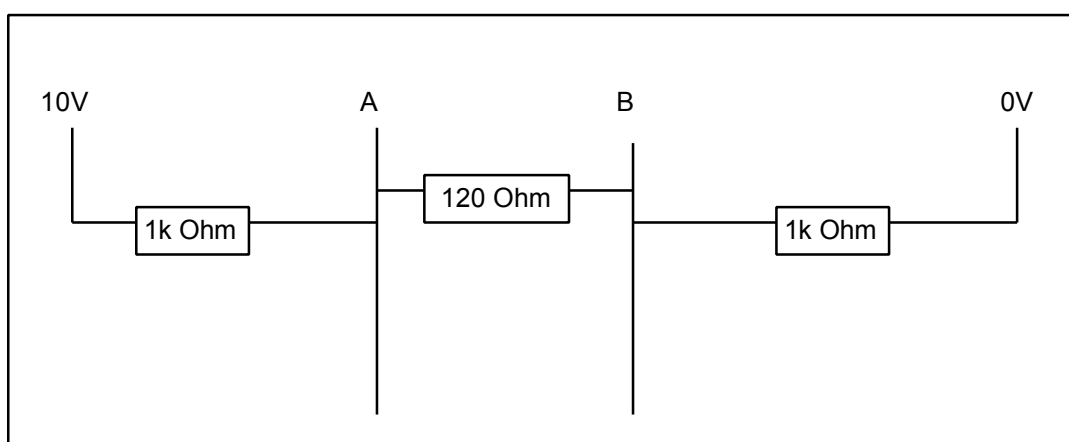
El protocolo tiene un sistema Maestro-Eslavo, en el cual el VFD esclavo solamente enviará un mensaje de respuesta a un mensaje recibido desde el Maestro.

Existe una función de transmisión en la cual se puede enviar en forma simultánea un mensaje a todos los Variadores.

### **10.3 Conexión del Equipo**

El MICROMASTER cuenta con una interfaz RS485 que utiliza un conector tipo "D". Si la unidad maestra tiene una conexión de cuatro hilos, conectar el positivo de recepción con el positivo de transmisión, y el negativo de recepción con el negativo de transmisión.

Para poder reducir el ruido en la interfaz serial es aconsejable conectar las líneas positiva y negativa a 10V y 0V, respectivamente, en el último inversor de la cadena. Lo anterior puede realizarse conectando un resistor de 1 k $\Omega$  entre 10V y el punto A y otro resistor de 1k $\Omega$  entre 0V y B. Además, se deberá conectar un resistor de 120 ohms entre las dos terminales. A continuación se ilustran las conexiones antes descritas.



### **10.4 Resumen del Protocolo USS**

El VFD 6SE21 puede comunicarse a un máximo de 9600 Baudios y el MICROMASTER a un máximo de 19.2 kBaudios,

Todos los mensajes entre las unidades Maestras y las Esclavas están compuestos por 14 bytes. Cada byte de datos está en el formato UART estándar que consiste en 1 bit de inicio, 8 bits de datos, 1 bit de paridad uniforme y 1 bit de parada. La construcción de los bytes de datos en los mensajes es la siguiente:

#### **10.4.1 Telegrama Maestro a Esclavo**

STX	LGE	ADR	PKE	IND	VAL	STW	HSW	BCC
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

#### **10.4.2 Telegrama Esclavo a Maestro**

STX	LGE	ADR	PKE	IND	VAL	ZSW	HIW	BCC
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

## **10.5 Interrupción del Mensaje**

Todos los bytes de datos en el telegrama Maestro a Esclavo deben transmitirse dentro de 1.5 x el tiempo más corto del mensaje. Si no se transfieren los bytes durante dicho lapso, el mensaje será ignorado por el esclavo.

Por ejemplo, a 9600 Baudios:

- El tamaño del Byte son 11 bits.
- El tamaño del Mensaje son 14 bytes.
- El tiempo más corto es  $11 \times 14 / 9600 = 16$  mseg.

Por consiguiente, el período de interrupción =  $16 \times 1.5 = 24$  mseg.

Después de recibir un mensaje válido, el esclavo transmitirá su respuesta dentro de 20 mseg. Si la unidad maestra no recibe una respuesta dentro de dicho tiempo, ésta deberá volver a transmitir el mensaje.

## **10.6 Descripción Detallada del Mensaje en Protocolo USS**

### 10.6.1 STX

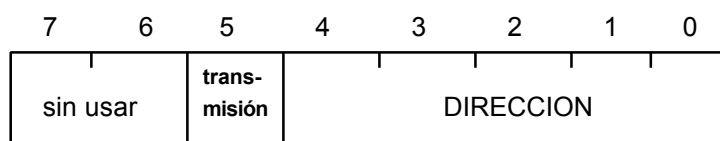
El campo STX es un carácter STX en código ASCII de un solo byte (valor 02) que se emplea para indicar el inicio del mensaje.

### 10.6.2 LGE

LGE es un campo de un solo byte que indica el número de bytes que seguirán en el mensaje. Normalmente, en el caso de los Variadores MICROMASTER y 6SE21, es un valor fijo de 12.

### 10.6.3 ADR

El campo ADR es un solo byte que contiene la dirección del VFD Esclavo. La estructura es la siguiente:



El bit 5 es el bit de transmisión. Si este bit está establecido a 1, el mensaje es un mensaje de transmisión y será respondido por todos los Variadores en el enlace serial. El bit sin usar deberá establecerse a 0.

### 10.6.4 BCC

El campo BCC es un byte de verificación que se utiliza para validar mensajes. Todos los bytes anteriores en el mensaje son calculados mediante XORing. Si el VFD recibe un mensaje con un mensaje inválido, éste desechará el mensaje y no enviará una respuesta.

### 10.6.5 IND

IND es un campo de 16 bits que no se usa en el MICROMASTER ni el 6SE21. Este campo siempre deberá establecerse en 0.

### 10.6.6 VAL

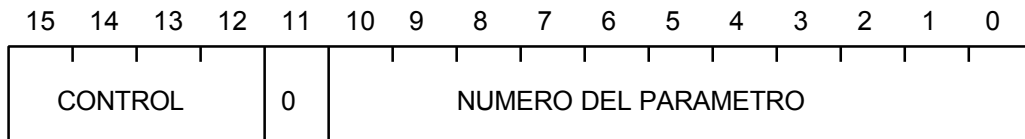
VAL es un campo de 16 bits que contiene el valor para el parámetro determinado en el campo PKE.

El formato de los datos es aumentado a 1 o disminuido a 0.1 dependiendo del tipo de parámetro. Consultar el manual del VFD para determinar el tipo de datos para un parámetro en particular.

En general, los parámetros que sean ajustados en aumentos de 0.1 harán que el campo VAL sea graduado en aumentos de 0.1, por ejemplo, el valor 232 en el campo VAP representa 23.2.

### 10.6.7 PKE

PKE es un campo de 16 bits para controlar el establecimiento de los parámetros del VFD. La estructura del mismo es la siguiente:



Los siguientes patrones de los bits de control tienen las siguientes funciones:

	6SE21	MICROMASTER
0 0 0 0	Sin acción.	Sin acción.
0 0 0 1	Leer parámetro.	Leer parámetro.
0 0 1 0	Escribir parámetro en la memoria RAM solamente.	Escribir parámetro en las memorias RAM y EEPROM.
1 1 1 0	Escribir parámetro en las memorias RAM y EEPROM.	No incluido.

El bit 11 no se usa y deberá establecerse en 0.

Los bits de control en los telegramas Esclavo a Maestro tienen los siguientes significados:

0 0 0 0 Sin acción.  
0 0 0 1 Valor del parámetro en el campo VAL.  
0 1 1 1 Error en la orden recibida.  
1 0 0 0 VFD en modalidad de control local.

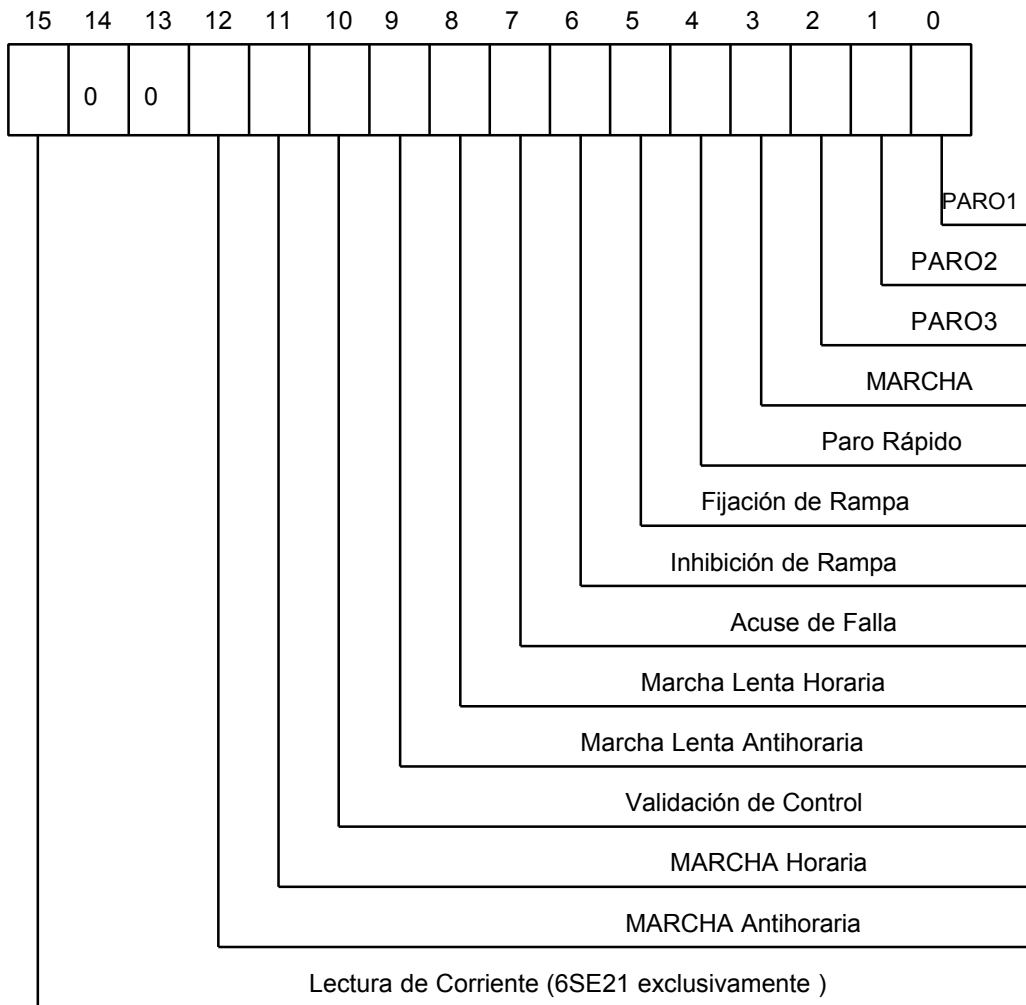
No se utilizan los demás valores.

Si se regresa el valor 0 1 1 1 el campo VAL contendrá un código de error. A continuación presentamos los códigos de error posibles:

0 Número de parámetro ilegal.  
1 Parámetro de lectura solamente (el VFD 6SE21 no soporta dicho código.).)

### 10.6.8 STW

STW es un campo de 16 bits que se utiliza para controlar la operación del VFD. Su estructura es la siguiente:



No se utilizan los bits 13, 14 ni 15 y deberán establecerse a 0.

#### PARO1

- 0 Activa la condición PARO1, es decir, desaceleración.
- 1 Permite la operación del VFD.

#### PARO2

- 0 Activa la condición PARO2, es decir, apagado inmediato.
- 1 Permite la operación del VFD.

**NOTA:** Después de una condición PARO2, el VFD entrará en Estado de Inhibición del Encendido. Enviar una orden PARO1 al VFD para eliminar la inhibición del encendido.

#### PARO3

- 0 Activa la condición PARO3, es decir, desaceleración rápida con tensión en el circuito intermedio.
- 1 Permite la operación del VFD.

**NOTA:** Después de una condición PARO3, el VFD entrará en Estado de Inhibición del Encendido. Enviar una orden PARO1 al VFD para eliminar la inhibición del encendido.

La función anterior no está incluida en el VFD 6SE21 y regresará el código 0 1 1 1 en el campo PKE y el valor 101 en el campo VAL.

#### MARCHA

- 0 Apaga de inmediato la salida del VFD.
- 1 Permite la operación del VFD.

**NOTA:** El VFD 6SE21 requiere el bit 11 ó 12 para poder ser configurado en una dirección específica. El MICROMASTER posee una dirección establecida desde fábrica que es Marcha Horaria.

#### Paro Rápido

- 0 Desacelera el VFD tan rápido como sea posible a lo largo de la tensión del circuito intermedio.
- 1 Permite la operación del VFD.

#### Fijación de Rampa

- 0 Mantiene el generador de rampa en su frecuencia actual.
- 1 Permite la operación del VFD en rampa normal.

#### Inhibición de Rampa

- 0 Rampa a 0.0 Hz.
- 1 Rampa normal.

#### Acuse de Falla

Una transición de 0 a 1 de este bit entre dos mensajes consecutivos restablecerá al VFD de un estado de DISPARO o FALLA.

#### Marcha Lenta Horaria

- 0 Sin acción.
- 1 Marcha lenta horaria.

**NOTA:** En el VFD 6SE21, este bit significa MARCHA LENTA en la dirección seleccionada en los bits 11 y 12.

#### Marcha Lenta Antihoraria

- 0 Sin acción.
- 1 Marcha lenta antihoraria.

**NOTA:** En el VFD 6SE21, este bit significa MARCHA LENTA en la dirección seleccionada en los bits 11 y 12.

#### Validación de Control

- 0 Ignora los bits de control.
- 1 Los bits de control son válidos.

### Marcha Horaria

- 0 Sin acción.
- 1 La dirección solicitada es horaria.

### Marcha Antihoraria

- 0 Sin acción.
- 1 La dirección solicitada es antihoraria.

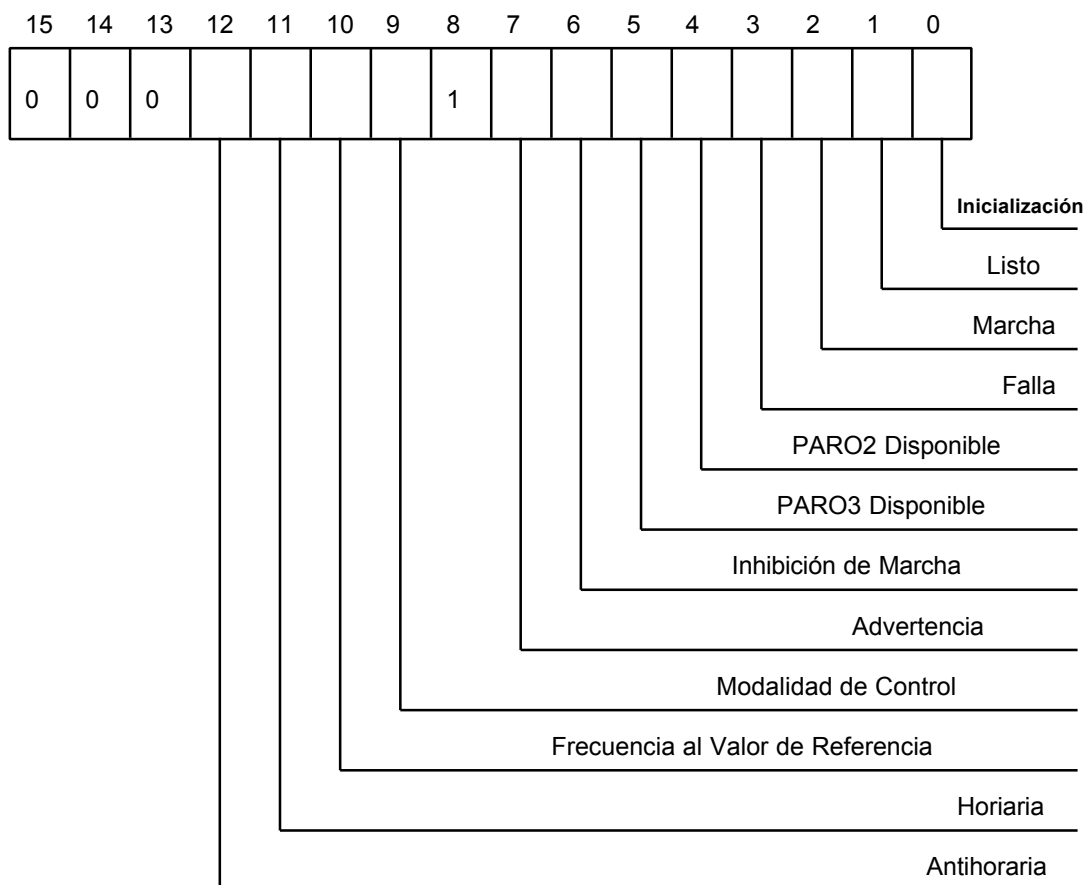
### Lectura de Corriente (6SE21 solamente)

En el caso del VFD 6SE21, si este bit está establecido en 1, el valor que aparecerá en el campo HIW será la corriente graduada a 0.1 amperios.

Para poder leer la corriente en el MICROMASTER, establecer el parámetro 1 a Visualización de Corriente y realizar una lectura del parámetro 0.

### 10.6.9 ZSW

ZSW es un campo de 16 bits del VFD que indica el estado de la corriente del VFD. La estructura del mismo es la siguiente:



No se usa el bit 8 y siempre regresa como 1.

No se usan los bits 13, 14 ni 15 y siempre regresa como 0.

A continuación explicamos el significado de cada uno de los Bits de Estado.



### Inicialización

- 0 Indica la inicialización del VFD.
- 1 Indica que el VFD ha sido inicializado.

### Listo

- 0 Indica que el VFD no está listo para operar.
- 1 Indica que el VFD está listo para operar.

### Marcha

- 0 Indica que la salida del VFD está desactivada.
- 1 Indica que la salida del VFD está activada.

### Falla

- 0 Indica que no existe alguna condición de falla.
- 1 Indica que el VFD presenta una condición de falla.

### PARO2 Disponible

- 0 Indica que la condición PARO2 está disponible.
- 1 Indica que la condición PARO2 no está disponible.

Nota: La implantación del VFD 6SE21 indicará si la condición PARO2 estará o no activa.

### PARO3 Disponible

- 0 Indica que la condición PARO3 está disponible.
- 1 Indica que la condición PARO3 no está disponible.

Nota: La implantación del VFD 6SE21 indicará si la condición PARO3 estará o no activa.

### Inhibición de Marcha

- 0 Indica que el VFD no se encuentra en estado de inhibición de marcha.
- 1 Indica que el VFD se encuentra en estado de inhibición de marcha.

Después de una condición PARO2, PARO3 o disparo, el VFD entrará en estado de Inhibición de Marcha. Esto evita que el VFD entre en operación.

El estado de Inhibición de Marcha puede eliminarse enviando al VFD una orden PARO1.

### Advertencia

- 0 Ninguna advertencia.
- 1 Advertencia para el VFD, por ejemplo, sobrecorriente.

**NOTA :** El VFD 6SE21 no soporta esta indicación.

### Modalidad de Control

- 0 El VFD está en la modalidad de Control Local.
- 1 El VFD está en la modalidad de Control Remoto.

### Frecuencia al Valor de Referencia

- 0 La frecuencia de salida del VFD es menor que el valor de referencia solicitado.
- 1 La frecuencia de salida del VFD es igual o mayor que el valor de referencia solicitado.

### Horaria

- 0 La dirección de salida no es horaria.
- 1 La dirección de salida es horaria.

### Antihoraria

- 0 La dirección de salida no es antihoraria.
- 1 La dirección de salida es antihoraria.

### HSW

Es un campo de 16 bits que contiene la demanda de frecuencia para el VFD. Dicho campo es graduado de tal modo que un valor de 16384 (4000 H) represente el 100%. La graduación se establece en un parámetro del VFD.

El contenido del campo HSW puede ser hasta de 32767 (es decir, 200% ). Los valores 32768 a 65535 representan una demanda de frecuencia negativa (es decir, dirección antihoraria) de 0 a 200%. Este valor se encuentra en dos formas complementarias.

**NOTA:** El VFD 6SE21 no soporta demanda negativa.

En el MICROMASTER, el parámetro de graduación es P094.

En el VFD 6SE21, el parámetro de graduación es P08. Dicho parámetro también es el de frecuencia máxima y en consecuencia, las demandas de frecuencia del 6SE21 arriba de 100% son reducidas a 100%.

La precisión de la salida de frecuencia puede controlarse en pasos de 0.02 Hz, en el caso del MICROMASTER y de 0.1 Hz, en el caso del VFD 6SE21.

La frecuencia de salida del MICROMASTER se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Frecuencia de salida} = (\text{HSW} * \text{P094}) / 16384$$

La frecuencia de salida del VFD 6SE21 se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Frecuencia de salida} = (\text{HSW} * \text{P08}) / 16384$$

Tanto en el VFD 6SE21, como en el MICROMASTER, el valor de frecuencia resultante siempre estará en el rango de 0 a 200%, independientemente de la dirección del VFD.

### HIW

Es un campo de 16 bits y representa la frecuencia de salida del VFD. El formato del mismo es idéntico al del campo HSW.

**NOTA:** El VFD 6SE21 regresará la corriente graduada a 0.1 Amps en el campo HIW si el bit 15 del campo STW fue configurado a 1.

### 10.7 Ejemplos del uso del Protocolo USS

A continuación presentamos algunos ejemplos de mensajes que pueden enviarse a un VFD.

#### 10.7.1 Operar el VFD #3 a 50% de la Frecuencia

STX	LGE	ADR	PKE	IND	VAL	STW	HSW	BCC
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

02 0C 03 0000 0000 0000 0C7F 2000 5E

Configurar el parámetro 12 del VFD #15 a 30.0 Hz.

STX	LGE	ADR	PKE	IND	VAL	STW	HSW	BCC
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

02 0C 0F 200C 0000 012C 0400 0000 04

#### 6.1.3 Transmitir la desactivaron inmediata a todos los Variadores.

STX	LGE	ADR	PKE	IND	VAL	STW	HSW	BCC
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

02 0C 20 0000 0000 0000 0C7D 0000 5F

## 11. APENDICE 2: Niveles de Protección (clasificación IP)

Las siguientes tablas contienen las definiciones de las normas DIN40050, BS EN 60529 y IEC529. Dichas normas se refieren a los números IP y los distintos niveles de protección disponibles.

### IP X X

	<b>PRIMER NUMERO</b>	
0	Sin protección	Ninguna protección especial de personas para evitar el contacto directo con partes vivas o móviles. Ninguna protección del objeto contra la entrada de materia sólida extraña.
1	Protección contra cuerpos extraños	Protección de personas para evitar el contacto accidental directo de un área extensa con partes internas móviles o vivas (por ejemplo, con la mano), pero ninguna protección contra el acceso deliberado a dichas partes. Protección del objeto contra la entrada de materia sólida extraña de más de 50 mm de diámetro.

2	Protección contra cuerpos extraños de mediano tamaño	Protección de personas para evitar el contacto de sus dedos con partes internas móviles o vivas. Protección del objeto contra la entrada de materia sólida extraña de más de 12 mm en tamaño.
3	Protección contra cuerpos extraños pequeños	Protección de personas para evitar que toquen partes internas móviles o vivas con herramientas, alambres o cuerpos extraños similares de un grosor mayor a 2.5 mm. Protección del objeto contra la entrada de materia sólida extraña de más de 1 mm en grosor.
4	Protección contra cuerpos extraños diminutos	Protección de personas para evitar que toquen partes internas móviles o vivas con herramientas, alambres o cuerpos extraños similares de más de 1 mm en grosor.
5	Limitación de entrada de polvo	Protección total de personas para evitar que toquen partes internas móviles o conductoras de tensión. Protección del objeto contra la acumulación dañina nociva de polvo. Aún cuando no es posible evitar totalmente la entrada, el polvo no entrará en la cantidad suficiente como para perjudicar la operación o seguridad del aparato.
6	Prevención de la entrada de polvo	Protección total de personas para evitar que toquen partes internas móviles o conductoras de energía. Protección total del objeto contra la entrada de polvo..
<b>SEGUNDO NUMERO</b>		
0	Sin protección	Ninguna protección especial.
1	Protección contra goteo vertical de agua	Gotas de agua que caigan verticalmente no deben tener algún efecto dañino.
2	Protección contra goteo no vertical de agua	Gotas de agua que caigan en cualquier ángulo de hasta 15° con respecto a la vertical, no deben tener algún efecto dañino.
3	Protección contra rocío de agua	El agua que caiga sobre el objeto en cualquier ángulo de hasta 60° con respecto a la vertical, no debe tener algún efecto dañino.
4	Protección contra salpicaduras de agua	El agua que caiga sobre el objeto desde cualquier dirección, no debe tener algún efecto dañino.
5	Protección contra chorros de agua	Un chorro de agua proyectado contra el objeto desde una boquilla estándar a 12.5 litros por minuto desde cualquier dirección, no debe tener algún efecto dañino.
6	Protección contra chorros potentes de agua	Un chorro de agua proyectado a 100 litros por minuto desde cualquier dirección, no deberá tener algún efecto.
7	Protección contra inmersión temporal	Si el gabinete es sumergido en agua a una distancia entre 0.15 y 1 m de la superficie durante 30 minutos, el agua no debe de entrar al mismo en cantidades nocivas.
8	Protección contra inmersión continua	Si el gabinete continúa sumergido en agua, bajo condiciones acordadas que sean más graves de las establecidas en IPX7, el agua no debe de entrar al mismo en alguna forma nociva.

## 12. APENDICE 3: Algunas Fórmulas Útiles

### Relaciones torque y Potencia

Si se conoce el torque en estado de reposo, se puede calcular el requerimiento de potencia:

$$\text{Potencia [kW]} = (\text{Torque [Nm]} \times \text{Velocidad [rev/min]}) / 9550$$

o

$$\text{Torque [Nm]} = (9550 \times \text{Potencia [kW]}) / \text{Velocidad [rev/min]}$$

### Torque de Aceleración

La cantidad necesaria para acelerar (o desacelerar) un cuerpo rotatorio depende del momento de inercia:

$$\text{Torque de Aceleración [Nm]} = \text{Momento de Inercia [kg.m}^2\text{]} \times \text{Aceleración [m/s}^2\text{]} \times 2\pi/60$$

Con frecuencia es necesario calcular la demanda total de torque para determinar el tipo de motor y la potencia del VFD.

$$\text{Torque Total} = \text{Torque de Aceleración} + \text{Torque en Estado de Reposo}$$

### Momento de Inercia

El momento de inercia a menudo se especifica para motores, cajas reductoras, etc. Este puede calcularse para cuerpos simples, por ejemplo:

Cilindro Sólido, Radio R, Longitud l, Masa m:

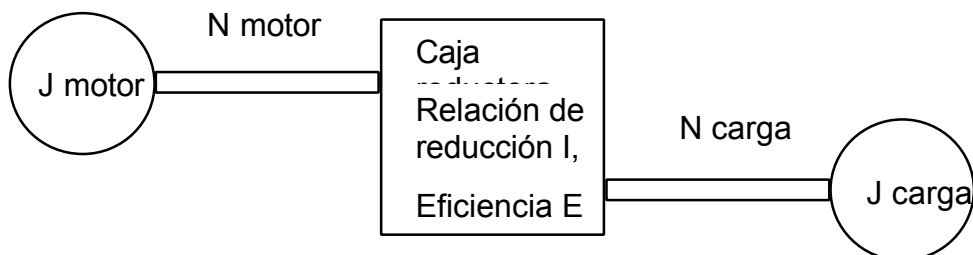
$$\text{Momento de Inercia} = J = m \times R^2/2$$

Si el cilindro es hueco, con un radio interno r, radio externo R:

$$\text{Momento de Inercia} = J = m \times (R^2 - r^2)/2$$

### Par, Potencia y Momento de Inercia de Acoplamientos Comunes

#### Caja Reductora



$$\text{Relación de Reducción } I = N_{\text{motor}}/N_{\text{carga}}$$

### Momento de Inercia

El momento de inercia de la carga puede referirse al eje del motor.

$$J_{\text{carga}} = J_{\text{carga}} / I^2$$

o

$$J_{\text{carga}} = J_{\text{carga}} \cdot (N_{\text{carga}})^2 / (N_{\text{motor}})^2$$

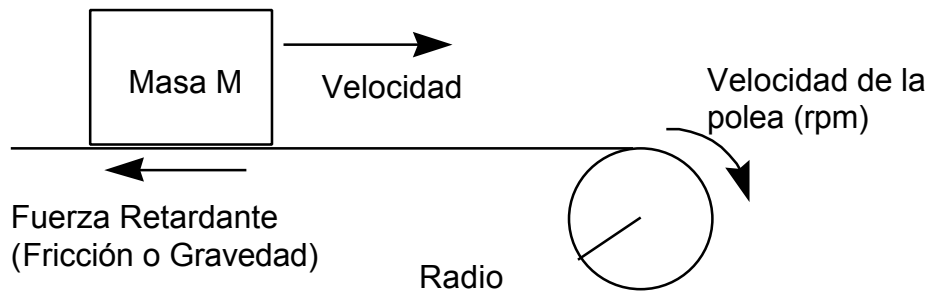
### Potencia de Salida

Potencia de Salida = (Potencia de Entrada) x (Eficiencia Caja Reductora)

### Torque de Salida

Torque de Salida = (Torque de Entrada) x (Eficiencia de la Caja Reductora) / (Relación de la Caja Reductora).

### Aplicaciones de Banda Transportadora



Torque de Aceleración = Masa x Velocidad

Torque en Estado de Reposo = Fuerza Retardante x Radio

Velocidad =  $2 \cdot \pi \cdot \text{Radio} \times \text{Velocidad de la Polea}$ .

Potencia = Fuerza Retardante x Velocidad

Momento de Inercia = Masa x (Velocidad)<sup>2</sup> + Polea, etc.

### Aplicaciones de Transportador Vertical.

En un transportador vertical la fuerza retardante es la gravedad.

Pare en Estado de Reposo = Fuerza Retardante x Radio

$$= \text{Masa} \times g \times \text{Radio}$$

Potencia = Masa x g x Velocidad

Momento de Inercia = Masa x (Velocidad)<sup>2</sup> + Polea, etc.