



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA**

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

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE LABORATORIO CON  
VARIADOR DE FRECUENCIA PARA EL CONTROL DE UN SISTEMA DE  
BOMBEO Y DETERMINACIÓN DEL AHORRO ENERGÉTICO.”**

**ADRIANA ALEXANDRA PESÁNTEZ ERAZO.**

## **TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

## **INGENIERA DE MANTENIMIENTO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2012**

**Epoch**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

Enero, 11 de 2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**ADRIANA ALEXANDRA PESÁNTEZ ERAZO**

---

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE LABORATORIO CON VARIADOR DE FRECUENCIA PARA EL CONTROL DE UN SISTEMA DE BOMBEO Y DETERMINACIÓN DEL AHORRO ENERGÉTICO.”**

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

**INGENIERA DE MANTENIMIENTO**

---

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

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Marco Santillán  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. César Astudillo  
ASESOR DE TESIS

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** ADRIANA ALEXANDRA PESÁNTEZ ERAZO

**TÍTULO DE LA TESIS** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE LABORATORIO CON VARIADOR DE FRECUENCIA PARA EL CONTROL DE UN SISTEMA DE BOMBEO Y DETERMINACIÓN DEL AHORRO ENERGÉTICO.”

**Fecha de Examinación:** 11 de enero de 2012

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. GEOVANNY NOVILLO (Presidente Trib. Defensa)			
ING. MARCO SANTILLÁN (Director de Tesis)			
ING. CÉSAR ASTUDILLO (Asesor de Tesis)			

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

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

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

f) Presidente del Tribunal

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presento, 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 la autora. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

f) Adriana Alexandra Pesántez Erazo.

## **AGRADECIMIENTO**

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 materna, por todo el apoyo brindado a lo largo de mi carrera, de manera muy especial a mi madre NORA.

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.

Mis agradecimientos sinceros por la colaboración de todos quienes contribuyeron para el desarrollo de la tesis y que siempre estuvieron presentes cuando se necesitó su ayuda.

**Adriana Pesántez Erazo.**

## **DEDICATORIA**

La realización de esta tesis está dedicada a toda mi familia, amigos que han estado presentes durante el desarrollo de este proyecto, de manera muy especial a mi madre NORA y a mi angelito PAPI BOLO que desde el cielo sigue cuidando de mí.

**Adriana Pesántez Erazo.**

## TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>		<u>PÁGINA</u>
<b>1.</b>	<b>GENERALIDADES</b>	
1.1	Introducción.....	1
1.2	Justificación.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Objetivo general.....	3
1.3.2	Objetivos específicos.....	3
<b>2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	
2.1	Introducción.....	4
2.2	Definición de variador de frecuencia.....	5
2.3	Principio de funcionamiento del variador de frecuencia.....	5
2.4	Funciones de los variadores de frecuencia electrónicos.....	7
2.4.1	Ventajas de la utilización de los variadores de frecuencia....	7
2.4.2	Desventajas de la utilización de los variadores de frecuencia..	11
2.5	Tipos de variadores de frecuencia.....	11
2.5.1	Variadores de frecuencia mecánicos.....	11
2.5.2	Variadores de frecuencia hidráulico.....	12
2.5.3	Variadores de frecuencia eléctrico-electrónicos.....	12
2.6	Variadores de frecuencia eléctrico-electrónicos.....	13
2.6.1	Variadores de frecuencia para motores de corriente continua	13
2.6.2	Variadores de frecuencia por corriente de Eddy.....	14
2.6.3	Variadores de frecuencia por deslizamiento.....	14
2.6.4	Variadores de frecuencia para motores de C.A.....	15
2.7	Aplicaciones de los variadores de frecuencia.....	16
2.7.1	Sistemas de bombeo controlados por variadores de frecuencia.....	16
2.7.2	Ahorro de energía relacionado con la utilización de variadores de frecuencia.....	17
2.8	Industrias donde se utilizan los variadores de frecuencia.....	19
2.9	Elementos de protección y monitoreo.....	20
<b>3.</b>	<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DE</b>	

## **LABORATORIO CON VARIADOR DE FRECUENCIA.**

3.1	Construcción del módulo de laboratorio con variador de frecuencia.....	23
3.1.1	Diseño del circuito eléctrico para la instalación del variador de frecuencia.....	23
3.1.2	Elementos constitutivos.....	24
3.1.3	Planificación del ensamble del módulo de laboratorio.....	31
3.1.4	Recomendaciones de montaje del módulo de laboratorio.....	39
3.1.5	Programación del módulo de variador de frecuencia.....	42
3.2	Mediciones con el variador de frecuencia.....	54
3.3	Determinación del ahorro energético que se consigue con la aplicación de un variador de frecuencia en un sistema de bombeo.....	55

## **4. GUÍAS DE LABORATORIO**

4.1	PRÁCTICA N° 1.....	58
4.2	PRÁCTICA N° 2.....	64
4.3	PRÁCTICA N° 3.....	66

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	Conclusiones.....	67
5.2	Recomendaciones.....	68

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**BIBLIOGRAFÍA**

**LINKOGRAFÍA**

**ANEXOS**

**PLANOS**

## LISTA DE TABLAS.

<u>TABLA</u>		<u>PÁGINA</u>
1	Dimensiones de la estructura modular.....	33
2	Alternativas y criterios de selección para la forma de la estructura modular.....	36
3	Áreas para la distribución física de los elementos.....	38
4	Disipación de potencia del convertidor SINAMICS G 110.....	39
5	Dimensiones del SINAMICS G110.....	40
6	Ajuste de fábrica para el servicio con SINAMICS G 110 variante análoga.....	45
7	Ajustes de fábrica para el servicio con SINAMICS G 110 variante USS.....	45
8	Modos de operación.....	49
9	Medición de consumo de energía del sistema de bombeo, con diferentes modos de arranque.....	55

## LISTA DE FIGURAS

<b><u>FIGURA</u></b>		<b><u>PÁGINA</u></b>
1	Principio de funcionamiento del variador de frecuencia.....	6
2	Con el variador de velocidad no es necesario el uso de bombas de diferentes tamaños en paralelo.....	8
3	El variador de velocidad permite la sustitución de los depósitos de presión.....	9
4	Ahorro de consumos de energía y potencia con variador de velocidad.....	9
5	Ahorro en consumos de energía reactiva.....	10
6	Mejora de control de caudal.....	10
7	Estructura general de un variador de velocidad eléctrico.....	22
8	Circuito eléctrico de conexión de variador de frecuencia.....	23
9	Breaker automático.....	24
10	Mando de paro de emergencia.....	26
11	Selector de tres posiciones.....	26
12	Luz piloto.....	26
13	Guarda-motor Siemens.....	27
14	Diagrama de bloques del SINAMICS G110.....	32
15	Ubicación del variador de frecuencia SINAMICS G110.....	34
16	Ubicación del relé inteligente LOGO.....	35
17	Bosquejo general de la estructura modular tipo rampa.....	37
18	Estructura modular.....	39
19	Dimensiones del SINAMICS G110.....	41
20	Separación para montar varios convertidores SINAMICS G110....	41
21	Interruptor DIP para frecuencias nominales del motor y terminación de bus.....	44
22	Servicio estándar variante analógica.....	44
23	BOP.....	47
24	Modificación de parámetros con el BOP.....	49
25	Diagrama ladder para LOGO.....	52
26	Contacto normalmente abierto y contacto normalmente cerrado...	53
27	Bobina de relé.....	53
28	Retardo a la conexión.....	54
29	Ejemplo de una placa de características de un motor.....	60
30	Diagrama ladder para LOGO.....	64

## LISTA DE ABREVIACIONES

CA	Corriente alterna
CD	Corriente directa
kW	Kilo vatios
V	Voltios
Hz	Hertzios
CC	Corriente continua
IGBT	Isolated Gate Bipolar Transistor
PWM	Modulación de Ancho de Pulsos
PLC	Control Lógico Programable
Vt	Voltaje nominal
K	Constante de la máquina.
<i>FM</i>	Flujo magnético producido por el campo ( <u>Wb</u> )
<i>rpm</i>	Revoluciones por minuto
<i>Nm</i>	Velocidad mecánica rpm
VT	Voltaje terminal
IF	Corriente de campo
Ns	Velocidad síncrona rpm
p	Deslizamiento
P	Par de polos
A	Amperios
BOP	Basic Operator Panel
USS	Interface en Serie Universal
FCL	Fast Current Limit
VCA	Voltaje de Corriente Alterna
VCD	Voltaje de Corriente Directa
W	Vatios
°C	Grados centígrados
°F	Grados Fahrenheit
ON	Encendido

OFF	Apagado
JOG	Marcha a impulsos
LED	Diodo luminiscente
MOP	Potenciómetro motorizado
P	Parámetros
JOG	Control a pulsos
Fn	Funciones
I/O	Arranque/paro
kWh	Kilo vatio hora
USD	Dólares de los Estados Unidos de América
hp	Potencia
HMI	Human Machine Interface

## **LISTA DE ANEXOS**

- ANEXO 1.** Datos técnicos SINAMICS G110
- ANEXO 2.** Dimensiones del SINAMICS G110
- ANEXO 3.** Acoplamiento del BOP
- ANEXO 4.** Descripción del BOP

## **LISTA DE PLANOS**

**PLANO 1.** Plano eléctrico de conexiones del Módulo

## RESUMEN

Se ha Diseñado y Construido un Módulo para Laboratorio con Variador de Frecuencia para el Control de un Sistema de Bombeo y Determinación del Ahorro Energético.

Los materiales empleados para la construcción del Módulo de Laboratorio son acero inoxidable, los elementos constitutivos empleados en el mismo son Variador de Frecuencia SIEMENS G110, Relé Inteligente LOGO, elementos de protección contra cortocircuitos, sistema de paro de emergencia, bomba sumergible.

La metodología empleada para el desarrollo de la tesis ha sido mediante la programación del Relé Inteligente LOGO el mismo que permitirá controlar el Variador de Frecuencia y a través de éste al Sistema de Bombeo funcionando con mandos manuales y automáticos; en las pruebas de funcionamiento se realizan dos tipos de arranque del Sistema de Bombeo, los mismos que permitirán apreciar el desempeño de la bomba sumergible trabajando en arranque directo y posteriormente controlado por un Variador de Frecuencia. Para la determinación del Ahorro Energético se utilizó un Medidor de Energía Trifásico el mismo que al ser conectado al Sistema de Bombeo y realizar el arranque directo y arranque controlado por Variador de Frecuencia durante un lapso de tiempo, permitirá establecer la diferencia de consumo energético entre las dos formas de funcionamiento, obteniéndose como resultados un ahorro en consumo de energía considerablemente aceptable.

Mediante la variación de la frecuencia del motor de la bomba se obtienen beneficios económicos para las empresas donde se aplican los mismos, el Variador de Frecuencia debe ser manipulado por personal familiarizado con el funcionamiento de los mismos.

## **ABSTRACT**

A Laboratory Module with Frequency Converter for the Control Pumping System and Determination of Energy Savings has been designed and constructed.

Laboratory Module was built with stainless steel, and the constituent elements used in it are Frequency Converter SIEMENS G110, LOGO Intelligent Relay, elements of short circuit protection, emergency stop system, and submersible pump.

This study has as main goals the following: to design and build module with Frequency Converter for the control pumping system and to determine the energy savings. To know which are the structure and characteristics of Frequency Converter. To check that the application of a Frequency Converter to a pumping system, energy savings is achieved.

For this research work, the methodology was developed through the programming of LOGO Intelligent Relay, which will allow controlling the Frequency Converter and through it to the Pumping System operating manual and automatic controls. In the functional tests are performed two rates starts Pumping System that will enable to appreciate the performance the submersible pumps working on starts up direct and subsequently controlled by a Frequency Converter. To determine energy savings is used a Three-phase Energy Meter, which will allow establishing the energy consumption difference between the two ways of operation, by means of connection to the pumping system and make the starts up direct and starts controlled by Frequency Converter over a period, then, it was obtained as a result a considerable savings in energy consumption.

In conclusion, the frequency converter of the pump motor gain economic benefits for enterprises, which apply it, Frequency Converter must hand by personnel with deep knowledge about it.

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES

### **1.1 Introducción.**

El ser humano y la tecnología son entes que se han desarrollado a la par a través del tiempo, por lo que el hombre ha diseñado y creado máquinas y herramientas, las mismas que faciliten la realización de tareas que puedan representar peligro para su integridad, además de que algunas de estas tareas precisen su fuerza y sean de carácter repetitivo, un ejemplo de ello es la sistematización de los procesos; para lo cual es necesario el control de cada uno de estos pasos, para lograr este control se ha puesto en práctica las técnicas de control industrial, las mismas que contribuyen en la eliminación de errores en los procesos y como complemento de ello se consigue disminuir el índice de accidentes personales y materiales; cuando el control industrial empezó a aplicarse de manera empírica, por lo que el hombre tuvo que utilizar sus capacidades de cálculo e incluso la fuerza física para la ejecución del control de un proceso o máquina asociada a la producción. Con el desarrollo de la tecnología, las tareas que anteriormente realizaban de forma empírica, ahora han sido delegadas a los autómatas y computadoras, los mismos que son los encargados de realizar el control y el accionamiento de los procesos.

Con la automatización de los procesos, el control industrial juega un papel muy importante. Los procesos en la industria tienen diferentes requerimientos y necesidades, uno de ellos es que se pueda controlar la velocidad rotacional de los motores que accionan las máquinas, existen varias maneras de lograr este propósito, una de ellas es con la aplicación de los variadores de frecuencia, los mismos que permitirán controlar la velocidad del motor con la variación de la frecuencia de alimentación que se suministra al mismo, considerando esta situación, se ha visto conveniente la implementación de un módulo de laboratorio con variador de frecuencia, con el fin de que los estudiantes puedan fortalecer los conocimientos teóricos adquiridos en las aulas y aplicarlos en el laboratorio.

El control automático de los procesos en la actualidad es una disciplina que se ha desarrollado con una velocidad igual a la de la tecnología, la misma que tiene avances día con día; una de las razones por las que las empresas dudan mucho en automatizar sus procesos, es que los dispositivos que ofrecen este beneficio tienen costos elevados, por lo que tienen la necesidad de buscar alternativas que les proporcionen los mismos beneficios y características a un costo módico, la aplicación de variadores de frecuencia en los procesos de la industria representa algunas ventajas para las empresas que deciden hacerlo una de ellas es el ahorro en el consumo de energía, el mismo que se ve reflejado en la economía de las mismas.

## **1.2 Justificación.**

El principal objetivo del presente proyecto es aprovechar las ventajas que proporcionan los variadores de frecuencia, y conocer las posibilidades que brindan dichos dispositivos para reducir costos en varios aspectos en la industria; además de poder controlar la frecuencia de alimentación de un motor de CA a voluntad de las necesidades que se presenten en un proceso, y además ofrecer la oportunidad de renovar equipos y materiales didácticos en el laboratorio de Control Industrial de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento.

El diseño y construcción del módulo de laboratorio con variador de frecuencia, cumple las siguientes características:

- Fácil construcción.
- Bajo costo de fabricación.
- Tiempo de fabricación mínimo.
- Disminución en el consumo energético del motor.
- Prolonga la vida útil de la maquinaria a la que esté acoplado.
- Ahorrar en consumo energético de procesos.
- Aumentar la precisión de control en diversos dispositivos como sistemas de bombeo, ventiladores, compresores, etc.
- Disminuir los costos de mantenimiento y reparación de dispositivos, como por ejemplo en su aplicación en bombas de agua.
- Reducción de la fatiga mecánica.
- Reducción de daño por cambios bruscos en cargas, pesos, flujos, etc.

Las características mencionadas permiten demostrar que para cumplir las metas propuestas y dar solución a los problemas de una forma rápida y confiable no se necesitan recursos exorbitantes para lograrlo, una de las principales preocupaciones o inconvenientes reales que presentan las empresas o industrias es que necesitan obtener un ahorro energético en sus procesos, el mismo que al final se ve reflejado en la economía de la empresa principalmente, y además en el rendimiento de las máquinas y calidad de los productos.

La implementación de módulos didácticos en el laboratorio de Control Industrial de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento contribuye al fortalecimiento de los conocimientos teóricos adquiridos por los estudiantes en las aulas y aplicarlos realizando prácticas en los laboratorios; además de brindar la oportunidad de contar con recintos equipados con tecnología que en la realidad industrial se están utilizando, situación que permite a los educandos adquirir destrezas en el manejo de dichos elementos.

### **1.3 Objetivos.**

#### **1.3.1 Objetivo general.**

Diseñar y construir un módulo de laboratorio con variador de frecuencia para el control de un sistema de bombeo y determinar el ahorro energético.

#### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- Conocer la estructura y características de los variadores de frecuencia.
- Analizar las ventajas y desventajas de su uso.
- Comprobar que con la aplicación de un variador de frecuencia a un sistema de bombeo, se consigue un ahorro energético.
- Diseñar el módulo con variador de frecuencia para el control de un sistema de bombeo y ahorro energético que representa la aplicación del mismo.
- Realizar el montaje y pruebas de funcionamiento del módulo.
- Elaborar guías de laboratorio para el manejo y programación del variador de frecuencia.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO.

#### **2.1 Introducción.**

Actualmente los variadores de frecuencia desempeñan un lugar preponderante dentro de la industria en general, por su flexibilidad y multiplicidad en opciones de utilización a un costo razonable.

Muchas son las aplicaciones en donde la variación de velocidad se ha convertido en la vida misma de la fabricación de cualquier tipo de productos. Bien puede ser para arranques y paros frecuentes, cargas de alta inercia, troquelado, extrusión, bombeo, ventilación, coordinación de movimientos en líneas de producción, uso en regulación de velocidad, posicionamiento, sincronización, e infinidad de otras aplicaciones que antes solo era posible hacerlas parcialmente con corriente directa (CD) usando motores y controles costosos de adquirir y mantener.

A medida que la electrónica avanza y la generación de energía es cada vez más costosa, se torna rentable y necesario hacer cada vez más eficientes los procesos de producción, éste es el caso de aquellos procesos que involucren bombas y que haciendo uso de los controles de frecuencia (variadores) pueden ser más eficientes y por lo tanto ahorrar energía.

Los sistemas de velocidad variable se pueden aplicarse en aquellos procesos donde se requiera regular el flujo a diferentes cargas.

El comando y protección electrónica de motores provee un desempeño mayor que las soluciones tradicionales electromecánicas, cuando la necesidad sea arrancar un motor la opción será elegir entre los métodos tradicionales electromecánicos de arranque (directo o a tensión reducida como estrella-triángulo o autotransformador para motores jaula de ardilla, o con resistencias rotóricas para motores de rotor bobinado, entre otros) y un arrancador electrónico progresivo.

Si las necesidades de la aplicación son de variar velocidad y controlar el par, las opciones son utilizar alguna solución mecánica, un motor especial (de corriente continua, servo, etc.), ó un motor asíncrono jaula de ardilla con variador de frecuencia.

Una aplicación de variadores de frecuencia son los organismos de suministro de potable que en busca del control del proceso y ahorro de energía aprovechan las bondades de los mismos para variar la velocidad en los sistemas de bombeo, ya que

éste es el caso donde la carga es variable, debido al consumo que se registre durante el día.

## **2.2 Definición del variador de frecuencia. [1]**

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

El variador de frecuencia es un dispositivo electrónico que permite controlar y regular la velocidad de motores eléctricos de inducción, esta regulación se realiza por medio del control de la frecuencia de alimentación que se le suministra al motor. Los variadores de frecuencia permiten el correcto funcionamiento de los motores eléctricos, ya que regulan la velocidad a la cual funcionan. El funcionamiento de las maquinarias eléctricas puede operar a velocidades constantes o variables, dependiendo del tipo de alimentación, de las características del motor y de las exigencias del proceso. Para controlar que la velocidad del motor sea la óptima, se emplean controladores de velocidad llamados variadores de frecuencia o de velocidad.

## **2.3 Principio de funcionamiento del variador de frecuencia. [2]**

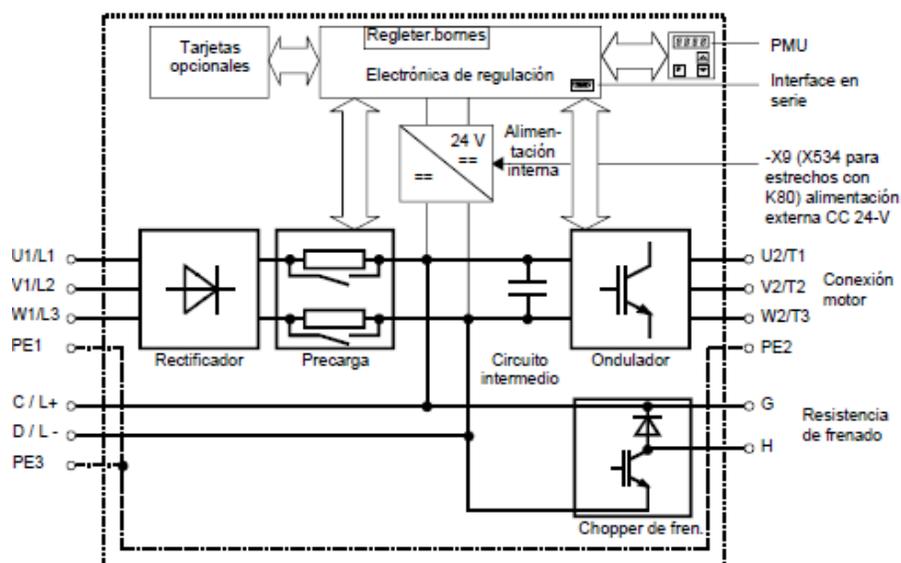
El variador de frecuencia es un aparato de la electrónica de potencia para la alimentación de accionamientos trifásicos de alta dinámica dentro de una gama de potencias de 0,55 kW a 15 kW el aparato se puede conectar a una red de corriente trifásica con una tensión comprendida entre 220V y 380 V, con una frecuencia de 50/60 Hz. La corriente de la red se rectifica y se introduce al circuito intermedio. Con el ondulator se produce, de la tensión continua del circuito intermedio, mediante la modulación de duración de impulsos, un sistema de corriente trifásica con una frecuencia de salida que oscila entre 0 Hz y 400 Hz. La alimentación de la tensión interna de CC de 24V se toma de una fuente de alimentación integrada. La electrónica de regulación se encarga del control del aparato. Esta se compone de un microprocesador y un procesador analógico digital, las funciones se realizan por medio del software del equipo. El manejo se realiza con el panel del equipo, el panel de mandos opcional, el regletero de bornes o a través de un sistema de bus.

Los variadores de frecuencia están compuestos por:

- **Etapa Rectificadora:** convierte la tensión alterna en continua mediante rectificadores de diodos, tiristores, etc.

- **Etapa intermedia:** 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 sobre-corriente, sobretensión, baja tensión, cortocircuitos, puesta a masa del motor, sobre-temperaturas, etc.
- **Etapa 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 más utilizados emplean modulación PWM (Modulación de Ancho de Pulsos) y se 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.

El Inversor o Inverter convierte la tensión continua de la etapa intermedia en una tensión de frecuencia y tensión variables. Los IGBT's envían pulsos de duración variable y se obtiene una corriente casi senoidal en el motor. La frecuencia portadora de los IGBT's se encuentra entre 2 a 16kHz. Una portadora con alta frecuencia que reduce el ruido acústico del motor pero disminuye el rendimiento del mismo y la longitud permisible del cable hacia el motor. Por otra parte, los IGBT's generan mayor calor. Las señales de control para arranque, parada y variación de velocidad (potenciómetro o señales externas de referencia) están aisladas galvánicamente para evitar daños en sensores o controles y evitar ruidos en la etapa de control.



**Figura 1.** Principio de funcionamiento del variador de frecuencia.

## **2.4 Funciones de los variadores de frecuencia electrónicos.**

### **2.4.1 Ventajas de la utilización de los variadores de frecuencia. [3]**

La implementación de un variador de frecuencia en un motor eléctrico, generalmente es una labor donde deben coordinarse aspectos del proceso tales como mecánicos, eléctricos y además incluir elementos electrónicos de control como PLC y otros.

De forma general las principales ventajas de usar los variadores de velocidad son:

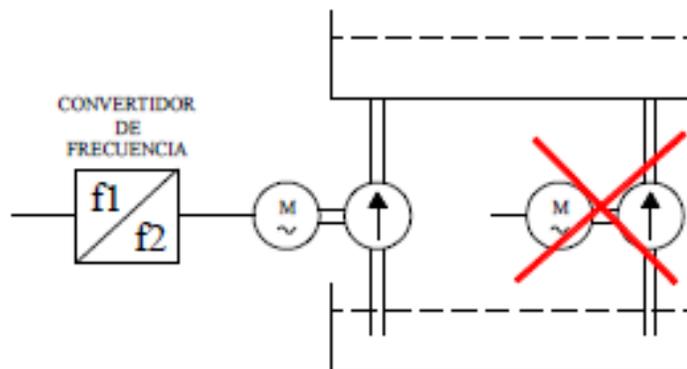
- Disminución en el consumo energético del motor.
- Prolongar la vida útil de la maquinaria.
- Evita el alto consumo energético al iniciar el proceso de una máquina.
- Aumentar la precisión de control en diversos dispositivos como ventiladores, compresores, etc.
- Disminuir los costos de mantenimiento y reparación de dispositivos como por ejemplo en su aplicación en bombas de agua.
- Reducción de estrés mecánico.
- Reducción de daño por cambios bruscos en cargas, pesos, flujos, etc.

El uso de variadores de frecuencia en aplicaciones de bombeo, presentan las siguientes ventajas:

- Disminución del gasto de energía de la bomba: los principales costos asociados a un sistema de bombeo son la energía consumida, inversión inicial y su correspondiente mantenimiento. La disminución de la energía consumida por las bombas se reflejará directamente en la cuenta eléctrica de la industria.
- Menor costo de mantenimiento y reparación: al usar variadores de frecuencia se pueden reducir los costos de mantenimiento y reparación de las bombas, según:
  - Reducción del estrés mecánico de la bomba.
  - Reducción de riesgos de cavitación.

- Reducción de daño en la bomba debido a cambios bruscos de flujo.
- Permite la aplicación de bombas en paralelo: los sistemas redundantes, controlados por los variadores de velocidad según la demanda de flujo solicitada.
- Reducción del número de bombas: el control del caudal se lleva a cabo frecuentemente mediante dos o más bombas de diferentes tamaños conectadas en paralelo, accionando sucesivamente estas bombas se consigue el control paso a paso, si se dota a la bomba más grande de un control de velocidad se consigue mejor control con una menor inversión, además de bombas y motores se pueden eliminar muchas válvulas y parte del sistema de tuberías.

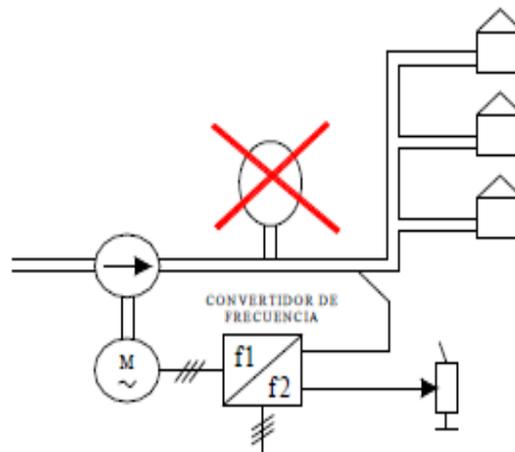
Al controlar la velocidad mediante un convertidor de frecuencia no es necesario el uso de bombas de diferentes tamaños en paralelo, como lo muestra la figura2:



**Figura 2.** Con el variador de velocidad no es necesario el uso de bombas de diferentes tamaños en paralelo.

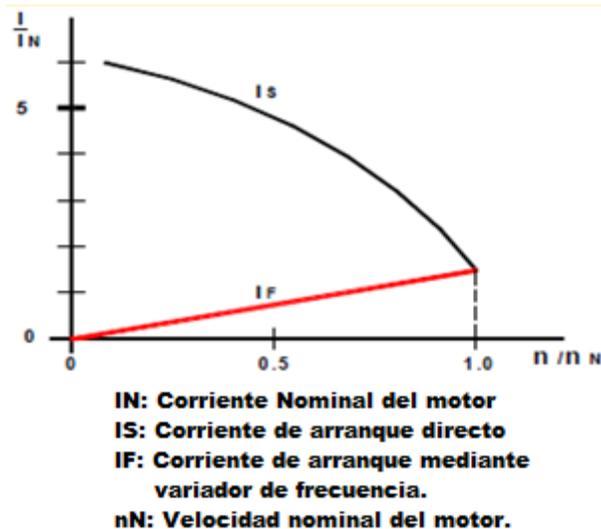
- Menor número de tanques: para mantener una presión uniforme en las tuberías, en aplicaciones de carga intermitentes (plantas de agua) se utilizan depósitos de presión y tanques a distintos niveles, si se aplica un variador de frecuencia a una bomba es posible reducir el tamaño de los depósitos y tanques e incluso eliminarlos, además de reducir los costos de inversión se logra un mejor control, lo que se traduce en una presión más uniforme para el consumidor.

Un depósito de presión puede ser sustituido por ejemplo por un control de presión con variador de frecuencia como se ilustra en la siguiente figura:



**Figura 3.** El variador de velocidad permite la sustitución de los depósitos de presión.

- Ahorro de consumos de energía y potencia: la corriente de arranque necesaria es solo una fracción de lo requerido mediante el arranque directo de esta manera el equipo de distribución eléctrica es más pequeño y económico; una típica instalación para el ahorro de energía es el generador de emergencia para las bombas más importantes, cuando se usa un convertidor de frecuencia el tamaño del generador se reduce en un 30 ó 50% de lo calculado originalmente.

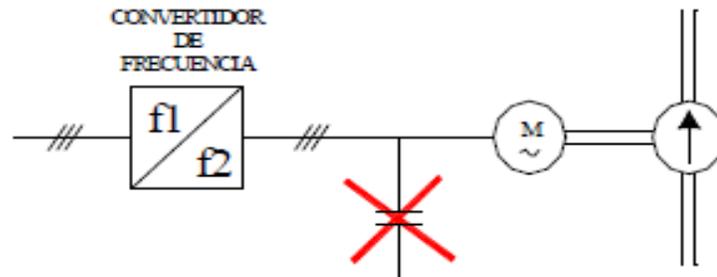


**Figura 4.** Ahorro de consumos de energía y potencia con variador de velocidad.

- Ahorro en consumos de energía reactiva: los motores de bombas consumen potencia reactiva que ha de ser generada de alguna forma, la compensación

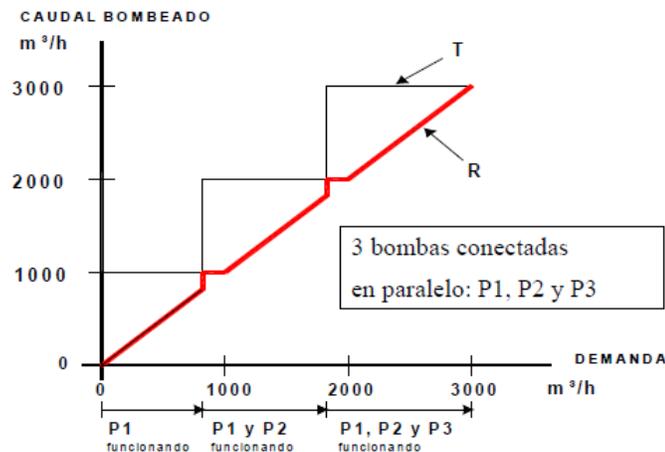
normalmente se lleva a cabo mediante condensadores situados cerca del motor, éste control mejora el factor de potencia, no requiriéndose condensadores de compensación, se reduce así el costo de inversión y se alcanza un efecto de compensación óptimo.

Los convertidores de frecuencia generan la potencia reactiva que requiere el motor y hacen innecesario el uso de condensadores de compensación.



**Figura 5.** Ahorro en consumos de energía reactiva.

- Mejora el control del caudal: con control de velocidad se consigue más fácilmente un mejor resultado que con otras formas de control no lineales, una desventaja del funcionamiento intermitente es la discontinuidad de regulación, el parámetro controlado: caudal o presión es variable, con un convertidor de frecuencia se consigue un control exacto y lineal.



**Figura 6.** Mejora de control de caudal.

- Reducción de costos: la bomba, tubería y válvulas experimentan un desgaste menor, aumento de la vida útil mecánica, menor costo de mantenimiento, se reducen las tensiones estáticas, el sistema no está forzado a operar con una alta presión de bombeo continuamente tal y como en el control por estrangulamiento, la presión se adapta a la demanda, el esfuerzo dinámico es menor con el control de velocidad en relación al control arranque-parada, se evitan los golpes de ariete que soportan las tuberías.

#### **2.4.2 Desventajas de la utilización de los variadores de frecuencia.**

- Es necesario que el motor pueda funcionar adecuadamente con el convertidor, ya que la corriente que recibe no es perfectamente lisa si se trata de un motor de corriente continua, ni perfectamente sinusoidal si se trata de un motor de corriente alterna.
- El convertidor está constituido por semiconductores que cierran o abren los circuitos muy rápidamente y originan variaciones rápidas de corriente o de tensión. Por este motivo, las ondas electromagnéticas radiadas pueden alterar el entorno.
- El convertidor de frecuencia toma de la red corrientes no sinusoidales y se comporta como un generador de corrientes armónicas.

### **2.5 Tipos de variadores de frecuencia. [1]**

En términos generales, puede decirse que existen tres tipos básicos de variadores de velocidad: mecánicos, hidráulicos y eléctrico-electrónicos. Los variadores de velocidad mecánicos e hidráulicos generalmente son conocidos como transmisiones cuando se emplean en vehículos, equipo agroindustrial o algunos otros tipos de maquinaria.

#### **2.5.1 Variadores de frecuencia mecánicos.**

Los variadores más antiguos fueron los mecánicos, que se emplearon originalmente para controlar la velocidad de las ruedas hidráulicas de molinos, así como la velocidad de las máquinas de vapores.

Variador de paso ajustable: este dispositivo emplea poleas y bandas en las cuales el diámetro de una o más poleas puede ser modificado.

Variador de tracción: transmite potencia a través de rodillos metálicos. La relación de velocidades de entrada/salida se ajusta moviendo los rodillos para cambiar las áreas de contacto entre ellos y así la relación de transmisión.

### **2.5.2 Variadores de frecuencia hidráulicos.**

De igual forma que los variadores de frecuencia mecánicos, se utilizan para transmisiones los mismos que tienen varias aplicaciones.

Variador hidrostático: consta de una bomba hidráulica y un motor hidráulico ambos de desplazamiento positivo. Una revolución de la bomba o el motor corresponde a una cantidad bien definida de volumen del fluido manejado. De esta forma la velocidad puede ser controlada mediante la regulación de una válvula de control, o bien cambiando el desplazamiento de la bomba o el motor.

Variador hidrodinámico: emplea aceite hidráulico para transmitir un par mecánico entre un impulsor de entrada (sobre un eje de velocidad constante) y un rotor de salida (sobre un eje de velocidad ajustable). También llamado acoplador hidráulico de llenado variable.

Variador hidro-viscoso: consta de uno o más discos conectados con un eje de entrada, los cuales estarán en contacto físico (pero no conectados mecánicamente) con uno o más discos conectados al eje de salida. El par mecánico también conocido como torque se transmite desde el eje de entrada al de salida a través de la película de aceite entre los discos. De esta forma, el par transmitido es proporcional a la presión ejercida por el cilindro hidráulico que presiona los discos.

## **2.6 Variadores de frecuencia eléctrico-electrónicos.**

Los variadores eléctrico-electrónicos incluyen tanto el controlador como el motor eléctrico, sin embargo en la práctica común emplear el término variador únicamente para el 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 que más adelante serán detallados:

- Variadores de frecuencia para motores de Corriente Continua.
- Variadores de frecuencia por Corrientes de Eddy.
- Variadores de frecuencia de deslizamiento.
- Variadores de velocidad para motores de Corriente Alterna, también conocidos como variadores de frecuencia.

### 2.6.1 Variadores de frecuencia para motores de corriente continua.

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

$$V_t = K.FM.Nm \quad (1)$$

Donde:

**$V_t$**  es el Voltaje terminal (V).

**$K$**  es la constante de la máquina.

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

**$Nm$**  Velocidad mecánica (rpm).

Despejando la velocidad mecánica, se obtiene:

$$Nm = \frac{V_t}{K.Fm} \quad (2)$$

Entonces, de (2) puede observarse que la velocidad mecánica de un motor de corriente continua es directamente proporcional al voltaje terminal (VT) e inversamente proporcional al flujo magnético (FM), el cual a su vez depende de la corriente de campo (IF). Aprovechando esta situación es que este tipo de variadores puede controlar la velocidad de un motor de Corriente Continua: controlando su voltaje terminal, o bien, manipulando el valor de la corriente de campo.

### 2.6.2 Variadores de frecuencia por corriente 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 CA.

### 2.6.3 Variadores de frecuencia por 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:

$$N_m = \frac{120 \cdot f \cdot (1-s)}{p} \quad (3)$$

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.

### 2.6.4 Variadores de frecuencia para motores de C.A.

Los variadores de frecuencia 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.

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

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{P} \quad (4)$$

- Cuando se trata de motores de inducción, se tiene (1)

Donde:

***N<sub>s</sub>*** = velocidad síncrona (rpm)

***N<sub>m</sub>*** = *velocidad mecánica (rpm)*

***f*** = *frecuencia de alimentación (Hz)*

***s*** = *deslizamiento (adimensional)*

***P*** = *número de polos.*

Como puede observarse en las expresiones anteriores, 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.

## **2.7 Aplicaciones de los variadores de frecuencia. [4]**

Los variadores de frecuencia o de velocidad tienen una amplia gama de aplicaciones industriales, como por ejemplo:

- Bombas centrífugas: en este caso los variadores permiten un control, ya sea de caudal determinado, de presión constante o de volumen variable. En este tipo de aplicaciones el variador de frecuencia permite gran ahorro de consumo eléctrico ya que permiten reemplazar sistemas con tanque hidroneumático, tanque en altura, etc.

- Ventiladores de aire acondicionado: en este caso también permite grandes ahorros de energía; se utilizan en extractores de aire, control de presurización, ventiladores, torres de enfriamiento, etc.
- Cintas o correas transportadoras: especialmente en el caso de procesos industriales donde las cintas transportan algunos elementos que deben coordinarse con otras maquinarias como por ejemplo envasado de productos.
- Bombas de desplazamiento positivo: similar al caso anterior se usan para regular caudales de líquidos o pastas que deben dosificarse, como por ejemplo pulpas de jugos, pulpa de celulosa, concentrados de la minería, etc.
- Extrusoras y prensas de tornillo: reemplazan sistemas hidráulicos tradicionales proporcionando una variación amplia de velocidad y control de torque, ejemplo extrusoras de plásticos, snacks, pasta, etc.
- Separadores centrífugos: realizan un arranque suave y progresivo de la centrífuga evitando los picos de corriente y las velocidades de resonancia del sistema.
- Ascensores: Permiten un arranque y parada suave del ascensor pero manteniendo el torque, evitando así que los pasajeros sufran menos movimientos bruscos.
- Cambios de voltaje: Controlan y protegen todos los equipos contra cambios súbitos de voltaje, cortocircuitos y voltajes excesivos.

Otras aplicaciones importantes se dan en laminadoras de metal, compresores de aire, máquinas textiles, máquinas papeleras, etc.

### **2.7.1 Ahorro de energía relacionado con la utilización de variadores de frecuencia.**

Actualmente mediante la utilización de variadores de frecuencia, se puede variar la velocidad de un motor, esto permite controlar la velocidad en procesos donde las necesidades de flujo sean cambiantes.

La elección de la instalación de un variador de frecuencia como método de ahorro energético supone:

- Reducción del consumo.

- Control operativo, mejorando la rentabilidad y la productividad de los procesos reduciendo la velocidad de los motores cuando sea necesario.
- Minimización de pérdidas en motores e instalaciones.
- Ahorro en mantenimiento debido a que el motor trabajara siempre en las condiciones óptimas de funcionamiento.

En la actualidad se encuentran disponibles diferentes tipos de variadores de frecuencia, los que deben ser escogidos de acuerdo a la aplicación o carga que se desee controlar.

Para control de cargas de torque variable, como bombas centrífugas, ventiladores, entre otros, donde el torque varía al cuadrado de la velocidad y la potencia al cubo de la velocidad. El variador de velocidad entrega una operación segura y silenciosa sobre el arranque y la parada del motor, y una larga vida útil de los componentes eléctricos y mecánicos del sistema. En el rango inferior de revoluciones o en el funcionamiento con cargas reducidas, resulta posible obtener un drástico ahorro de energía de hasta 60%. Un ahorro energético adicional se obtiene por medio del control óptimo de la excitación del motor. Gracias a ello, el motor es alimentado en todo momento con el flujo magnético óptimo, reduciendo así las pérdidas. Como resultado, obtenemos una efectividad máxima del motor con un grado máximo de eficiencia energética.

El variador de velocidad entrega un gran ahorro de energía en comparación con otros sistemas alternativos, como por ejemplo, válvulas reguladoras. Junto con el ahorro de energía ofrecen una eficiente manera de controlar el flujo de aire y/o agua, y un elevado nivel de confort a los usuarios de la instalación en donde éste sea utilizado.

Para cargas con torque constante grúas, molinos, correas transportadoras, entre otras, se utilizan variadores de velocidad con control directo de torque. En todas estas aplicaciones, el torque es independiente de la velocidad donde en el arranque se requiere mayor torque que el nominal.

Junto a lo anterior, se incluyen las aplicaciones de torque creciente linealmente con la velocidad, en donde la potencia varía al cuadrado de la velocidad, como son las mezcladoras y bombas volumétricas de tornillo.

Finalmente, aplicaciones con potencia constante, en donde la potencia es independiente de la velocidad, funcionamiento propio de maquinarias y sistemas de arrollamientos, como por ejemplo: rodillos, limitador de prensas, bobinador/desbobinador.

El variador de velocidad con control directo de torque ofrece intensidades de arranque más bajas, por lo tanto es posible usar fusibles más pequeños, cables de menor sección y menos gasto en energía, logrando de esta forma tener menos estrés mecánico en el motor, aumentando su vida útil.

El ahorro de energía se determina por la fracción de tiempo operando bajo un nivel de carga en particular y el período de operación bajo esas condiciones. Los ahorros más importantes los tendremos en las cargas de torque cuadrático, donde una pequeña disminución de velocidad produce una gran disminución de potencia absorbida por el motor.

## **2.8 Industrias donde se utilizan los variadores de frecuencia.**

Los variadores de velocidad tienen una amplia gama de aplicaciones, de aquí que las principales industrias donde se utilizan los variadores de velocidad son las siguientes:

- **Metalúrgicas:** chapas y laminados, perfiles de hierro, aluminio, cables, tornerías, electrodomésticos, revestimiento de caños, fundiciones, fresadoras, electrodos, etc.
- **Alimenticias:** los variadores de frecuencia tiene gran acogida en la industria alimenticia como panificadoras, galletas, pastas secas, pastas frescas, chocolates, golosinas, lácteos, azúcar, margarinas, frigoríficos, quesos, grasas animales, molinos harineros, mantecas, criaderos de pollos, aceiteras, frutícolas, jugueras, aguas minerales, bodegas vitivinícolas, cerveceras, productos balanceados, etc.
- **Construcción:** edificios, autopistas, cementeras, tejas, azulejos, pisos, ladrillos, bloques, fibrocemento, pretensados, aberturas, sanitarios, membranas asfálticas, caleras, arenas especiales, etc.
- **Automovilísticas:** la industria automovilística utiliza los variadores de frecuencia en montadoras de autos, montadoras de camiones, ómnibus, auto partes, tapizados, plásticos, radiadores, neumáticos, rectificadora de motores, etc.
- **Plásticos:** perfiles, poliestireno, telgopor, impresoras, envases, juguetes, muebles, bolsas, etc.
- **Papeleras:** papel, cartón, corrugados, cajas, papel higiénico, bobinas, bolsas, envases, etc.
- **Cueros:** curtiembres, tintorerías, cuerinas, calzados, ropas, etc.

- **Químicas:** laboratorios medicinales, pinturerías, adhesivos, detergentes, jabones, explosivos, acrílicos, anilinas, insecticidas, fertilizantes, petroquímicas, etc.
- **Petroleras:** petróleos, refinerías, lubricantes, destilerías, etc.
- **Textiles:** tejidos, tintorerías, lavaderos, hilanderías, etc.
- **Madereras:** aserraderos, muebles, impregnadoras, laminados, tableros, terciados, etc.
- **Caucho:** neumáticos, gomas, látex, etc.
- **Otras:** aeronáuticas, tabacaleras, vidrio, aguas sanitarias, cerealeras, universidades, empresas de ingeniería, minería, acerías, agropecuarias, preparadores de vehículos de competición, etc.

## **2. 9 Elementos de protección y monitoreo.**

Los variadores de velocidad aseguran tanto la protección térmica de los motores como su propia protección. A partir de la medida de la corriente y de una información sobre la velocidad, un microprocesador calcula la elevación de temperatura de un motor y suministra una señal de alarma o de desconexión en caso de calentamiento excesivo. Además, los variadores, y especialmente los convertidores de frecuencia, están dotados de protecciones contra:

- Cortocircuitos entre fases y; entre fase y tierra.
- Sobretensiones y las caídas de tensión.
- Desequilibrios de fases.
- Funcionamiento en monofásico,

### **Estructura y componentes de los arrancadores y variadores electrónicos.**

Se componen de dos módulos generalmente montados en una misma envolvente:

- Un módulo de control del funcionamiento del aparato.

- Un módulo de potencia que alimenta el motor con energía eléctrica.

**Módulo de Control:** todas las funciones se controlan mediante un microprocesador que gestiona la configuración, las órdenes transmitidas por las medidas como velocidad, corriente, etc. El microprocesador gestiona las rampas de aceleración y desaceleración, el control de la velocidad y la limitación de corriente, generando las señales de control de los componentes de potencia.

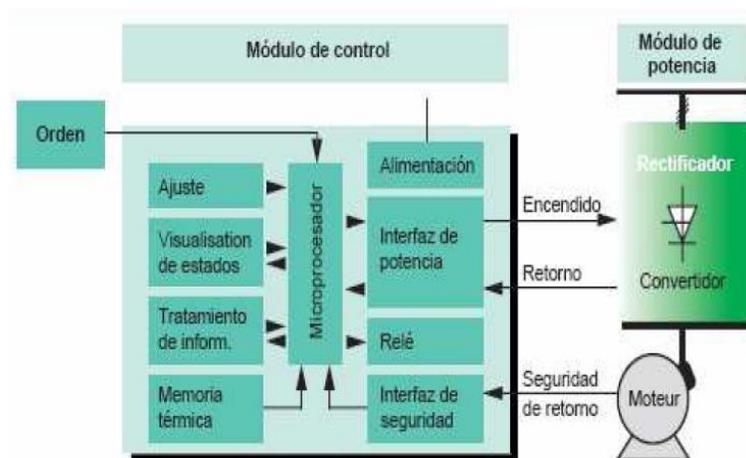
Los límites de velocidad, las rampas, los límites de corriente y otros datos de configuración se definen utilizando un teclado integrado o mediante PLC o mediante PC.

Del mismo modo los diferentes comandos (marcha, parada, frenado), pueden proporcionarse mediante interfaces de diálogo hombre/máquina, utilizando autómatas programables o PC.

Los parámetros de funcionamiento y las informaciones de alarma, y los defectos pueden verse mediante displays, diodos LED, etc.

**Módulo de potencia:** el módulo de potencia está principalmente constituido por:

- Componentes de potencia (tiristores, diodos).
- Interfaces de medida de las tensiones y/o corrientes.
- En aparatos de gran calibre, un conjunto de ventilación.



**Figura 7.** Estructura general de un variador de frecuencia eléctrico.

## **Instrucciones de uso del convertidor SINAMIC G110 [5]**

Los variadores SINAMICS G110 son convertidores de frecuencia para regular la velocidad en motores trifásicos.

Los convertidores están controlados por un 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 propiedades de fábrica el SINAMICS G110 es ideal para una gran gama de aplicaciones sencillas de control de motores.

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).
- Una entrada digital con separación galvánica.
- Tres 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.
- Información de estado y alarmas que se visualizan en el panel BOP.

### **Funciones**

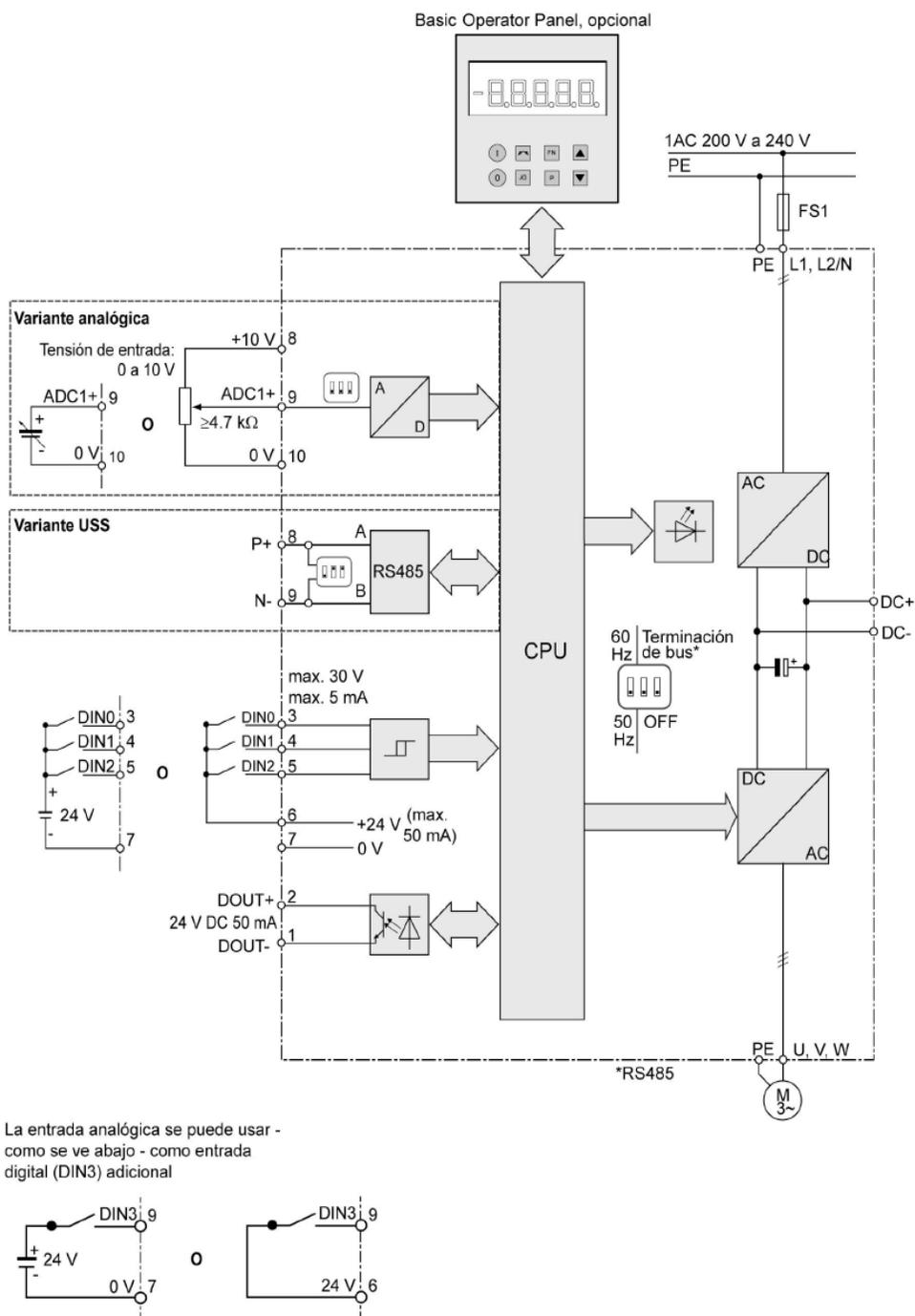
- Tiempo de respuesta a señales de mando rápido.
- Limitación rápida de corriente (Fast Current Limit FCL) para funcionamiento seguro sin desconexiones por fallo.
- Freno combinado.
- Freno por inyección de corriente continua integrada.
- Frecuencias fijas.
- Función de potenciómetro motorizado.
- Tiempos de aceleración y deceleración ajustables con redondeo parametrizable.
- Control con 2-hilos/3-hilos
- Re-arranque automático después de cortes de red.

### **Características de protección**

- Protección sobretensión / sub-tensión.
- Protección de sobre-temperatura para el convertidor.
- Protección de defecto a tierra.
- Protección de cortocircuito.
- Protección contra la pérdida de estabilidad (vuelco) del motor.

## Diagrama de bloques

El presente diagrama ilustra la estructura interna del variador de frecuencia SINAMICS G110, el mismo donde constan las entradas analógicas, entradas digitales, terminales para variantes USS, los mismos que permiten conocer la estructura interna del variador de frecuencia.



**Figura 8:** Diagrama de bloques del SINAMICS G110

## Relé inteligente LOGO

Logo es un módulo lógico universal para la electrotecnia que permite solucionar las aplicaciones cotidianas como un confort decisivamente mayor y menos gastos.

Mediante LOGO se resuelven tareas enmarcadas en la técnica de instalación y el ámbito doméstico por ejemplo: alumbrado de escaleras, luz exterior, toldos, persianas, alumbrado de escaparates, así como en la construcción de armarios de distribución, de máquinas y de aparatos ejemplo controles de puertas, instalaciones de ventilación, bombas de agua, etc.

Asimismo, LOGO se puede utilizar para controles especiales en invernaderos o jardines de invierno, para el procesamiento previo de señales en controles y mediante la conexión de un módulo de comunicaciones, para el control descentralizado de máquinas y procesos. Para las aplicaciones en serie en la construcción de máquinas pequeñas, aparatos y armarios de distribución, así como en el sector de instalaciones, existen variantes especiales sin unidad de operación y de visualización.

Toda la programación se realiza, de una forma bastante sencilla, con las 6 teclas que están situadas en su vista frontal. La visualización del programa, estado de entradas y salidas, parámetros se realiza en una pequeña pantalla LCD de forma gráfica.

La intensidad permanente en los bornes de salida varía según el modelo, siendo en todos los casos inferior a 10A, por lo tanto si el poder de corte que necesitamos es mayor, están disponibles contactores auxiliares, a 24 ó 230V, de hasta 25A. La programación se realiza en un lenguaje gráfico de puertas lógicas.

Las funciones básicas (*and, or, nand, nor, etc.*) son idénticas en todos los modelos.

Las funciones especiales, como relojes, temporizadores y otros, están limitadas en alguno de los modelos.

## Ventajas

Resulta particularmente conveniente la aplicación de LOGO sobre todo en los casos siguientes:

- Cuando las funciones integradas en LOGO permiten prescindir de varios elementos conectores auxiliares.
- Cuando se desee reducir el espacio ocupado por los componentes en el armario de conexiones o la caja de distribución; a veces ya es suficiente un armario de conexiones/caja de distribución menor.

- Cuando se desee introducir o modificar funciones posteriormente sin tener que montar un equipo de conmutación adicional ni cambiar el cableado.

Existen 3 modos de funcionamiento:

- Modo programación. Para elaborar el programa.
- Modo RUN. Para poner en marcha el LOGO.
- Modo parametrización. Para modificar los parámetros de algunas de las funciones, tiempo, computo, relojes, etc.

## CAPÍTULO III

### DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DE LABORATORIO CON VARIADOR DE FRECUENCIA.

#### 3.1 Diseño del circuito eléctrico para la instalación del variador de frecuencia.

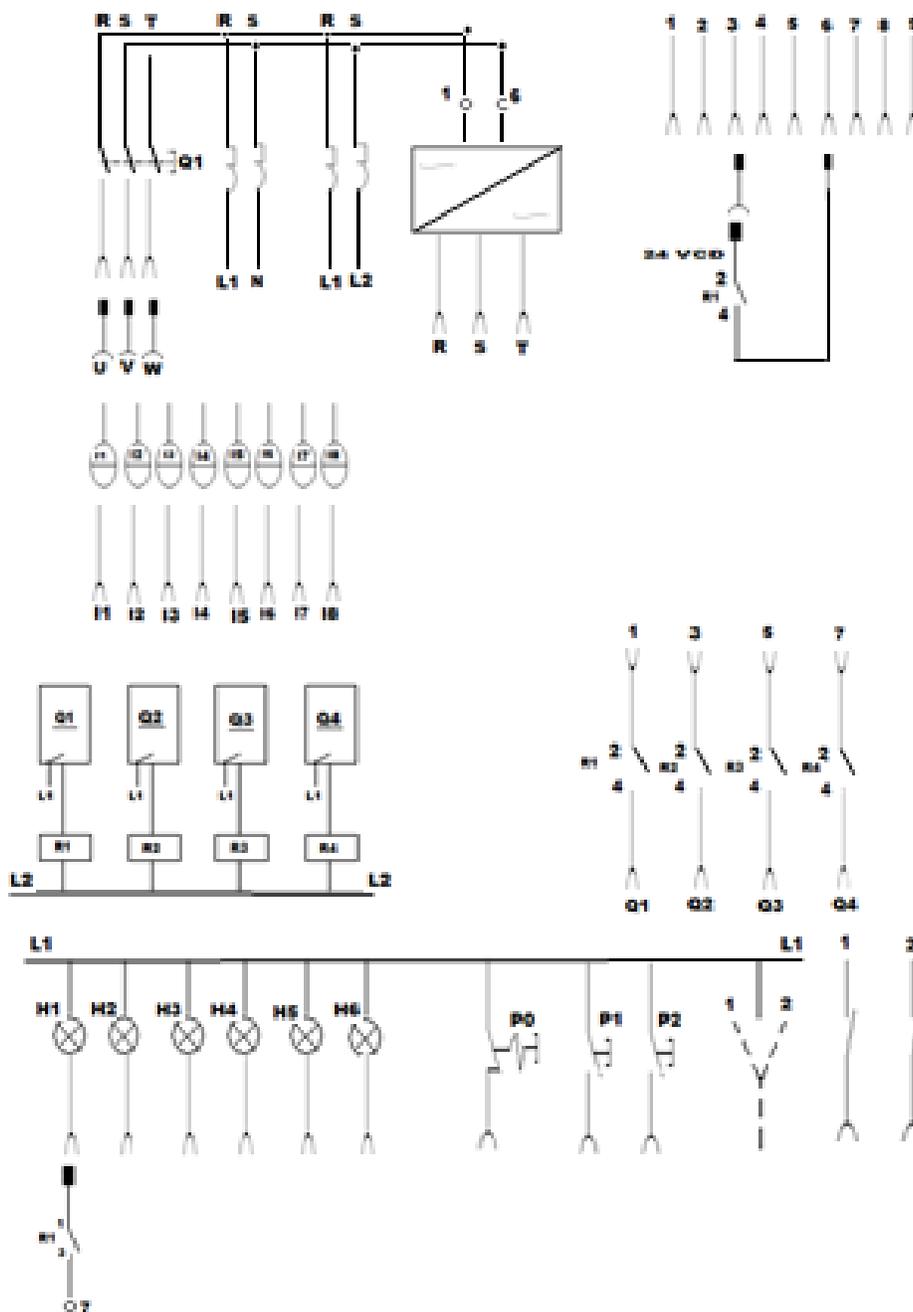


Figura 9. Circuito eléctrico de conexión de variador de frecuencia.

## **3.2 Construcción del módulo de laboratorio con variador de frecuencia.**

Para el diseño y construcción del módulo de variador de velocidad para el control de un sistema de bombeo, 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 éste se acople perfectamente a los métodos de estudio que se imparten 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.

### **3.2.1 Elementos constitutivos.**

#### **Protección contra cortocircuitos [6]**

El circuito de protección contra cortocircuito tiene como objetivo garantizar la seguridad del sistema en caso de un funcionamiento incorrecto de los equipos, dispositivos del módulo para laboratorio, conexiones incorrectas durante la realización de las prácticas etc. El dispositivo a proteger al módulo de laboratorio es el breaker automático que brinda las siguientes características:

- Diseño con protección contra contacto accidental.
- Diseño con limitación de energía que protege mejor durante el cortocircuito a los componentes instalados.
- Accesorio de fácil montaje en campo.
- Válido para tensiones de CA y CD en un sólo dispositivo.



**Figura 10:** Breaker automático.

## **Circuitos de paro de emergencia**

En el circuito de paro de emergencia, debe tener en cuenta ciertos factores, de los cuales se menciona a continuación:

- Cuando se pulsa un paro de emergencia, la máquina en cuestión no podrá ponerse en marcha al desenclavarla, sin pulsar un RESET por el operario.
- Las paradas de emergencia deben ser activadas mediante un pulsador de tipo seta situado a pie de máquina, y si procede, en un punto del camino lógico de evacuación.
- Debe poseer un sistema de enclavamiento mecánico, de manera que para desenclavar es necesario girarla.

Se recomienda que la parada de emergencia se instale respetando los anteriores puntos, y que esta actúe cortando la alimentación de un relé en el cuadro de control, que se mantendrá siempre activo por auto-alimentación en estado normal cuyo reinicio será posible con un pulsador de rearme de operario. Este relé cortará la alimentación de maniobra o estará en el primer lugar de las seguridades mediante un contacto NA del mismo, y señalará el estado de parada de emergencia activada mediante un contacto NC.

### **Características del paro de emergencia:**

- Estilos de presionar-halar o desbloqueo por rotación.
- Iluminado o sin iluminación.
- Operadores de plástico o metálicos.
- Bloqueo de contacto de auto monitoreo NC.



**Figura 11:** Mando de paro de emergencia.

## Selector – luces piloto

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

El selector de tres posiciones que será utilizado, está montado al final del panel, proporcionando el mando de la energía al módulo.

En la parte inferior se encuentran las luces 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 12:** Selector de tres posiciones



**Figura 13:** Luz piloto

## 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 sobre-intensidades 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.

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 14:** Guarda-motor Siemens.

### **Relé inteligente LOGO**

El relé inteligente LOGO forma parte del módulo de control de un sistema de bombeo, al ser quién mediante la programación del mismo ayudará con el control del variador de velocidad.

### **Variador de velocidad**

El variador de velocidad forma parte importante en el módulo de laboratorio, puesto que nos ayuda a cumplir con el principal objetivo de la tesis, que es de controlar un sistema de bombeo y comprobar el ahorro energético que se consigue con la aplicación del mismo.

#### **3.2.2 Planificación del ensamble del módulo de laboratorio.**

La estructura modular será el componente que sostiene al relé inteligente LOGO, al variador de frecuencia y a los elementos del módulo didáctico que simulan un sistema de bombeo.

El módulo se dimensionará considerando los elementos y espacios de trabajo que intervendrán en el proyecto, para ello se analizan las dimensiones generales del tablero de control, el sitio designado para el variador de velocidad y el relé inteligente LOGO, el área que será destinada para las entradas y salidas del variador de velocidad analógicas y digitales, la ubicación de los simuladores de señales y el material que se designan para el mismo.

Se consideraran aspectos ergonómicos que nos ayudarán a la fácil y adecuada operación del módulo.

La estructura metálica será de ACERO INOXIDABLE AISI 430, por que tiene mejor resistencia a la corrosión en todos los medios en atmósfera rural y urbana no se oxida en cambio, no es suficientemente inoxidable en atmósfera marina e industrial, por lo tanto en un ambiente externo donde se ubica el módulo didáctico este material es muy aceptable, este tipo de acero es brillante pero se realizará trabajos de pulido para dar una tonalidad agradable al acero y también para garantizar una superficie lisa.

Además estará diseñado de tal manera que permita modificar, corregir o implementar otros elementos de acuerdo a las necesidades y alcances que se necesite llegar con la estructura. Posteriormente se procederá al dimensionamiento y ubicación de todos los elementos que constituirán el presente proyecto, entre los equipos y dispositivos que estarán sujetos a ubicación y dimensionamiento se encuentra:

- Estructura modular.
- Relé inteligente LOGO.
- Variador de velocidad.
- Entradas y salidas del módulo.
- Pulsadores y selectores.

### **Dimensiones de la estructura modular**

Las dimensiones de la estructura deben ser determinadas a partir de las medidas de los equipos y dispositivos a utilizarse y la distribución física de los mismos teniendo en cuenta la ergonomía y la estética.

La estructura se construirá de acuerdo a las siguientes medidas:

**Tabla 1:** Dimensiones de la estructura modular

Dimensiones	mm
Alto(A)	700
Largo(B)	700
Ancho(C)	600

### Ubicación del variador de velocidad SINAMICS G110.

El variador de velocidad SINAMICS G110 se le considera como principal elemento del módulo didáctico ya que éste permite la automatización de diferentes procesos industriales.

El variador de velocidad por ser el elemento principal se ubicará en la parte media derecha del módulo, esto facilitará una visualización del funcionamiento del autómeta cuando esté funcionando.

**Figura 15:** Ubicación del variador de frecuencia SINAMICS G110.

### Ubicación del relé inteligente LOGO

El relé inteligente LOGO forma parte importante del presente proyecto, ya que éste permite la automatización de diferentes procesos industriales.

El relé inteligente LOGO por ser el elemento principal se le ubica en la parte superior del módulo, esto facilitará una visualización del funcionamiento del autómeta cuando esté en modo RUN o cuando el programa está funcionando.



**Figura 16:** Ubicación del relé inteligente LOGO.

### **Entradas y salidas del módulo**

Las entradas y salidas del relé inteligente LOGO, son digitales o analógicas, también el módulo dispondrá de entradas de señales abiertas (NO) y cerradas (NC) y conectores para el encendido de lámparas de señalización.

En el módulo a las salidas de 220VCA se pueden conectar leds indicadores, y también se pueden conectar diferentes dispositivos como: sirenas, bobinas, pistones neumáticos, motores, displays, entre otros que funcionen a este voltaje.

### **Ubicación de los pulsadores y selectores**

Los pulsadores y selectores que se utilizarán en el módulo son dispositivos de mando que simulan entradas digitales de 24 VCD hacia el PLC.

Las entradas digitales serán distribuidas en el espacio físico inferior del módulo, con el fin de tener facilidad de operación y manipulación también por tener estética en la distribución.

### **Consideraciones básicas para el diseño**

Básicamente el diseño del módulo debe cumplir con los requerimientos didácticos por ser un elemento de prácticas para los estudiantes y profesionales de control y automatización industrial, para su diseño y forma que tendrá el módulo nos basamos fundamentalmente en la tabla de alternativas y criterios de selección para la forma de la estructura modular.

**Tabla 2:** Alternativas y criterios de selección para la forma de la estructura modular

Alternativas	Criterios de selección
Horizontal	Estética
Vertical	Estabilidad
Rampa	Ergonomía

Por tratarse de un módulo de entrenamiento para prácticas de automatización, se selecciona la ergonomía como parte primordial y se concluye que el módulo tendrá una forma tipo rampa, debido a que con dicha forma se ajusta a los requerimientos didácticos, esta estructura modular se observa en la siguiente figura 18.

### Construcción de la estructura modular

La estructura modular se construirá a partir de las medidas que se indicaron en la Tabla 1, donde se establecen las medidas del módulo.

A continuación se detallan las operaciones y actividades a realizar:

**Cortar la plancha de acero inoxidable:** esta operación consiste en realizar cortes a la plancha de acero inoxidable mediante una cizalla electrohidráulica, según las medidas especificadas.

**Doblado de las planchas de acero inoxidable:** consiste en realizar los dobleces a las planchas de acero mediante una dobladora, a la medida que se especifica en la tabla 2.

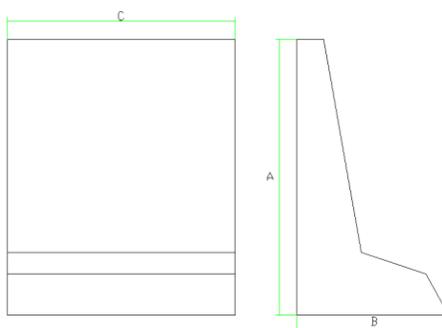
**Soldar los elementos:** esta operación consiste en soldar los elementos que constituyen el módulo dándole estabilidad y forma, utilizando una soldadora MIG. Se soldaran básicamente las placas frontales con las tapas laterales.

**Esmerilado:** consiste en retirar los excesos sobre montas con una esmeriladora angular que no son producto del material de aporte que queda luego del proceso de soldadura.

**Taladrado:** el taladrado se realiza para la ubicación y sujeción de los conectores y pulsadores, también se realiza principalmente en las tapas posterior e inferior para sujetar con tornillos a la estructura y poder montar y desmontar con facilidad para realizar el cableado internamente, realizar conexiones del variador de frecuencia y para dar mantenimiento.

**Atornillado:** para sujetar las tapas posterior e inferior, se procede a realizar la rosca mediante un machuelo en la estructura, para luego sujetar con tornillos.

**Pulido:** para tener un acabado excelente en la estructura y tener una buena apariencia externa se realiza el pulido de la superficie con una lijadora orbital.



**Figura 17:** Bosquejo general de la estructura modular tipo rampa.

**Tabla 3:** Áreas para la distribución física de los elementos

Área	Dimensiones(mm)	Origen
Automatización	600x550	Corte, doblado, soldado, esmerilado, pulido
Conectores	600x180	Corte, doblado, soldado, esmerilado, taladrado, pulido
Soportes laterales	700x400	Corte, doblado, soldado, esmerilado, pulido
Tapa posterior	700x600	Corte, doblado, taladrado, atornillado, pulido

Finalmente el módulo es construido con las medidas totales y considerando las diferentes áreas, que se presenta a continuación.



**Figura 18.**Estructura modular

### 3.2.3 Recomendaciones de montaje del módulo de laboratorio.

#### Factores a tomar en cuenta para su instalación [5]

##### Disipación de potencia

Las pérdidas de la Tabla 4 son aplicables a equipos con cables de conexión apantallados de hasta 25 m.

**Tabla 4:** Disipación de potencia del convertidor SINAMICS G110 (220 V)

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

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

### Dimensionamiento del convertidor

**Tabla 5:** Dimensiones del SINAMICS G110.

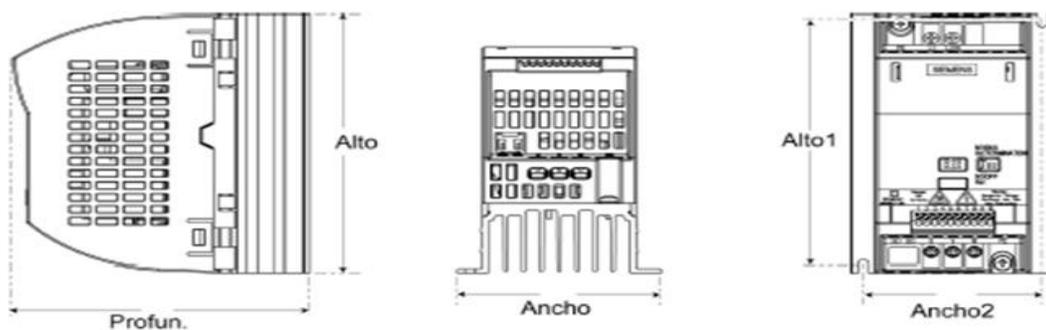
Tamaño Constructivo	Potencia de salida	Dimensiones alto x ancho x profundo	Profundidad con el BOP	Medidas Perforaciones Alt.1 x Ancho 2
A	120W-370W	150 x 90 x 116 (mm)	124 (mm)	140 x 79 (mm)

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 20.

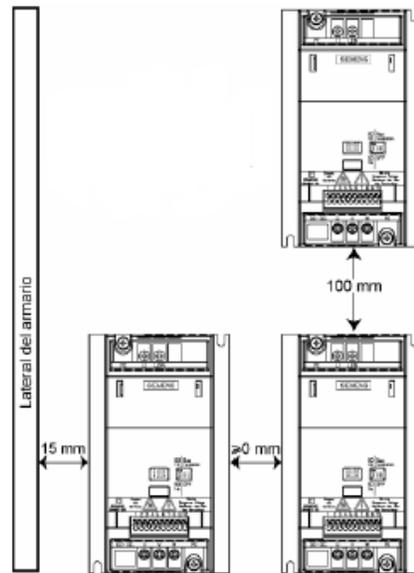
### Instalación eléctrica

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

El variador de frecuencia 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 sí el variador trabaja en redes no puestas a tierra.



**Figura19:** Dimensiones del SINAMICS G110



**Figura 20:** Separación para montar varios convertidores SINAMICS G110

### 3.2.4 Programación del módulo de variador de frecuencia.

#### Modos de puesta en servicio

La puesta en servicio estándar para el SINAMICS G110 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 de operaciones BOP (Basic Operator Panel).

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

#### 1. 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.

## **2. 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.

### **Puesta en servicio estándar**

El SINAMICS G110 se suministra con valores de parámetro pre-ajustados 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.

Velocidad máxima 3000 min<sup>-1</sup> para motores bipolares de 50 Hz y 3600 min<sup>-1</sup> para 60 Hz; controlable por un potenciómetro en la entrada analógica del convertidor (variante analógica) o por interface RS485 (variante USS). Rampas de aceleración y deceleración = 10 s.

### **Adaptación a motores de 60 Hz**

Los SINAMICS G110 están pre-ajustados para motores con una frecuencia nominal de 50 Hz. Se pueden adaptar, por medio el interruptor DIP que se encuentra en la parte frontal, para el funcionamiento con motores de 60 Hz.

El interruptor DIP 1 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)



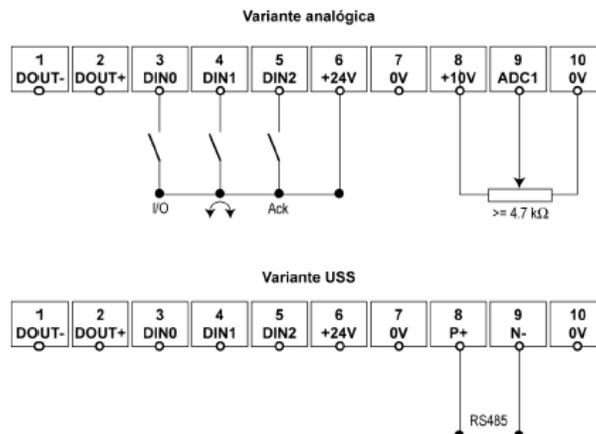
**Figura 21:** Interruptor DIP para frecuencias nominales del motor y terminación de bus

### Ajuste de fábrica

El convertidor SINAMICS G110 viene ajustado ya de fábrica 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 Fig. 22.

El convertidor ya viene pre-ajustado 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 6 y para la variante USS en la Tabla 7. La asignación de bornes se muestra en la Figura 22.



**Figura 22:** Servicio estándar, variante analógica.

**Tabla 6:** Ajuste de fábrica para el servicio con SINAMICS G110 – variante analógica

Descripción	Bornes	Parámetros-ajuste de fábrica	Función
Fuente de consignación de 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/anti-horario 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 22.

**Tabla 7:** 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
Velocidad 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 (diodo luminiscente) muestra los estados de funcionamiento, alarma y fallo del convertidor.

## Puesta en servicio con el panel 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.

## Funciones avanzadas del BOP

El BOP ofrece la posibilidad de realizar una puesta servicio completa.

- 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 23:** BOP

### Modificación de parámetros con el BOP [5]

A continuación se describe cómo seleccionar parámetros y modificar sus valores utilizando el BOP. Según el esquema también se puede ajustar el convertidor para operar mediante el BOP (arrancar/detener, prescripción de consignas de frecuencia).

**Tabla 8:** Modificar P0003 de acceso – nivel.

Pasos	Resultado en pantalla
1 Pulsar  para acceder a parámetros.	
2 Pulsar  hasta que se visualice P0003.	
3 Pulsar  hasta acceder al valor de parámetros.	
4 Pulsar  o  hasta obtener el valor requerido (Poner el valor 3).	
5 Pulsar  para confirmar y almacenar el valor.	
6 Con el nivel de acceso 3 se puede seleccionar todos los parámetros de los niveles.	

**Tabla 9:** Modificación del parámetro P0719 – Selección BOP como fuente de comandos y consignas.

Pasos	Resultado en pantalla
1 Pulsar  para acceder a parámetros.	
2 Pulsar  hasta que se visualice P0719.	

3	Pulsar  hasta acceder al índice de parámetros.	
4	Pulsar  o  para seleccionar el índice.	r0001
5	Pulsar  para visualizar el valor actual ajustado.	0
6	Pulsar  o  hasta obtener el valor requerido.	11
7	Pulsar  para confirmar y almacenar el valor.	P0719
8	Pulsar  hasta que se visualice r0000.	r0000
9	Pulsar  para volver a la pantalla estándar.	

### 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.

### Puesta en servicio avanzada

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

### Modos de operación

El SINAMICS G110 se puede conectar de muy diversas maneras y operar con él de multitud de formas véase tabla 10.

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

**Tabla 10:** 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>1</b> = BOP <b>2</b> = kit de conex. PC-convertidor <b>3</b> = software STARTER  = con soporte
Interface en serie (USS-RS485)	<b>Sin soporte</b>	✓	
Interface en serie (USS-RS232)	✓ <b>2</b>	✓ <b>2</b> (USS-RS232 y USS-RS485 no se pueden usar a la vez)	
BOP	✓ <b>1</b>	✓ <b>1</b>	
STARTER	✓ <b>2</b> <b>3</b>	✓ <b>3</b> con convertidor de interface RS485 en bornes x8/x9 o con <b>2</b> )	

## 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.

Esta función es de gran utilidad cuando se tiene que parametrizar una gran cantidad de convertidores en la variante USS.

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 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.

### **Medios de comunicación (cables)**

Los procesos industriales en la actualidad son parte de una estructura organizada que se encuentra cimentada sobre una columna formada por redes de comunicación, estas son las encargadas del transporte de información desde cualquier elemento de esta estructura con el fin de efectuar acciones de control de manera rápida.

El objetivo de toda transmisión de datos es el de transferir información entre dos o más unidades. Por regla general, se suelen enviar caracteres (texto o cifras) y/o instrucciones (comandos).

El cable utilizado para este fin es el PC CABLE LOGO SIEMENS 6ED1 067-1AA01-0BA0.

### **Descripción de diagrama lader.**

El diagrama lader para la programación del LOGO para el control de un sistema de bombeo mediante un variador de frecuencia se han utilizado los siguientes componentes.

- 1. Contacto normalmente abierto y normalmente cerrado:** Los contactos normalmente abiertos, al igual que los contactos normalmente cerrados y los contactos analógicos representan los bornes de entrada de un LOGO!



**Figura 24.** Contacto normalmente abierto y contacto normalmente cerrado.

- Bobina de relé:** Las bobinas de relé, al igual que las salidas invertidas y las salidas analógicas representan los bornes de salida de un LOGO!



**Figura 25.** Bobina de relé.

### 3. Retardo a la conexión:

#### Descripción breve

En el retardo a la conexión, la salida se activa tan sólo tras haber transcurrido un tiempo parametrizable.

Conexión	Descripción
Entrada Trg	Por medio de la entrada Trg (Trigger) se inicia el tiempo para el retardo a la conexión.
Parámetros	T Tiempo de retardo tras el que se activa la salida (el estado de señal de ésta cambia de 0 a 1). Remanencia activada (ON) = el estado se guarda de forma remanente.
Salida Q	Una vez expirado el tiempo parametrizado T, se activa Q si la entrada Trg sigue activada.

#### Descripción de la función

Si el estado en la entrada Trg cambia de 0 a 1, comienza a transcurrir el tiempo  $T_a$  ( $T_a$  es el tiempo actual en LOGO!).

Si la entrada Trg sigue puesta a 1 por lo menos durante el tiempo T parametrizado, la salida se pone a 1 una vez expirado el tiempo T (la salida se activa con retardo respecto a la entrada).

El tiempo se reinicializa si el estado de la entrada Trg cambia nuevamente a 0 antes de que expire el tiempo T.

La salida se pone nuevamente a 0 cuando la señal en la entrada Trg es 0.

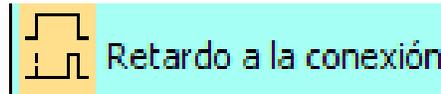


Figura 26. Retardo a la conexión.

Programación mediante LOGO Siemens.

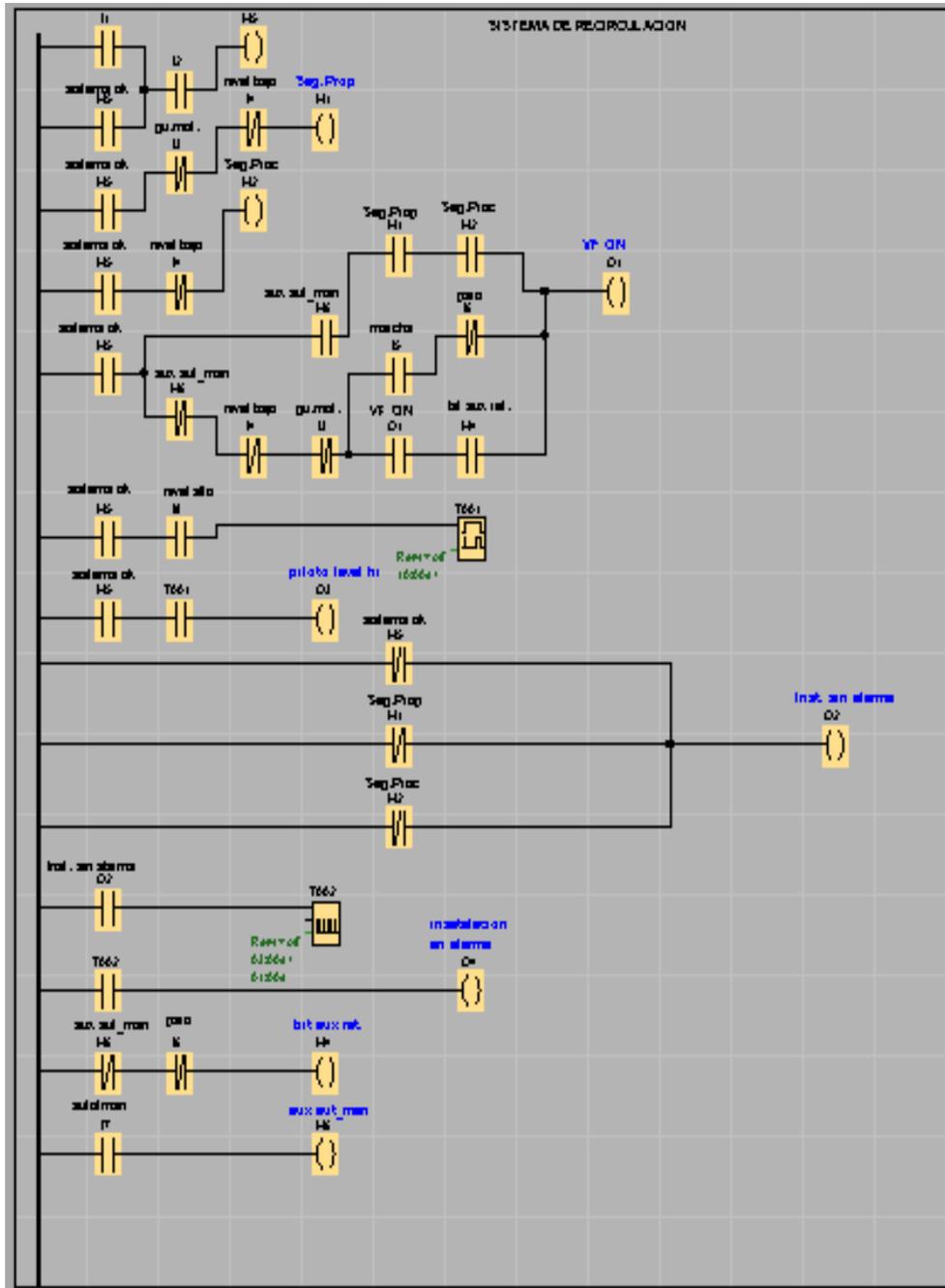


Figura 27. Diagrama lader para LOGO.

### 3.3 Mediciones con el variador de frecuencia.

Se realizaron mediciones en dos modos de arranque del módulo de laboratorio para el control de un sistema de bombeo mediante variador de frecuencia, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 11:** Medición de consumo de energía del sistema de bombeo, con diferentes modos de arranque.

Modo de arranque	Frecuencia	Tiempo	Consumo de energía
Directo	60 Hz.	1 hora	0,024 kWh
Directo	50 Hz.	1 hora	0,014 kWh.
Directo	40 Hz	1 hora	0,012 kWh.
Con variador de frecuencia	60 Hz.	1 hora	0,022 kWh.
Con variador de frecuencia	50 Hz.	1 hora	0,013 kWh.
Con variador de frecuencia	40 Hz	1 hora	0,010kWh.

### 3.4 Determinación del ahorro energético que se consigue con la aplicación de un variador de frecuencia en un sistema de bombeo.

Un variador de velocidad es la mejor manera de acoplar un sistema motriz a las condiciones variables de los procesos involucrados.

Actualmente mediante la utilización de variadores de frecuencia, se puede controlar la velocidad de un motor, al darse éste evento se puede ajustar la velocidad en los procesos dependiendo de las necesidades, ya sea agua o aire, puesto que son fluidos no constantes.

En las pruebas realizadas con el módulo de control de un sistema de bombeo con variador de frecuencia, se tomaron medidas con tres diferentes frecuencias de funcionamiento, demostrando el ahorro energético de la siguiente manera:

**Tabla 12.** Pruebas de funcionamiento del sistema de bombeo a 60 Hz.

Modo de arranque	Frecuencia	Tiempo	Consumo de energía.
Directo	60 Hz.	1 hora	0,024 kWh
Con variador de frecuencia	60 Hz.	1 hora	0,022 kWh.

**Ahorro en consumo de energía:**  $0,024-0,022= 0,002$  kWh.

**Tiempo de operación:**

**Horas al día:** 24 horas.

**Días al año:** 365 días.

**Horas al año:** 8760 horas al año.

**Costo del kilovatio hora según EERSA:** 0,072 USD.

**El ahorro energético obtenido al año es de:** 17,52 kWh.

**El ahorro energético expresado en dólares sería de \$1,26 USD.** al año, tomando en cuenta que al ser un sistema de bombeo didáctico, y que posee un motor pequeño sin mucha carga.

**Tabla 13.** Pruebas de funcionamiento del sistema de bombeo a 50 Hz.

Modo de arranque	Frecuencia	Tiempo	Consumo de energía
Directo	50 Hz.	1 hora	0,014 kWh
Con variador de frecuencia	50 Hz.	1 hora	0,013 kWh.

**Ahorro en consumo de energía:**  $0,014-0,013= 0,001$ kWh.

**Tiempo de operación:**

**Horas al día:** 24 horas.

**Días al año:** 365 días.

**Horas al año:** 8760 horas al año.

**Costo del kilovatio hora según EERSA:** 0,072 USD.

**El ahorro energético obtenido al año es de:** 8,76 kWh.

**El ahorro energético expresado en dólares sería de \$0,63 USD.**, al año, tomando en cuenta que al ser un sistema de bombeo didáctico, y que posee un motor pequeño sin mucha carga.

**Tabla 14. Pruebas de funcionamiento del sistema de bombeo a 40 Hz.**

Modo de arranque	Frecuencia	Tiempo	Consumo de energía
Directo	40 Hz.	1 hora	0,012 kWh
Con variador de frecuencia	40 Hz.	1 hora	0,010 kWh.

**Ahorro en consumo de energía:**  $0,012 - 0,010 = 0,002 \text{ kWh.}$

**Tiempo de operación:**

**Horas al día:** 24 horas.

**Días al año:** 365 días.

**Horas al año:** 8760 horas al año.

**Costo del kilovatio hora según EERSA:** 0,072 USD.

**El ahorro energético obtenido al año es de:** 17,52 kWh.

**El ahorro energético expresado en dólares sería de \$1,26 USD.**, al año, tomando en cuenta que al ser un sistema de bombeo didáctico, y que posee un motor pequeño sin mucha carga.

## CAPÍTULO IV

### GUÍAS DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO.

#### 4.1 Elaboración del manual de prácticas.

##### 4.1.1 Práctica de laboratorio 1.

**Tema: Puesta en servicio rápida usando el Panel Básico de Operaciones BOP (Basic Operator Panel)**

**Objetivo:**

- Conocer el uso del BOP (Basic Operator Panel) y sus diferentes parámetros para la puesta en servicio.

**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 básico de operaciones, en donde se puede modificar señales de control y consignas de velocidad, simplemente pulsando el botón pertinente. También se tiene fácilmente acceso a los parámetros del SINAMICS G110.
- 3.- La puesta en servicio rápida es una forma óptima para adaptar el SINAMICS 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 28, muestra donde se encuentran los datos correspondientes en la placa de características del motor. La Figura 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.



**Figura28:** Ejemplo de una placa de características de un motor

### **Equipos y Materiales**

- Fuente de energía 220 V CA.
- Módulo de laboratorio con variador de frecuencia SINAMICS G110.
- Sistema de bombeo.
- 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. 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)

**i. 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.

**j. 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.

**k. 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.

**l. P1121 Tiempo de deceleración**

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

**m. 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.

Se recomienda que los estudiantes investiguen más información referente a otros tipos y marcas de variadores de frecuencia con el propósito que amplíen su conocimiento sobre estos equipos.



**Procedimiento:**

- 1.- Energizar el sistema conectándolo a la fuente de alimentación.
- 2.- Conectar el LOGO y la PC mediante el cable de comunicación.
- 3.- Transferir la programación al LOGO mediante interfaz PC-LOGO.
- 4.- Realizar el arranque del sistema mediante la variante AUTOMATICO.
- 5.- Realizar el arranque del sistema mediante la variante MANUAL.
- 6.- Tomar lecturas del consumo de energía utilizando el medidor trifásico.
- 7.- Realizar la comparación entre las lecturas tomadas en el ítem anterior.
- 8.- Conclusiones y recomendaciones.

**\*Nota.** Los estudiantes deberán leer detenidamente la guía de procedimientos para el manejo adecuado y seguro del variador de frecuencia y del equipo complementario presentes en el módulo

### 4.1.3 Práctica de laboratorio 3.

**Tema: Arranque del módulo de control de un sistema de bombeo controlado por variador de frecuencia y variaciones de velocidad mediante el BOP.**

**Objetivo:**

- Realizar el arranque del módulo de control del sistema de bombeo controlado por variador de frecuencia y variaciones de velocidad mediante el BOP.

**Procedimiento:**

1. Energizar el sistema conectándolo a la fuente de alimentación.
2. Conectar el LOGO y la PC mediante el cable de comunicación.
3. Transferir la programación al LOGO mediante interfaz PC-LOGO.
4. Ingresar al parámetro P1080 del BOP, y variar la frecuencia según las necesidades de la práctica.
5. Tomar lecturas del consumo de energía con el medidor de energía trifásico, a las frecuencias determinadas.
6. Realizar la comparación entre las lecturas tomadas en el ítem anterior.
7. Conclusiones y recomendaciones.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Se diseñó y se construyó el módulo de laboratorio mediante el cual se pudo determinar el ahorro energético del uso del variador de frecuencia.
- Se pudo entender la estructura, composición y funcionamiento del variador de frecuencia mediante la lectura de manuales.
- Se realizó el arranque de un motor con variador de frecuencia el mismo que nos permitió determinar que con su aplicación se puede conservar en mejor estado el motor, y en el sistema de bombeo ayuda a la disminución de los golpes de ariete.
- Se aprendió a realizar cambios en los parámetros de fábrica de un variador de frecuencia, mediante el uso del Panel Básico de Operaciones.
- Mediante la variación de la frecuencia del motor de la bomba, se permitió establecer una diferencia entre el consumo de energía en un arranque directo y un arranque controlado por variador de frecuencia.
- Se conoció las distintas formas de puesta en marcha del variador conociendo cada uno de sus parámetros existentes en la programación.
- Se realizaron mediciones con diferentes valores de frecuencias, para establecer el ahorro energético entre el arranque directo y el arranque controlado por variador de velocidad, haciendo evidente una pequeña variación entre el consumo de energía en cada uno de los arranques, el mismo que no es muy grande por el tamaño del motor de la bomba y además el sistema no posee muchos accesorios que permitan evidenciar una mayor carga al sistema.
- Se determinó que el convertidor de frecuencia toma de la red, corrientes no sinusoidales y se comporta como un generador de corrientes armónicas.
- Se elaboraron guías de prácticas de laboratorio, para que los estudiantes puedan conocer el funcionamiento y manejo de los variadores de frecuencia.

- Se analizaron las ventajas y desventajas del uso de los variadores de frecuencia en el campo industrial.

## 5.2 **Recomendaciones**

- Tener en cuenta que las entradas analógicas del variador utilizadas, sean las correctas. De utilizar, en este caso, las entradas para inversión de giro, puede causarse daños a la bomba.
- 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.
- Configurar con precisión para que la protección de sobrecarga del motor funcione correctamente para frecuencias mayores de 5 Hz.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] [www.es.wikipedia.org/wiki/Variador\\_de\\_velocidad](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_velocidad)
- [2] **SIEMENS.** Simovert Masterdrives. Instrucciones de servicio. Primera Edición. Alemania 1995. pp. 11
- [3] [www.monografias.com](http://www.monografias.com)
- [4] [www.varimak.com/junior.html](http://www.varimak.com/junior.html)
- [5] **SIEMENS.** Manual de Instrucciones de uso SINAMICS G110 120W-3KW. Primera Edición. Alemania 2004. pp. 35-48.
- [6] **SANTILLÁN** Marco. Texto Básico de Control Industrial. ESPOCH. Riobamba. 2007. pp. 68-74

## **BIBLIOGRAFÍA**

FITZGERALD A. E. Máquinas Eléctricas. Editorial Mc Graw-Hill. México. 1986.

KOSOW I. Control de Motores Eléctrico Industriales. Editorial Mc Graw Hill. México. 1986.

MOLINA José. Control Industrial. Escuela Politécnica Nacional. Quito. 1990.

ROLDÁN VILORIA José. Motores Eléctricos Automatismos de Control. Editorial Paraninfo. Madrid. 1989.

SANTILLÁN Marco. Texto Básico de Control Industrial. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. 2007.

WILDIT T. Control de Motores Industriales. Editorial Limusa. México. 1981.

## LINKOGRAFÍA

### COSTO DE KILOVATIO HORA

[www.eersa.com.ec](http://www.eersa.com.ec)

02-01-2012

[www.siemens.de/simanics-g110](http://www.siemens.de/simanics-g110)

12-07-2010

### VARIADOR DE VELOCIDAD

[www.es.wikipedia.org/wiki/Variador\\_de\\_velocidad](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_velocidad)

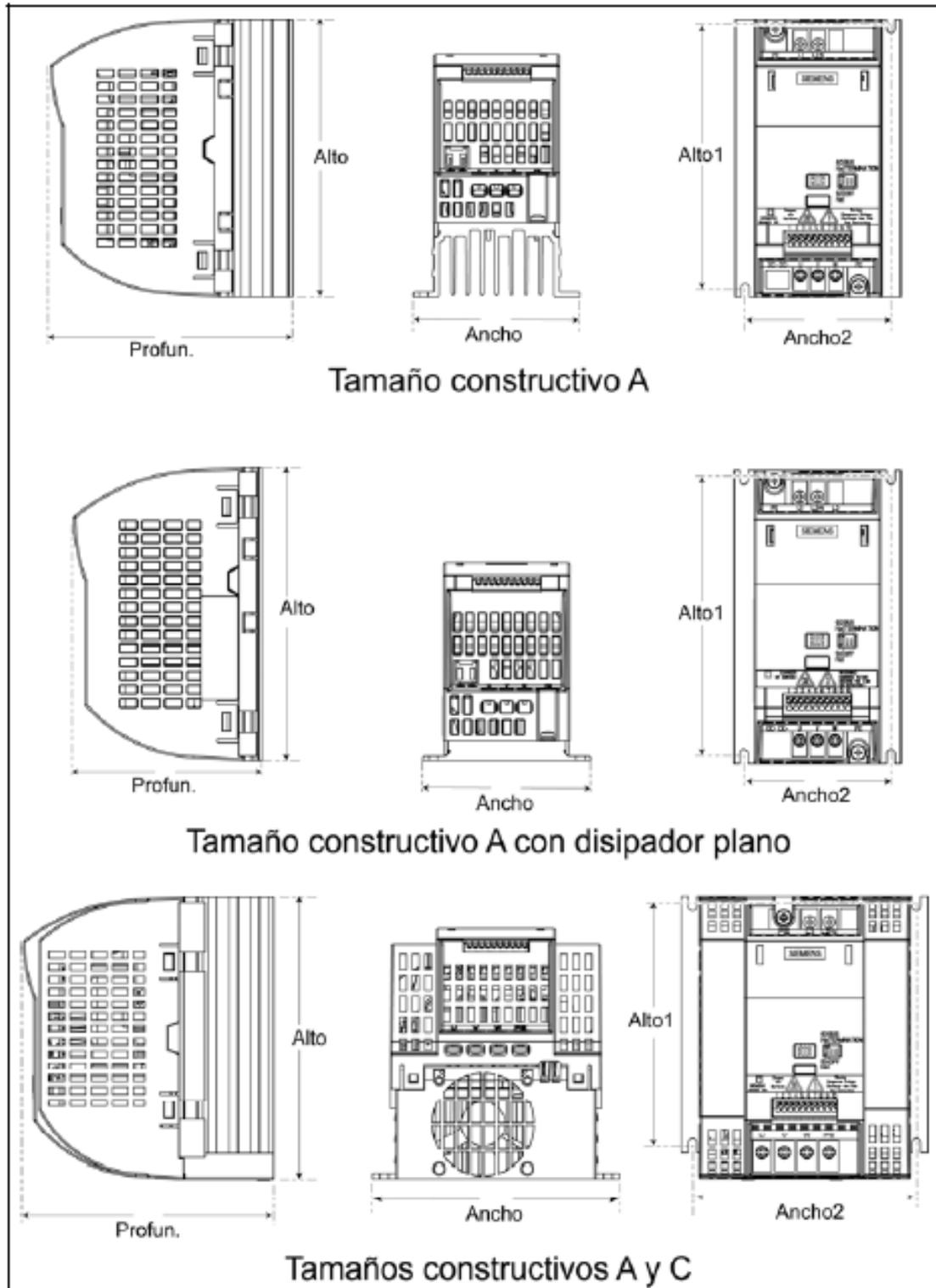
04-10-2011

# **ANEXOS**

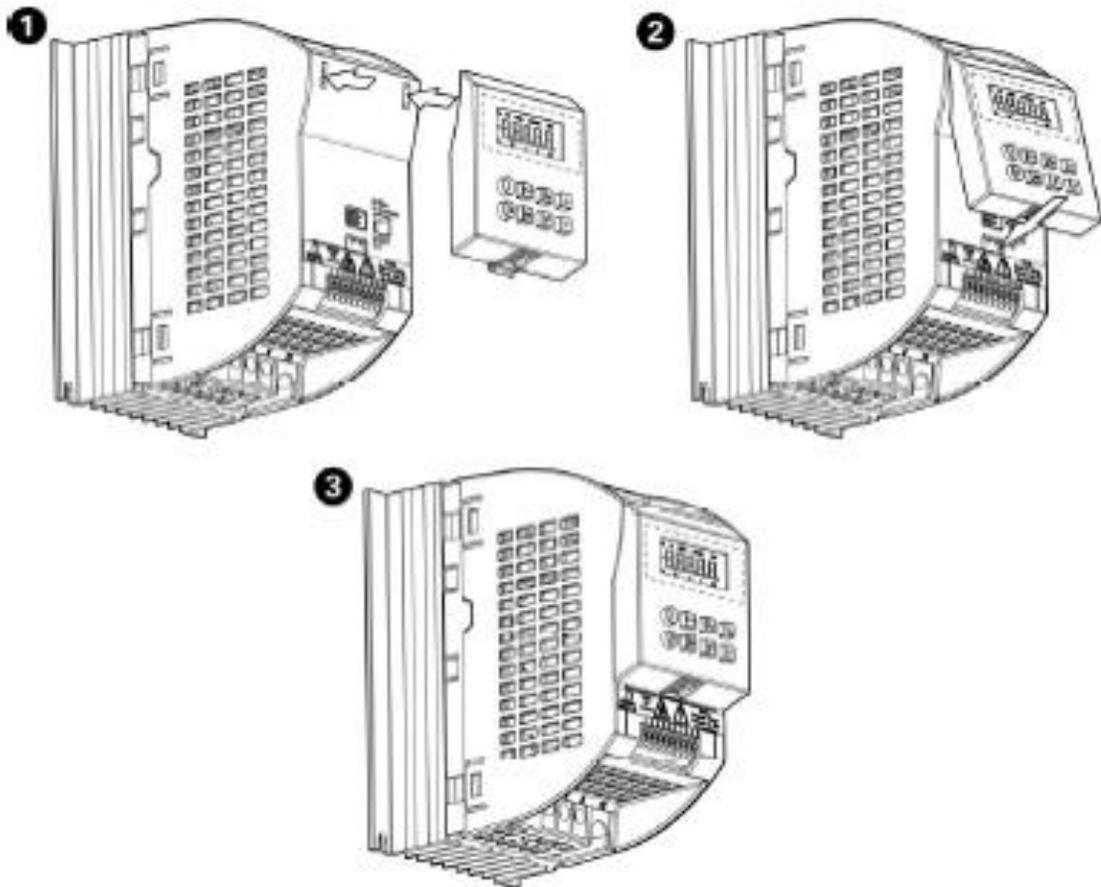
## ANEXO 1. DATOS TÉCNICOS SINAMICS G110

<b>Características</b>	<b>Datos técnicos</b>					
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% para equipos < 750 W		$\geq 95\%$ 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-lick					
Marcados CE	Según normas de baja tensión CE 73/23/EWG					
Dimensiones y pesos (sin opciones)	Tamaño constructivo (FS)		Altura x anchura x profundidad mm (pulgadas)		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)	0,8 (1,7)	
A	550 & 750W	150 x 90 x 131 (5,9 x 3,5 x 5,2)		0,8 (1,8)	0,9 (2,0)	
A Flat Plate	hasta 370W	150 x 90 x 101 (5,9 x 3,5 x 3,9)		0,6 (1,3)	0,7 (1,5)	
A Flat Plate	550 W & 750 W	150 x 90 x 101 (5,9 x 3,5 x 3,9)		0,7 (1,5)	0,8 (1,8)	
B	1,1 kW & 1,5 kW	160 x 140 x 142 (6,3 x 5,5 x 5,6)		1,4 (3,1)	1,5 (3,3)	
C	2,2 kW	181 x 184 x 152 (7,1 x 7,2 x 6,0)		1,9 (4,2)	2,1 (4,6)	
C	3,0 kW	181 x 184 x 152 (7,1 x 7,2 x 6,0)		2,0 (4,4)	2,2 (4,9)	

**ANEXO 2.  
DIMENSIONES DEL SINAMICS G110.**



### ANEXO 3. ACOPLAMIENTO DE BOP.



## ANEXO 4.

### DESCRIPCIÓN EL BOP

Panel/botón	Función	Efectos
	Indicación de estado	La pantalla de cristal líquido muestra los ajustes actuales del convertidor.
	Marcha	Al pulsar este botón se arranca el convertidor. Por defecto está bloqueado este botón. Para habilitarlo ajustar <b>P0700 = 1</b>
	Parada	<b>OFF1</b> Pulsando este botón se para el motor siguiendo el tiempo de deceleración seleccionado. Por defecto está bloqueado el botón. Para habilitarlo ajustar P0700 = 1. <b>OFF2</b> Pulsando el botón dos veces (o una vez prolongada) el motor se para de forma natural (por inercia). Esta función está siempre habilitada.
	Invertir sentido de giro	Pulsar este botón para cambiar el sentido de giro del motor. El inverso se indica mediante un signo negativo (-) o un punto decimal intermitente. Por defecto está bloqueado este botón. Para habilitarlo ajustar <b>P0700 = 1</b> .
	Jog motor	Pulsando este botón – en estado "listo" – el motor arranca y gira a la frecuencia Jog preseleccionada. El motor se detiene cuando se suelta el botón. Pulsar este botón cuando el motor está funcionando carece de efecto.
	Funciones	Este botón sirve para visualizar información adicional. Pulsando y manteniendo este botón apretado 2 segundos durante la marcha, desde cualquier parámetro, muestra lo siguiente: <b>1.</b> Tensión del circuito intermedio. <b>2.</b> Tensión de salida. <b>3.</b> Frecuencia de salida (Hz) <b>4.</b> El valor seleccionado en P0005 Pulsando de nuevo circula la sucesión anterior. <b>Función de salto</b> Pulsando brevemente el botón Fn es posible saltar desde cualquier parámetro (rXXXX o PXXXX) a r0000. Una vez retornado a r0000, si pulsa el botón Fn irá de nuevo al punto inicial.
	Acceder a parámetros	Pulsando este botón es posible acceder a los parámetros.

	Subir valor	Pulsando este botón aumenta el valor visualizado.
	Bajar valor	Pulsando este botón disminuye el valor visualizado.

# PLANOS

# PLANO 1.

## PLANO DE CONEXIONES ELÉCTRICAS DE VARIADOR DE FRECUENCIA

