



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA**

### **ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

#### **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO CON VARIADOR DE FRECUENCIA PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES ASINCRÓNICOS JAULA DE ARDILLA TRIFÁSICOS PARA EL LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL”**

**ÁNGEL ORLANDO CÁRATE GUTIÉRREZ  
ÁNGEL RODRIGO VILLACÍS SALAZAR**

## **TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

### **INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2011**

**Espoch**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

**CONSEJO DIRECTIVO**

Abril, 27 de 2011

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**ÁNGEL ORLANDO CÁRATE GUTIÉRREZ  
ÁNGEL RODRIGO VILLACÍS SALAZAR**

---

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO CON VARIADOR DE  
FRECUENCIA PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES  
ASINCRÓNICOS JAULA DE ARDILLA TRIFÁSICOS PARA EL LABORATORIO  
DE CONTROL INDUSTRIAL”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

---

Ing. Geovanny Novillo A.  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Marco Santillán  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Msc. Pablo Montalvo  
ASESOR DE TESIS

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** ÁNGEL ORLANDO CÁRATE GUTIÉRREZ

ÁNGEL RODRIGO VILLACÍS SALAZAR

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO CON VARIADOR DE FRECUENCIA PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES ASINCRÓNICOS JAULA DE ARDILLA TRIFÁSICOS PARA EL LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL”

**Fecha de Examinación:** Abril 27 de 2011.

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. GEOVANNY NOVILLO A (Presidente Trib. Defensa)			
ING. MARCO SANTILLÁN (Director de Tesis)			
ING. MSC. PABLO MONTALVO (Asesor)			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

f) Presidente del Tribunal

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

f) Ángel Orlando Cárate Gutiérrez

---

f) Ángel Rodrigo Villacís Salazar

## **AGRADECIMIENTO**

Mi total gratitud para todos los Maestros de la Facultad de Mecánica, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial reconocimiento para el Ing. Marco Santillán, y para el Ing. Pablo Montalvo, Director y Asesor de Tesis respectivamente, quienes compartieron sus conocimientos para mi formación integral como profesional.

A todas las personas que estuvieron presentes de una u otra forma ofreciéndome su apoyo incondicional para lograr mí objetivo deseado.

**Ángel Orlando Cárate Gutiérrez**

Este trabajo representa el término de un proyecto que no hubiese podido ser finalizado satisfactoriamente si no es por el apoyo y consejos de muchas personas.

Quiero agradecer especialmente a mi familia, que nunca dejaron de apoyarme durante estos largos años de estudio, particularmente a mi madre Teresa y mi hermano Henry. Gracias por la paciencia y cariño.

Especial mención merece el Ing. Marco Santillán que guió el trabajo realizado y, que gracias a sus consejos y conocimientos este proyecto pudo llegar a un exitoso final.

A mí querida Gabriela que siempre tuvo la disponibilidad de ayudar en todos los problemas que se presentaron.

Finalmente quisiera agradecer la colaboración de todos quienes contribuyeron para el desarrollo de la tesis y que siempre estuvieron presentes cuando se necesitó su ayuda.

**Ángel Rodrigo Villacís Salazar**

## **DEDICATORIA**

La investigación y trabajo desarrollados en la presente tesis la dedico a Dios por acompañarme siempre y guiarme por los senderos del conocimiento.

A toda mi familia como son, mis padres Ángel y Enma, a mis hermanas Gladys y Martha a mi sobrino Ritter, quienes son pilares fundamentales en todos los acontecimientos de mi vida.

**Ángel Orlando Cárate Gutiérrez**

A mi madre con mucho amor y cariño le dedico todo mi esfuerzo y trabajo puesto para la realización de esta tesis.

**Ángel Rodrigo Villacís Salazar**

## TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>	<u>PÁGINA</u>
<b>1. GENERALIDADES</b>	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	2
<b>2. FUNDAMENTO TEÓRICO</b>	
2.1 El motor de inducción.....	3
2.1.1 Características de funcionamiento del motor de inducción.....	5
2.1.2 Arranque de un motor trifásico de inducción.....	6
2.1.3 Fundamentos básicos sobre el control de velocidad de un motor trifásico de inducción.....	7
2.1.4 Formas de control de velocidad de un motor trifásico de inducción.....	7
2.1.5 Control de velocidad mediante el cambio en la frecuencia de alimentación.....	7
2.2 Variador de velocidad.....	8
2.2.1 Motivos para emplear variadores de velocidad.....	8
2.2.2 Forma de controlar un proceso con un variador de velocidad.....	8
2.2.3 Fomentar el ahorro de energía mediante el uso de variadores de velocidad.....	9
2.2.4 Tipos de variadores de velocidad.....	9
2.2.5 Composición de los variadores de frecuencia.....	12
2.3 Métodos para llevar a cabo la variación e inversores para control de velocidad de motores de inducción mediante relación voltaje/frecuencia.....	13
2.3.1 Por medio de tiristores.....	13
2.3.2 Control de voltaje y frecuencia mediante modulación de ancho de pulso (PMW).....	14

2.3.3	Relación V/f constante.....	18
2.3.4	PWM senoidal.....	19
2.3.5	Control digital de un inversor PWM.....	20
2.3.6	PWM por muestreo regular.....	20
<b>3.</b>	<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DE VARIADOR DE VELOCIDAD</b>	
3.1	Diagrama de bloques.....	22
3.2	Fuente de alimentación.....	22
3.3	Selector – luz piloto.....	23
3.4	Guarda-motor.....	23
3.5	Variador de velocidad.....	24
3.5.1	Instrucciones de uso del variador SINAMIC G110.....	24
3.5.2	Factores a tomar en cuenta para su instalación.....	26
3.5.3	Puesta en servicio.....	31
3.5.4	Uso del SINAMIC G110.....	45
3.5.5	Parámetros del sistema.....	55
3.5.6	Búsqueda y subsanación de fallos.....	56
3.5.7	Datos técnicos del SINAMICS G110.....	58
3.5.8	Compatibilidad electromagnética.....	61
3.6	Potenciómetro.....	63
3.7	Diseño y elaboración del módulo de control digital.....	64
3.7.1	Disparo de relé.....	64
3.7.2	Circuito control display.....	65
3.7.3	Circuito final del módulo de control digital.....	65
3.7.4	Elaboración del circuito.....	65
3.8	Diagrama de flujo programación PIC.....	67
3.9	Diseño del tablero.....	68
3.9.1	Estructura metálica.....	68
3.10	Implementación del módulo de variador de velocidad.....	68



#### **4. GUÍAS DE LABORATORIO**

4.1	PRÁCTICA N° 1.....	70
4.2	PRÁCTICA N° 2.....	77
4.3	PRÁCTICA N° 3.....	80

#### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	Conclusiones.....	84
5.2	Recomendaciones.....	85

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

## LISTA DE TABLAS

<b><u>TABLA</u></b>		<b><u>PÁGINA</u></b>
3.1	Disipación de potencia del convertidor SINAMICS G110 (230) V.....	27
3.2	Dimensiones del SINAMICS G110.....	27
3.3	Ajuste de fábrica para el servicio con SINAMICS G110–variante analógica.....	35
3.4	Ajustes de fábrica para el servicio con el SINAMICS G110 - variante USS Interface.....	36
3.5	Modos de operación.....	37
3.6	Cuadro sinóptico de la puesta en servicio.....	40
3.7	Redefinición de las entradas digitales.....	47
3.8	Sección de cable para los bornes de control (sin tornillos).....	58
3.9	Datos de potencia del SINAMICS G110.....	59
3.10	Pares de apriete para conexiones de potencia.....	59
3.11	Datos técnicos SINAMICS G110, tamaño constructivo A.....	60
3.12	Disipación de potencia del convertidor SINAMICS G110 (230 V).....	60
3.13	Corrientes armónicas, conexión 1AC 230 V.....	60
3.14	Caso 1: aplicación industrial en general.....	62
3.15	Caso 2 : aplicación industrial con filtro.....	62
3.16	Caso 3: con filtro para zonas residenciales, comerciales e industriales.....	63

## LISTA DE FIGURAS

<b><u>FIGURA</u></b>		<b><u>PÁGINA</u></b>
2.1	Motor trifásico de inducción.....	3
2.2	Rotor jaula de ardilla.....	4
2.3	Tipos de arranque en motores de inducción.....	6
2.4	Curvas características par-velocidad para todas las frecuencias.....	9
2.5	Control de frecuencia de un motor de corriente alterna.....	14
2.6	Modulación por ancho de pulsos sinusoidal.....	15
2.7	Modulación de ancho de pulso sinusoidal unidireccional.....	16
2.8	Ondas de salida PWM cuadrado del inversor.....	17
2.9	Puente inversor trifásico.....	17
2.10	Voltaje de salida para un inversor trifásico controlado por PWM cuadrado.....	18
2.11	Onda de voltaje para un inversor trifásico controlado por PWM senoidal.	19
2.12	PWM por muestreo regular.....	21
3.1	Fuente de alimentación, laboratorio de control industrial.....	22
3.2	Selector de dos posiciones.....	23
3.3	Luz piloto.....	23
3.4	Guardamotor siemens.....	24
3.5	Dimensiones del SINAMICS G110.....	28
3.6	Separación para montar adosados varios convertidores SINAMICS G110.....	28
3.7	Bornes de conexión SINAMICS G110.....	29
3.8	Conexiones DC SINAMICS G110.....	30
3.9	Conexión a la red del motor.....	31
3.10	Diagrama de bloques del SINAMICS G110.....	32
3.11	Interruptor DIP para frecuencias nominales del motor y terminación de bus.....	34
3.12	Servicio estándar, variante analógica.....	35
3.13	Panel de operaciones básico (BOP).....	39

3.14	Placa de características del MAJA 3F.....	42
3.15	Configuraciones típicas para la salida digital.....	45
3.16	Control siemens estándar vía ON/OFF1 y REV.....	48
3.17	Control siemens estándar vía ON/OFF1 y ON_REV/OFF1.....	49
3.18	Control 2-hilos vía ON_FWD y ON_REV.....	50
3.19	Control 3-hilos vía FWDP, REVP y STOP.....	51
3.20	Control 3-hilos vía ON_PULSE, OFF1/HOLD y REV.....	52
3.21	Vista general de parámetros.....	56
3.22	Ubicación del potenciómetro en las borneras del convertidor.....	64
3.23	Potenciómetro de precisión.....	64
3.24	Circuito de disparo de relé.....	64
3.25	Circuito control display.....	65
3.26	Circuito final del módulo de control digital.....	65
3.27	Módulo de control digital.....	66
3.28	Dimensiones del tablero.....	68
3.29	Estructura metálica, lado frontal y posterior.....	68
4.1	Ejemplo de una placa de características de un motor.....	73
4.2	Control siemens estándar vía ON/OFF1 y REV.....	79
4.3	Control siemens estándar vía ON/OFF1 y ON_REV/OFF1.....	79
4.4	Diagrama de bloque de un microcontrolador.....	81
4.5	Conexión del potenciómetro a bornes del convertidor.....	82

## LISTA DE ABREVIACIONES

AC	Corriente alterna
AD	Convertidor analógico-digital
ADC1	Entrada analógica 1
AIN	Entrada analógica
BOP	Basic operator panel
CP	Convertidor disipador plano (Cold Plate)
CPM	Módulo de potencia controlado (Controlled Power Module)
CT	Par de giro constante
CT	Puesta en servicio, listo para el servicio
CUT	Puesta en servicio, servicio, listo para el servicio
DC	Corriente continua
DIP	Interruptor DIP
DOUT	Salida digital
EC	Comunidad Europea
ELCB	Interruptor de corriente de defecto
EMC	Compatibilidad electromagnética
EMI	Perturbación electromagnética
FAQ	Preguntas que se hacen con frecuencia
FCL	Limitación rápida de la corriente
FF	Frecuencia fija
Fn	Botón de funciones
FS	Tamaño constructivo (Frame Size)
GSG	Primeros pasos, guía rápida
Hz	Hertzios
I/O	Entrada / salida
IGBT	IGBT Insulated Gate Bipolar Transistor
IT-red	Red sin puesta a tierra
JOG	Marcha a impulsos
Kw	Kilo-vatios
LCD	Visualizador de cristal líquido
LED	Diodo luminiscente

MOP	Potenciómetro motorizado
NPN	Negativo-Positivo-Negativo (tipo de transistor)
OPI	Instrucciones de servicio (Operating instructions)
PDS	Sistema de accionamiento (Power Drive System)
PLC/SPS	Control programable por memoria
PLI	Lista de parámetros
PNP	Positivo-Negativo-Positivo (tipo de transistor)
PTC	Resistencia PTC (coeficiente de temperatura positiva)
QC	Puesta en servicio rápida
RCCB	Interruptor de corriente de defecto
RCD	Corriente diferencial directa
RFG	Generador de rampas (HLG)
RFI	Perturbación de alta frecuencia
RPM	Revoluciones por minuto
USS	Interface en serie universal
VT	Par variable

## **LISTA DE ANEXOS**

- ANEXO 1:** Cuadro de procesos para la implementación del módulo
- ANEXO 2:** Diseño del módulo de control digital
- ANEXO 3:** Código fuente de programación del PIC
- ANEXO 4:** Adaptador para perfil (carril) del variador SINAMIC G110
- ANEXO 5:** Acoplamiento del BOP
- ANEXO 6:** Descripción del BOP
- ANEXO 7:** Normas aplicables
- ANEXO 8:** Construcción final del módulo de variador de velocidad

## RESUMEN

Se ha diseñado y construido un módulo con variador de frecuencia para el control de velocidad de motores asincrónicos jaula de ardilla trifásicos para el laboratorio de Control Industrial, que permite la variación de velocidad de los motores eléctricos. Con este equipo se podrán realizar las respectivas prácticas y pruebas de control de velocidad, que instruirá a los estudiantes de forma técnica, desarrollando sus destrezas intelectuales y así ser aplicadas en el campo profesional.

Con la implementación de este módulo se estudia a los variadores de frecuencia su composición en sus diferentes etapas llevando a cabo la variación de la frecuencia y por tal motivo su velocidad.

En este trabajo utilizamos el variador de velocidad SINAMIC G110 permitiéndonos el control de la velocidad y voltaje de un motor eléctrico asincrónico trifásico, por medio de la regulación de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Este es el método más eficiente en el manejo de la velocidad en procesos industriales, permitiendo el ahorro energético, son dos de las principales razones para el empleo de variadores de velocidad.

El variador de velocidad SINAMIC G110 permite operar mediante variantes: digital, USS y analógica, en esta última se ha diseñado un módulo de microcontrolador que accede de una manera opcional a un control digital logrando observar en su LCD la lectura de giro.

Se recomienda tomar las precauciones necesarias para el uso de estos dispositivos, por cuanto los equipos trabajan con tensiones elevadas.



## SUMMARY

A frequency changer for the speed control of asynchronous motors, three-phase squirrel cage for the industrial control lab has been designed and constructed permitting the speed variation of electrical motors. With this equipment it will be possible to carry out the corresponding speed control practices and tests for students to learn technically through developing intellectual skills to be applied in the professional field.

With the implementation of this module the frequency changers and their composition in their different stages are studied through frequency variation and hence their speed.

In this work the speed changer SINAMIC G110 is used, permitting the speed and voltage control of a three-phase asynchronous electrical motor through the feeding frequency regulation provided to the motor. This is the most efficient method in the speed handling in industrial processes, permitting the energy saving which are the two most important reasons why the speed changers are used.

The speed changer SINAMIC G110 permits to operate through variants: digital, USS and analogical ones. In the latter a micro-controller module with an optional access to digital control has been designed being able to observe in its LCD the speed reading.

It is recommended to take the necessary precautions for the use these devices as the equipment works with high tensions.

## **CAPÍTULO I**

### **1. GENERALIDADES**

#### **1.1 Antecedentes**

Considerando el avance tecnológico de las industrias, donde se utilizan variadores de frecuencia, particularmente para el control de los motores asincrónicos jaula de ardilla, que son adquiridos para la automatización industrial, se ha decidido tomar la iniciativa de elaborar un módulo con variador de frecuencia, que son ideales para una variedad de aplicaciones, en especial, el control de procesos y ahorro energético, logrando adquirir una fiabilidad en todos los equipos que requieren estos servicios, con esta investigación lograremos brindar conocimiento científico y tecnológico para contribuir al desarrollo integral de los estudiantes.

Los variadores de frecuencia también conocidos como convertidores están controlados por un microprocesador y utilizan tecnología IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) de última generación, esto los hace fiables y versátiles, sin duda un tema interesante y complementario para nuestra formación en el campo electrónico.

#### **Justificación**

La Escuela de Ingeniería de Mantenimiento de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, actualmente cuenta con un laboratorio de Control Industrial, conociendo que el desarrollo de la tecnología avanza a pasos agigantados, surge la necesidad de ir innovando los diferentes equipos y materiales utilizados en dicho laboratorio, con un módulo de variador de frecuencia para el control de velocidad de motores asincrónicos jaula de ardilla trifásicos, que permitan a los estudiantes de las diversas escuelas de la facultad estar capacitados para los requerimientos del sector productivo de nuestro país.

El módulo de variador de velocidad permitirá a los estudiantes tener una formación teórica-práctica con guías de laboratorio, las mismas que servirán para realizar las diferentes pruebas y monitoreo de los parámetros de funcionamiento de este equipo electrónico, el cual formará parte activa durante la preparación de los futuros profesionales, logrando un mejoramiento académico y fomentando líderes para la investigación.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Diseñar y construir un módulo con variador de frecuencia para el control de velocidad de motores asincrónicos jaula de ardilla trifásico para el laboratorio de Control Industrial.

#### **1.5.1 Objetivos específicos**

Indicar de una manera práctica y sencilla el control de velocidad de los motores eléctricos.

Conocer a los variadores de frecuencia su composición, y estructura.

Analizar las principales razones para el empleo de variadores de velocidad.

Diseñar el módulo del variador de acuerdo a los requerimientos técnicos.

Realizar la operación del variador a través de los diferentes tipos de control que dispone en su programación para el control del motor asincrónico jaula de ardilla trifásico.

Desarrollar el módulo de un microcontrolador para operar el variador, realizando las siguientes funciones, arranque, paro e inversión de sentido de giro del motor.

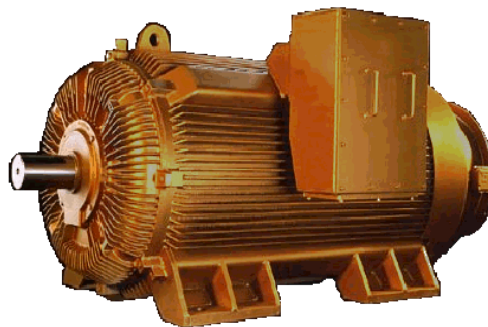
Elaborar guías de laboratorio para el manejo y programación del variador de velocidad.

## CAPÍTULO II

### 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

#### 2.1 El motor de inducción

El motor de inducción, es el motor de corriente alterna más utilizado, debido a su fortaleza y sencillez de construcción, buen rendimiento y bajo costo, así como a la ausencia de colector y al hecho de que sus características de funcionamiento se adaptan bien a una marcha a velocidad constante. El motor de inducción no necesita escobillas ni colector. Su armadura es de placas de metal magnetizable. El sentido alterno de circulación, de la corriente en las espiras del estator genera un campo magnético giratorio que arrastra las placas de metal magnetizable y las hace girar. [1]



**Figura 2.1:** Motor trifásico de inducción

Dependiendo del tipo de rotor tenemos dos tipos de motores asincrónicos trifásicos:

- Motor asincrónico de rotor bobinado
- Motor asincrónico tipo jaula de ardilla

#### **Motor asincrónico de rotor bobinado**

Su característica principal es que en el rotor se aloja un conjunto de bobinas que además se pueden conectar al exterior a través de anillos rozantes. Colocando resistencias variables en serie a los bobinados del rotor se consigue suavizar las corrientes de arranque. De la misma manera, gracias a un conjunto de resistencias conectadas a los bobinados del rotor, se

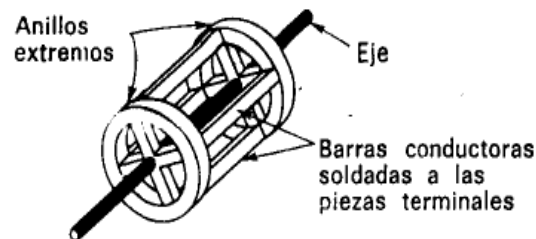
consigue regular la velocidad del eje. Un detalle interesante es que la velocidad del eje nunca podrá ser superior que la velocidad correspondiente si el motor fuera síncrono.

Se utiliza en aquellos casos en los que la transmisión de potencia es demasiado elevada (a partir de 200 Kw) y es necesario reducir las corrientes de arranque. También se utiliza en aquellos casos en los que se desea regular la velocidad del eje. [3]

### **Motor asincrónico tipo jaula de ardilla**

La diferencia con el motor de rotor bobinado es que el rotor de este está formado por un grupo de barras de aluminio o de cobre en forma similar al de una jaula de ardilla.

La mayor parte de los motores, que funcionan con corriente alterna (AC) de una sola fase, tienen el rotor de tipo jaula de ardilla. Un esquema simplificado del mismo se ve a continuación en la figura 2.2.



**Figura 2.2:** Rotor jaula de ardilla

Los rotores de jaula de ardilla reales son mucho más compactos que el de la figura 2.2 y tienen un núcleo de hierro laminado. [2]

### **Deslizamiento**

La velocidad de giro del rotor debe ser menor que la velocidad del flujo magnético, puesto que si tuvieran la misma velocidad, las barras del rotor no cortarían las líneas de flujo y, por tanto, no se engendraría en ellas la fuerza electromotriz (f.e.m.), resultando que la corriente en el rotor sería nula.

Debido a la resistencia con el aire y al rozamiento, el rotor no llega a alcanzar la misma velocidad que el flujo. Y a esa diferencia se le denomina deslizamiento. [1]

$$S = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (2.1)$$

Donde:  $n_s$  = velocidad sincrónica,  $n$  = velocidad diferente a la sincrónica.

### Par motor

Cuando las líneas del campo magnético cortan las barras del rotor, se produce en ellas una fuerza electromotriz que da lugar a corrientes que circulan en los sentidos opuestos (en los hilos más próximos a los polos) es decir, que se producen esas corrientes en hilo separado 180°. Estos hilos se ven sometidos a unas fuerzas que tienden a moverlos en dirección perpendicular al campo magnético y produciendo con ello el llamado par motor. [1]

### Par de giro

El valor del par de giro del motor viene dado por:

$$M = K \cdot \delta \cdot I_r \quad (2.2)$$

Siendo:  $K$  = Constante.

$\delta$  = Flujo magnético del campo giratorio.

$I_r$  = Intensidad de corriente del rotor. [1]

#### 2.1.1 Característica de funcionamiento del motor de inducción

El funcionamiento de un motor, en general, se basa en las propiedades electromagnéticas de la corriente eléctrica y la posibilidad de crear a partir de ellas, un campo magnético giratorio que induce un movimiento de rotación.

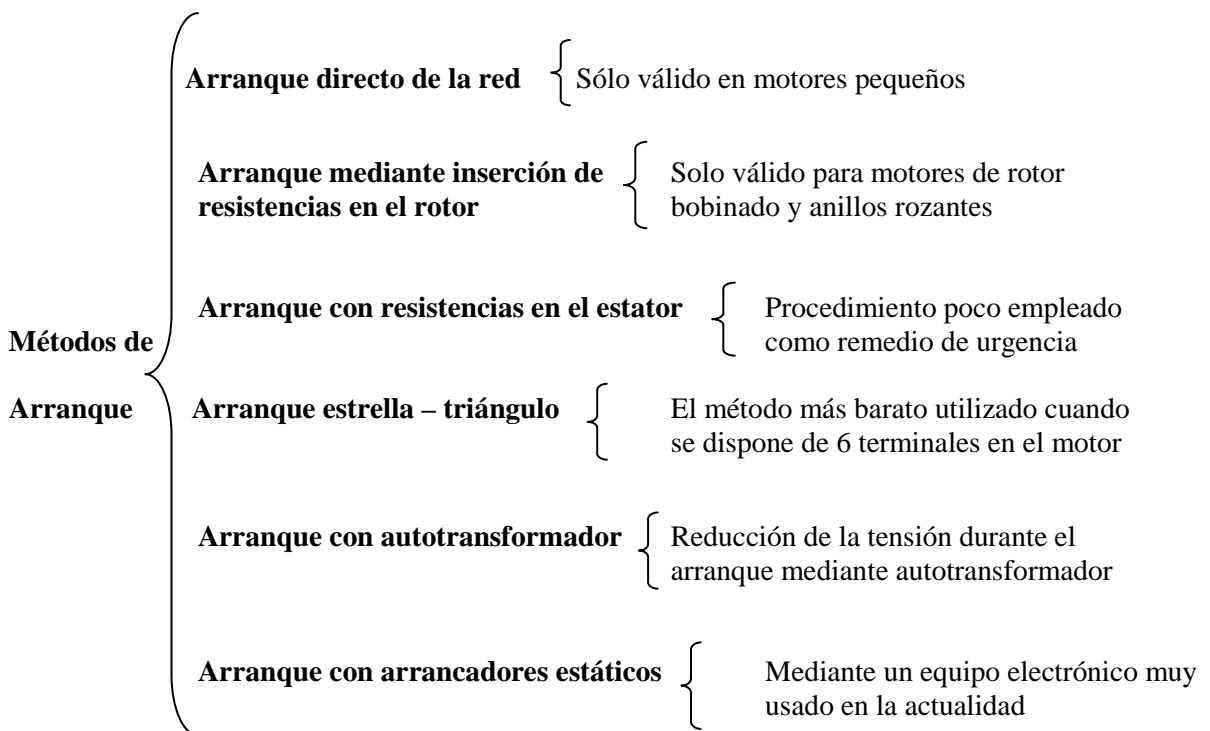
Si un motor de inducción comercial de jaula de ardilla se hace arrancar con el voltaje nominal en las terminales de línea de su estator desarrollará un par de arranque que hará que aumente su velocidad. Al aumentar su velocidad a partir del reposo, disminuye su deslizamiento y su par disminuye hasta el valor en el que se desarrolle el par máximo.

Los pares desarrollados al arranque y al valor del deslizamiento que produce el par máximo ambos exceden al par aplicado a la carga. Por lo tanto la velocidad del motor aumentará, hasta que el valor del deslizamiento sea tan pequeño que el par que se desarrolla se reduzca a un valor igual al par aplicado por la carga. El motor continuará trabajando a esta velocidad y valor de equilibrio del deslizamiento hasta que aumente o disminuya el par aplicado. [1]

### 2.1.2 Arranque de un motor trifásico de inducción

Se denomina arranque de un motor al régimen transitorio en el que se eleva la velocidad del mismo desde el estado de motor detenido hasta el de motor girando a la velocidad de régimen permanente. [4]

Son necesarios los arrancadores para limitar la corriente de armadura que fluye cuando el motor se conecta, pues en el momento de arranque la corriente que alcanza el motor de inducción conectado directamente es de 4 a 8 veces la corriente del mismo a plena carga, y aunque puede ser de corta duración, produciría sobrecargas en la línea y consecuentemente caídas de voltaje de mucha incidencia en la red. [6]



**Figura 2.3:** Tipos de arranque en motores de inducción

### **2.1.3 Fundamentos básicos sobre el control de velocidad de un motor trifásico de inducción**

El motor de corriente alterna, a pesar de ser un motor robusto, de poco mantenimiento, liviano e ideal para la mayoría de las aplicaciones industriales, tiene el inconveniente de ser un motor rígido en cuanto a la posibilidad de variar su velocidad. La velocidad del motor asincrónico depende de la forma constructiva del motor y de la frecuencia de alimentación.

Como la frecuencia de alimentación que entregan las compañías de electricidad es constante, la velocidad de los motores asincrónicos es constante, salvo que se varíe el número de polos, el deslizamiento o la frecuencia. [7]

### **2.1.4 Formas de control de velocidad de un motor trifásico de inducción**

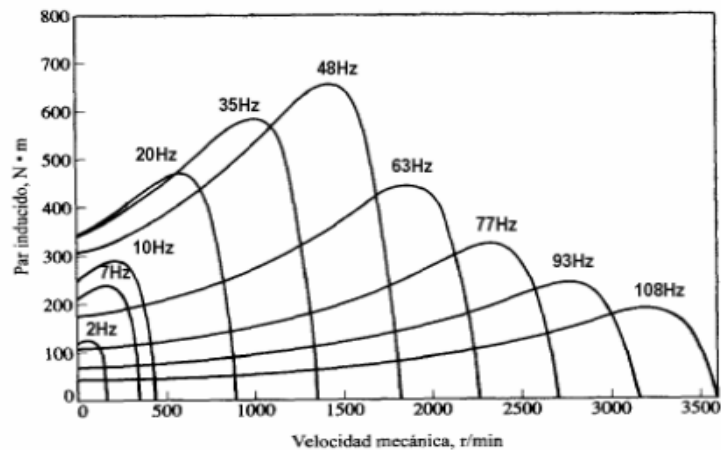
Se puede variar la velocidad del motor trifásico de inducción actuando sobre las variables de las que depende:

$$\left. \begin{aligned} s &= \frac{N_s - N_r}{N_s} \\ N_s &= \frac{f 120}{\# P} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{array}{ccc} \boxed{\text{Velocidad de rotación}} & & \boxed{\text{frecuencia}} \\ \downarrow & & \downarrow \\ N_r = N_s (1 - s) = \frac{120 f}{\# P} (1 - s) & & \downarrow \\ & & \boxed{\text{deslizamiento}} \end{array}$$

### **2.1.5 Control de velocidad mediante el cambio en la frecuencia de alimentación**

Al cambiar la frecuencia eléctrica aplicada al estator del motor de inducción, la velocidad de rotación de sus campos magnéticos cambiará en proporción directa al cambio de la frecuencia eléctrica y el punto de vacío sobre la curva característica par-velocidad cambiará con ella. La velocidad del motor en condiciones nominales se llama velocidad base. Se puede ajustar la velocidad del motor por encima o por de bajo de la velocidad base, utilizando control de frecuencia variable, como se puede ver en la fig. 2.4 donde la velocidad base es 1800 r.p.m.





**Figura 2.4:** Curvas características par-velocidad para todas las frecuencias [5]

## 2.2 Variador de velocidad

El Variador de Velocidad (VSD, por sus siglas en inglés Variable Speed Drive) en un sentido amplio, es un dispositivo o conjunto de dispositivos mecánicos, hidráulicos, eléctricos o electrónicos empleados para controlar la velocidad giratoria de maquinaria, especialmente de motores eléctricos.

Un variador de velocidad puede consistir en la combinación de un motor eléctrico y el controlador que se emplea para regular la velocidad del mismo. La combinación de un motor de velocidad constante y de un dispositivo mecánico que permita cambiar la velocidad de forma continua también puede ser designada como variador de velocidad.

### 2.2.1 Motivos para emplear variadores de velocidad

El control de procesos y el ahorro de la energía son las dos de las principales razones para el empleo de variadores de velocidad. Históricamente, los variadores de velocidad fueron desarrollados originalmente para el control de procesos, pero el ahorro energético ha surgido como un objetivo tan importante como el primero.

### 2.2.2 Forma de controlar un proceso con un variador de velocidad

Entre las diversas ventajas en el control del proceso proporcionadas por el empleo de variadores de velocidad destacan:

- Operaciones más suaves.
- Control de la aceleración.
- Distintas velocidades de operación para cada fase del proceso.
- Compensación de variables en diversos procesos.
- Permitir operaciones lentas para fines de ajuste o prueba.
- Ajuste de la tasa de producción.
- Permitir el posicionamiento de alta precisión.
- Control del par motor (torque).

### **2.2.3 Fomentar el ahorro de energía mediante el uso de variadores de velocidad**

Un equipo accionado mediante un variador de velocidad emplea generalmente menor energía que si dicho equipo fuera activado a una velocidad fija constante. Los ventiladores y bombas representan las aplicaciones más llamativas. Por ejemplo, cuando una bomba es impulsada por un motor que opera a velocidad fija, el flujo producido puede ser mayor al necesario. Para ello, el flujo podría regularse mediante una válvula de control dejando estable la velocidad de la bomba, pero resulta mucho más eficiente regular dicho flujo controlando la velocidad del motor, en lugar de restringirlo por medio de la válvula, ya que el motor no tendrá que consumir una energía no aprovechada.

### **2.2.4 Tipos de variadores de velocidad**

En términos generales, puede decirse que existen tres tipos básicos de variadores de velocidad: mecánicos, hidráulicos y eléctrico-electrónicos, siendo este último de interés para el tema propuesto.

#### **Variadores eléctrico-electrónicos**

Los variadores eléctrico-electrónicos incluyen tanto el controlador como el motor eléctrico, sin embargo es práctica común emplear el término variador únicamente al controlador eléctrico.

Los primeros variadores de esta categoría emplearon la tecnología de los tubos de vacío. Con los años después se han ido incorporando dispositivos de estado sólido, lo cual ha

reducido significativamente el volumen y costo, mejorando la eficiencia y confiabilidad de los dispositivos.

Existen cuatro categorías de variadores de velocidad eléctrico-electrónicos

- variadores para motores de DC.
- variadores de velocidad por corrientes de Eddy.
- variadores de deslizamiento.
- variadores para motores de CA (también conocidos como variadores de frecuencia).

## 1. Variadores para motores de DC

Estos variadores permiten controlar la velocidad de motores de corriente directa serie, derivación, compuesto y de imanes permanentes. Para el caso de cualquiera de las máquinas anteriores se cumple la siguiente expresión:

$$V_t = K.FM.Nm \quad (2.3)$$

Donde:  $V_t$  Voltaje terminal (V).

$K$  Constante de la máquina.

$FM$  Flujo magnético producido por el campo (Wb)

$Nm$  Velocidad mecánica (rpm).

Este tipo de variadores puede controlar la velocidad de un motor de DC: controlando su voltaje terminal, o bien, manipulando el valor de la corriente de campo.

## 2. Variadores por corrientes de Eddy

Un variador de velocidad por corrientes de Eddy consta de un motor de velocidad fija y un embrague de corrientes de Eddy. El embrague contiene un rotor de velocidad fija (acoplado al motor) y un rotor de velocidad variable, separados por un pequeño entrehierro. Se cuenta, además, con una bobina de campo, cuya corriente puede ser regulada, la cual produce un campo magnético que determinará el par mecánico transmitido del rotor de entrada al rotor de salida. De esta forma, a mayor intensidad de campo magnético, mayor par

y velocidad transmitidos, y a menor campo magnético menores serán el par y la velocidad en el rotor de salida. El control de la velocidad de salida de este tipo de variadores generalmente se realiza por medio de lazo cerrado, utilizando como elemento de retroalimentación un tacómetro de corriente alterna (AC).

### 3. Variadores de deslizamiento

Este tipo de variadores se aplica únicamente para los motores de inducción de rotor devanado. En cualquier motor de inducción, la velocidad mecánica ( $N_m$ ) puede determinarse mediante la siguiente expresión:

$$N_m = \frac{120 \cdot f \cdot (1 - s)}{P} \quad (2.4)$$

Donde “ $s$ ” es el deslizamiento del motor, cuyo valor oscila entre 0 y 1. De esta forma, a mayor deslizamiento, menor velocidad mecánica del motor. El deslizamiento puede incrementarse al aumentar la resistencia del devanado del rotor, o bien, al reducir el voltaje en el devanado del rotor. De esta forma es que puede conseguirse el control de la velocidad en los motores de inducción de rotor devanado. Sin embargo, este tipo de variadores es de menor eficiencia que otros, razón por la cual en la actualidad tiene muy poca aplicación.

### 4. Variadores para motores de AC

Los variadores de frecuencia (siglas AFD, del inglés Adjustable Frequency Drive; o bien VFD Variable Frequency Drive) permiten controlar la velocidad tanto de motores de inducción (asíncronos de jaula de ardilla o de rotor devanado), como de los motores síncronos mediante el ajuste de la frecuencia de alimentación al motor.

Para el caso de un motor síncrono, la velocidad se determina mediante la siguiente expresión:

$$N_m = \frac{120 \cdot f}{P} \quad (2.5)$$

Cuando se trata de motores de inducción, se tiene:

$$Nm = \frac{120.f.(1-s)}{P} \quad (2.6)$$

Donde:  $Ns$  = velocidad síncrona (rpm)  
 $Nm$  = velocidad mecánica (rpm)  
 $f$  = frecuencia de alimentación (Hz)  
 $s$  = deslizamiento (adimensional)  
 $P$  = número de polos (adimensional)

Como puede verse en las expresiones (2.5) y (2.6), la frecuencia y la velocidad son directamente proporcionales, de tal manera que al aumentar la frecuencia de alimentación al motor, se incrementará la velocidad de la flecha, y al reducir el valor de la frecuencia disminuirá la velocidad del eje. Por ello es que este tipo de variadores manipula la frecuencia de alimentación al motor a fin de obtener el control de la velocidad de la máquina

Estos variadores mantienen la razón Voltaje/ Frecuencia (V/Hz) constante entre los valores mínimo y máximos de la frecuencia de operación, con la finalidad de evitar la saturación magnética del núcleo del motor y además porque el hecho de operar el motor a un voltaje constante por encima de una frecuencia dada (reduciendo la relación V/Hz) disminuye el par del motor y la capacidad del mismo para proporcionar potencia constante de salida en el motor. [8]

### **2.2.5 Composición de los variadores de frecuencia**

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

Los variadores de frecuencia están compuestos por:

**Etapas Rectificadora.-** Convierte la tensión alterna en continua mediante rectificadores de diodos, tiristores, etc.

**Etapla intermedia.-** Existe un filtro para suavizar la tensión rectificada y reducir la emisión de armónicos.

**Inversor o "Inverter".-** Convierte la tensión continua en otra de tensión y frecuencia variable mediante la generación de pulsos. Actualmente se emplean IGBT's (Isolated Gate Bipolar Transistors) para generar los pulsos controlados de tensión. Los equipos más modernos utilizan IGBT's inteligentes que incorporan un microprocesador con todas las protecciones por sobrecorriente, sobretensión, baja tensión, cortocircuitos, puesta a masa del motor, sobretemperaturas, etc.

**Etapla de control.-** Esta etapa controla los IGBT's para generar los pulsos variables de tensión y frecuencia. Y además controla los parámetros externos en general, etc.

Los variadores utilizan modulación PWM (Modulación de Ancho de Pulsos) y usan en la etapa rectificadora puente de diodos rectificadores. En la etapa intermedia se usan condensadores y bobinas para disminuir las armónicas y mejorar el factor de potencia a través de cálculos matemáticos. [5]

### **2.3 Métodos para llevar a cabo la variación e inversores para control de velocidad de motores de inducción mediante relación voltaje / frecuencia**

De acuerdo al método para variar la velocidad sincrónica de un motor trifásico de corriente alterna, debemos alimentar el motor con una tensión y frecuencia variable, dependiendo de la velocidad que se quiera. Es muy importante tener en cuenta que al modificar la frecuencia que se aplica al estator, es necesario variar la tensión aplicada de la misma forma y en la misma magnitud. Esto se debe hacer para mantener el mismo grado de saturación y densidad de flujo en el entrehierro del motor. [9]

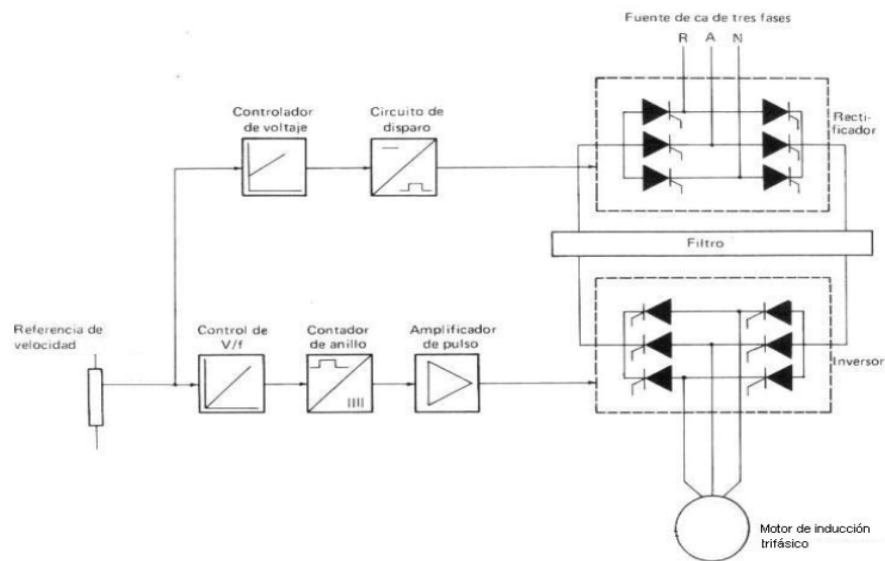
#### **2.3.1 Por medio de tiristores**

Los tiristores fueron parte fundamental del control de velocidad para motores de (CA) por variación de frecuencia. En un principio solo estos elementos podían ser utilizados para este fin, pues no existía en el mercado otro tipo de semiconductores que pudieran suministrar las corrientes que estos variadores demandan. Además, este tipo de semiconductores, debiendo

ser de potencia, tenían un alto costo. Esta característica hacía casi imposible su empleo en este tipo de equipos para motores de corriente continua.

Con el advenimiento de nuevas tecnologías para la fabricación de semiconductores, los tiristores fueron desplazados y en su lugar se fueron utilizando transistores de potencia, MOSFETS de potencia, y últimamente IGBTs.

Uno de los principales problemas que se afrontaban con los tiristores era toda la circuitería paralela que se debía diseñar para su apagado. Además se tenía que emplear un gran número de tiristores dentro del diseño, ya que el control de velocidad para motores de AC prácticamente era dos controles en uno; un control de voltaje para la parte de voltaje de DC y otro para la parte de frecuencia. Esto se puede ver en la figura 2.5



**Figura 2.5:** Control de frecuencia de un motor de corriente alterna

### **2.3.2 Control del voltaje y frecuencia mediante modulación de ancho de pulso (PWM)**

Mediante esta técnica se puede controlar la magnitud y frecuencia de la señal de salida mediante la modulación del ancho de pulso de los interruptores del inversor. El PWM es el proceso de modificar el ancho de los pulsos de un tren de pulsos en razón directa a una pequeña señal de control; cuando mayor sea el voltaje de control, será más ancho el pulso resultante.

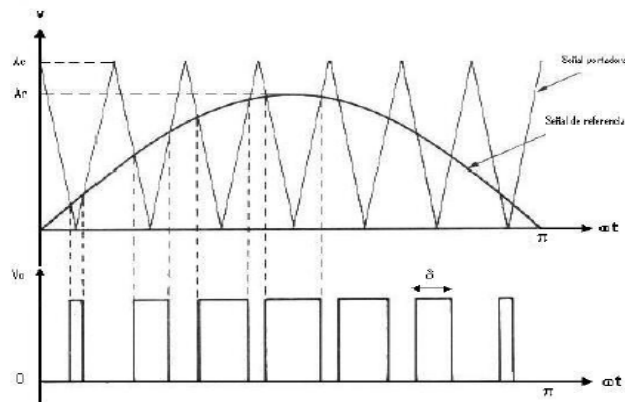
Existen diferentes tipos de modulación por ancho de pulso, tales como: modulación por ancho de pulso único, por ancho de pulso múltiple, sinusoidal, sinusoidal modificado, entre otros, cada uno con sus respectivas características.

Las señales de control, se generan comparando a una señal de referencia sinusoidal de amplitud  $A_r$ , con una onda portadora triangular de amplitud  $A_c$  y frecuencia  $f_r$ . La variable de control es el índice de modulación de amplitud ( $M$ ), o índice de modulación, el cual es la relación de  $A_r$  entre  $A_c$ .

$$M = \frac{A_r}{A_c} \quad (2.7)$$

Si se varía  $A_r$  desde 0 hasta  $A_c$ , se puede modificar el ancho de pulso  $\delta$ , de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ . De esta manera, la amplitud pico de la senoidal controla el índice de modulación  $M$ , y en consecuencia el voltaje RMS de salida  $V_0$ .

La figura 2.6 muestra lo explicado anteriormente.

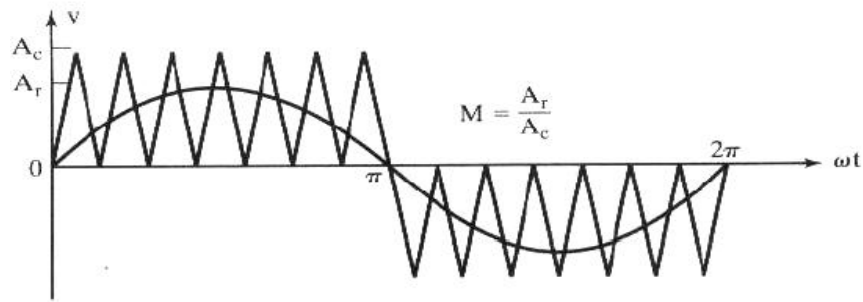


**Figura 2.6:** Modulación por ancho de pulsos sinusoidal

Se puede observar que el área de cada pulso corresponde en forma aproximada, al área bajo la onda sinusoidal, entre los puntos medios adyacentes de los periodos de apagado de las señales de control.

Se generan las mismas señales de disparo con una onda portadora triangular unidireccional como se ve en la figura 2.7





**Figura 2.7:** Modulación de ancho de pulso sinusoidal unidireccional

Al analizar el resultado de la forma de onda de la modulación de ancho de pulso sinusoidal unidireccional, se nota que para las señales de control en un puente inversor trifásico, el semiciclo positivo puede ser idéntico al semiciclo negativo, desfasado este último  $180^\circ$ .

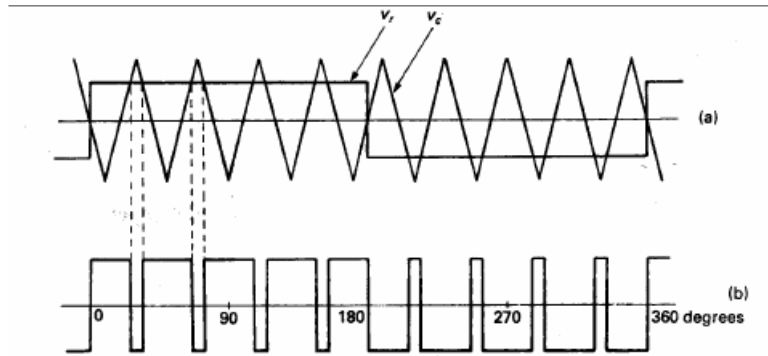
En base a esta característica, las señales de control se pueden basar sólo en los valores de la señal PWM resultante de un semiciclo.

### **PWM cuadrado y puente inversor trifásico**

Una forma alternativa de PWM, conocida como *modulación en anchura de varios pulsos por semiperiodos o PWM de onda cuadrada*, implica obtener una serie de pulsos de igual anchura en cada medio ciclo, como se puede ver en la figura 2.8. Esto se lleva a cabo conmutando la mitad del puente a la frecuencia fundamental requerida y la otra mitad a un múltiplo de la misma. La relación  $T_1 / (T_1 + T_2)$ , es denominada el ciclo de trabajo de la onda PWM, y la magnitud del voltaje fundamental de salida se controla al variarse éste, denominándose PWM cuadrado.

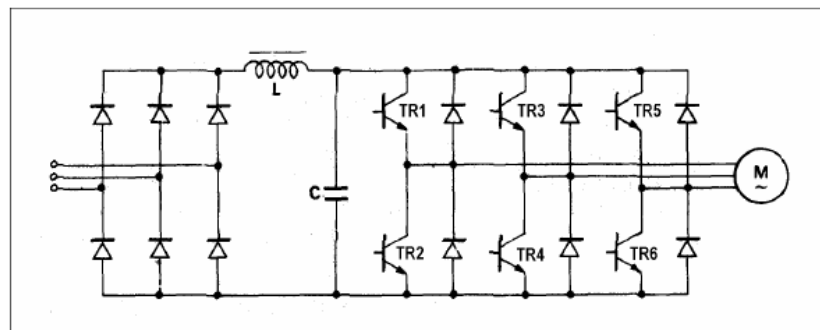
A voltaje reducido de salida se obtiene un contenido armónico de orden menor mediante esta técnica.

Para el efecto, se requiere circuitos de control en el que una onda portadora triangular es comparada con una onda cuadrada de referencia con la frecuencia de salida deseada.



**Figura 2.8:** Ondas de salida PWM cuadrado del inversor: (a) voltajes de entrada del comparador; (b) salida del comparador y voltaje en las terminales

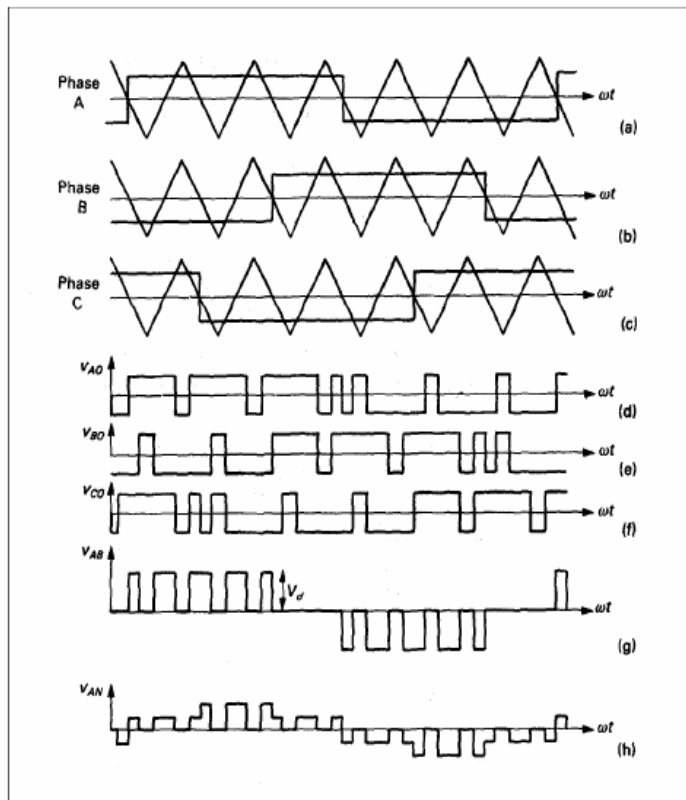
En un inversor trifásico (figura 2.9) cada medio ciclo tiene un comparador separado, el cual es alimentado por la misma portadora triangular. Sin embargo, las tres ondas cuadradas de referencia tienen un desplazamiento de  $120^\circ$ , formando un sistema balanceado de tres fases. La figura 2.9 muestra las ondas cuadradas de referencia para las fases A, B; y C, y la portadora triangular común a ellas, para una relación de seis. Los voltajes de polo  $V_{A0}$ ,  $V_{B0}$  y  $V_{C0}$  también se muestran.



**Figura 2.9:** Puente inversor trifásico.

Como es usual, el voltaje de línea  $V_{AB} = V_{A0} - V_{B0}$ , dando una serie de pulsos de igual anchura uniformemente separados, de amplitud  $V_d$  en cada medio ciclo, con un pulso de media anchura a los extremos.

Generalmente, la amplitud de la portada es fija; y es la onda de referencia la que controla el índice de modulación y el voltaje de salida. Cuando  $M$  es cero, los voltajes de polo de la figura 2.10 son ondas cuadradas simétricas sin modular, y el voltaje instantáneo  $V_{AB}$ , es siempre cero.



**Figura 2.10:** Voltaje de salida para un inversor trifásico controlado por cuadrado: (a), (b), (c) voltajes de entrada del comparador; (d), (e), (f) voltajes de polo; (g) voltaje de línea; (h) voltaje línea-neutro.

Para valores pequeños de  $M$  los pulsos del voltaje de salida son muy delgados, pero al incrementar  $M$ , el ancho de pulsos se incrementa proporcionalmente, incrementándose el área volts-segundos por medio ciclo y la amplitud del voltaje fundamental. Al aproximarse  $M$  a la unidad, la salida es como sería sin la técnica PWM

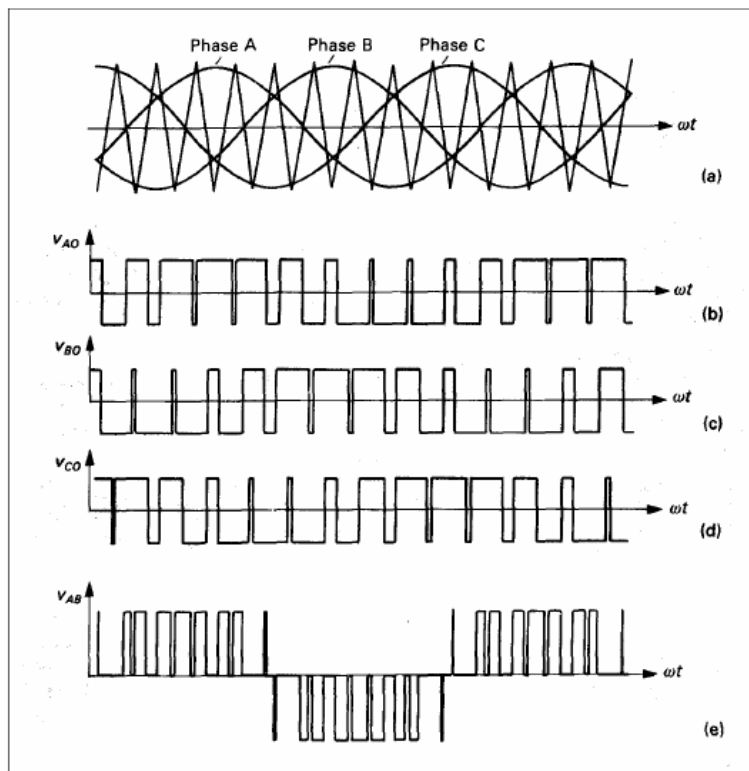
### 2.3.3 Relación V/f constante

El ajuste de la frecuencia del inversor se hace simultáneamente variando la frecuencia de las portadoras y las ondas de referencia con su relación de fase. Estas condiciones se satisfacen cuando las dos ondas son generadas por el mismo oscilador común. Al examinar la figura 2.11 se puede ver que la duración de cada pulso en el voltaje de salida es proporcional al índice de modulación,  $M$ , y al periodo de la onda de referencia,  $T$ . Entonces, la duración del pulso,  $T_p$ , es proporcional a  $MT$ , o  $M/f$ , en donde  $f$  es la frecuencia de la onda de referencia. Si la amplitud de la onda de referencia es variada linealmente con la frecuencia, entonces la relación  $M/f$  es constante, y la duración del pulso,  $T_p$ , es independiente de la frecuencia. En

consecuencia, el área volts-segundos por medio ciclo es la misma a todas las frecuencias, lo que implica una operación con relación volts/hertzio constante. O desde otro punto de vista, ya que la amplitud del voltaje fundamental es función lineal de  $M$ , una relación constante de  $M/f$  implica  $V/f$  constante.

### 2.3.4 PWM senoidal

En la técnica de PWM cuadrado explicada anteriormente, la onda de referencia es una cuadrada trifásica. La frecuencia, amplitud y contenido armónico de esta señal de referencia son reproducidas a la salida del inversor; en consecuencia, los armónicos de orden menor de la onda de referencia aparecen en la onda de salida. Sin embargo, la mayoría de los motores de AC están diseñados para operar con una fuente senoidal, por lo que la salida del inversor debe ser lo más senoidal posible. Para efecto, la onda de referencia cuadrada debe ser reemplazada por una senoidal, para lograr una salida PWM en la que el ancho de pulso sea modulado senoidalmente en cada medio ciclo. Esta técnica se denomina PWM senoidal, o PWM subarmónico.



**Figura 2.11:** Onda de voltaje para un inversor trifásico controlado por PWM senoidal; (a) voltajes del comparador; (b), (c), (d) voltajes polares; (e) voltaje de línea.

El control del voltaje de salida se realiza variando la amplitud de la onda senoidal. Esta variación altera los anchos de pulso en el voltaje de salida, pero preserva el patrón de modulación senoidal.

La operación mediante frecuencia ajustable de una onda modulada senoidalmente a la salida del inversor para el control de velocidad de un motor de AC, requiere la generación de las tres ondas senoidales trifásicas con amplitud y frecuencia variables. Si el motor opera a velocidad muy baja, el oscilador de referencia debe tener capacidad de baja frecuencia hasta cero hertzios. Muchos de los inversores PWM adopta el PWM cuadrado; sin embargo, la implementación de PWM senoidal a sido facilitada por modernas técnicas digitales utilizando memorias programadas o circuitos integrados a gran escala.

### **2.3.5 Control digital de un inversor PWM**

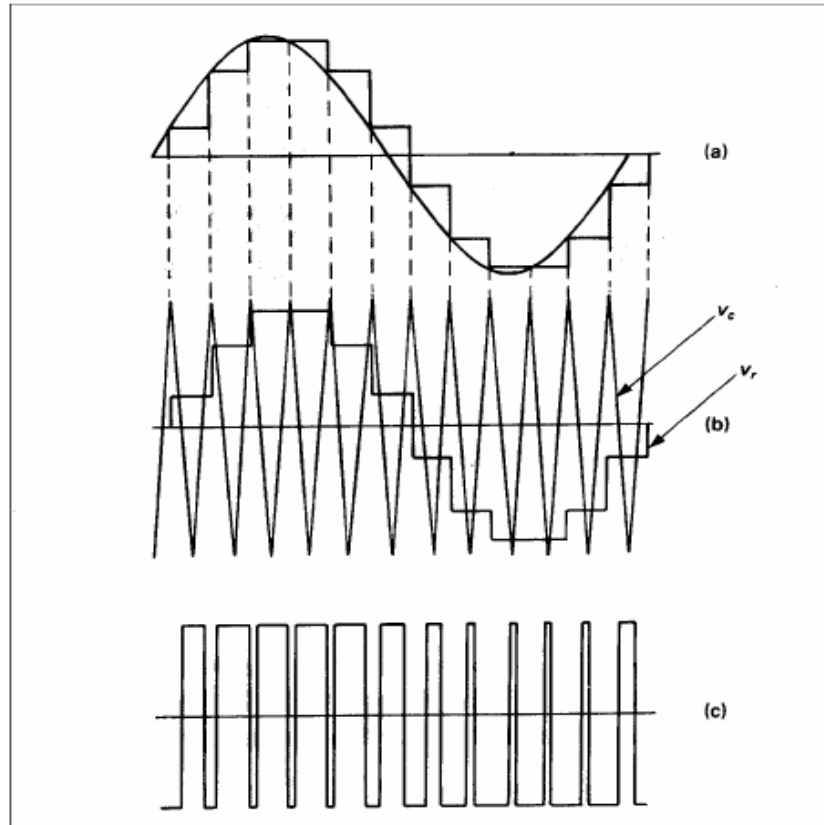
En los últimos años, se ha hecho énfasis en el uso de técnicas digitales para la generación de ondas PWM. La técnica de PWM senoidal emplea una onda senoidal modulante, la cual es comparada con una portadora triangular para determinar los instantes de conmutación del inversor. Esta técnica es conocida como *PWM por muestreo natural*, y ha sido adoptada ampliamente por su fácil implementación analógica. Mediante técnicas digitales, la onda senoidal de referencia puede ser almacenada como una tabla en memoria ROM, y los valores de la onda senoidal son accedidos a una velocidad correspondiente a la frecuencia fundamental requerida.

Una onda portadora triangular es generada usando un contador, y las dos ondas se comparan digitalmente. Sin embargo, el muestreo natural es esencialmente una técnica analógica; y esta forma de implementación digital no es muy efectiva; en un inversor PWM controlado por un microprocesador, es difícil calcular los anchos de pulsos de la señal por muestreo natural porque no están definidos por alguna expresión analítica.

### **2.3.6 PWM por muestreo regular**

Una forma alternativa similar, de naturaleza digital, se muestra en la figura 2.12. La onda modulante senoidal es ahora muestreada en intervalos regulares correspondiendo a los picos positivos de la portadora. El circuito sample-and-hold mantiene un nivel constante hasta que

se realiza la siguiente muestra. Este proceso resulta en una versión escalonada, o modulada en amplitud; de la onda de referencia. Esta onda escalonada, es comparada con la portadora triangular, y los puntos de intersección determinan los instantes de conmutación del inversor.



**Figura 2.12:** PWM por muestreo regular: (a) señal senoidal modulante y versión sample-and-hold; (b) voltajes de entrada del comparador; (c) voltaje de salida del comparador o voltaje de polo.

La versión sample-and-hold de la onda modulante tiene una magnitud constante para cada pulso. Por lo tanto, el ancho de pulsos es proporcional a la altura del escalón, y el centro de cada pulso ocurre a intervalos uniformes espaciados. De ahí que se le llame *muestreo regular o uniforme*.

En general, el proceso de PWM modifica el contenido armónico del voltaje de salida y puede usarse para minimizar efectos armónicos indeseables en la carga.

## CAPÍTULO III

### **3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DE VARIADOR DE VELOCIDAD**

Para el diseño y construcción del módulo de variador de velocidad, para los motores asincrónicos jaula de ardilla trifásicos (MAJA 3F), se ha tomado en cuenta que, debe ser o estar constituido de tal forma que facilite el aprendizaje e ilustre claramente las partes más importantes del tema en estudio, como también que este se acople perfectamente a los módulos que se encuentran en el laboratorio de Control Industrial de la Facultad de Mecánica, tomando en cuenta las normas establecidas para la instalación de los diferentes dispositivos eléctricos–electrónicos.

#### **3.1 Diagrama de bloques**

Se establece un orden de conexión de los dispositivos, los mismos que serán estudiados y justificados el porqué de su utilización, por tal motivo se realizó un diagrama de bloques que nos sirve de guía para la instalación de los equipos y su estudio (ver anexo 1).

#### **3.2 Fuente de alimentación**

El Laboratorio de Control Industrial, cuenta con módulos con su propia fuente de alimentación regulable la misma que alimenta a través de sus borneras CC de 0-120V-25A y corriente alterna regulable de 0-120/220 V-15A (figura 3.1) y fuente fija 120/220 V-15A de AC, para nuestro fin utilizaremos 220V AC que será necesario para poner en funcionamiento el módulo de variador de velocidad.



**Figura 3.1:** Fuente de alimentación, laboratorio de Control Industrial

### 3.3 Selector – luz piloto

Los dispositivos de mando son de gran importancia para la comunicación persona-dispositivos en el área de aplicaciones industriales.

El selector de dos posiciones que será utilizado, está montado al inicio del panel, proporcionando el mando de la energía al módulo. En su costado se encuentra la luz piloto que nos sirve de señalización, es decir, en el momento de accionamiento se encenderá la luz de color verde que nos indicará el paso de energía al módulo.

En el campo industrial podemos ver que los selectores se hallan montados en pletinas de conmutación, paneles de control, por ambas manos, en la manufactura de ascensores, y en las plantas de manejo de materiales, incluidas cintas transportadoras. El accionamiento manual de los dispositivos empieza operando secuencias y procesos funcionales, o sirve para conducir éstos a un final.



**Figura 3.2:** Selector de dos posiciones



**Figura 3.3:** Luz piloto

### 3.4 Guarda-motor

Para la protección del motor se instaló un guarda-motor que es un disyuntor magneto-térmico, especialmente diseñado para la protección de motores eléctricos. Éste diseño especial proporciona al dispositivo una curva de disparo que lo hace más robusto frente a las sobrecargas transitorias típicas de los arranques de los motores.

El disparo magnético es equivalente al de otros interruptores automáticos pero el disparo térmico se produce con una intensidad y tiempo mayores. Su curva característica se denomina D o K.



La característica principal del guarda-motor, al igual que de otros interruptores automáticos magneto-térmicos, son la capacidad de ruptura, la intensidad nominal o calibre y la curva de disparo. Proporciona protección frente a sobrecargas del motor y cortocircuitos, así como, en algunos casos, frente a falta de fase.

- 1.- Protección contra sobrecargas.
- 2.- Protección contra cortocircuitos.
- 3.- Maniobras normales manuales de cierre y apertura.
- 4.- Señalización.



**Figura 3.4:** Guarda-motor siemens

### **3.5 Variador de velocidad**

Colocado el guarda-motor se ejecuta el montaje y conexión del convertidor SINAMIC G110, para tal motivo se detalla la información que será de mucha importancia para su instalación y uso, pesquisa como: puesta en servicio, modos de control, estructura de parámetros del sistema, posibilidades de diagnóstico, datos técnicos y opciones disponibles del variador de velocidad SINAMIC G110.

#### **3.5.1 Instrucciones de uso del convertidor SINAMIC G110**

Los variadores SINAMICS G110 son convertidores de frecuencia para regular la velocidad en motores trifásicos. Los diferentes modelos que se suministran la marca SIEMENS cubren un margen de potencia de 120 W a 3,0 Kw en redes monofásicas.

Los convertidores están controlados por microprocesador y utilizan tecnología IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) de última generación. Esto los hace fiables y versátiles. Un método especial de modulación por ancho de impulsos con frecuencia de pulsación seleccionable permite un funcionamiento silencioso del motor. Extensas funciones de seguridad ofrecen una protección excelente tanto del convertidor como del motor.

Con sus ajustes por defecto realizados en fábrica, SINAMICS G110 es ideal para una gran gama de aplicaciones sencillas de control de motores V/f, también puede utilizarse tanto en aplicaciones donde se encuentre aislado como integrado en sistemas de automatización.

Haciendo uso del gran número de parámetros de ajuste de que dispone, también puede utilizarse SINAMICS G110 en aplicaciones más avanzadas para control de accionamientos. Los valores de parámetros para el SINAMICS G110 se pueden modificar con el panel básico de operaciones BOP (Basic Operator Panel) o bien mediante la interface en serie universal (USS).

SINAMICS G110 existe en dos variantes:

- Variante USS Interface
- Variante analógica

### **Características principales del variador**

- Fácil de instalar
- Puesta en marcha sencilla
  - puesta en servicio rápida
  - función "reposición a valores de fábrica" (reajusta los parámetros a sus valores por defecto)
- Diseño robusto en cuanto a EMC
- Puede funcionar en redes de alimentación IT (modelos sin filtro)
- 1 entrada digital con separación galvánica
- 3 entradas digitales sin separación galvánica
- 1 entrada analógica AIN: 0 – 10 V (solo en la variante analógica) se puede utilizar como cuarta entrada digital.

- Altas frecuencias de pulsación para funcionamiento silencioso del motor
- Las información de estado y alarmas se visualizan en el panel BOP (obtenible como opción)
- BOP opcional con funcionalidad de copia de parámetros para juegos de los mismos
- Interface interna RS485 (solo en la variante USS)
- Kit de conexión para el enlace PC-convertidor (RS232)

## **Funciones**

- Tiempo de respuesta a señales de mando rápido
- Limitación rápida de corriente (fast current limit FCL) para funcionamiento seguro sin desconexiones por fallo Freno combinado
- Freno por inyección de corriente continua integrado
- Frecuencias fijas
- Función de potenciómetro motorizado
- Tiempos de aceleración y deceleración ajustables con redondeo parametrizable
- Característica V/f multipunto
- Control con 2-hilos/3-hilos
- Rearranque automático después de cortes de red

## **Características de protección**

- Protección sobretensión / subtensión
- Protección de sobretemperatura para el convertidor
- Protección de defecto a tierra
- Protección de cortocircuito
- Protección contra la pérdida de estabilidad (vuelco) del motor

### **3.5.2 Factores a tomar en cuenta para su instalación**

#### **1. Disipación de potencia**

Las pérdidas de la Tabla 3.1 son aplicables a equipos con cables de conexión apantallados de hasta 25 m.

**Tabla 3.1: DISIPACIÓN DE POTENCIA DEL CONVERTIDOR  
SINAMICS G110 (230 V)**

<b>Tamaño constructivo</b>	<b>Potencia de salida (kW)</b>	<b>Pérdidas (W)</b>
A	0.12	22
A	0.25	28
<b>A</b>	<b>0.37</b>	<b>36</b>
A	0.55	43
A	0.75	54

## 2. Condiciones ambientales para el servicio

### Temperatura

-10 °C hasta +50 °C (14 °F hasta 122 °F).

### Humedad

Humedad relativa  $\leq$  95 % sin condensación.

### Radiación electromagnética

No instalar el convertidor cerca de fuentes de radiación electromagnética.

### Contaminación atmosférica

No instalar el convertidor en un entorno que contenga contaminantes atmosféricos tales como polvo, gases corrosivos, etc.

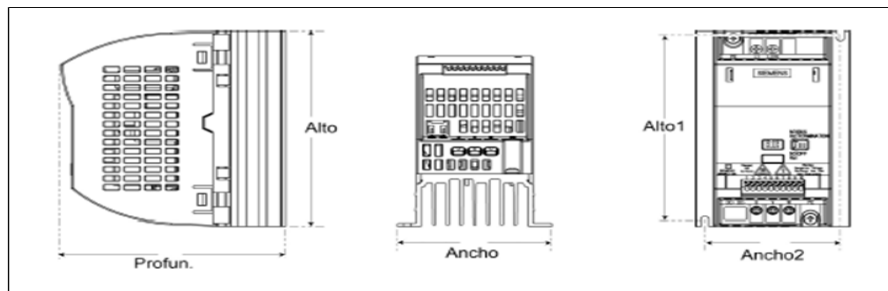
### Agua y humedad

Tomar las precauciones necesarias para evitar instalar el convertidor en lugares donde pueda presentarse humedad y condensación excesivas, por ejemplo, no instalarlo cerca de tuberías con peligro de condensación.

## 3. Dimensionamiento del convertidor

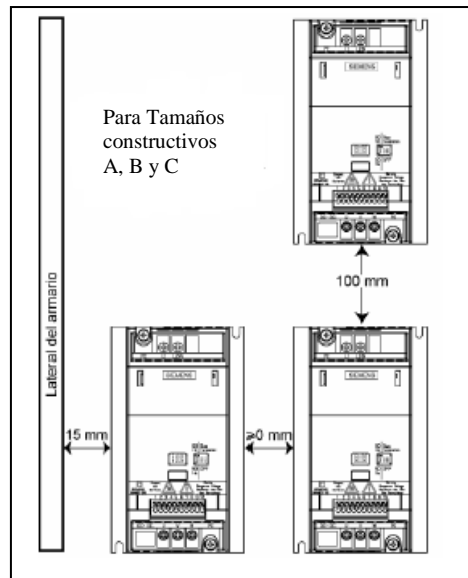
**Tabla 3.2: DIMENSIONES DEL SINAMICS G110**

<b>Tamaño Constructivo</b>	<b>Potencia de salida</b>	<b>Dimensiones alto x ancho x profundo</b>	<b>Profundidad con el BOP</b>	<b>Medidas Perforaciones Alt.1 x Ancho 2</b>
A	120W-370W	150 x 90 x 116 (mm)	124 (mm)	140 x 79 (mm)



**Figura 3.5:** Dimensiones del SINAMICS G110

En el caso que se requiera montar adosados variadores de acuerdo a la necesidad y a la aplicación se procede de acuerdo a la figura 3.6 como se muestra.



**Figura 3.6:** Separación para montar varios convertidores SINAMICS G110

#### 4. Instalación eléctrica

En la instalación se tiene que tomar en cuenta los cables de alimentación y los del motor, es necesario tenderlos separados de los cables de mando. No llevarlos a través del mismo conducto/canaleta.

El convertidor debe ponerse siempre a tierra. Si el convertidor no está puesto a tierra correctamente se puede destruir, así como producirse altas tensiones peligrosas para las personas. Lo mismo rige si el convertidor trabaja en redes no puestas a tierra.

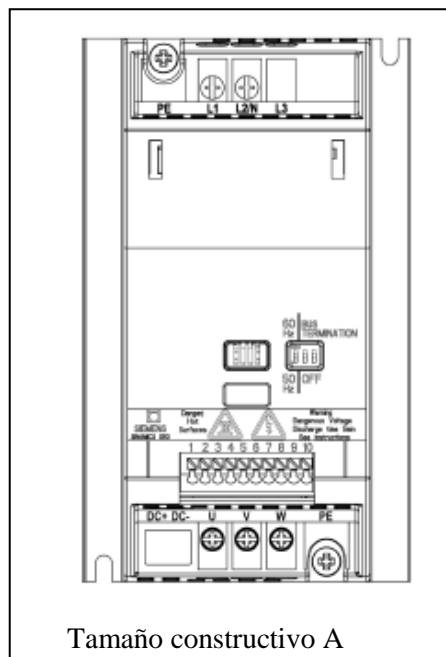
##### a. Conexiones a la red y al motor

- Asegurar de que entre la fuente de alimentación y el convertidor estén conectados interruptores o fusibles de protección dimensionados para la corriente nominal especificada.
- Utilizar únicamente hilo de cobre de la clase 1,75 °C. (al menos AWG 16 para cumplir con UL).
  - Para cumplir con la normativa UL, se tienen que conectar los bornes de control del convertidor SINAMICS G110 con cables monofilares.
  - Para cumplir con la normativa UL, se debe poner en la terminal del cable un engarce a presión que disponga de homologación UL para las siguientes conexiones PE del SINAMICS G110:

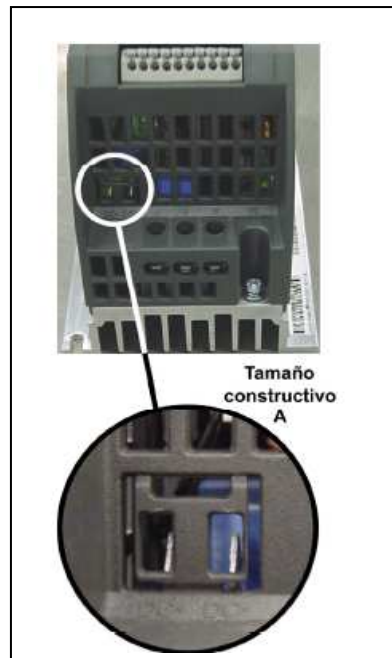
Forma constructiva A: conexión puesta a tierra (PE) de red y de motor.

### Acceso a los bornes de red y del motor

En la figura 3.7 muestra la disposición de las conexiones: control, red y motor del SINAMICS G110.



**Figura 3.7:** Bornes de conexión SINAMICS G110



**Figura 3.8:** Conexiones DC SINAMICS G110

### **Conexión del circuito intermedio**

El circuito intermedio solo se lo utiliza cuando se desea utilizar varios convertidores para acceder a la conexión del circuito intermedio (DC+/DC-), se tiene que romper la protección de los orificios correspondientes con unos alicates delgados de corte diagonal, teniendo en cuenta que no caiga ningún pedazo de plástico dentro del convertidor (véase Figura 3.8).

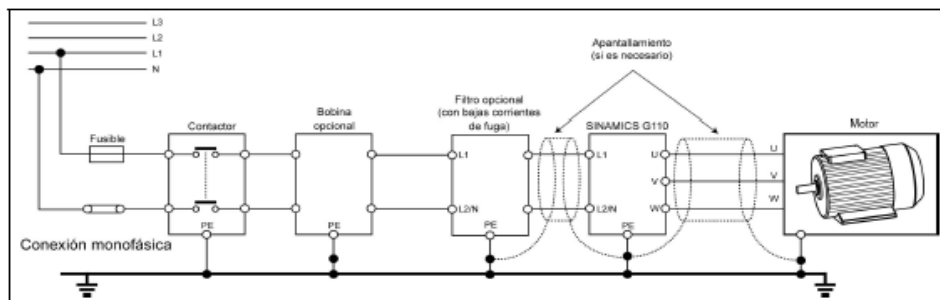
La conexión de bornes consta de dos enchufes planos de 6,3 mm x 8 mm. Una vez quitada la protección de los orificios y si el circuito intermedio no está conectado, el convertidor solo tiene el grado de protección IP00.

Para la conexión del circuito intermedio se debe tener en cuenta lo siguiente:

1. El borne DC+ de un convertidor se tienen que unir al borne DC+ del otro convertidor, igualmente las dos conexiones DC-. Conectar erróneamente puede destruir ambos convertidores.
2. Ambos convertidores tienen que estar conectados a la misma red y la misma fase.
3. Un cortocircuito en uno de los convertidores puede destruir ambos.
4. Los convertidores se deben montar lo más unidos posible para que los cables de unión del circuito intermedio sean también lo más cortos posible.

Se tienen que utilizar las tenazas de presión apropiadas para acoplar las terminales a los cables y asegurar una unión correcta y segura.

Una forma recomendada que proporciona los fabricantes de instalación es la que se muestra en la siguiente figura 3.9



**Figura 3.9:** Conexión a la red del motor

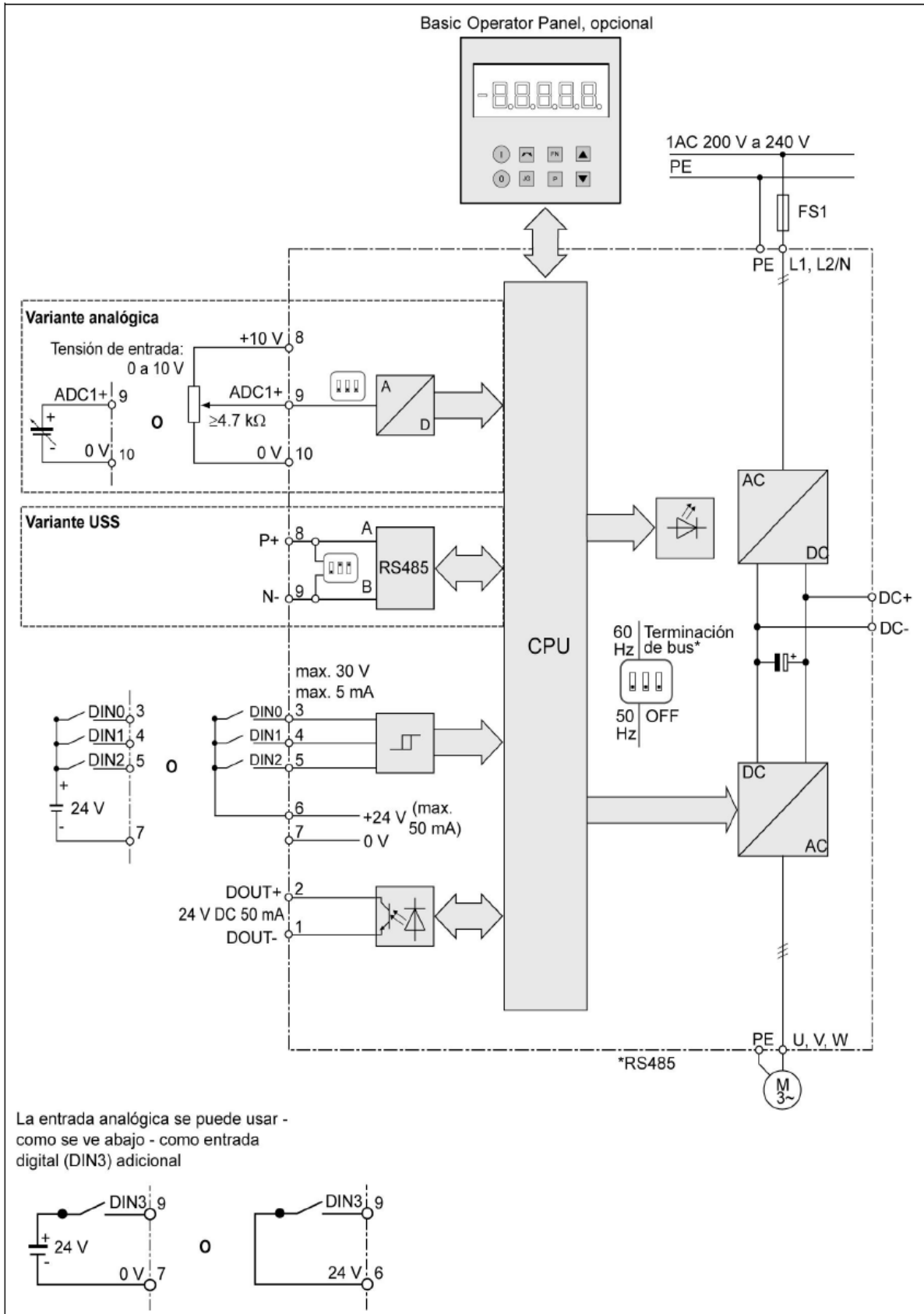
### 3.5.3 Puesta en servicio

Se describe los diferentes modos de operación y puesta en servicio del SINAMIC G110. El requisito para ponerlo en servicio es haber finalizado la instalación mecánica y eléctrica tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- En el caso, que un cortocircuito haya en el equipo de control éste pueda producir daños materiales considerables, o incluso graves lesiones, se deben tomar precauciones externas adicionales.
- Determinados ajustes de parámetros pueden provocar el re arranque automático del convertidor tras un fallo de la red de alimentación. Los parámetros del motor se deben configurar con precisión para que la protección de sobrecarga del motor funcione correctamente para frecuencias mayores de 5 Hz.
- Este equipo es apto para utilizarlo en redes equilibradas capaces de entregar como máximo 10.000 amperios (eficaces), para tensiones máximas de 230 V.
- El SINAMICS G110 no posee interruptor principal y está bajo tensión al conectar la alimentación de red.



# 1. Diagrama de bloques



**Figura 3.10:** Diagrama de bloques del SINAMICS G110

## **2. Modos de puesta en servicio**

La puesta en servicio estándar para el convertidor se puede llevar a cabo con uno de los métodos que se indican a continuación y es adecuada para la mayoría de las aplicaciones.

- Usando el convertidor con los ajustes de fábrica, prescribiendo consignas y comandos por medio de entradas digitales y analógicas o por medio de la interface RS485.
- Usando el panel básico de operaciones BOP (Basic Operator Panel).

La puesta en servicio avanzada permite adaptar el SINAMICS G110 a aplicaciones específicas. Existe en dos variantes:

- **Variante analógica**

Está indicada para aplicaciones con un solo convertidor. Las órdenes y consignas se imparten con un interruptor externo y un potenciómetro utilizando las entradas digitales y la entrada analógica del SINAMICS G110.

- **Variante USS**

Está indicada para aplicaciones con varios convertidores comunicados. Las órdenes y consignas se imparten usando la interface RS485 con protocolo USS. Se pueden operar varios SINAMICS G110 en el mismo bus.

Si utiliza la interface USS, necesita un potencial 0 V común a todos los componentes en el bus USS. Esto lo puede hacer mediante el borne 10 de la tarjeta de control. Cada modelo SINAMICS G110 dispone de diferentes modos para hacer la puesta en servicio. Estas opciones se describen a continuación.

## **3. Puesta en servicio estándar**

El SINAMICS G110 se suministra con valores de parámetro preajustados en fábrica, con las siguientes características:

Los datos asignados del motor; tensión, corriente y frecuencia se encuentran almacenados en el convertidor y se han dado partiendo de un motor apropiado al convertidor.

### **Adaptación a motores de 60 Hz**

Los SINAMICS G110 están preajustados para motores con una frecuencia nominal de 50 Hertzios. Se pueden adaptar, por medio del interruptor (DIP) que se encuentra en la parte frontal, para el funcionamiento con motores de 60 Hertzios.

El interruptor DIP se utiliza para conmutar entre 50 Hz y 60 Hz. La posición del ajuste de fábrica es la de 50 Hz. La potencia de salida, en esa posición, se visualiza en Kw (si hay un BOP incorporado). Los datos específicos del motor se calculan en base a 50 Hz.

Cambiando la posición del interruptor DIP a 60 Hz se adapta el SINAMICS G110 a la aplicación de 60 Hz. El interruptor se tiene que poner a la frecuencia requerida antes de aplicar la tensión de red. Al conectar la tensión se lee la posición del interruptor y se calculan los siguientes parámetros específicos del motor:

- Frecuencia nominal del motor (P0310)
- Frecuencia máxima del motor (P1082)
- Frecuencia de referencia (P2000)



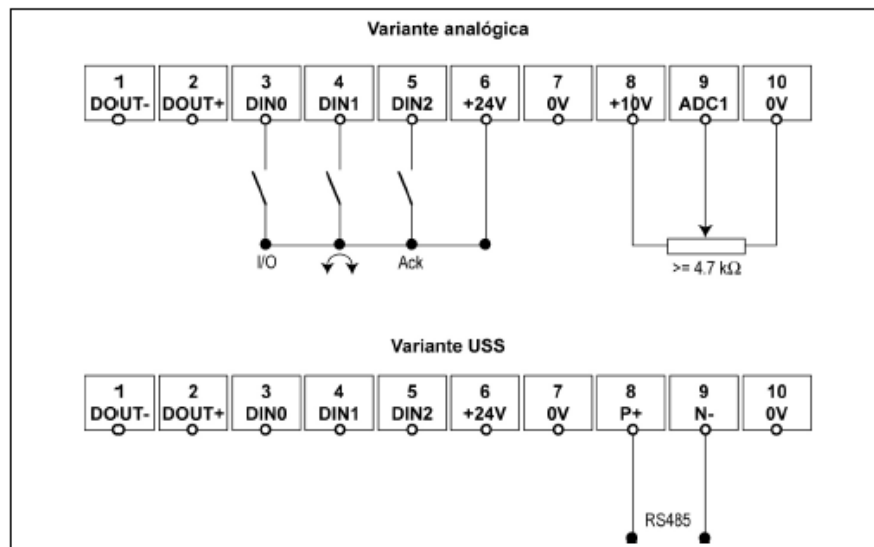
**Figura 3.11:** Interruptor DIP para frecuencias nominales del motor y terminación de bus

### **Ajuste de fábrica**

El variador viene ajustado ya de fábrica por lo que se debe adaptarlo a los requerimientos.

El convertidor SINAMICS G110 viene ajustado para emplearlo en aplicaciones estándar V/f con un motor asíncrono trifásico de 4 polos que tenga los mismos datos de potencia que el convertidor.

El control de velocidad del motor se lleva a cabo a través de las entradas analógicas en la variante analógica o a través de la interface RS485 en la variante USS ver figura 3.12



**Figura 3.12:** Servicio estándar, variante analógica

El convertidor ya viene preajustado desde la fábrica para emplearlo directamente en la mayoría de las aplicaciones. El ajuste de fábrica para la variante analógica se encuentra en la Tabla 3.3 y para la variante USS en la Tabla 3.4. La asignación de bornes se muestra en la Figura 3.12.

**Tabla 3.3:** AJUSTE DE FÁBRICA PARA EL SERVICIO CON SINAMICS G110 – VARIANTE ANALÓGICA

Descripción	Bornes	Parámetros-ajuste de fábrica	Función
Fuente consigna frecuencia	9	P1000 = 2	Entrada analógica
Fuente de órdenes	3,4 y 5	P0700 = 2	(véase abajo)
Entrada digital 0	3	P0701 = 1	ON/OFF1
Entrada digital 1	4	P0702 = 12	Inversión de sentido de giro
Entrada digital 2	5	P0703 = 9	Acuse de fallo
Tipos de control vía bornes	-	P0727 = 0	Control Siemens estándar

Con los ajustes de fábrica de la variante analógica se obtienen las siguientes funciones:

- Órdenes ON y OFF para el motor (DIN0 vía interruptor externo)
- Conmutación de giro: horario/antihorario del motor (DIN1 vía interruptor externo)
- Acuses de fallo (DIN2 vía interruptor externo).

El control de velocidad del motor se puede efectuar mediante un potenciómetro ( $\geq 4,7$  k $\Omega$ ) en la entrada analógica (variante analógica) y mediante la interface RS485 (variante USS). Véase Figura 3.12

**Tabla 3.4:** AJUSTES DE FÁBRICA PARA EL SERVICIO CON EL SINAMICS G110 -  
VARIANTE USS

Descripción	Bornes	Parámetros-ajuste de fábrica	Función
Dirección USS	8/9	P2011 = 0	Dirección USS = 0
Transmisión USS	8/9	P2010 = 6	Vel.transmisión USS = 9600 bps
Longitud PZD USS	8/9	P2012 = 2	En la parte PZD del telegrama USS hay dos palabras de 16 bits. (PZD = datos de proceso)
Consigna de frecuencia	8/9	P1000 = 5	Prescripción de consigna vía protocolo USS (HSW = consigna principal)
Fuente de órdenes	8/9	P0700 = 5	Vía protocolo USS (STW = palabra de mando)

### Mensajes de diagnóstico del convertidor

El LED muestra los estados de funcionamiento, alarma y fallo del convertidor.

### Terminación de bus en la variante USS

La variante USS del SINAMICS G110 utiliza protocolo RS485 para la comunicación entre el control y el (los) convertidor(es) en el bus.

El último convertidor en el bus necesita una resistencia. La resistencia determinación de bus se activa poniendo los interruptores DIP 2 y 3 (Figura 3.10, lado frontal del SINAMICS G110) en la posición.

### Puesta en servicio con el panel básico de operación (BOP)

Con el panel de operaciones opcional BOP se pueden modificar señales de control y consignas de velocidad, apretando simplemente el botón pertinente. Con el BOP también se tiene fácilmente acceso a los parámetros del SINAMICS G110.

## Mensajes de diagnóstico

En caso de fallo o alarma, se visualiza en el BOP el número de fallo o alarma, que se encuentra en el parámetro r0947 ó r2110.

## 4. Puesta en servicio avanzada

Para la puesta en servicio avanzada, se necesita tener acceso directo a los parámetros del convertidor o bien por medio de un maestro USS (ejemplo un PLC), un panel de operaciones básico (BOP) o mediante la herramienta de PC "Starter".

Como resultado, se dispone de diferentes posibilidades para realizar la puesta en servicio (véase Tabla 3.5).

## Modos de operación

El SINAMICS G110 se puede conectar para funcionar en diferentes modos de operación, ejemplo (BOP) acoplado, se utiliza el bus USS, en los bornes de las entradas digitales hay interruptores conectados.

**Tabla 3.5: MODOS DE OPERACIÓN**

Modo de operación	Variante analógica	Variante USS	Aclaración (componentes opcionales requeridos)
Bornes	✓ (Requiere interruptor y potenciómetro)	✓ (Entrada analógica sin soporte. Es posible fuente de órdenes vía interruptor externo)	<b>❶</b> = BOP <b>❷</b> = kit de conex. PC-convertidor <b>❸</b> = software STARTER  ✓ = con soporte
Interface en serie (USS-RS485)	<b>Sin soporte</b>	✓	
Interface en serie (USS-RS232)	✓ <b>❷</b>	✓ <b>❷</b> (USS-RS232 y USS-RS485 no se pueden usar a la vez)	
BOP	✓ <b>❶</b>	✓ <b>❶</b>	
STARTER	✓ <b>❷</b> <b>❸</b>	✓ <b>❸</b> Con convertidor de interface RS485 en bornes x8/x9 o con <b>❷</b>	

## **Basic Operator Panel (BOP)**

Cuando el ajuste de fábrica del convertidor no es adecuado a la aplicación, se puede modificar el ajuste y adaptar el convertidor a la aplicación requerida utilizando el BOP, este permite acceder directamente a los parámetros del SINAMICS G110.

Con el BOP se pueden ejecutar las siguientes funciones:

- Modificación de valores de parámetros
- Visualización de parámetros especiales
- Transmisión de juegos de parámetros de un SINAMICS G110 a otro.

Con el BOP se pueden ajustar varios convertidores. Una vez se finalizan los ajustes de uno, se quita el BOP de un convertidor y se puede poner en otro.

El BOP posee una visualización de cinco cifras, con la que se puede leer y modificar valores de parámetros.

Cuando el BOP está acoplado y se ha selecciona con P0005 = 21 la frecuencia de salida, se visualizará la consigna correspondiente – si el convertidor está en stop – aproximadamente cada segundo.

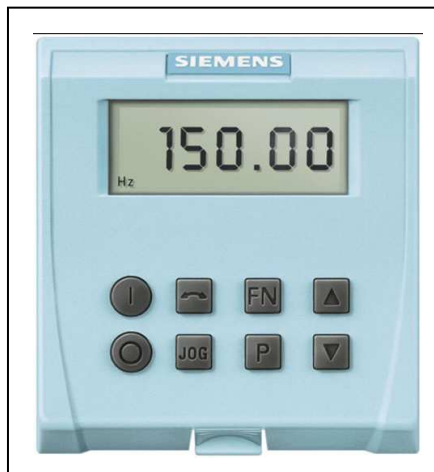
Ajustar P0719 = 11 o la fuente de órdenes P0700 = 1 y la fuente de consigna de frecuencia P1000 = 1 para controlar totalmente el convertidor a través del BOP.

## **Funciones avanzadas del BOP**

El BOP ofrece la posibilidad de realizar una puesta de servicio completa al ingresar los parámetros requeridos.

- El BOP se fija directamente en el convertidor. No está prevista la conexión con cable.
- El BOP también se puede poner y quitar estando el convertidor bajo tensión.

- El SINAMICS G110 detecta cuando se ha incorporado un BOP y permite acceder a los parámetros. Para el mando del convertidor con el BOP (ON-OFF, consigna) se tienen que poner los parámetros P0700 (fuente de órdenes para ON/OFF, cambio de giro, JOG) y P1000 (consigna de frecuencia) a 1. También se puede ajustar como alternativa P0719 = 11.



**Figura 3.13: BOP**

## **Software STARTER**

Durante la carga de parámetros al convertidor (download) con la herramienta de PC para la puesta en servicio STARTER las salidas digitales pueden emitir señales irregulares (no válidas).

Antes de llevar a cabo la transferencia de parámetros al convertidor hay que tomar las medidas necesarias que aseguren que no se encuentra ninguna carga colgante no asegurada; ejemplo, utilizando un freno externo o depositando la carga en el suelo y asegurándola.

Como asistente para que la parametrización y la puesta en servicio sean más rápidos y mejor se puede utilizar el STARTER. Esta herramienta de software para el PC se encuentra en el CD-ROM que contiene toda la documentación y las herramientas de software del SINAMICS G110 y también está a disposición vía Internet.

Starter ofrece un panel de operaciones gráfico que facilita el acceso a los parámetros del convertidor. Se puede elegir entre una lista para expertos o una puesta en servicio guiada para principiantes.



El software STARTER funciona con los siguientes sistemas operativos:

- Windows NT
- Windows 2000
- Windows XP Professional

Para utilizarlo se necesita un "kit de conexión PC-convertidor" en ambas variantes, en la variante USS se puede, además conectar un PC vía bornes 8 y 9 utilizando un convertidor de interfaces RS485/232, ajustando P0719 = 55 o la fuente de órdenes P0700 = 5 y la fuente de consigna de frecuencia P1000 = 5, controlando totalmente a través del STARTER.

Al hacer una carga de parámetros con el STARTER asociada a versiones de firmware diferentes hay que tomar en cuenta que los parámetros nuevos se ajustan al valor de fábrica.

### Cuadro sinóptico de la puesta en servicio






En función de la variante del convertidor y del modo de operación deseado (véase Tabla 3.6) existen diferentes modos de hacer la puesta en servicio avanzado.

La siguiente Tabla 3.6 se encuentra un resumen sobre:

- Cambio de la frecuencia nominal del motor
- Ajustes de la fuente de consignas de frecuencia y de la fuente de órdenes

**Tabla 3.6: CUADRO SINÓPTICO DE LA PUESTA EN SERVICIO**

Modo de operación	Cambio de frecuencia nominal del motor	Modo de operación estándar	Puesta en servicio avanzada
Bornes	Solo vía interruptor DIP	a. <b>Consigna de frecuencia:</b> potenciómetro en borne 9. b. <b>Fuente de órdenes:</b> interruptor en bornes 3 – 6.	No aplicable
Interface en serie	a. Interruptor DIP o b. P0100, o c. Entrada de datos	a. <b>Consigna de frecuencia:</b> conectar USS en bornes 8 y 9. b. <b>Fuente de órdenes:</b> conectar USS en bornes 8 y 9. Después de cambiar la parametrización, también se pueden usar los bornes 3 – 6 como fuente de órdenes. <b>Nota: Se tiene que disponer de terminación de bus.</b>	a. Puesta en servicio rápida. b. Ajuste de fábrica. c. Protección externa sobretensión del motor.

BOP	a. Interruptor DIP o b. P0100, o c. Entrada de datos	a. <b>Consigna de frecuencia:</b> con  o  (MOP) b. <b>Fuente de órdenes:</b> con  ,  , 	a. Puesta en servicio rápida. b. Ajuste de fábrica. c. Protección externa. sobretemperatura del motor. d. Copia de parámetros.
STARTER	a. Interruptor DIP o b. P0100, o c. Entrada de datos	a. <b>Consigna de frecuencia::</b> Véase asistencia en línea STARTER. b. <b>Fuente de órdenes::</b> Véase asistencia en línea STARTER. Después de cambiar la parametrización, también se pueden usar los bornes 3-6 como fuente de órdenes.	a. Puesta en servicio rápida. b. Ajuste de fábrica. c. Protección externa sobretemperatura del motor. d. Los parámetros se pueden almacenar en un archivo o transmitirlos a otro convertidor.

### Cambio de la frecuencia nominal del motor

Para conmutar a una frecuencia nominal del motor de 60 Hz existen tres métodos:

- Mediante un interruptor DIP en la parte frontal del convertidor.
- Mediante el ajuste de P0100 como se describe a continuación.
- Mediante entrada manual de datos de la placa de características del motor.

### Cambio de la frecuencia nominal del motor vía interruptor DIP

La frecuencia nominal del motor se puede ajustar mediante un interruptor DIP en el lado frontal del convertidor.

### Ajuste de la frecuencia nominal del motor en el parámetro P0100

La frecuencia nominal del motor se puede ajustar con el parámetro P0100 de la siguiente forma:

- P0100 = 0 (Kw, 50 Hz) ajuste de fábrica
- P0100 = 1 (hp, 60 Hz)
- P0100 = 2 (Kw, 60 Hz)

Pasos para cambiar P0100:

1. Parar el convertidor.
2. Ajustar P0010 = 1 (puesta en servicio rápida).
3. Ajustar P0100 al valor requerido.
4. Ajustar P3900 = 1.

Cuando se cambia P0100 se produce una reposición al valor original de todos los parámetros nominales del motor y de los que dependen de ellos.

### **Puesta en servicio rápida (P0010=1)**

La puesta en servicio rápida es una forma óptima para adaptar el SINAMICS G110 a un motor determinado. Los datos del motor, de la placa de características, se introducen en el convertidor, y este calcula los parámetros de protección y control dependientes de los mismos.

Una alternativa a la puesta en servicio rápida es la copia de juegos de parámetros. Se aplica generalmente cuando se tienen varios convertidores con motores del mismo tipo.

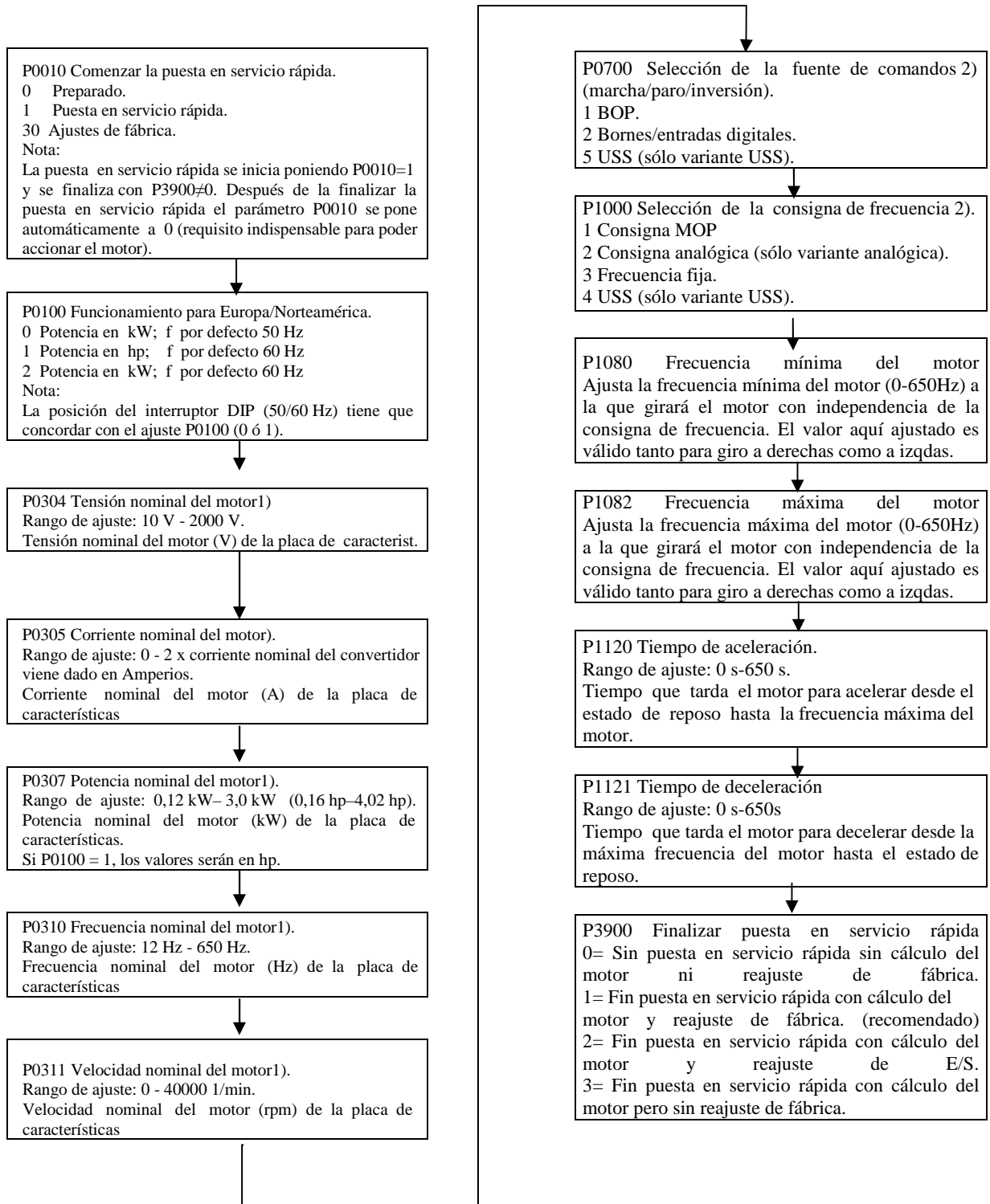
### **Datos del motor para la parametrización**

La Figura 3.14, muestra donde se encuentran los datos correspondientes en la placa de características del motor. Los datos para introducirlos en el convertidor se deben tomar de la placa de características del motor de inducción 3F del laboratorio de Control Industrial el cual será objeto de la aplicación del convertidor.



**Figura 3.14:** Placa de características del MAJA 3F

## Diagrama de flujo para puesta en servicio rápida (nivel de acceso 1-P0003=1)



1) Parámetros relacionados con el motor. Consulte la placa de características del motor.

2) Son parámetros que contienen una lista más detallada de posibles ajustes para su uso en aplicaciones específicas. Consulte la Lista de parámetros.

## **Reposición al ajuste de fábrica**

Para reponer todos los parámetros al ajuste de fábrica se tienen que ajustar los siguientes parámetros (este proceso de reposición puede durar hasta 3 minutos):

1. Ajuste P0010 = 30
2. Ajuste P0970 = 1

## **Uso de la salida digital**

La salida digital consta de un transistor NPN, optoacoplador con separación galvánica (24 V, 50 mA).

El optoacoplador se emplea regularmente para indicar un fallo, un aviso o un estado similar del convertidor. Se puede programar para diferentes aplicaciones por medio del parámetro P0731.

Conexiones del optoacoplador en los bornes del convertidor:

Borne N°. 2 = salida digital (+)

Borne N°. 1 = salida digital (-)

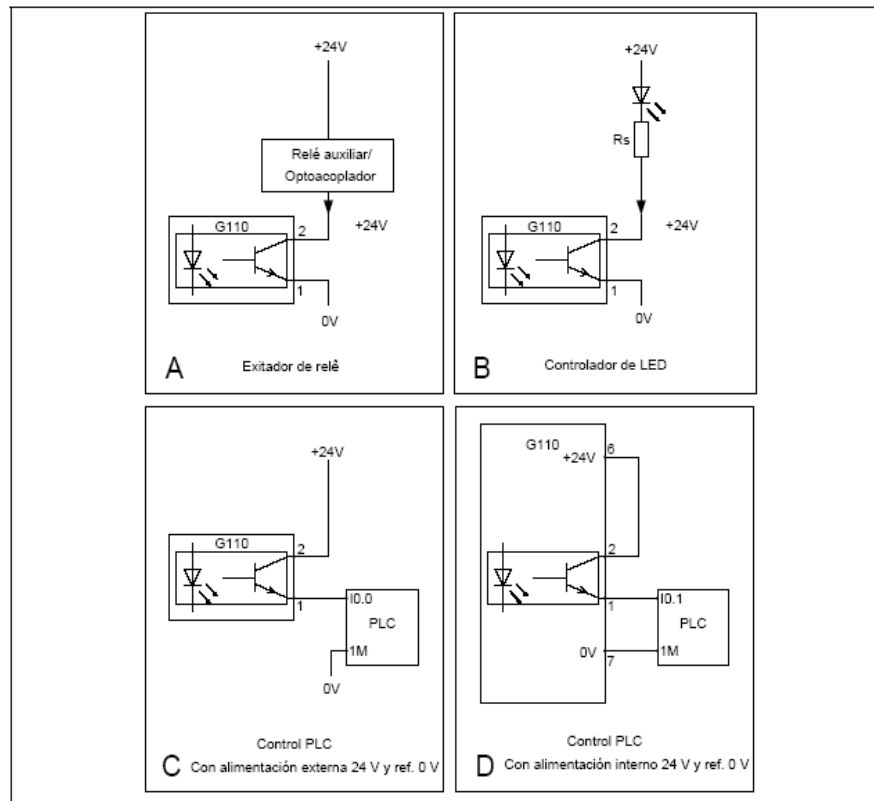
Al usar el optoacoplador (ejemplo en un sistema de control PLC o para excitar un relé) hay que tomar en cuenta la polaridad (dirección de la corriente dentro del acoplador: de positivo a negativo).

La salida digital se puede usar para controlar un indicador de aviso (LED ver Figura 3.15 (B)) o para excitar un relé auxiliar (ver Figura 3.15 (A)), teniendo siempre en cuenta los valores nominales del optoacoplador.

Debido a que las entradas digitales de un PLC poseen una alta impedancia, la salida digital del convertidor también se puede conectar a un PLC utilizando la alimentación interna de 24V del convertidor (borne 6 ver Figura 3.15 (D)).

Naturalmente también se puede utilizar una alimentación externa de 24V (ver Figura 3.15 (C)).

En la siguiente figura se muestran ejemplos de conexión para la salida digital.



**Figura 3.15** Configuraciones típicas para la salida digital

### 3.5.4 Uso del SINAMICS G110

#### 1. Consigna de frecuencia (P1000)

Con este parámetro se determina la fuente de consignas de frecuencia. El SINAMICS G110 posee un ajuste de fábrica propio para cada una de las variantes (analógica y USS).

#### 2. Fuente de órdenes (P0700)

Con este parámetro se determina la fuente para arranque/parada y sentido de giro. El SINAMICS G110 posee un ajuste de fábrica propio para cada una de las variantes (analógica y USS). Ver "Diagrama de flujo para puesta en servicio rápida".

Los tiempos de aceleración/deceleración y la función de redondeo de rampas actúan sobre el arranque y parada del motor.

## **Detener el motor**

Existen varias posibilidades para detener el motor OFF1 a OFF 3, todas las órdenes OFF son activas "low".

### **Variante analógica**

Ajuste de fábrica: 2, borne 3 (DIN 0, low)

- OFF1 2, borne 3 (DIN 0, low)
- OFF2 apretar el botón OFF en el BOP, una vez (dos segundos) o dos veces consecutivas
- OFF3 sin ajuste estándar

### **Variante USS**

Ajuste de fábrica: 5, bornes 8 y 9 (RS485)

- OFF 1 palabra de mando 1 (r0054), bit 00
- OFF 2 apretar el botón OFF en el BOP, una vez (dos segundos) o dos veces consecutivas palabra de mando 1 (r0054), bit 01
- OFF 3 palabra de mando 2 (r0054), bit 02

## **Inversión de sentido de giro del motor**

### **Variante analógica**

- Ajuste de fábrica: 2, borne 4 (DIN 1, high)

### **Variante USS**

- Ajuste de fábrica: 5, bornes 8 y 9 (RS485); palabra de mando 1 (r0054), bit 11

### 3. Tipos de control vía bornes

En el ajuste de fábrica la función "Rearranque automático" (P1210) se encuentra inactiva. Si se requiere de ella, se tiene que habilitarla de forma activa.

Cada uno de los diferentes tipos de control se selecciona por medio del parámetro P0727. Siendo posibles los siguientes tipos de control:

#### Ajuste de fábrica:

- P0727 = 0: Control Siemens estándar (ON/OFF1, REV)

#### Otros ajustes:

- P0727 = 1: Control 2-hilos (ON\_FWD, ON\_REV)
- P0727 = 2: Control 3-hilos (FWDP, REVP, STOP)
- P0727 = 3: Control 3-hilos (ON\_PULSE, REV, OFF1/HOLD)

Si se selecciona uno de los modos de control por medio de P0727, se redefine el significado de las entradas digitales (P0701 hasta P0704) como se muestra en la tabla a continuación.

**Tabla 3.7: REDEFINICIÓN DE LAS ENTRADAS DIGITALES**

Ajustes P0701-P0704	P0727=0 (Control Siemens estándar)	P0727=1 (control 2-hilos)	P0727=2 (control 3-hilos)	P0727=3 (control 3-hilos)
1	ON/OFF1	ON_FWD	STOP	ON_PULSE
2	ON_REV/OFF1	ON_REV	FWDP	OFF1/HOLD
12	REV	REV	REVP	REV

"P" significa "Pulsar"; "FWD" significa "Sentido horario" ("Forward"); "REV" significa "Sentido antihorario" ("Reverse").

Cada uno de los modos de control en la Tabla 3.7 se describe a continuación por separado.

#### a. Control siemens estándar (P0727=0)



Si P0727 = 0 existen dos posibilidades de control por medio de las siguientes señales.

- ON/OFF1 y REV.
- ON/OFF1 y ON\_REV/OFF1.

### ON/OFF1 y REV

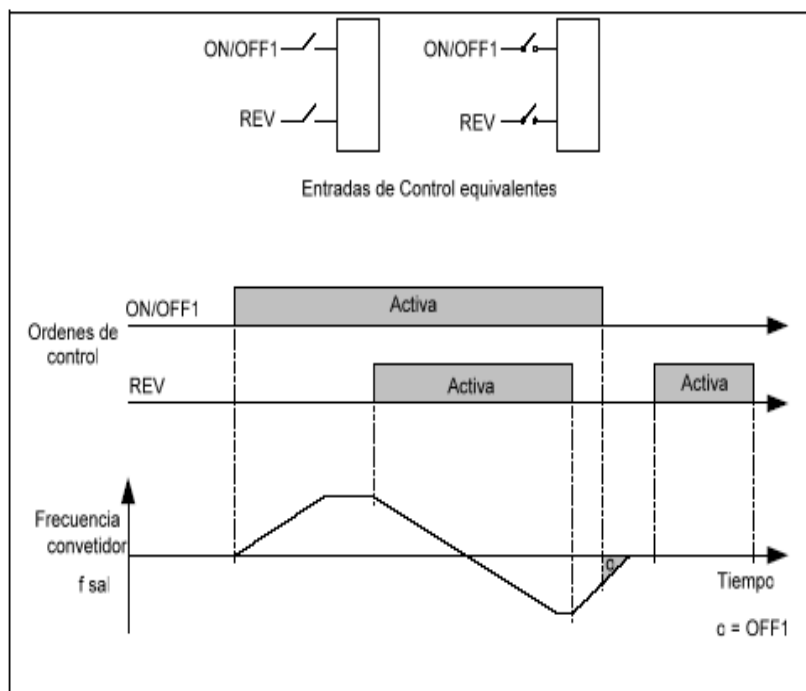
Este método permite poner en marcha y parar el accionamiento por medio de la orden ON/OFF1 y efectuar un cambio de giro con la orden REV (inversión de giro).

La descripción a continuación se refiere a la Figura 3.16

Al recibir la orden ON el convertidor pone en marcha el motor y lo acelera a través de la rampa de aceleración hasta alcanzar la frecuencia de consigna.

Al dar la orden REV el convertidor desacelera el motor a través de la rampa de deceleración hasta alcanzar 0 Hz, después se acelera de nuevo en sentido inverso hasta alcanzar el valor opuesto de la frecuencia de consigna.

Al quitar la orden ON (dar orden OFF1) el convertidor desacelera el motor hasta pararlo.



**Figura 3.16:** Control siemens estándar vía ON/OFF1 y REV

## ON/OFF1 y ON\_REV/OFF1

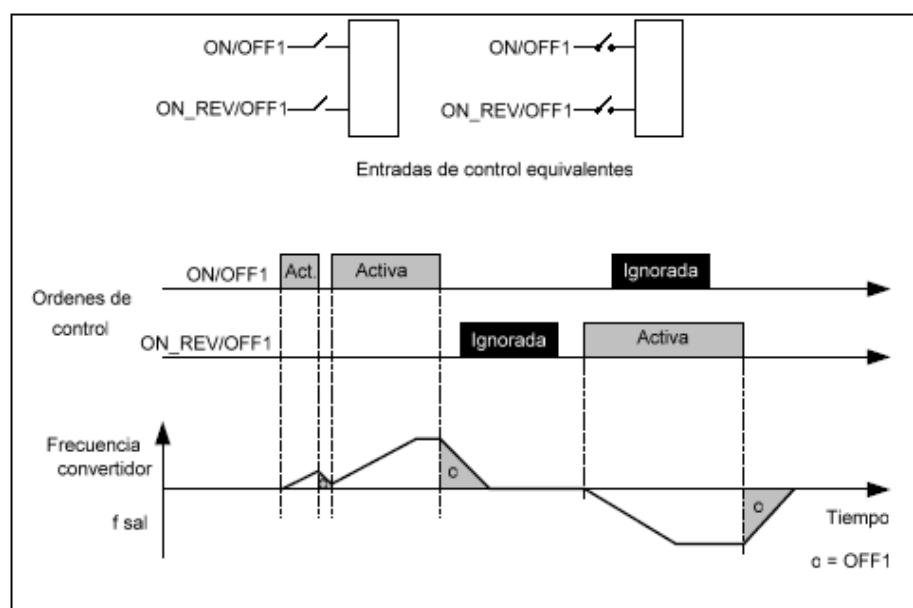
Este método permite poner en marcha el accionamiento en sentido de giro positivo (sentido horario) por medio de la orden ON/OFF1 y en el sentido de giro negativo (antihorario) a través de la orden ON\_REV/OFF1.

Sin embargo para poder cambiar el sentido de giro, el accionamiento primero tiene que desacelerar con OFF1 y solo después de alcanzar 0 Hz se puede aplicar la señal de inversión.

La descripción a continuación se refiere a la Figura 3.17 (abajo).

La fase de deceleración se puede interrumpir dando de nuevo la orden de marcha para la misma dirección. Si el accionamiento se encuentra en fase de aceleración en sentido horario y se imparte la orden OFF1 el motor desacelera, al dar de nuevo la orden ON este vuelve a acelerar en la misma dirección hasta alcanzar el valor de consigna. Lo mismo es válido para las ordenes ON\_REV/OFF1.

Si se imparte la orden de marcha para el sentido de giro contrario al actual, mientras el motor se encuentra en la fase de deceleración, esta es ignorada y el motor continúa el proceso de deceleración hasta alcanzar 0 Hz y permanecer en reposo.



**Figura 3.17:** Control siemens estándar vía ON/OFF1 y ON\_REV/OFF1

## b. Control 2-hilos (P0727=1)

Este método utiliza dos señales permanentes para poner en marcha y parar el motor y para determinar el sentido de giro (ON\_FWD y ON\_REV).

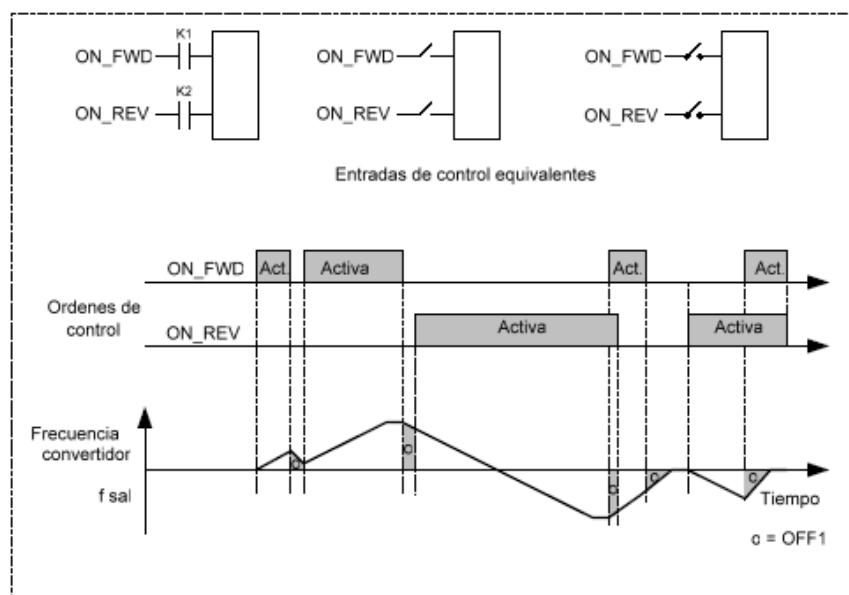
La ventaja de este método de control consiste en que se puede conmutar entre ON\_FWD y ON\_REV en cada momento, independientemente de la consigna, de la frecuencia de salida y del sentido de giro. Tampoco es necesario desacelerar el motor hasta 0 Hz para poder aplicar la orden.

La descripción a continuación se refiere a la Figura 3.18 (abajo).

Al cerrar el contacto (y mantenerlo cerrado) correspondiente a ON\_FWD, el accionamiento se pone en marcha y acelera en el sentido de giro horario.

Al aplicar solo la orden ON\_REV (cerrar el contacto correspondiente) el accionamiento se pone en marcha y acelera en el sentido de giro antihorario.

Si las señales se activan a la vez (ambos contactos permanecen cerrados) el accionamiento ejecuta una orden OFF1 y desacelera hacia 0 Hz, si ambas señales están desactivadas el accionamiento se encuentra en estado OFF1.



**Figura 3.18:** Control 2-hilos vía ON\_FWD y ON\_REV

**c. Control 3-hilos (P0727=2)**

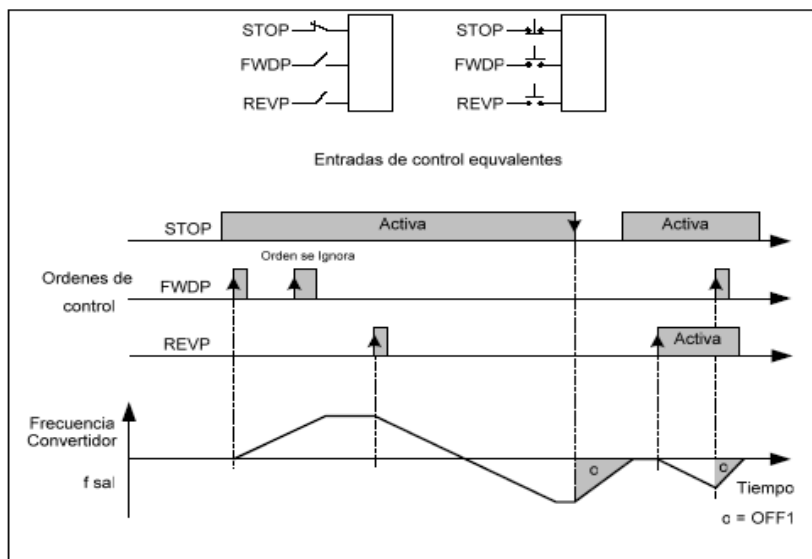
Este método utiliza 3 órdenes para controlar el motor.

La descripción a continuación se refiere a la Figura 3.19 (abajo). La señal STOP opera con lógica negativa: Al abrir el contacto o al mantenerlo abierto se ejecuta una orden OFF1 en el convertidor y el accionamiento desacelera hasta parar. Para poder poner en marcha y accionar el motor el contacto de la señal STOP tiene permanecer cerrado.

El accionamiento se pone en marcha al aplicar un flanco positivo (cierre breve del contacto) en la entrada digital correspondiente a la señal FWDP (marcha en sentido horario) o REVP (marcha en sentido antihorario).

Al aplicar un flanco positivo en FWDP y REVP a la vez se produce un paro del motor (OFF1). El proceso de deceleración se puede interrumpir al aplicar de nuevo un flanco positivo en FWDP o REVP.

Un flanco positivo en FWDP o REVP mientras el accionamiento gira en el sentido correspondiente a la señal no produce ningún cambio, solo al abrir el contacto de STOP se para el accionamiento de forma regular o también en caso de que se apliquen la señal FWDP y REVP a la vez.



**Figura 3.19:** Control 3-Hilos Vía FWDP, REVP y STOP

#### d. Control 3-hilos (P0727=3)

Para esta función son tres las señales correspondientes:

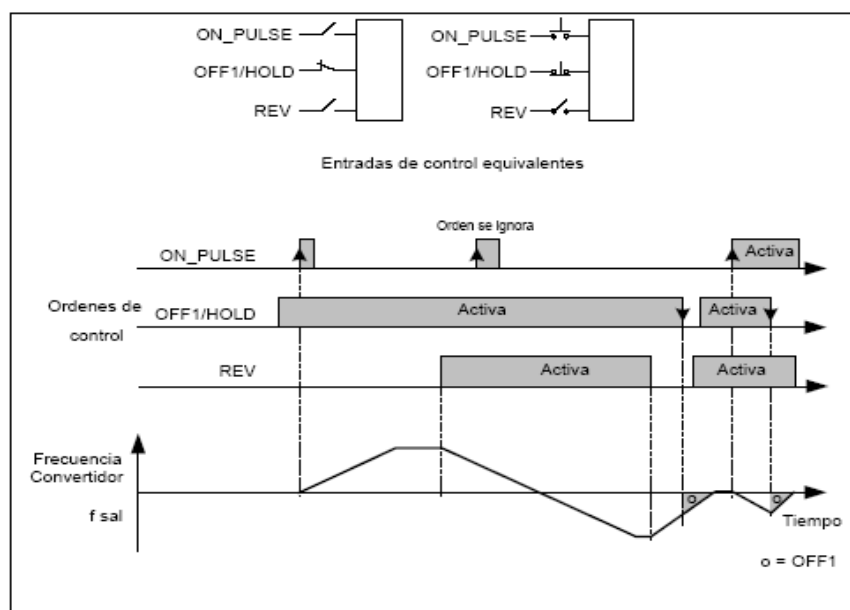
1. OFF1/HOLD – al abrir el contacto correspondiente a esta señal se produce una orden OFF1 y el accionamiento desacelera hasta 0 HZ (contacto normalmente cerrado).
2. ON\_PULSE – pone el accionamiento en marcha en sentido de giro horario.
3. REV – ocasiona la inversión del sentido de giro (en sentido antihorario).

La descripción a continuación se refiere a la Figura 3.20 (abajo).

La señal OFF1/HOLD opera con lógica negativa: el contacto tiene que permanecer cerrado para poder poner el motor en marcha, un flanco positivo (cerrar breve del contacto) de la señal ON\_PULSE pone el accionamiento en marcha.

El sentido de giro se puede determinar y cambiar vía señal REV (inversión).

Abrir o cerrar el contacto de la señal ON\_PULSE mientras el accionamiento está en funcionamiento no tiene ningún efecto. Solo al activar la señal OFF1/HOLD se para el accionamiento.



**Figura 3.20:** Control 3-hilos vía ON\_PULSE, OFF1/HOLD y REV

#### **4. Funciones: OFF y frenado**

##### **OFF1**

Esta orden (producida al cancelar la orden ON) causa que el convertidor se detenga en el tiempo de deceleración seleccionado.

OFF1 se puede combinar con el frenado por inyección de CC o con el frenado combinado.

##### **OFF2**

Esta orden causa el movimiento por inercia del motor hasta que se para (bloqueo de impulsos).

La orden OFF2 se puede dar simultáneamente de varias fuentes a la vez.

##### **OFF3**

La orden OFF3 es la más rápida para detener el motor tiempo de deceleración: en parámetro P1135.

OFF3 se puede combinar con el frenado por inyección de corriente continua.

#### **Frenado por inyección de corriente continua**

Durante el frenado por CD parte de la energía cinética del motor y de la carga accionada se transforma en energía térmica en el mismo motor. Si la disipación de energía es demasiado alta o si la operación de frenado tarda demasiado se puede producir un sobrecalentamiento del motor.

El frenado por inyección de corriente continua se puede combinar con OFF1 y OFF3. Se inyecta corriente continua, el motor frena en corto tiempo y mantiene el eje en su posición al

finalizar el tiempo de frenado ajustado. Para que este tipo de frenado trabaje correctamente se tiene que dar el valor de la resistencia del estator en P0350.

Si no se ha ajustado ninguna de las entradas digitales a "frenado por DC" y  $P1233 \neq 0$ , se activa el freno DC con cada orden OFF1/OFF3 cuando la frecuencia de salida del convertidor pasa por debajo de la frecuencia de inicio del frenado por DC ajustada en P1234.

### **Frenado combinado**

El frenado combinado es una mezcla entre el frenado por CD y el frenado en modo generador. Esto significa que parte de la energía cinética del motor y de la carga accionada se transforma en energía térmica en el mismo motor. Si la operación de frenado tarda demasiado se puede producir un sobrecalentamiento del motor.

El frenado combinado se activa con P1236. El motor devuelve energía al circuito intermedio como cuando es frenado a lo largo de la rampa. Si la tensión del circuito intermedio sobrepasa el umbral de activación de este freno, se inyecta corriente continua en función del parámetro P1236.

El freno combinado se desactiva si:

- El re arranque al vuelo está activado
- El frenado por CD está activado

## **5. Modos de control (P1300)**

Los diferentes tipos de control del SINAMICS G110 gestionan la relación entre la frecuencia del motor y la tensión que suministra el convertidor. Los modos de control son los siguientes:

### **Control V/f lineal P1300 = 0**

Puede ser usado para aplicaciones con par variable y constante, como cintas transportadoras y bombas de desplazamiento positivo.

## **Control V/f cuadrático (parabólico) P1300 = 2**

Este modo puede utilizarse para cargas con par variable como ventiladores y bombas.

## **Control V/f multipunto P1300 = 3**

Este modo puede utilizarse para adaptar el control V/f a características de par y velocidad especiales del motor (por ejemplo, para un motor síncrono).

## **6. Fallos y alarmas**

### **Convertidor estándar**

Los fallos y alarmas se visualizan en el LED del convertidor. Para más informaciones ver Búsqueda y subsanación de fallos.

### **Acoplar el panel de operaciones**

Si se genera un fallo o alarma estando acoplado un BOP se visualizan los números de fallos o alarmas que se encuentran en el parámetro de visualización r0947 ó r2110.

### **3.5.5 Parámetros del sistema**

#### **1. Introducción a los parámetros del sistema del SINAMICS G110**

Estos parámetros sólo pueden modificarse con el panel BOP, o la interface en serie.

Mediante el panel BOP es posible modificar parámetros para ajustar las propiedades deseadas del convertidor, por ejemplo, tiempos de rampa, frecuencias, mínima y máxima, etc.

- Los parámetros de visualización se representan con rxxxx y los de ajuste con Pxxxx.
- P0010 inicia la “puesta en servicio rápida”.
- El convertidor no arrancará hasta que se ponga a 0 el P0010. Esta función se ejecuta automáticamente si P3900 > 0.



- P0004 actúa como un filtro, permitiendo el acceso a los parámetros de acuerdo a su funcionalidad.
- Si se intenta modificar un parámetro no cambiabile en ese momento – por ejemplo, porque no se pueda modificar durante el funcionamiento o solo sea modificable durante la puesta en servicio – entonces se visualiza **-----**.
- **Mensaje busy** En algunos casos – al modificar valores de parámetros – la pantalla del BOP muestra **buSY**. Esto significa que el convertidor está trabajando tareas de mayor prioridad.

## 2. Vista general de parámetros

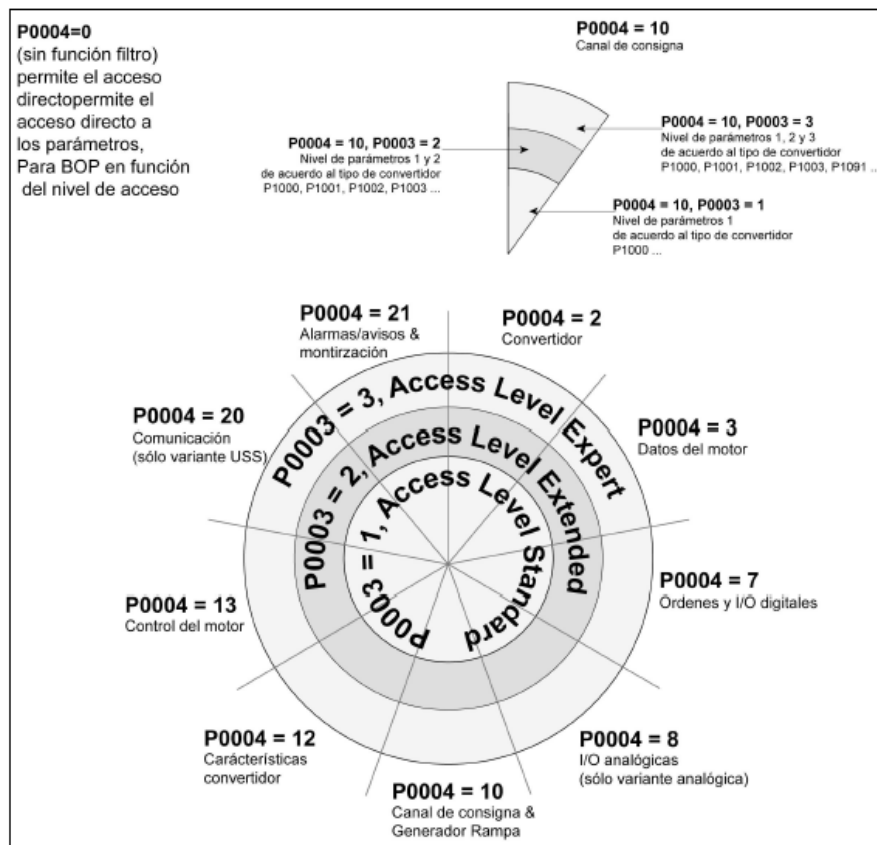


Figura 3.21: Vista general de parámetros

### 3.5.6 Búsqueda y subsanación de fallos

#### 1. Búsqueda y subsanación de fallos con el LED del convertidor

A continuación se detallan los diferentes estados del LED y sus significados:

- Convertidor apagado/sin tensión de red: LED no se ilumina
- Encendido/listo: 200 ms ON / 800 ms OFF
- Convertidor en servicio: iluminación permanente
- Alarma general: 800 ms ON / 200 ms OFF
- Fallo: 500 ms ON / 500 ms OFF

## 2. Búsqueda y subsanación de fallos con el BOP

En el caso de que el motor no arranque aunque haya impartido la orden ON:

- Cerciorarse si P0010 = 0.
- Cerciorarse que haya presente una señal ON válida.
- Cerciorarse que:

P0700 = 1 (para control vía BOP) o

P0700 = 2 (para control vía entrada digital) o

P0700 = 5 (para control vía interface USS – solo variante USS)

P0719 está ajustado correctamente (fuentes de órdenes y consignas).

- Cerciorarse de que haya señal de consigna (0 a 10V en el borne 9) o si se ha dado un valor en el parámetro correspondiente – en función de la fuente de consignas (P1000).

Si a pesar de eso el motor no funciona se realiza lo siguiente:

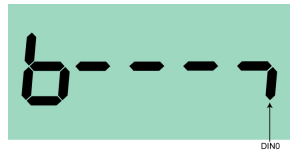
1. Ajustar P0010 = 30
2. Ajustar P0970 = 1
3. Pulsar **P** para reponer los parámetros del convertidor a los ajustes de fábrica.
4. Accionar el convertidor con un interruptor conectado en los bornes **3** y **6**.
5. El convertidor debería acelerar hasta la consigna, que se ha fijado vía entrada analógica o transmitida con la interface USS.

Los datos del motor tienen que corresponder con la potencia y con la tensión del convertidor.

## Verificar una orden

Con los siguientes pasos se puede comprobar el estado de la entrada binaria:

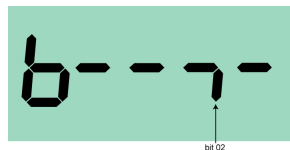
1. Cerciorarse que el BOP está acoplado al convertidor.
2. Ajustar P0003 = 3.
3. Seleccionar el parámetro de visualización r0722.



4. El panel de visualización de siete segmentos muestra los bits activos así:
5. El bit de la derecha, en el extremo inferior, está para DINO “high activo”, lo que significa que la orden ON está activa.

Si no se visualiza el bit “high activo”, significa que no hay ninguna orden ON activa. En ese caso se tiene que comprobar la configuración para cerciorarse que verdaderamente DINO está prevista para la orden ON.

Para ON/OFF vía RS485 (interface USS) el bit correspondiente de la palabra de estado 1 (bit02 en r0052) se visualiza en la siguiente posición.



### 3.5.7 Datos técnicos del SINAMICS G110

**Tabla 3.8:** SECCIÓN DE CABLE PARA LOS BORNES DE CONTROL (SIN TORNILLOS)

Sección del cable mínima	[mm <sup>2</sup> ]	1
	[AWG]	18
Sección del cable máxima	[mm <sup>2</sup> ]	1,5
	[AWG]	16

**Tabla 5.9: DATOS DE POTENCIA DEL SINAMICS G110**

Características	Datos técnicos			
Tensión de red y márgenes de frecuencia	200 V a 240 V ( $\pm 10\%$ ) 1AC		120 W a 3.0 Kw	
Frecuencia de red	47 a 63 Hz			
Frecuencia de salida	0 Hz a 650 Hz			
Cos phi	$\geq 0,95$			
Grado de rendimiento del convertidor	90% a 94% $\geq 95\%$ para equipos < 750 W para equipos $\geq 750W$			
Capacidad de sobrecarga	Sobrecorriente = 1,5 x corriente de salida nominal (o sea 150 % sobrecarga) durante 60 s, después 0,85 x corriente de salida nominal durante 240 s, tiempo de ciclo 300 segundos			
Tensiones de salida para el usuario	24 V en bornes 6 y 7 (50 Ma sin regular); 10 V en bornes 8 y 10 (5 Ma)			
Corriente de precarga	Menor que la corriente de entrada nominal			
Métodos de control	Características: Lineal V/f; cuadrática V/f; multipunto V/f (parametrizable)			
Frecuencia de pulsación	8 kHz (estándar); 2 kHz a 16 kHz (en pasos de 2 kHz)			
Frecuencias fijas	3, parametrizable			
Inhibición de frecuencia	1, parametrizable			
Resolución de consigna	0,01 Hz digital, 0,01 Hz en serie, 10 bit analógica (potenciómetro motorizado 0,1 Hz)			
Entradas digitales	3, parametrizable, sin separación galvánica; PNP, compatible con SIMATIC, low < 5, high > 10 V, tensión de entrada máxima 30 V			
Entrada analógica (variante analógica)	1, para consigna (0 V a 10 V, escalable o usable como cuarta entrada digital)			
Salida digital	1, salida de optoacoplador con separación galvánica (DC 24 V, 50 Ma carga óhmica), tipo de transistor NPN			
Interface en serie (variante USS)	RS485, para operación con protocolo USS			
Longitud cables motor	Máx. 25 m (apantallado)		máx. 50 m (no apantallado)	
Compatibilidad electromagnética	Todos los equipos con filtro EMC integrado para sistemas de accionamientos en instalaciones de la categoría C2 (distribución restringida). Valor límite según EN55011, clase A, grupo 1. Además todos los equipos con filtro integrado y cables apantallados, con una longitud máxima de 5 m cumplen con el valor límite EN55011, clase B.			
Frenado	Frenado combinado (solo en versión de firmware 1.1), frenado por DC.			
Grado de protección	IP20			
Temperatura en servicio	-10 °C a +40 °C (hasta +50 °C con reducción de potencia)			
Temper. Almacenamien.	-40 °C a +70 °C			
Humedad	95 % (no se permiten condensaciones)			
Altitud	Hasta 1000 m sobre el nivel del mar sin reducir la potencia			
Funciones de protección del convertidor	• Subtensión	• Sobretensión	• Protección térmica I2t	• Conexión a tierra
	• Cortocircuito	• Prot.bascul. motor	• Sobretemperatura convertidor	• Sobretemperatura motor
Conformidad de normas	UL, Cul, CE, c-tick			
Marcados CE	Según normas de baja tensión CE 73/23/EWG			
Dimensiones y pesos (sin opciones)	Tamaño constructivo (FS)		Peso aprox. Kg (lbs)	
			Sin filtro	
			Con filtro	
A	hasta 370W	150 x 90 x 116 (5,9 x 3,5 x 4,6)		0,7 (1,5)
A	550 & 750W	150 x 90 x 131 (5,9 x 3,5 x 5,2)		0,8 (1,8)
				0,8 (1,7)
				0,9 (2,0)

**Tabla 3.10: PARES DE APRIETE PARA CONEXIONES DE POTENCIA**

Tamaño constructivo	Tornillo	Conexiones de potencia y PE	
		Nm	lbf.in
A	M3,5	0,96	8,50
B	M4	1,50	13,30
C	M5	2,25	19,91

**Tabla 3.11: DATOS TÉCNICOS SINAMICS G110**

Tensión de entrada	1 AC 200 V – 240 V, ± 10 %					
Gamas de potencia	120 W – 750 W					
Tamaño constructivo	A	A	A	A	A	
Potencia nominal del motor [Kw] [hp]	0,12 016	0,25 033	<b>0,37 05</b>	0,55 075	0,75 10	
Referencia Sin filtro	6SL3211-					
Analógica	0AB11-2UA0*	0AB12-5UA0*	<b>0AB13-7UA0*</b>	0AB15-5UA0*	0AB17-5UA0*	
USS	0AB11-2UB0*	0AB12-5UB0*	<b>0AB13-7UB0*</b>	0AB15-5UB0*	0AB17-5UB0*	
Flat Plate, analógica	0KB11-2UA0*	0KB12-5UA0*	<b>0KB13-7UA0*</b>	0KB15-5UA0*	0KB17-5UA0*	
Flat Plate, USS	0KB11-2UB0*	0KB12-5UB0*	<b>0KB13-7UB0*</b>	0KB15-5UB0*	0KB17-5UB0*	
Con filtro EMC integrado	Analógica	0AB11-2BA0*	0AB12-5BA0*	<b>0AB13-7BA0*</b>	0AB15-5BA0*	0AB17-5BA0*
USS	0AB11-2BB0*	0AB12-5BB0*	<b>0AB13-7BB0*</b>	0AB15-5BB0*	0AB17-5BB0*	
Flat Plate, analógica	0KB11-2BA0*	0KB12-5BA0*	<b>0KB13-7BA0*</b>	0KB15-5BA0*	0KB17-5BA0*	
Flat Plate, USS	0KB11-2BB0*	0KB12-5BB0*	<b>0KB13-7BB0*</b>	0KB15-5BB0*	0KB17-5BB0*	
Corriente de salida 2 [A]	0,9	1,7	<b>2,3</b>	3,2	3,9 (40°C)	
Corriente de entrada 3 [A]	2,3	4,5	<b>6,2</b>	7,7	10,0	
Fusibles recomendados [A]	10,0 3NA3803 n	10,0 3NA3803	<b>10,0 3NA3803</b>	10,0 3NA3803	16,0 3NA3805	
Secciones para cables de entrada (red) [mm <sup>2</sup> ] [AWG]	1,0 – 2,5 16 – 12	1,0 – 2,5 16 – 12	<b>1,0 – 2,5 16 – 12</b>	1,0 – 2,5 16 – 12	1,5 – 2,5 14 – 12	
Secciones para cables de salida (motor) [mm <sup>2</sup> ] [AWG]	1,0 – 2,5 16 – 12	1,0 – 2,5 16 – 12	<b>1,0 – 2,5 16 – 12</b>	1,0 – 2,5 16 – 12	1,0 – 2,5 16 – 12	

1 Los datos de potencia hp son válidos para los motores 1LA7 de Siemens y no para motores con datos de potencia según NEMA/UL.

2 Los valores se basan en una tensión nominal de red de 230 V.

\* La última cifra de la referencia puede ser distinta de acuerdo a cambios de hardware o software del producto.

**Tabla 3.12: DISIPACIÓN DE POTENCIA DEL CONVERTIDOR SINAMICS G110 (230 V) \*)**

Tamaño constructivo	Potencia de salida (Kw)	Pérdidas (W)
A	0,12	22
A	0,25	28
<b>A</b>	<b>0,37</b>	<b>36</b>
A	0,55	43
A	0,75	54

\*) Las pérdidas de la Tabla 3.12 son aplicables a equipos con cables de conexión apantallados de hasta 25 m.

**Tabla 3.13: CORRIENTES ARMÓNICAS, CONEXIÓN 1AC 230 V**

Potencia de salida Kw	Oscilación fundamental A	3.	5.	Armónicas 7. 9.		11.	13.
		A	A	A	A	A	A
0,12	1,18	1,05	0,9	0,76	0,58	0,568	0,508
0,25	2,26	2,06	1,77	1,50	1,32	1,20	1,02
<b>0,37</b>	<b>3,19</b>	<b>2,26</b>	<b>2,26</b>	<b>2,12</b>	<b>1,83</b>	<b>1,56</b>	<b>1,22</b>
0,55	4,28	3,86	3,18	2,44	1,82	1,42	1,12
0,75	4,52	4,51	3,98	2,98	2,42	1,90	1,44
1,1	8,12	7,80	5,92	4,12	2,96	2,20	1,52
1,5	11,0	9,04	6,4	4,08	2,92	2,16	1,48
2,2	15,7	12,6	8,56	4,56	3,00	2,44	1,28
3,0	19,1	14,4	7,8	3,6	3,28	2,36	0,88

### **3.5.8 Compatibilidad electromagnética (EMC)**

Todos los fabricantes/ensambladores de aparatos eléctricos que “ejecuten una función intrínseca completa y sean puestos en el mercado en calidad de unidad individual destinada al usuario final” deben cumplir la directiva sobre compatibilidad electromagnética 89/336/CEE.

#### **1. Cumplimiento según directiva EMC de las especificaciones sobre emisión de corrientes armónicas**

A partir del 1 de enero de 2001 todos los aparatos eléctricos cubiertos por la directiva EMC tienen que cumplir la norma EN 61000-3-2 “Límites para emisiones de corrientes armónicas (entrada del equipo  $\leq 16$  A por fase)”.

Todos los convertidores de frecuencia SINAMICS G110 de Siemens, que están clasificados como “equipo profesional” dentro de los términos de la normativa, cumplen las especificaciones de la norma.

Hay que tener consideraciones especiales para aquellos accionamientos de 120 W a 550 W con alimentación de red 1 AC 230 V cuando vayan a ser utilizados en aplicaciones no industriales. Las unidades con esta tensión y margen de potencias se suministrarán con la siguiente advertencia:

*“Este equipo requiere el permiso del suministrador de energía para conectarlo a la red de alimentación pública”.*

Las corrientes armónicas permitidas para “aplicaciones profesionales” con una potencia de entrada  $> 1$  Kw no están aún definidas. Por tanto, cualquier aparato eléctrico que contenga los accionamientos de arriba y que tenga una potencia de entrada  $> 1$  Kw no requiere permiso de conexión.

Como alternativa en aquellos casos donde sea necesario solicitar un permiso de conexión, éste se puede evitar colocando las bobinas de entrada recomendadas en los catálogos técnicos (excepto unidades 550 W 230 V 1 AC).

## Tres casos de aplicación típicos para EMC

### Caso 1: Aplicación industrial en general

Cumplimiento con la norma EMC para sistemas de accionamientos de potencia EN 68100-3 para uso en **sector secundario (industrial) y distribución restringida**.

**Tabla 3.14: CASO 1: APLICACIÓN INDUSTRIAL EN GENERAL**

Fenómeno EMC		Estándar	Valor límite
Emisiones de interferencias	Emisiones radiadas	EN 55011	Límite grupo 1, clase A
	Emisiones de conducción	EN 61800-3	Límite según EN55011, clase A, grupo 2
Inmunidad	Descarga electrostática	EN 61000-4-2	8 Kv, descarga en el aire
	Interferencia tipo burst	EN 61000-4-4	Cable de potencia 2 Kv (nivel 3) cable de mando 1 Kv (nivel 3)
	Campo electromagnético de radiofrecuencia	EN 61000-4-3	26 – 1000 MHz, 10 V/m

### Caso 2: Aplicación industrial con filtro

En este entorno de aplicación le esta permito al fabricante/ensamblador autocertificar sus equipos respecto al cumplimiento de las directivas de “Compatibilidad electromagnética” en lo que atañe a las características EMC del sistema de accionamiento. Los límites son los especificados en las normas industriales genéricas de emisiones e inmunidad EN 50081-2 y EN 61000-6-2, respectivamente.

**Tabla 3.15: CASO 2: APLICACIÓN INDUSTRIAL CON FILTRO**

Fenómeno EMC		Estándar	Valor límite
Emisiones de interferencias	Emisiones radiadas	EN 55011	Límite grupo 1, clase A
	Emisiones de conducción	EN 61800-3	Límite según EN55011, clase A, grupo 2
Inmunidad	Distorsión de tensión de red	EN 61000-2-4	
	Fluctuaciones de tensión, caídas súbitas, desequilibrio, variaciones de frecuencia	EN 61000-2-1	
	Descarga electrostática	EN 61000-4-2	8 Kv, descarga en el aire
	Interferencia tipo burst	EN 61000-4-4	Cable de potencia 2 Kv (nivel 3) cable de control 2 Kv (nivel 4)
	Campo electromagnético de radiofrecuencia, modulado en amplitud	EN 61000-4-3	80 – 1000 MHz, 10 V/m, 80 % AM, cables de potencia y control

### Caso 3: Con filtro para zonas residenciales, comerciales e industria ligera

En este entorno de aplicación le esta permitido al fabricante/ensamblador autocertificar sus equipos respecto al cumplimiento de las directivas de “Compatibilidad electromagnética” en lo que atañe a las características EMC del sistema de accionamiento. Los límites son los especificados en las normas genéricas de emisiones e inmunidad para zonas residenciales EN 50081-1 y EN 50082-1.

**Tabla 3.16: CASO 3: CON FILTRO: PARA ZONAS RESIDENCIALES, COMERCIALES E INDUSTRIALES**

Fenómeno EMC		Estándar	Valor límite
Emisiones de interferencias	Emisiones radiadas*	EN 55011	Límite para instalaciones de la clase B
	Emisiones de conducción	EN 61800-3	Categoría C1: límite según EN 55011 clase B Categoría C2: límite según EN 55011 clase A
Inmunidad:	Distorsión de tensión de red	EN 61000-2-4	
	Fluctuaciones de tensión, caídas súbitas, desequilibrio, variaciones de frecuencia	EN 61000-2-1	
	Descarga electrostática	EN 61000-4-2	8 Kv, descarga en el aire
	Interferencia tipo burst	EN 61000-4-4	Cable de potencia 2 Kv (nivel 3) cable de control 2 Kv (nivel 4)

\* Estos límites dependen de si el convertidor ha sido correctamente instalado dentro de un armario metálico para aparatos eléctricos. Los límites no se cumplen si el convertidor no se monta dentro de una envolvente.

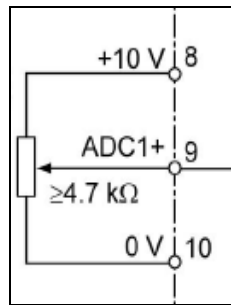
### 3.6 Potenciómetro

Para el control V/f del motor a través de la entrada analógica y USS, se lo efectúa mediante un potenciómetro, en las borneras correspondientes para su instalación (figura 3.22).

El potenciómetro utilizado es de precisión de 10K $\Omega$  (figura 3.23), el cual permitirá regular la frecuencia y por tanto la velocidad del motor, para este fin se debe definir el parámetro correspondiente en el panel básico de operación cabe señalar que es la manera para controlar la velocidad del motor en las variantes analógicas y digital.

El potenciómetro está montado en la parte lateral derecha del variador de velocidad en este se coloca una perilla para manipularlo.





**Figura 3.22:** Ubicación del potenciómetro en las borneras del convertidor

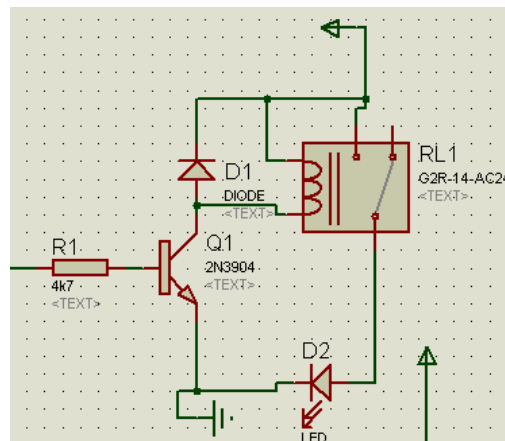


**Figura 3.23:** Potenciómetro de precisión

### 3.7 Diseño y elaboración del módulo de control digital

#### 3.7.1 Disparo de relé

Permite el disparo desde el microcontrolador cerrando el circuito y activando el giro del motor a la izquierda o derecha.



**Figura 3.24:** Circuito de disparo de relé

### 3.7.2 Circuito control display

En esta sección el Pic 16F628A controla los giros del motor en el cual se verifica en el display el estado en el que se encuentra.

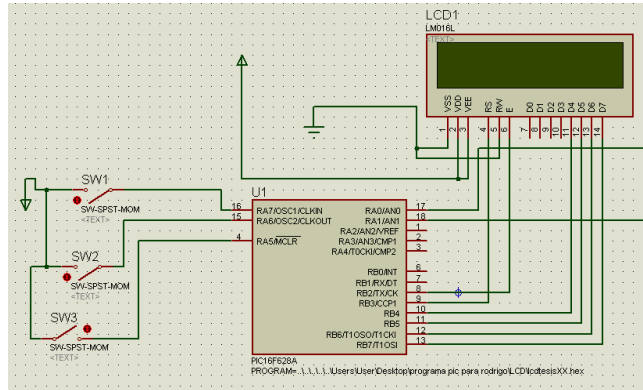


Figura 3.25: Circuito control display

### 3.7.3 Circuito final del módulo de control digital

Finalmente se puede observar todo el esquema del circuito

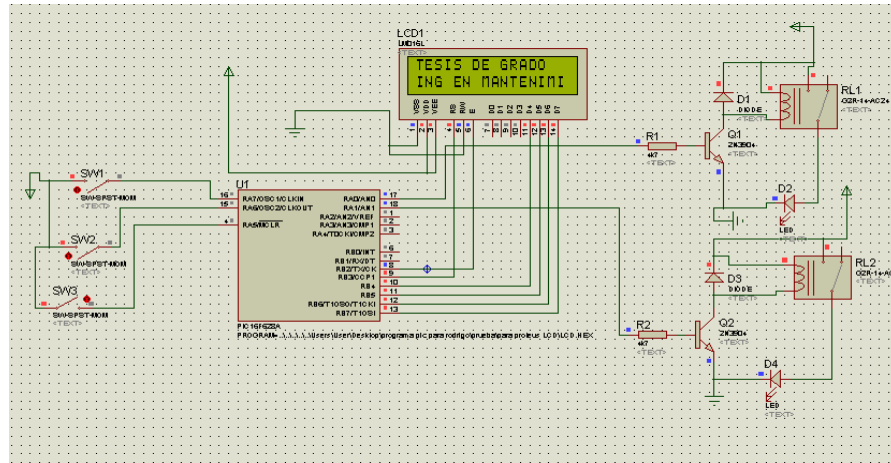


Figura 3.26: Circuito final del módulo de control digital

### 3.7.4 Elaboración del circuito

Concluido con el diseño del circuito se realiza el esquema para su impresión el cual será adherido a la fibra de vidrio a través del calor (ver anexo 2).

Una vez colocado el diseño en la fibra de vidrio, se procede a poner el ácido, con el propósito de que solo este el diseño del circuito (ver anexo 2).

Posteriormente se lo pulirá y se colocará los dispositivos en el lugar correspondiente para cada uno de los elementos.

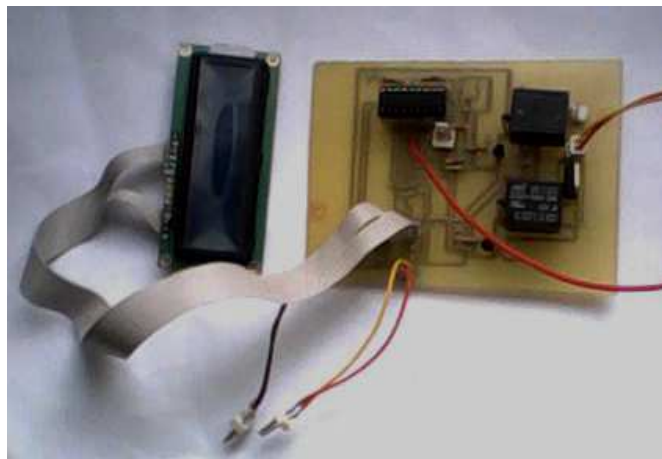
Para el LCD, pulsadores, potenciómetros y diodos leds se utilizará cables que conecten a cierta distancia requerida.

El resultado final se lo puede ver en la figura 3.27.

Este módulo de control digital opcional contiene un Pic programable, permitiéndonos realizar su programación de acuerdo al requerimiento deseado (ver anexo 3) , para nuestra aplicación realizaremos el arranque, paro e inversion de giro del motor MAJA 3f por medio de pulsos, la informacion será receptada y enviada al LCD permitiendonos observar la lectura de giro.

La plaqueta electrónica será colocada en la parte posterior del tablero sobresaliendo de ella el LCD, los pulsadores, los potenciómetros de brillo y contraste del LCD y los cables de alimebtación de energía.

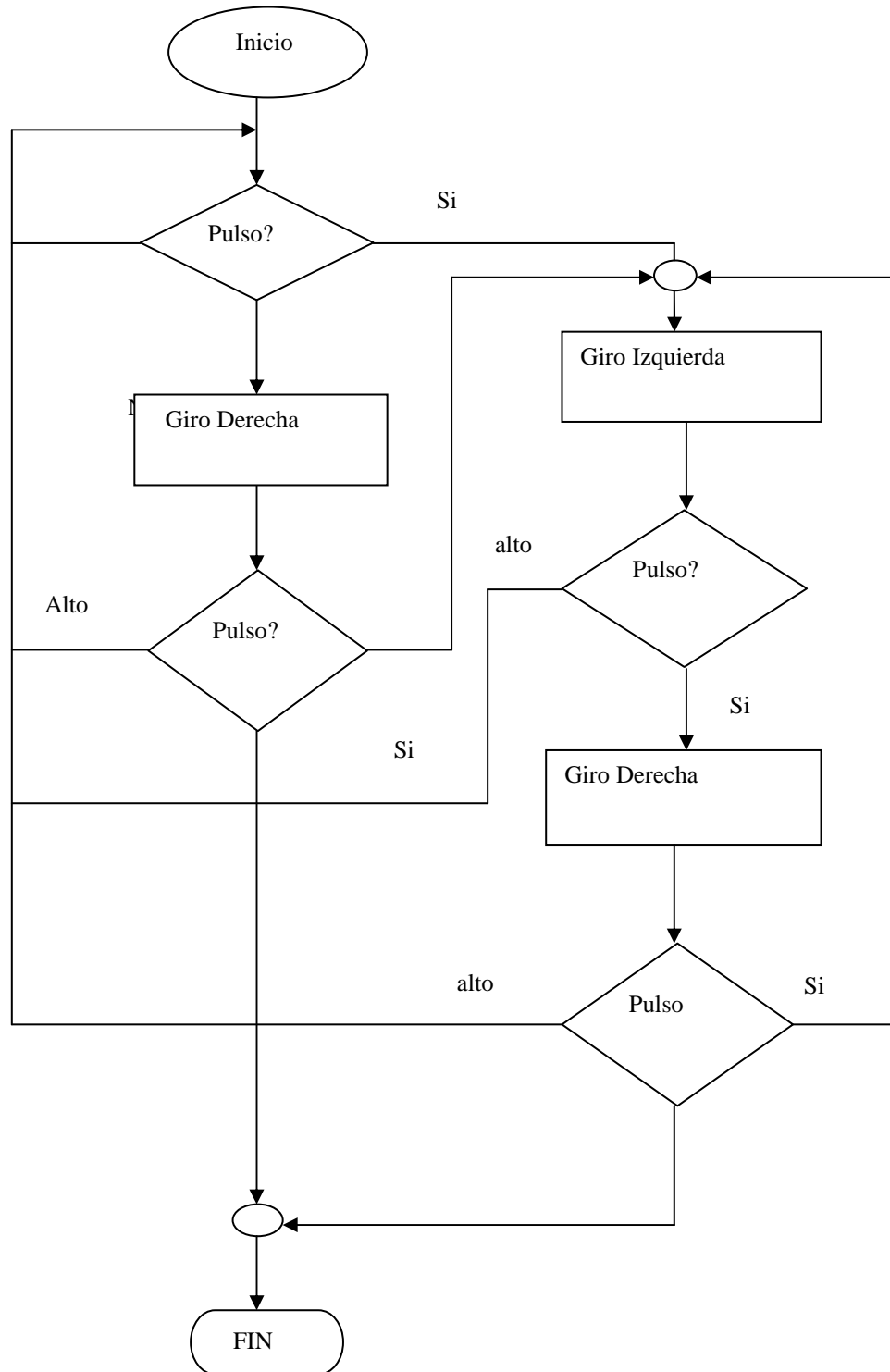
Es importante el no manipular los dispositivos electrónicos especialmente el microcontrolador para evitar la electrostática.



**Figura 3.27:** Módulo de control digital

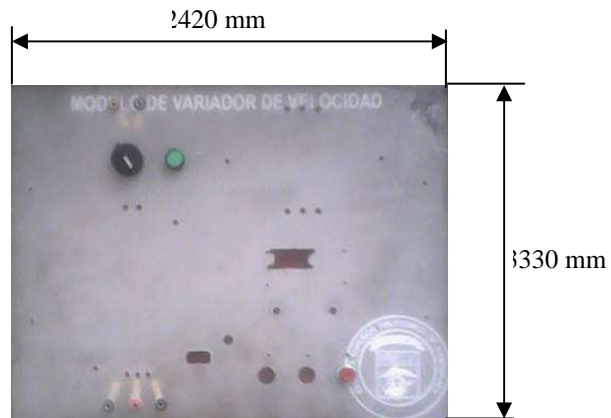
### 3.8 Diagrama de flujo programación PIC

Se muestra la lógica de programación del microcontrolador.



### 3.9 Diseño del tablero

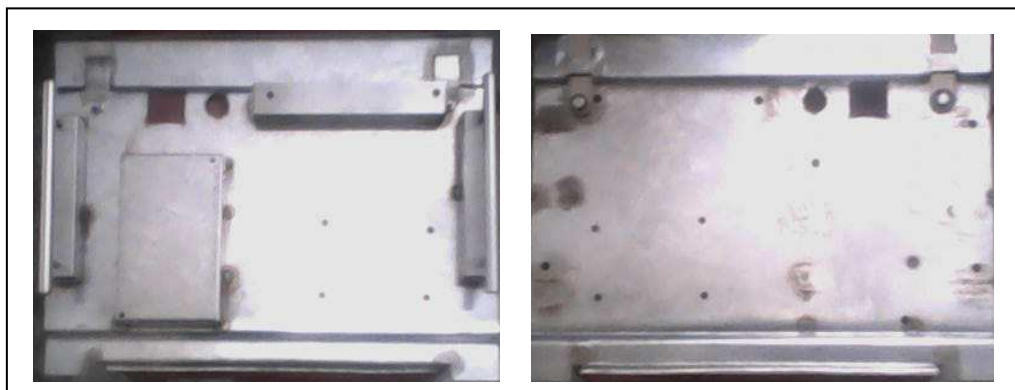
Para el dimensionamiento del tablero se ah tomado en cuenta los diámetros y dimensiones de los dispositivos que serán montados en el tablero, distribuyéndoles de acuerdo al diagrama de bloques (ver anexo 1).



**Figura 3.28:** dimensiones del tablero

#### 3.9.1 Estructura metálica

Para la construcción de la estructura metálica se lo ah realizado de acuerdo al modelo del panel del laboratorio de Control Industrial junto con las dimensiones del tablero de la figura 3.29 como se puede observar.



**Figura 3.29:** Estructura metálica, lado frontal y posterior respectivamente

#### 3.10 Implementación del módulo de variador de velocidad

Finalmente se colocan todos los equipos en el lugar correspondiente en el tablero.

Colocado todos los dispositivos eléctricos-electrónicos, se realizan las pruebas de funcionamiento con los modos de control dispuestos en el variador de velocidad SINAMIC G110.

## CAPÍTULO IV

### 4. GUÍAS DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

#### 4.1 PRÁCTICA N° 1

**Tema:**

**Puesta en servicio rápida usando el panel básico de operación BOP  
(Basic Operator Panel)**

**Objetivos:**

- Conocer el uso del BOP (Basic Operator Panel) y sus diferentes parámetros para la puesta en servicio.
- Ingresar los datos de la placa del motor para su parametrizado, seleccionando la fuente de comandos del panel básico de operaciones.
- Realizar el arranque, parada e inversión de sentido de giro del motor mediante el uso del BOP (Basic Operator Panel).

**Conceptos básicos**

1.- El Variador de Velocidad es un dispositivo o conjunto de dispositivos, eléctricos o electrónicos empleados para controlar la velocidad giratoria de maquinaria, especialmente de motores eléctricos. También es conocido como Accionamiento de Velocidad Variable.

2.- El BOP es el panel de operaciones básico, en donde se puede modificar señales de control y consignas de velocidad, apretando simplemente el botón pertinente.

También se tiene fácilmente acceso a los parámetros del SINAMIC G110.

3.- La puesta en servicio rápida es una forma óptima para adaptar el SINAMIC G110 a un motor determinado.

### **Información preliminar**

#### **BOP (Basic Operator Panel)**

Cuando el ajuste de fábrica del convertidor no es adecuado a la aplicación, se puede modificar el ajuste y adaptar el convertidor a la aplicación requerida utilizando el BOP (Basic Operator Panel).

El BOP permite acceder directamente a los parámetros del SINAMICS G110.

Con el BOP se pueden ejecutar las siguientes funciones:

- Modificación de valores de parámetros
- Visualización de parámetros especiales
- Transmisión de juegos de parámetros de un SINAMICS G110 a otro. Esta función es de gran utilidad cuando se tiene que parametrizar una gran cantidad de convertidores en la variante USS.

#### **Cambio de la frecuencia nominal del motor**

El ajuste de fábrica del SINAMICS G110 para la frecuencia nominal del motor es de 50 Hz.

Para conmutar a una frecuencia nominal del motor de 60 Hz existen tres métodos:

- Mediante un interruptor DIP en la parte frontal del convertidor.
- Mediante el ajuste de P0100 como se describe a continuación.
- Mediante entrada manual de datos de la placa de características del motor.

#### **Cambio de la frecuencia nominal del motor vía interruptor DIP**



La frecuencia nominal del motor se puede ajustar mediante un interruptor DIP en el lado frontal del convertidor.

### **Ajuste de la frecuencia nominal del motor en el parámetro P0100**

La frecuencia nominal del motor se puede ajustar con el parámetro P0100 de la siguiente forma:

P0100 = 0 (kW, 50 Hz) ajuste de fábrica

P0100 = 1 (hp, 60 Hz)

P0100 = 2 (kW, 60 Hz)

Pasos para cambiar P0100:

### **Puesta en servicio rápida (P0010=1)**

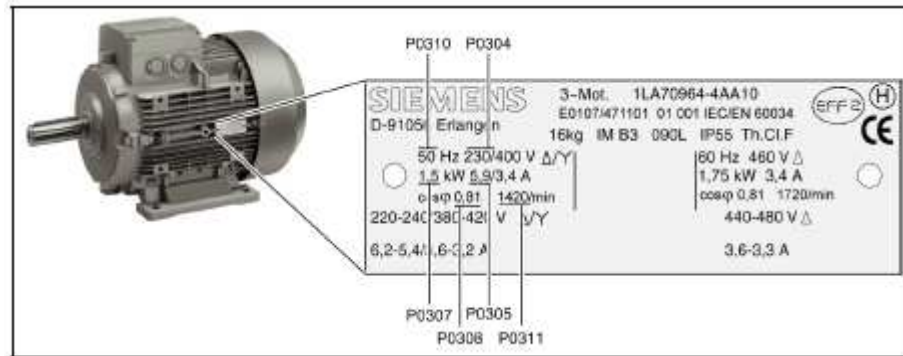
Los datos del motor, de la placa de características, se introducen en el convertidor, y este calcula los parámetros de protección y control dependientes de los mismos.

Es **importante** que se utilice P0010 para la puesta en servicio y P0003 para seleccionar la cantidad de parámetros a los que se tiene que acceder. P0003 permite seleccionar un grupo de parámetros que posibilitan la puesta en servicio rápida. A ellos pertenecen los parámetros del motor y los tiempos de rampas.

El parámetro P0010 se pone automáticamente a cero cuando se finaliza la puesta en servicio rápida ajustando  $P3900 > 0$ . El convertidor solo se podrá operar si  $P0010 = 0$ .

### **Datos del motor para el parametrizado**

La Figura 4.1, muestra donde se encuentran los datos correspondientes en la placa de características del motor. La Figura 4.1 solo sirve como ilustración, los datos reales para introducirlos en el convertidor se deben tomar de la placa de características del motor que se use.



**Figura 4.1:** Ejemplo de una placa de características de un motor

## Equipos y Materiales

- Fuente de energía 220 V CA.
- Módulo de motor de inducción de jaula de ardilla.
- Módulo de variador SINAMIC G110.
- Panel de operación opcional BOP.
- Cables de conexión.

## Procedimiento

Coloque los cables de conexión para alimentar el módulo, asegúrese de que el selector esté abierto, la puesta en servicio rápida se inicia poniendo P0010=1 y se finaliza con P3900≠0. Después de finalizar la puesta en servicio rápida el parámetro P0010 se pone automáticamente a 0 (requisito indispensable para poder accionar el motor).

A través del panel de operación opcional ingrese a los parámetros que se describen a continuación e ingrese los datos correspondientes a la aplicación.

**a.- P0010 Comenzar la puesta en servicio rápida ingresando el dígito en la pantalla correspondiente a la puesta en servicio rápida tomando la opción 1:**

1 Puesta en servicio rápida

**b.- P0100 Funcionamiento para Europa/ Norteamérica, observe la potencia de la placa del motor y su frecuencia y seleccione el dígito correspondiente.**

- 0 Potencia en Kw; f por defecto 50 Hz
- 1 Potencia en hp; f por defecto 60 Hz
- Potencia en Kw; f por defecto 60 Hz

**c.- P0304 Tensión nominal del motor**

- Rango de ajuste: 10 V - 2000 V
- Tensión nominal del motor (V) de la placa de características

**d.- P0305 Corriente nominal del motor**

- Rango de ajuste: 0 - 2 x corriente nominal del convertidor (A)
- Corriente nominal del motor (A) de la placa de características

**e.- P0307 Potencia nominal del motor**

- Rango de ajuste: 0,12 Kw – 3,0 Kw (0,16 hp – 4,02 hp)
- Potencia nominal del motor (Kw) de la placa de características.
- Si P0100 = 1, los valores serán en hp

**f.- P0310 Frecuencia nominal del motor**

Rango de ajuste: 12 Hz - 650 Hz. Frecuencia nominal del motor (Hz) de la placa de características

**g.- P0311 Velocidad nominal del motor1)**

Rango de ajuste: 0 - 40000 1/min. Velocidad nominal del motor (rpm) de la placa de características

**h.- P0700 Selección de la fuente de comandos**

(Marcha/paro/inversión).

Seleccione el dígito uno, para la puesta en servicio por medio del BOP.

1 BOP

2 Bornes/entradas digitales

5 USS (sólo variante USS)

#### **i.- P1000 Selección de la consigna de frecuencia**

- Seleccione la consigna de frecuencia fija.
- 1 Consigna MOP
- Consigna analógica (sólo variante analógica)
- Frecuencia fija
- USS (sólo variante USS)

#### **j.- P1080 Frecuencia mínima del motor**

Ajuste la frecuencia mínima del motor (0-650Hz) a la que girará el motor con independencia de la consigna de frecuencia. El valor aquí ajustado es válido tanto para giro a derecha como a izquierda.

#### **k.- P1082 Frecuencia máxima del motor**

Ajuste la frecuencia máxima del motor (0-650Hz) a la que girará el motor con independencia de la consigna de frecuencia. El valor aquí ajustado es válido tanto para giro a derecha como a izquierda.

#### **l.- P1120 Tiempo de aceleración**

- Rango de ajuste: 0 s - 650 s
- Tiempo que tarda el motor para acelerar desde el estado de reposo hasta la frecuencia máxima del motor.

#### **m.- P1121 Tiempo de deceleración**

- Rango de ajuste: 0 s - 650 s
- Tiempo que tarda el motor para decelerar desde la máxima frecuencia del motor hasta el estado de reposo.

**n.- P3900 Finalizar puesta en servicio rápida**

- 0= Sin puesta en servicio rápida sin cálculo del motor ni reajuste de fábrica.
- 1= Fin puesta en servicio rápida con cálculo del motor y reajuste de fábrica.  
**(Recomendado)**
- 2= Fin puesta en servicio rápida con cálculo del motor y reajuste de E/S.
- 3= Fin puesta en servicio rápida con cálculo del motor pero sin reajuste de fábrica.

## 4.2 PRÁCTICA N° 2

### **Tema:**

#### **Control estándar a través del parámetro (P0727=0)**

### **Objetivos:**

- Ejecutar el control Siemens estándar por medio del parámetro P0727 = 0
- Realizar el control por medio de la señal ON/ OFF1 Y REV
- Efectuar el control por medio de la señal ON/ OFF1 Y ON\_ REV/OFF1

### **Información preliminar**

Al acceder al parámetro P0727 = 0 se ingresa a dos posibilidades de control por medio de las siguientes señales.

1. ON/OFF1 y REV.
2. ON/OFF1 y ON\_REV/OFF1.

#### **1. Control por medio de la señal ON/OFF1 y REV**

Este método permite poner en marcha y parar el accionamiento por medio de la orden ON/OFF1 y efectuar un cambio de giro con la orden REV (inversión de giro).

Estas órdenes se le pueden asignar a cualquiera de las entradas digitales a través de los parámetros P0701 a P0704.

#### **2. Control por medio de la señal ON/OFF1 y ON\_REV/OFF1**

Son métodos que nos proporciona el convertidor para cubrir lo requerido.

Este método permite poner en marcha el accionamiento en sentido de giro positivo (sentido horario) por medio de la orden ON/OFF1 y en el sentido de giro negativo (antihorario) a través de la orden ON\_REV/OFF1.




Sin embargo para poder cambiar el sentido de giro, el accionamiento primero tiene que desacelerar con OFF1 y solo después de alcanzar 0 Hz se puede aplicar la señal de inversión.

### **Equipos y Materiales**

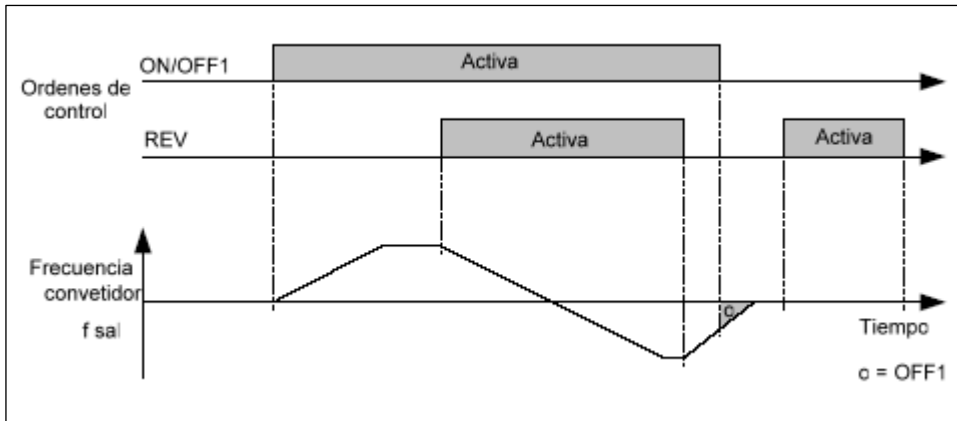
- Fuente de energía 220 V CA.
- Módulo de motor de inducción de jaula de ardilla.
- Módulo de variador SINAMIC G110.
- Panel de operación opcional BOP.
- Cables de conexión.

### **Procedimiento**

1.- Coloque los cables de conexión para alimentar el módulo previa a la conexión del motor, acceda al parámetro P0727 = 0 e ingrese a la posibilidad de control por medio de la señal ON/OFF1 y REV esta orden se lo asigna en cualquiera de las entradas digitales a través de los parámetros P0701 a P0704, después de haber ingresado los dígitos en la pantalla correspondiente a la puesta en servicio.

- Ponga la orden ON por medio del botón , el convertidor pone en marcha el motor y lo acelera a través de la rampa de aceleración hasta alcanzar la frecuencia de consigna.
- Ponga la orden REV por medio del botón , el convertidor desacelera el motor a través de la rampa de deceleración hasta alcanzar 0 Hz, después se acelera de nuevo en sentido inverso hasta alcanzar el valor opuesto de la frecuencia de consigna.
- Al quitar la orden ON, dar orden OFF1 (presione el botón ) el convertidor desacelera el motor hasta pararlo.

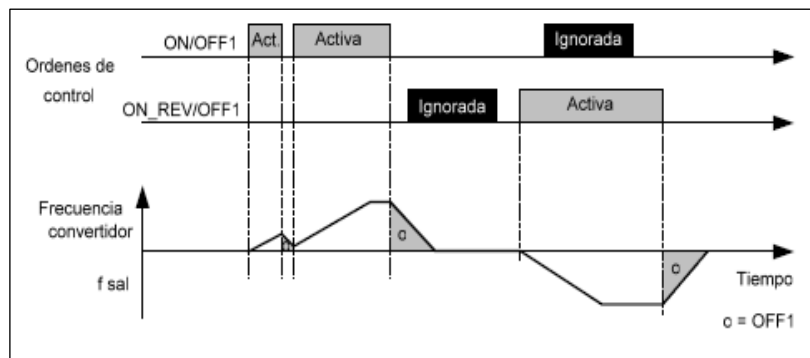
Solamente con el orden REV el motor no se pone en marcha.



**Figura 4.2:** Control siemens estándar vía ON/OFF1 y REV

2.- Para el siguiente tipo de control acceda nuevamente al parámetro  $P0727 = 0$  e ingrese a la posibilidad de control por medio de la señal ON/OFF1 y ON\_REV/OFF1 esta orden se lo asigna en cualquiera de las entradas digitales a través de los parámetros P0701 a P0704.

- De la orden ON, el motor se pondrá en marcha, posteriormente de la orden OFF1 esto hará que empiece la fase de deceleración, esto se puede interrumpir dando de nuevo la orden de marcha ON para la misma dirección. Si el accionamiento se encuentra en fase de aceleración en sentido horario y se imparte la orden OFF1 el motor desacelera, al dar de nuevo la orden ON este vuelve a acelerar en la misma dirección hasta alcanzar el valor de consigna. Realice para las ordenes ON\_REV/OFF1.
- Si usted imparte la orden de marcha para el sentido de giro contrario al actual, mientras el motor se encuentra en la fase de deceleración, esta es ignorada y el motor continua el proceso de deceleración hasta alcanzar 0 Hz y permanecer en reposo.



**Figura 4.3:** Control siemens estándar vía ON/OFF1 y ON\_REV/OFF1



### 4.3 PRÁCTICA N° 3

#### **Tema:**

#### **Puesta en servicio analógico mediante microcontrolador**

#### **Objetivos:**

- Ejecutar los ajustes de fábrica de la variante analógica por medio del panel de operaciones opcional.
- Colocar los cables de conexión del potenciómetro lineal en las borneras destinadas para el mismo.
- Realizar el arranque, paro e inversión de sentido de giro del motor a través del microcontrolador.

#### **Conceptos básicos**

1.- El microcontrolador es un circuito integrado que incluye todos los componentes de un computador. Debido a su reducido tamaño es posible montar el controlador en el propio dispositivo al que gobierna. En su memoria solo reside un programa destinado a gobernar una aplicación determinada, sus líneas de entradas y salidas (I/O) permiten la conexión de sensores y relay. Una vez programado y configurado el microcontrolador solamente sirve para gobernar la tarea asignada.

2.- Los transistores pueden funcionar como amplificadores o interruptores, si los utilizamos como interruptores al igual que los relés pueden manejar corrientes altas, controlados por corrientes bajas.

3.- Los relés son interruptores controlados por una pequeña corriente eléctrica. Según el relé estos pueden ser energizados con una corriente muy pequeña, por lo que pueden ser disparados directamente por el pic.

4.- La variante analógica la componen las borneras en donde se coloca interruptores externos para su operación.

## Información preliminar

### Microcontrolador

El microcontrolador es un circuito integrado programable que acepta un listado de instrucciones y contiene todos los componentes de un computador. Se utilizan para realizar determinadas tareas o para gobernar dispositivos, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo que gobierna.

Una vez programado y configurado el microcontrolador solamente sirve para gobernar la tarea asignada.

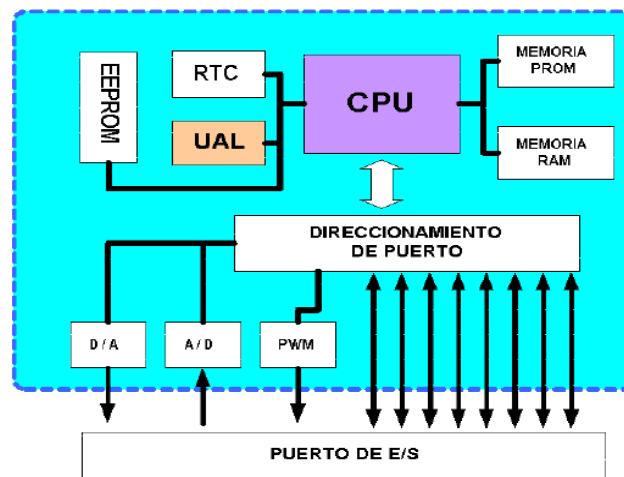


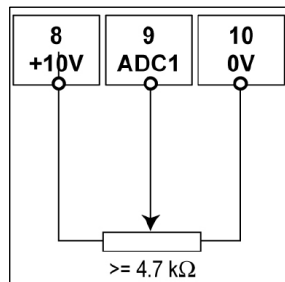
Figura 4.4: Diagrama de bloque de un microcontrolador

### Equipos y Materiales

- Fuente de energía 220 V CA.
- Módulo de motor de inducción de jaula de ardilla.
- Módulo de variador SINAMIC G110.
- Módulo de microcontrolador
- Panel de operación opcional BOP.
- Cables de conexión.

## Procedimiento

Energice al módulo del Variador de Velocidad conecte el potenciómetro a los bornes seleccionados para el mismo como se muestra en la figura 4.5.



**Figura 4.5:** Conexión del potenciómetro a bornes del convertidor

Realice el ajuste de fábrica para la variante analógica ajustando los parámetros en el panel de control como se muestra a continuación para el Ajuste de fábrica para el servicio con SINAMICS G110 – variante analógica.

- Fuente de consigna de frecuencia, borne 9 parámetro de ajuste de fábrica P1000=2 que es la función de entrada analógica.
- Fuente de órdenes, bornes 3, 4 y 5 parámetro de ajuste de fábrica P0700=2.
- Entrada digital 0, borne 3 parámetro de ajuste de fábrica P0701=1 que es la función ON/OFF1.
- Entrada digital 1, borne 4 parámetro de ajuste de fábrica P0702=12 que es la función inversión de sentido de giro.
- Entrada digital 2, borne 5 parámetro de ajuste de fábrica P0703=9 que es la función acuse de fallos.

Presione el pulsador ON para poner en marcha el motor, visualizará en la pantalla del LCD la dirección de giro del motor este acelera hasta alcanzar la frecuencia de consigna.

Presione el pulsador de inversión de giro del motor se visualizará en la pantalla de LCD el sentido de giro, el convertidor desacelera el motor hasta alcanzar 0 Hz, después se acelera de nuevo en sentido inverso hasta alcanzar el valor opuesto de la frecuencia de consigna.

Presione el pulsador de orden OFF, volverá al estado de inicio visualizándose en la pantalla del LCD donde el convertidor desacelera el motor hasta pararlo.

## CAPÍTULO V

### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

Se conoció que los motores MAJA 3F, dan la posibilidad de variar su velocidad cambiando la frecuencia de alimentación.

Se determinó que el método más eficaz para controlar la velocidad de un motor eléctrico es por medio de un variador electrónico de frecuencia.

La investigación realizada a los variadores SINAMICS G110, permitió entender su composición, estructura y funcionamiento, en sus diferentes etapas para llevar a cabo la variación de la frecuencia y su velocidad.

Se realizó la operación del variador SINAMIC G110 y a través de su uso, operar los diferentes tipos de control que dispone en su programación, para el accionamiento del MAJA 3F.

Se conoció las distintas formas de puestas en marcha del variador conociendo cada uno de sus parámetros que existen en su programación.

Se construyó un módulo de microcontrolador, para el control del variador de forma digital opcional para arranque, paro e inversión de sentido de giro del motor, mostrando la lectura de giro en la pantalla del LCD.

Se elaboró guías de laboratorio para asistencia a los estudiantes de la Facultad de Mecánica que serán de mucha utilidad para su desarrollo técnico científico.

## 5.1 Recomendaciones

Manipular el equipo por personal familiarizado con la puesta en servicio y operación para asegurar el funcionamiento correcto del equipo.

Esperar cinco minutos para permitir que se descarguen los condensadores antes de comenzar cualquier trabajo de instalación en el equipo.

Tomar en cuenta que la conexión de los cables de red, del motor y de mando o control deberán realizarse de la forma correcta a fin de evitar que interferencias de tipo inductivo y capacitivo afecten al correcto funcionamiento del convertidor.

Montar en posición frontal-vertical para asegurar la refrigeración necesaria asegurando que las aletas de enfriamiento del convertidor no estén tapadas ni obstruidas.

Observar que el convertidor esté siempre a tierra. Si el convertidor no está puesto a tierra correctamente se puede destruir el convertidor, así como producirse altas tensiones peligrosas para las personas. Lo mismo rige si el convertidor trabaja en redes no puestas a tierra.

Antes de realizar o cambiar conexiones en el módulo, se debe desconectar la fuente de alimentación del equipo.

Tomar en cuenta que después de desconectar y reconectar la tensión de red, se lee la frecuencia nominal del motor en función de la posición del interruptor DIP. Es posible que se borren otros ajustes de P0100.