



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Aplicaciones prácticas básicas de variadores de frecuencia

Apellidos, nombre	Puche Panadero, Rubén (rupucpa@die.upv.es)
Departamento	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Centro	Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño Universidad Politécnica de Valencia



1 Resumen

Al ser el variador de frecuencia un equipo de regulación muy importante dentro del campo de la ingeniería y a su vez un gran desconocido. Se pretende con este texto describir una serie de pasos que se tiene que realizar para una puesta en marcha básica de este tipo de equipos que hagan que se familiaricen con ellos cualquier persona con un mínimo de conocimientos eléctricos.

Se plantean las diferentes formas básicas de utilización, que son las más usuales y que realmente son las que en un altísimo porcentaje están funcionando en la industria, se conoce que existen otras muchas formas más de posibles formas de aplicación pero con una complejidad importante que realmente requiere de una especialización más profunda, y que se deja para otro tipo de textos.

Para que el lector pueda entender que las aplicaciones son similares independiente de la marca o modelo de variador de frecuencia, los se analizan al menos con dos equipos diferentes

2 Introducción

Mediante este artículo se pretende introducir a los lectores en la parametrización básica de los variadores de frecuencia. Estos equipos son actualmente masivamente utilizados en la industria y en aplicaciones de otras máquinas que trabajan en entornos muy cercanos, tales como son las bombas de agua domesticas, las escaleras automáticas de los grandes almacenes incluso en ascensores y montacargas. Hoy en día cualquier técnico, independientemente de su especialidad va a tener que utilizar en alguna de sus variantes este equipo. Por lo tanto, y dado que es bastante desconocido para gran parte de estos técnicos, con este trabajo se quiere acercar al lector a funcionamiento básico de estos equipos. Se dejan fuera de este texto las aplicaciones más complejas que se remite a otros textos y manuales de los equipos, siendo los encargados de ejecutar ese tipo de aplicaciones complicadas técnicos con una preparación muy intensiva en estas aplicaciones.

3 Objetivos

Así pues los objetivos fundamentales que se pretenden son:

- Inicializar los equipos con su forma de funcionamiento más básica.
- Describir las diferentes formas de funcionamiento básico de los variadores de frecuencia, denotando en cada una de estas formas de funcionamiento algún ejemplo práctico significativo de tipo industrial.
- Detallar la forma de conexionado de los elementos de control utilizados en los variadores de frecuencia, así como el rango de valores apropiado.
- Realizar esquemas de montaje de este tipo de equipos para su integración en instalaciones industriales.

Los ejemplos de las aplicaciones serán analizados desde la óptica de posibles aplicaciones industriales reales, por lo que para el alumno, estos ejemplos pueden representar una base sencilla de aprendizaje.

4 Desarrollo

El desarrollo de este trabajo se plantea en función de los modos de trabajo del variador, que se pueden agrupar:

- Dependiendo del punto de accionamiento al variador de frecuencia: modo local o remoto.
- Dependiendo del tipo de señal que se le aplique al variador de frecuencia para el control del motor: mando digital o analógico.

En el mercado hay diferentes tipos constructivos de variadores de frecuencia, aunque desde el punto de vista de su funcionamiento son todos muy similares. En la figura 1, se puede apreciar un modelo de variador de frecuencia. En este modelo se pueden distinguir el punto de conexión, tanto para la alimentación trifásica (en la parte superior del equipo) como para otro tipo de conexiones en el resto de bornes de conexión (parte inferior del equipo). También puede distinguirse en la parte frontal otros elementos de control (potenciómetro, pulsadores, y un selector V/I), así como el propio display de visualización de parámetros y estado del equipo.

Un punto muy importante a tener en cuenta, es contar siempre con los manuales de instalación y parametrización del equipo a utilizar. En esta documentación se encuentra la información necesaria para la instalación, programación e incluso un listado con los códigos de posibles fallos y la forma de poder solucionarlos.

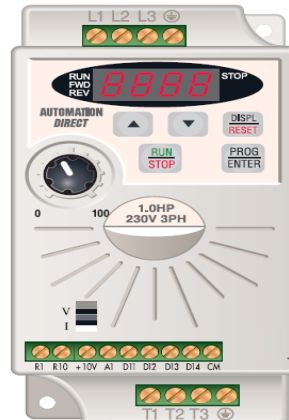



Figura 1.- Aspecto de un tipo de variador de frecuencia

2.1 Inicialización del equipo.

Cuando se empieza a utilizar un equipo nuevo o se quiere modificar de forma significativa el modo de funcionamiento en una aplicación, lo primero que debería realizarse en la "inicialización" del equipo.

Estos equipos disponen de un gran número de parámetros que pueden ser modificados y que determinan su modo de funcionamiento. El fabricante determina un "VALOR" por defecto, para todos y cada uno de los parámetros programables, de modo que con la selección de estos "valores" el equipo se encuentra preparado para un funcionamiento básico. De esta forma básica es como se debe de empezar a trabajar con los variadores de frecuencia.



Para poder “inicializar” cualquier variador se debe de acceder a los parámetros de programación. Para ello se dispone generalmente de una pequeña consola de programación (ver figura 2, donde aparece esta consola de programación de hasta 3 equipos diferentes), en la que se dispone de las teclas y la visualización, para acceder a los parámetros. En la de la izquierda se pulsaría la tecla “PROG”, y posteriormente se localiza el parámetro a modificar mediante las teclas “subir” o “bajar”. En el central con la tecla “” se busca la opción deseada (“PRGM”) mediante la iluminación de las diferentes alternativas, mientras que en la consola de la derecha se selecciona la parametrización con la ayuda del pulsador “P”.

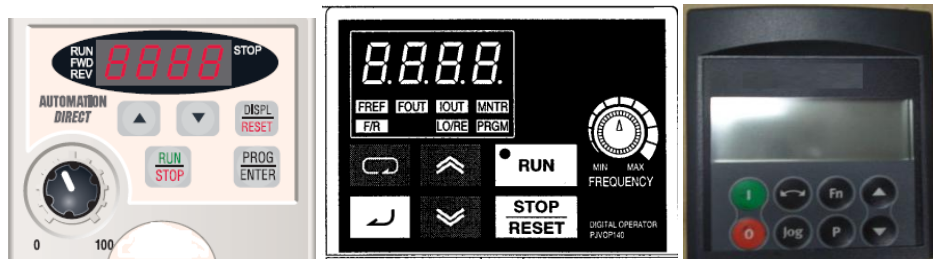


Figura 2.- Detalle de 3 consolas de tres marcas diferentes de variador de frecuencia

Una vez en modo programación (y con la ayuda del manual de programación), se localiza el parámetro de inicialización y se sigue las instrucciones que lleva a dicha inicialización. Para el equipo de la consola central de la figura 2 los pasos a seguir son los de la tabla 1,

3G3MV			
Inicialización	n001	8	Inicialización a dos hilos
		9	Inicialización a tres hilos

Tabla 1. Inicialización de un variador de la marca Omron y modelo 3G3MV

Para inicializar otro modelo de esta misma marca de variadores de frecuencia se debe de parametrizar otro parámetro diferente, y con otros valores también diferentes, aunque la acción es la misma, tal como viene recogido en la tabla 2.

V - 1000			
Inicialización	A1 - 03	2220	Inicialización a dos hilos
		3330	Inicialización a tres hilos

Tabla 2.- Inicialización de un variador de la marca Omron y modelo V-1000

Para el caso del variador de la consola de la derecha de la figura 2, de la marca Siemens, la forma de inicializarlo, es posicionando un parámetro a “1”, y el parámetro depende del modelo. En un modelo denominado “micro master” es el parámetro con número 944. Además para acceder a este parámetro hay que poner un determinado valor en el parámetro 9 (con un valor de “3”, se puede modificar cualquier parámetro). Cada modelo o marca dispones de diferentes parámetros que identifican al motor conectado. Los valores del motor en cuestión se deben de localizar en la placa de características de dicha máquina.



Además, tras inicializar el variador, hay que introducir los datos del motor que acciona: tensión, frecuencia, corriente, y la sobre corriente máxima. En función del modelo pueden localizarse sobre el parámetro "23" y adyacente (OMRON 3G3MV), o parámetros "81" y adyacentes (SIEMENS Mircomaster).. En cada caso el manual determina el número de parámetros de identificación y si son valores máximos o a veces en porcentaje.

2.2 Modo de control denominado como "mando local"

Para este modo de control se debe de estar en contacto directo con el equipo, ya que serán los elementos ubicados en su panel los que permitan el mando del variador de frecuencia. En modo local el equipo puede realizar la variación de funcionamiento tanto en modo digital como en modo analógico, si bien para este último modo de operación debe de llevar incorporado un potenciómetro. Si no lo lleva incorporado, se le añade (ver esquema de conexionado en apartado siguiente) y se ubica este muy cercano al equipo.

En cualquier modo de funcionamiento (tanto local como remoto, como digital o analógico) es de uso normal el controlar tanto el arranque como la parada, mediante un control en rampa de aceleración o desaceleración. Esto significa que se los problemas de las corrientes y pares de arranque que a veces pueden generar problemas (ver otros textos apropiados para estos estudios) pueden ser aminorados. Para programar una determinada rampa de arranque se trabaja desde dos puntos de vista, una el tiempo de arranque y otra la gestión de la tensión con la que se alimenta el motor.

Para el control del tiempo de arranque se deben de localizar los parámetros apropiados, normalmente "rampa de aceleración" y "rampa de desaceleración". Y para la variable de regulación de la tensión de arranque se puede observar en la gráfica de la figura 3, donde se indica los parámetros y las rectas que se obtiene durante el arranque en un equipo de Omron y modelo 3G3MV. Otros modelos disponen de curvas de arranque parametrizables de forma similar.

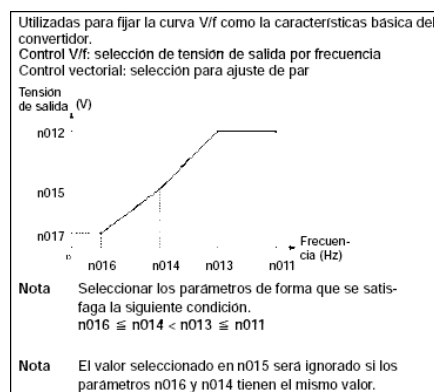


Figura 3. Diagrama representativo del ajuste de la tensión mínima de arranque.

El siguiente paso es indicarle al equipo que se realiza el control en modo local, para eso los parámetros a ajustar podrían ser los de la tabla 3 o los de la tabla 4:



CONTROL A TRAVÉS DEL TECLADO DEL OPERADOR 3G3MV				
Referencia de frecuencia	n008	0	Potenciómetro	Trabajando en modo local
		1	Teclas operador digital	
Marcha/paro	n003	0	Teclas Run/Stop	

Tabla 3. Parámetros de control en modo local de un variador OMRON 3G3MV

Una vez configurado el equipo se puede manipular y arrancar el conjunto motor-variador (teclas de la figura 4). Es importante esta primera toma de contacto y además en modo local para observar la respuesta del motor. Además es aconsejable realizar diferentes arranques con curvas de arranque distintas, variando los tiempos de aceleración y desaceleración, incluso a valores nulos, y se observará las diferentes alternativas que presenta este tipo de control.



Figura 4. Teclas de las consolas para control local

2.3 Modo de control denominado como “mando remoto”

El método de control anterior, aunque es muy bueno para desarrollar ejercicios de aprendizaje, en aplicaciones industriales es poco usual. En la práctica totalidad de máquinas el método de control es el remoto. La razón es tan simple como que estos equipos se encuentran en el interior de los cuadros eléctricos, y el panel de mando no es accesible.

Existen al menos dos formas de control remoto. Una de ellas se realiza mediante la comunicación de todas y cada una de las señales a controlar mediante un conductor por cada variable. Para ello se necesita instalar tantos cables como variables a manejar, más uno que es el denominado conductor común. En la figura 5, el dibujo de la izquierda se dispone de un pequeño regletero de conexionado de este tipo de señales. Otra forma de mando remoto es a través de unos conductores (2 o 4) que forman lo que se conoce como un “bus de comunicación”. Este tipo de control es bastante potente ya que permite transportar las ordenes de funcionamiento entre el variador de frecuencia (normalmente utilizados como esclavos del bus) y otros equipos de control (denominados maestros) que realmente son los encargados de gestionar la información. En la figura 5, se puede observar una posible conexión al bus de comunicaciones (tal como puede ser un terminal del tipo RJ-12).



Figura 5. - Bornero u conector para acceso remoto

Este método de control permite transferir información en ambos sentidos (maestro↔esclavo). Normalmente se traspasan gran volumen de información con este método, aunque tiene la desventaja de ser relativamente un poco más lento. En este mismo tipo de comunicación se podría incluir el control remoto, pero desde un PC convencional, con la ayuda de un software apropiado.

En control remoto también se puede controlar el variador de frecuencia en modo analógico o en modo digital. El modo analógico permite una variación continua de la variable de control. Podría ser por ejemplo el uso de un potenciómetro el cual se conectan los extremos del mismo a una fuente (generalmente propia del variador) y la patilla de regulación es la entrada analógica. En la figura 6, se muestra el conexionado del potenciómetro

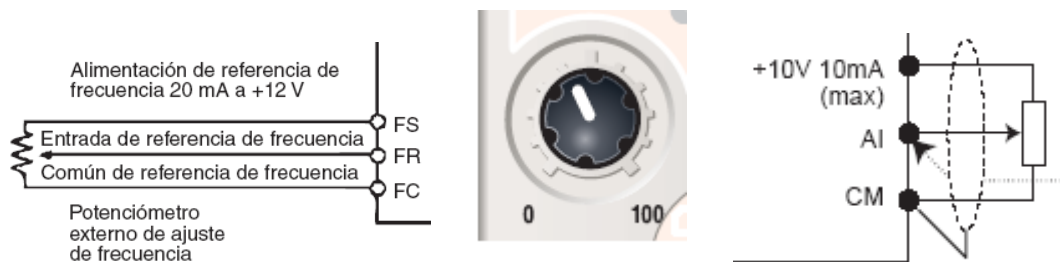


Figura 6.- Detalle de conexión de un potenciómetro, en 2 equipos diferentes

Por otro lado si las variables tienen dos niveles posibles (ON y OFF), entonces se denomina digital. Este modo está indicado para la conexión de uno o varios interruptores y/o pulsadores. El conexionado de un grupo de 2 pulsadores (marcha y paro) se puede apreciar en el esquema de la figura 7.

Ejemplo de conexiones de secuencia de 3 hilos

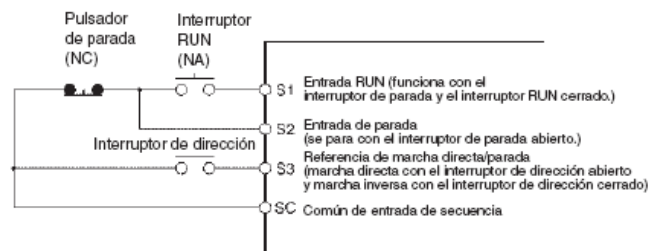


Figura 7.- Esquema de conexión de varias entradas digitales

Todos los equipo suministran como es lógico los esquemas de conexión necesarios (Ver esquemas de la figura 8).

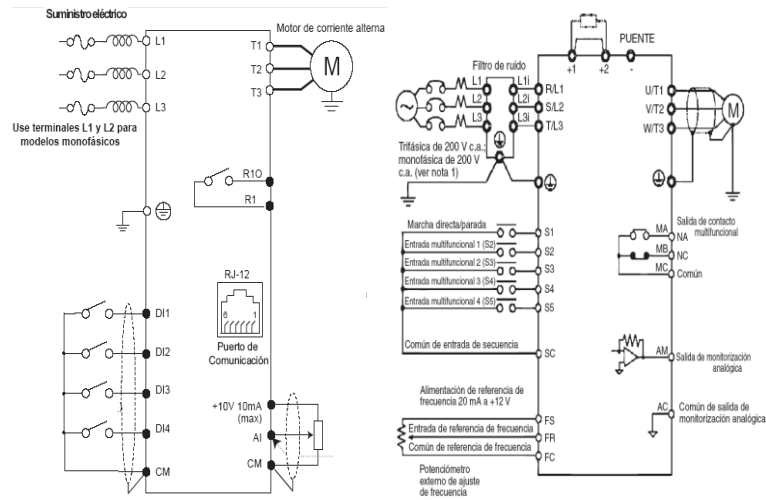


Figura 8.- Esquemas de conexionado de 2 variadores de frecuencia

En modo de control analógico se procede de forma similar al control local, pero con la salvedad que ahora el equipo se encuentra alejado del punto de control. En este tipo de control una vez arrancado el variador la frecuencia de salida viene fijada por el valor de tensión que proporciona el regulador analógico (en el caso del potenciómetro, se instala los extremos de la resistencia a una fuente de tensión que dispone el propio variador (bornes "FS" y "FC" o "CM" y "+10V"), mientras que la patilla intermedia es la que se utiliza como entrada ajustable de tensión). Este tipo de aplicaciones se encuentra muy difundidas en la industria como son: los tornos mecánicos, secaderos, cintas de los hornos, aires acondicionados.

La forma de regulación puede ser manual o automática. En el caso de manual el operario va observado la tarea desarrollada por la máquina y va ajustando la frecuencia (la velocidad) según el resultado obtenido. De forma automática podría ser la regulación del aire acondicionado de un local de manera que el salto térmico entre termostato y la referencia de temperatura a la que se quiere estar sea o permita una regulación del flujo de aire progresiva. Para ello muchos variadores de frecuencia incorporan reguladores del tipo "PID".

En cuanto a la forma de control digital, existen dos formas diferenciadas: una lo que sería un simple paro y marcha de la instalación, bien con un interruptor único o mediante dos pulsadores; otra modalidad incluye además la opción de seleccionar diferentes frecuencias mediante interruptores digitales. Ejemplos prácticos e industriales podrían ser: un ascensor, una escalera mecánica, un puente grúa, etc. Todos ellos pueden arrancar a una velocidad lenta y en función de la situación en la que se encuentre puede circular a velocidades mayores para de nuevo bajar la velocidad cuando esté llegando al final de su recorrido. Para este tipo de tareas se dispone de una serie de interruptores de entrada al variador de frecuencia que, según la posición



de la máquina (o a veces por tiempo), conmutan unos u otros de forma que en ciertas zonas se dispone de unas secuencias diferenciadas de entradas. En la tabla 4 se pueden observar diferentes posibilidades de funcionamiento.

CONTROL A TRAVÉS DE LAS ENTRADAS DIGITALES MULTIFUNCIÓN			
Referencia frecuencia	n004	1	Frecuencias preestablecidas en n024 - n031 y n120 - n127
Marcha/paro	n003	1	Entradas digitales multifunción
Frecuencias de referencia	n24-31	Frecuencia	Frecuencias preestablecidas 1 a 8
Función entradas digitales multifunción	n050	1	Sentido de giro directo (inicialización 2 hilos)
	n051	2	Sentido de giro inverso (inicialización 2 hilos)
	n052	6	Escalón 1 referencia frecuencia
	n053	7	Escalón 2 referencia frecuencia
	n054	8	Escalón 3 referencia frecuencia
	n055	5	Reset fallo

Tabla 4.- Parámetros para frecuencias prefijadas en un equipo de marca Omron

Para emplear este modo de funcionamiento se tiene que disponer de varias entradas al variador, con dos estado posibles cada uno, un "0" lógico o un "1" lógico. Todas las entradas son programables. Para ello, en el caso del variador 3G3MV, se utilizan los parámetros del 50 al 55; el 50 es para el interruptor conectado en la borna "S1", el parámetro 51 es para el interruptor ""2", etc. Si se le programa con un valor 1, al cerrarse el interruptor así programado pondrá al variador en marcha con una secuencia de salida denominada directa, pero si en vez de programarle un 1 se le programa un 2, arrancaría el variador con una secuencia de fases inversa y así el motor giraría al revés. Además se le podría programar otros valores tanto al interruptor de "s1" como al cualquiera del los otros.

Cuando a uno o varios de estos interruptores se les programa un valor 6, lo que ocurre es que ese interruptor pasa a formar parte de una "tabla de verdad" y en el bit de menor peso, al que se le programe un valor 7, será el segundo de menor peso y así sucesivamente, de manera que esta posible combinación de la tabla de verdad. Al tomar el valor "000" (ejemplo de 3 interruptores) esta combinación haría funcionar al variador con una frecuencia de salida igual a la programada en el parámetro 24, si la combinación de estado de los interruptores fuese "001", la frecuencia de salida sería la programada en el parámetro 25, y así sucesivamente. Previamente hay que haber programado estas frecuencias en los parámetros 24 y siguiente, en estos se pueden programar hasta 8 frecuencia diferenciadas. Pero todos los equipos poseen otros parámetros de funcionamiento similar y se pueden alcanzar hasta 32, 64 y 128 frecuencias (velocidades diferentes).

Como ejemplo de esta misma aplicación pero en otro equipo de diferente, marca y modelo se adjunta en la tabla 5 y 6 los parámetros relacionados con este método de funcionamiento.



No.	Parameter Name	Setting Range				Default
d1-01 to d1-16	Frequency Reference 1 to 16	0.00 to 400.00 Hz $\langle \triangleright >$				0.00 Hz
Reference	Multi-Step Speed H1-□□=3	Multi-Step Speed 2 H1-□□=4	Multi-Step Speed 3 H1-□□=5	Multi-Step Speed 4 H1-□□=32	Jog Reference H1-□□=6	
Frequency Reference 1 (d1-01/A1)	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	
Frequency Reference 2 (d1-02/A2)	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	
Frequency Reference 3 (d1-03)	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	
Frequency Reference 4 (d1-04)	ON	ON	OFF	OFF	OFF	
Frequency Reference 5 (d1-05)	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	
Frequency Reference 6 (d1-06)	ON	OFF	ON	OFF	OFF	
Frequency Reference 7 (d1-07)	OFF	ON	ON	OFF	OFF	
Frequency Reference 8 (d1-08)	ON	ON	ON	OFF	OFF	
Frequency Reference 9 (d1-09)	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	
Frequency Reference 10 (d1-10)	ON	OFF	OFF	ON	OFF	
Frequency Reference 11 (d1-11)	OFF	ON	OFF	ON	OFF	
Frequency Reference 12 (d1-12)	ON	ON	OFF	ON	OFF	
Frequency Reference 13 (d1-13)	OFF	OFF	ON	ON	OFF	
Frequency Reference 14 (d1-14)	ON	OFF	ON	ON	OFF	
Frequency Reference 15 (d1-15)	OFF	ON	ON	ON	OFF	
Frequency Reference 16 (d1-16)	ON	ON	ON	ON	OFF	
Jog Frequency Reference (d1-17) $\langle \triangleright >$	-	-	-	-	ON	

Tabla 5.- Manual de programación para asignación de frecuencias preestablecidas.

No.	Parameter Name	Setting Range	Default
H1-01	Digital Input S1 Function Selection	1 to 9F	40: Forward Run Command (2-wire sequence)
H1-02	Digital Input S2 Function Selection	1 to 9F	41: Reverse Run Command (2-wire sequence)
H1-03	Digital Input S3 Function Selection	0 to 9F	24: External Fault
H1-04	Digital Input S4 Function Selection	0 to 9F	14: Fault Reset
H1-05	Digital Input S5 Function Selection	0 to 9F	3 (0) $\langle \triangleright >$: Multi-Step Speed Reference 1
H1-06	Digital Input S6 Function Selection	0 to 9F	4 (3) $\langle \triangleright >$: Multi-Step Speed Reference 2

Tabla 6.- Asignación de función de las entradas digitales.

5 Cierre

Otras formas más complejas de programación como son a través de un bus de comunicación, no se han explicado en este artículo. Cuentan con una gran ventaja, que es la de poder intercambiar un volumen de datos muy importante, aunque a costa de un mayor grado de complejidad por la necesidad de programación del bus de comunicación industrial, donde el variador normalmente trabaja como esclavo y otros equipos de control como maestros y encargados de gestionar los datos.

No obstante si el lector es capaz de aprender a usar este equipo en las formas descritas en este artículo tiene mucho adelantado, ya que una gran mayoría de aplicaciones están trabajando bajo alguna de las modalidades de funcionamiento presentadas.

Así mismo, se considera muy importante empezar de forma sencilla para habituar al alumno en estas técnicas, que como se ha dicho anteriormente, están siendo utilizadas masivamente en todos los ámbitos tanto industrial como en el sector terciario. Sea cual sea la especialización del técnico se está completamente seguro que va a tener que usar alguno de estos equipos, por lo que se considera debe de cumplir una función educativa importante la lectura y la ejecución de los ejercicios comentados.



Por último mencionar que en los manuales de instalación y programación se recomienda encarecidamente que sean técnicos cualificados los que instalen y programen estos equipos, y fundamentalmente se sea muy cuidadosos con las conexiones a una muy buena toma tierra, ya que en caso contrario puede generar incidentes con riesgo de accidente a los usuarios.

6 Bibliografía

6.1 Libros:

- [1] Pérez Cruz, J., Pineda Sánchez, M., Puche Panadero, R. "Aplicaciones Técnicas Industriales de Motores de Inducción". UPV. 2010.
- [2] Roger Folch, J., Riera Guasp, M., Roldán Porta, C. "Tecnología Eléctrica". Síntesis.2010.
- [3] J.M. Merino Azcárraga. "Arranque Industrial de motores asíncronos", Mc Grau Hill. 1995.
- [4] Pérez Cruz, J., Pineda Sánchez, M., Puche Panadero, R. "Introducción a las Instalaciones y Tecnología Eléctrica". UPV. 2009.
- [5] Martínez Román, JA, Pérez Cruz, J., Pineda Sánchez, M. "Prácticas de Laboratorio de Máquinas Eléctricas". UPV. 2009.
- [6] Roger Folch, J., Riera Guasp, M., Pineda Sánchez, M., Pérez Cruz, J. "Prácticas de Laboratorio de Tecnología Eléctrica". UPV. 2011.

6.2 Referencias de fuentes electrónicas:

- [7] Catálogos de variadores de frecuencia. Ver páginas web de:

http://industrial.omron.es/es/products/catalogue/motion_and_drives/frequency_inverters/default.html

http://www.schneiderelectric.es/spain/es/productos-servicios/automatizacion-control/automatization-control-intermediate.page?f=F13%3AAutomatizaci%C3%B3n%20y%20Control%20Industrial~!NNM1:Variadores+de+Velocidad+%26+Arrancadores+progresivos&p_function_id=1e