

**ADAPTACIÓN DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD DE FORMA MODULAR  
PARA PROPÓSITOS DIDÁCTICOS EN EL LABORATORIO DE MÁQUINAS 1  
DE LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO**

**DAVID ALONSO GÓMEZ RUÍZ  
JUAN SEBASTIÁN MAYA CASTAÑEDA**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA  
MEDELLÍN  
2012**

**ADAPTACIÓN DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD DE FORMA MODULAR  
PARA PROPÓSITOS DIDÁCTICOS EN EL LABORATORIO DE MÁQUINAS 1  
DE LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO**

**DAVID ALONSO GÓMEZ RUÍZ  
JUAN SEBASTIÁN MAYA CASTAÑEDA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Tecnólogo Electricista**

**Asesor  
ELKIN PÉREZ  
Ingeniero Electricista**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA  
MEDELLÍN  
2012**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Presidente del jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Medellín, 12 de Diciembre de 2012**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios, el dueño de nuestras vidas y a nuestros familiares, profesores y compañeros de estudio por el incentivo, apoyo y ánimo que nos dispensaron en la consecución de este proyecto. En especial:

- A nuestros padres, valiosos consejos y respaldo.
- A Elkin Darío Pérez, asesor del proyecto, por su permanente apoyo y explicaciones, de igual manera por habernos orientado en el gremio de investigación, además habernos transmitido a través de sus experiencias de vida.

# CONTENIDO

Pág.

RESUMEN-----	
INTRODUCCIÓN -----	13
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA -----	14
2. JUSTIFICACIÓN-----	15
3. OBJETIVOS -----	16
3.1 OBJETIVO GENERAL -----	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS-----	16
4. REFERENTES TEÓRICOS -----	17
4.1 HISTORIA DEL MOTOR ELÉCTRICO -----	17
4.1.1 El motor asincrónico-----	18
4.1.2 Principio de funcionamiento del motor asincrónico -----	19
4.1.3 Deslizamiento -----	21
4.1.4 Velocidad asincrónica de un motor de inducción -----	22
4.1.5 Métodos de variación de velocidad-----	22
4.1.5.1 Cambio de frecuencia -----	22
4.1.5.2 Cambio del número de polos -----	24

4.1.5.3 Cambio del resbalamiento-----	26
4.1.5.4 Regulación por impulsos-----	27
4.1.6 Métodos de frenado para motores de inducción-----	28
4.1.6.1 Frenado por reducción de frecuencia -----	28
4.1.6.2 Frenado por contra corriente -----	29
4.1.6.3 Frenado por inyección de corriente continúa-----	30
4.2 VARIADOR DE VELOCIDAD-----	30
4.2.1 Reseña histórica del variador de velocidad -----	30
4.2.2 Qué es el variador de velocidad-----	32
4.2.2.1 Variador de paso ajustable-----	34
4.2.2.2 Variador de tracción-----	34
4.2.2.3 Variador hidrostático -----	34
4.2.2.4 Variador hidrodinámico-----	34
4.2.2.5 Variador hidroviscoso-----	35
4.2.2.6 Variadores para motores de corriente continúa -----	35
4.2.2.7 Variadores por corrientes de Eddy-----	36
4.2.2.8 Variadores de deslizamiento-----	36
4.2.2.9 Variadores para motores de corriente alterna.-----	37
4.3 COMPOSICIÓN DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD-----	38

5. METODOLOGÍA-----	40
5.1 TIPO DE PROYECTO-----	40
6.2 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN-----	40
5.3 FUENTE PRIMARIA -----	41
5.4 FUENTE SECUNDARIA-----	41
5.5 ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR -----	41
5.5.1 Primera etapa -----	41
5.5.2 Segunda etapa-----	41
5.5.3 Tercera etapa -----	42
5.5.4 Cuarta etapa-----	42
5.6 ACTIVIDADES A DESARROLLAR OBJETIVOS -----	43
6. RESULTADOS DEL PROYECTO -----	44
6 1.DESCRIPCIÓN TÉCNICA-----	44
6.1.1 Módulo -----	44
6.1.2 Protección trifásica-----	45
6.1.3 Variador de velocidad -----	46
6.1.4 Conector banana-hembra. -----	47
6.1.5 Cableado. -----	48
6.2 INTRODUCCIÓN AL VARIADOR DE VELOCIDAD DANFOSS VLT 2800 ----	48

6.3 CONEXIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD-----	50
6.4 INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y CABLES DE CONTROL -----	51
6.5 PROGRAMACIÓN-----	52
6.6 ARRANQUE NO INTENCIONADO DEL MOTOR -----	52
6.7 UNIDAD DE CONTROL -----	53
6.8 TECLAS DE CONTROL -----	55
6.9 APLICACIONES -----	55
6.9.1 Manual y automático -----	57
7. CONCLUSIONES -----	59
8. RECOMENDACIONES -----	60
BIBLIOGRAFÍA-----	61
CIBERGRAFÍA -----	62
ANEXOS -----	63



## LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Resultados de las prácticas .....	56
--	----

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tipo de rotor de la máquina de inducción .....	19
Figura 2. Estator y rotor de un motor de inducción .....	28
Figura 3 Lámina De Acrílico .....	45
Figura 4. Protección Trifásica .....	46
Figura 5. Variador de velocidad .....	47
Figura 6. Conector banana-hembra .....	47
Figura 7. Cableado .....	48
Figura 8. Dimensiones y conexiones de entrada y salida del variador de velocidad .....	49
Figura 9. Instalación del variador de velocidad .....	51
Figura 10. Instalación eléctrica el variador de velocidad.....	51
Figura 11. Conexión física del variador y borneras del panel .....	54
Figura 12. Teclas de control frontal y Display .....	55

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Vista frontal del módulo de trabajo .....	63
Anexo B. Vista trasera del módulo de trabajo .....	64
Anexo C. Conexiones protección trifásica y relé.....	65

## RESUMEN

El objetivo de este proyecto de grados surge por la necesidad de la automatización de los laboratorios de máquinas eléctricas de la Institución Universitaria Pascual Bravo. Por ello se ha vuelto indispensable adecuar un módulo en el laboratorio de máquinas I con un variador de velocidad para que los estudiantes de las tecnologías afines a la eléctrica puedan hacer sus prácticas en sus diferentes asignaturas, con el fin de interactuar y aprender el funcionamiento del variador de velocidad y regular las diferentes velocidades de los motores de inducción.

Se plantean unas prácticas donde se energiza el variador de velocidad, se programaron los parámetros con los valores nominales (sin carga) del motor y se hicieron las prácticas de arranque del motor de inducción con variaciones de velocidad, los funcionamientos de los menús y sus diferentes variables del motor. Obteniendo un buen rendimiento de la máquina mediante estas tecnologías de automatización.

## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto hace referencia a la investigación e instalación o adaptación de un variador de velocidad en forma modular y didáctica para efectos de prácticas en el laboratorio de máquinas 1, y este se implementará en la Institución Universitaria Pascual Bravo, como presentación del trabajo de grado por un grupo de estudiantes de tecnología eléctrica de la misma institución. Igualmente se utilizará para afianzar el conocimiento y las prácticas de los estudiantes que previamente cursan la tecnología ya mencionada, se contará con la dirección y asesoría de docentes y personas con conocimiento en el tema.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La Institución Universitaria Pascual Bravo adscrita al ministerio de educación nacional con más de 70 años de formar técnicos, tecnólogos y actualmente profesionales en el área eléctrica (ingeniería eléctrica), con sus altos niveles académicos en sus programas técnicos, once programas tecnológicos y en el momento uno de formación profesional, y que le brinda profesionales competentes para el ámbito laboral.

La institución tiene un laboratorio llamado Maquinas 1, el cual carece de instrumentos actualizados que permitan realizar prácticas en las diferentes asignaturas académicas de la Tecnología Eléctrica. Uno de los instrumentos a actualizar y es el variador de velocidad que no es modular, flexible y didáctico, por esto surge la necesidad de instalar este elemento en el laboratorio ya mencionado, haciendo las prácticas de clase más didácticas para garantizar una adecuada formación académica de los estudiantes de la Tecnología Eléctrica.

## 2. JUSTIFICACIÓN

La Institución Universitaria Pascual Bravo, actualmente necesita actualizar ciertos instrumentos del laboratorio de Máquinas 1, como es el variador de velocidad, permitiendo que los estudiantes puedan realizar prácticas con el elemento adecuado para hacerlas.

Teniendo en cuenta esta necesidad, se ha pensado en adaptar un variador de velocidad de forma modular para la realización de prácticas, para ello se va a contar con la colaboración de diferentes personas expertas en el funcionamiento de este tipo de instrumentos.

Esto se va a realizar con el propósito de que los estudiantes de la Tecnología Eléctrica aprendan a hacer prácticas con este tipo de elementos, ya que solo se han dedicado a la teoría.

El variador de velocidad modular suplirá la falta de adquisición de aprendizaje práctico que es una de las falencias en el área de la Tecnología Eléctrica con respecto a los dispositivos utilizados en el medio.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Adaptar un variador de velocidad de forma modular para propósitos didácticos en el laboratorio de Máquinas 1 de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Seleccionar el tipo de variador de velocidad más adecuado en este proyecto.
- Diseñar el módulo en acrílico donde se instalará el variador de velocidad.
- Instalar el variador de velocidad en el módulo y dejarlo funcional.



## 4. REFERENTES TEÓRICOS

### 4.1 HISTORIA DEL MOTOR ELÉCTRICO<sup>1</sup>

El principio de la conversión de la energía eléctrica en energía mecánica por medios electromagnéticos fue demostrado por el científico británico Michael Faraday en 1821 y consistió en un alambre libre que cuelga y se sumerge en una piscina de mercurio. Un permanente imán fue colocado en el medio de la piscina de mercurio. Cuando fue pasado a través del alambre, el alambre rotó alrededor del imán, demostrando que la corriente dio lugar a un campo magnético circular alrededor del alambre. Este motor se demuestra a menudo en clases de la física de la escuela, pero salmuera (agua salada) se utiliza a veces en lugar del mercurio tóxico. Ésta es la forma más simple de una clase de los motores eléctricos llamados motores homopolar. Un refinamiento más último es Rueda de Barlow. Éstos eran dispositivos de la demostración, inadecuados a los usos prácticos debido a la energía limitada.

El primer motor eléctrico usando los electroimanes para las piezas inmóviles y que rotaban fue demostrado cerca de ÁnyosJedlik en 1828 Hungría, que desarrolló más adelante un motor bastante de gran alcance para propulsar un vehículo. El primer conmutador- mecanografía el motor eléctrico continuo capaz de un uso práctico fue inventado por el científico británico Esturión de Guillermo en 1832. El trabajo del esturión de siguiente, un conmutador-tipo motor eléctrico continuo hecho con la intención del uso comercial fue construido por el americano Thomas Davenport y patentado en 1837. Aunque varios de estos motores fueron construidos y

---

<sup>1</sup>COLEGIO EL JAZMIN, Motor eléctrico {En línea}<http://motorelectrico-colegioeljazmin901.blogspot.com/2010/09/historia-del-motor-electrico.html> Consultado Abril 22 de 2012.

utilizados para funcionar el equipo tal como una prensa, debido al alto coste de energía de batería primaria, los motores eran comercialmente fracasados y Davenport arruinaba. Varios inventores siguieron el esturión en el desarrollo de los motores de la C.C. pero todos encontraron las mismas ediciones del coste con energía de batería primaria. No se había desarrollado ninguna distribución de la electricidad en ese entonces. Como el motor del esturión, no había mercado comercial práctico para estos motores.

El motor moderno de la C.C. fue inventado por accidente en 1873, cuando Gramo de Zénobe conectó dínamo, él había inventado a una segunda unidad similar, conduciéndolo como motor. Máquina del gramo era el primer motor eléctrico que era acertado en la industria.

En 1888 Nikola Tesla inventó el primer practicable Motor de CA y con él el sistema polifásico de la transmisión de energía. Tesla continuó su trabajo en el motor de CA en los años para seguir en la compañía de Westinghouse.

**4.1.1 El motor asincrónico<sup>2</sup>.** La máquina asincrónica o de inducción está conformada por dos piezas cilíndricas, llamadas rotor y estator; la primera es la parte fija de la máquina, y está formada por apilamientos de chapas de acero al cilicio que dispone unas ranuras en su periferia interior en las que se sitúa el devanado trifásico distribuido; y el rotor es la parte que gira, está constituida por un conjunto de chapas apiladas formando un cilindro que posee ranuras en la circunferencia exterior.

Dependiendo del tipo del rotor, estas máquinas se clasifican en rotor jaula de ardilla y rotor devanado. Para el rotor jaula de ardilla, se tiene una serie de

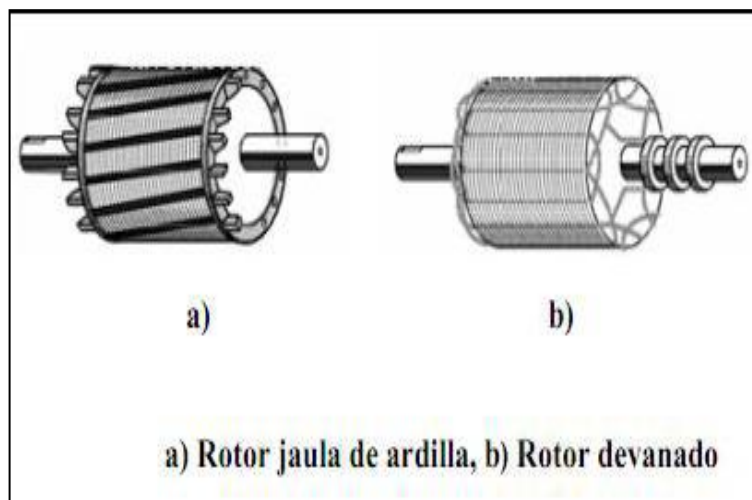
---

<sup>2</sup> DEFINICIÓN, Máquina asincrónica. {En línea}.  
<<http://www.giaelec.org.ve/Tesis/pdf/RiosStrauss2007.pdf>> Consultado Abril 22 de 2012.

conductores de cobre o de aluminio puestas en cortocircuitos por dos anillos laterales; para el caso del rotor devanado o con anillos se tiene un arrollamiento trifásico similar al situado en el estator, en este caso, el número de fases del rotor no tiene por qué ser el mismo del estator, lo que si tiene que ser igual es el número de polos.

Los devanados del rotor están conectados a anillos colectores montados sobre el mismo eje.

**Figura 1. Tipo de rotor de la máquina de inducción**



Fuente: <http://www.giaelec.org.ve/Tesis/pdf/RiosStrauss2007.pdf>> Consultado Abril 22 de 2012.

**4.1.2 Principio de funcionamiento del motor asincrónico<sup>3</sup>.** El motor de corriente alterna se basa en el principio de funcionamiento, el cual establece que si un conductor por el que circula una corriente eléctrica se encuentra dentro de la

<sup>3</sup> RESEÑA HISTÓRICA, El motor eléctrico. {En línea}.  
<[http://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_el%C3%A9ctrico](http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_el%C3%A9ctrico)> Consultado Mayo 2 de 2012.

acción de un campo magnético, éste tiende a desplazarse perpendicularmente a las líneas de acción del campo magnético.

El conductor tiende a funcionar como un electroimán debido a la corriente eléctrica que circula por el mismo adquiriendo de esta manera propiedades magnéticas, que provocan, debido a la interacción con los polos ubicados en el estator, el movimiento circular que se observa en el rotor del motor.

Partiendo del hecho de que cuando pasa corriente por un conductor produce un campo magnético, además si lo ponemos dentro de la acción de un campo magnético potente, el producto de la interacción de ambos campos magnéticos hace que el conductor tienda a desplazarse produciendo así la energía mecánica. Dicha energía es comunicada al exterior mediante un dispositivo llamado flecha.

La máquina de inducción jaula de ardilla internamente tiene las bobinas desfasadas en el espacio 120 grados unas de las otras que al ser sometidas a la acción de corriente trifásica, se produce una onda rotativa de fuerza magneto motriz distribuida senoidalmente por el entrehierro, el cual produce un flujo giratorio que inducirá fuerzas electromotrices en los conductores del rotor, que en caso de que el circuito eléctrico de la máquina este cerrado, aparecerá corrientes que reaccionaran con el flujo del estator.

Cuando existe un movimiento relativo entre el campo magnético del estator y el rotor, se inducen voltajes en los devanados del rotor. La frecuencia de los voltajes inducidos del rotor depende de la velocidad relativa entre el campo magnético del estator y el rotor. La interacción de las corrientes del rotor con el campo magnético del estator produce un par que acelera el rotor en la dirección de rotación del campo magnético (cuando la maquina opera como motor), o en dirección opuesta a la rotación del campo magnético (en su operación como generador). Conforme

la velocidad del rotor  $n_r$  se aproxima a la velocidad  $n_s$  del campo magnético del estator, los voltajes y corrientes inducidos se aproximan a cero.

**4.1.3 Deslizamiento<sup>4</sup>.** El deslizamiento ( $s$ ) de una máquina de inducción se refiere a la velocidad relativa entre el campo magnético por las corrientes en el estator y la velocidad mecánica del rotor, permitiendo así, determinar la cercanía de la velocidad de giro de la máquina a su velocidad sincrónica.

$$s = \frac{n_{sinc} - n_m}{n_{sinc}} * 100\%$$

Así como también en forma de velocidad angular en radianes por segundo, de la siguiente manera:

$$s = \frac{\omega_s - \omega_m}{\omega_{sinc}} * 100\%$$

Dependiendo del estado de operación de la máquina se tiene varios valores de deslizamiento que van desde -1 a 1, cuando uno de estos límites determinan la velocidad del campo magnético. Por ejemplo, cuando  $s=0$ , la velocidad relativa entre el flujo giratorio y el rotor es cero, ya que la velocidad mecánica ( $\omega_m$ ) es igual a la sincrónica ( $\omega_s$ ).

---

<sup>4</sup>DEFINICIÓN. Deslizamiento {En línea}. <http://www.giaelec.org.ve/Tesis/pdf/RiosStrauss2007.pdf>  
Consultado Mayo 2 de 2012.

**4.1.4 Velocidad asincrónica de un motor de inducción<sup>5</sup>.** Los motores asincrónicos son máquinas de velocidad esencialmente constante. Recordemos que la expresión que nos da el valor de la velocidad de un motor asincrónico en RPM es:

$$N = (1 - s) N_s = (1 - s) 60f/p$$

Donde  $s$  representa el resbalamiento,  $N_s$  las RPM sincrónicas,  $f$  la frecuencia(Hz) y  $p$  el número de polos.

#### **4.1.5 Métodos de variación de velocidad<sup>6</sup>.**

**4.1.5.1 Cambio de frecuencia.** La preferencia actual por la regulación a frecuencia variable se debe a la posibilidad de utilizar el sencillo y robusto motor de jaula de ardilla; cuyo mantenimiento es mucho más fácil que el de un motor de contactos deslizantes, lo que resulta muy importante en máquinas que operan bajo condiciones ambientales difíciles. Además este tipo de motor eléctrico resulta más económico y compacto que los restantes.

Asimismo, este método permite transformar fácilmente un equipo de velocidad fija en un accionamiento de velocidad variable, sin realizar grandes modificaciones.

Con este tipo de regulación se puede obtener un amplio control de velocidades, con el máximo par disponible en todas las frecuencias con un elevado

---

<sup>5</sup> PÁGINA DIGITAL, Control y regulación de la velocidad en motores asincrónicos trifásicos {En línea} <<http://www.paginadigital.com.ar/articulos/2002rest/2002terc/tecnologia/sica71.html>> Consultado Mayo 4 de 2012.

<sup>6</sup> Métodos de variar la velocidad {En línea} <<http://www.paginadigital.com.ar/articulos/2002rest/2002terc/tecnologia/sica71.html>> Consultado Mayo 6 de 2012.

rendimiento. Si se prolonga la característica al cuadrante generador se puede obtener un frenado muy eficiente por reducción de frecuencia, con una recuperación de energía hacia la red de alimentación.

Si bien pueden utilizarse distintos tipos de convertidores de frecuencia rotativos (semejantes al sistema Ward-Leonard), en la actualidad la modificación de la frecuencia se realiza fundamentalmente por medio de variadores estáticoelectrónicos que ofrecen una regulación suave, permitiendo un aumento en la vida útil de todas las partes involucradas y originando un ahorro en el mantenimiento por ausencia de partes en movimiento que sufran desgastes.

Los mismos se construyen generalmente con tiristores gobernados por un microprocesador que utiliza un algoritmo de control vectorial del flujo, y consisten básicamente en un convertidor estático alterna-alterna (ciclo convertidor) o alterna-continua-alterna (convertidor de enlace), que permiten la modificación progresiva de la frecuencia aplicada, con la consiguiente modificación de la corriente y el par motor. En algunos casos se agregan filtros de armónicas.

En el ciclo convertidor se sintetiza una onda de menor frecuencia a partir de una alimentación polifásica de mayor frecuencia, conectando sucesivamente los terminales del motor a las distintas fases de la alimentación. La onda sintetizada generada es rica en armónicos y en algunos casos el circuito puede generar subarmónicos que podrían llegar a producir problemas si excitasen alguna resonancia mecánica del sistema.

Por otro lado, el ciclo convertidor ofrece una transformación simple de energía de buen rendimiento, permite la inversión del flujo de potencia para la regeneración y la transmisión de la corriente reactiva; proporcionando una gama de frecuencias de trabajo que va desde valores cercanos a cero hasta casi la mitad de la

frecuencia de alimentación, con fácil inversión de fase para invertir el sentido de rotación.

En ciertos casos este tipo de convertidor se emplea en motores asincrónicos de rotor bobinado con alimentación doble, estando el estator conectado a la red y el rotor al convertidor.

En el convertidor de enlace la alimentación de la red de corriente alterna se rectifica en forma controlada y luego alternativamente se conmutan las fases del motor al positivo y al negativo de la onda rectificada, de manera de crear una onda de alterna de otra frecuencia.

La tensión y frecuencia de salida se controlan por la duración relativa de las conexiones con las distintas polaridades (modulación del ancho de pulso) de manera de conservar constante el cociente tensión / frecuencia para mantener el valor del flujo magnético en el motor.

Aunque la onda de tensión obtenida no es sinusoidal, la onda de corriente tiende a serlo por efecto de las inductancias presentes. Además, de este modo se obtiene una amplia gama de frecuencias por encima y por debajo de la correspondiente al suministro, pero exige dispositivos adicionales c.c. /c.a. para asegurar el flujo de potencia recuperada.

**4.1.5.2 Cambio del número de polos<sup>7</sup>.** Si el motor estuviera provisto de dos arrollamientos de estator con diferente número de polos, y si el rotor fuera preferentemente del tipo jaula de ardilla (para no tener que realizar ningún tipo de conexiones en el secundario), fácilmente se podrían obtener dos velocidades de sincronismo.

---

<sup>7</sup> IBÍD



También, con un solo arrollamiento provisto de conexiones especiales pueden obtenerse dos diferentes números de polos, o incluso tres, mediante una simple reconexión.

En todos los casos no se logra una regulación progresiva, si no escalonada, y además sólo pueden obtenerse velocidades menores que la de sincronismo, con una gama de regulación que difícilmente supere la relación 8:1, pues con mayores relaciones resultarían motores muy voluminosos.

Veamos cómo se realiza todo esto. En los motores con conmutación del número de polos, el arrollamiento de cada fase está constituido generalmente por dos partes idénticas conectadas en serie, en una de las cuales se hace variar el sentido de la corriente por conmutación de estas partes en paralelo. Esta conmutación modifica la distribución de las fuerzas magnetomotrices, disminuyendo el número de polos a la mitad y por consiguiente duplicando la velocidad de sincronismo del motor (conexión Dahlander) a potencia constante o a par constante.

La conexión de los arrollamientos se efectúa por conmutación del arrollamiento estático de estrella simple a doble estrella (dos estrellas en paralelo), o por conmutación de dicho arrollamiento de triángulo a doble estrella.

Se puede demostrar que la conmutación del arrollamiento estático de estrella a doble estrella conduce a una regulación de velocidad a par constante, mientras que la conmutación del arrollamiento estático de triángulo a doble estrella conduce a una regulación de velocidad a potencia constante.

También se emplean motores de tres velocidades, con un arrollamiento independiente complementario no conmutado, así como motores de cuatro velocidades, en cuyo estator se instalan dos devanados independientes con

diferentes números de polos; cada uno subdividido como en el caso de dos velocidades.

Los motores provistos de arrollamientos con diferente número de polos tienen su principal utilidad en aquellos casos en los que la velocidad no tiene que regularse de forma progresiva, como es el caso de máquinas-herramientas como tornos, fresas, taladradoras, y en general todas las que trabajan por arranque de virutas.

**4.1.5.3 Cambio del resbalamiento<sup>8</sup>.**El resbalamiento  $s$  varía con la carga, pero la variación de la carga no proporciona un método práctico de control de la velocidad. Sin embargo, es posible cambiar la característica par/velocidad de varias maneras, de modo que para cada par de carga se necesita un valor de  $s$  distinto.

Estos métodos proporcionan una mala utilización de la potencia y capacidad del motor, pero el control suele ser sencillo y justificable en algunas aplicaciones.

El control de fase produce armónicos de orden elevado, mientras que el encendido intermitente puede generar sub-armónicos que podrían entrar en resonancia con el sistema mecánico.

En el caso de variación de la resistencia rotórica se aprovecha la propiedad de los motores asincrónicos de modificar la velocidad a la que se produce la máxima cupla variando la resistencia del circuito rotórico. En este método, por medios manuales o automáticos, en forma continua o escalonada, se va modificando la resistencia rotórica mediante un reóstato conectado a los anillos rozantes del motor de rotor bobinado.

---

<sup>8</sup> IBÍD

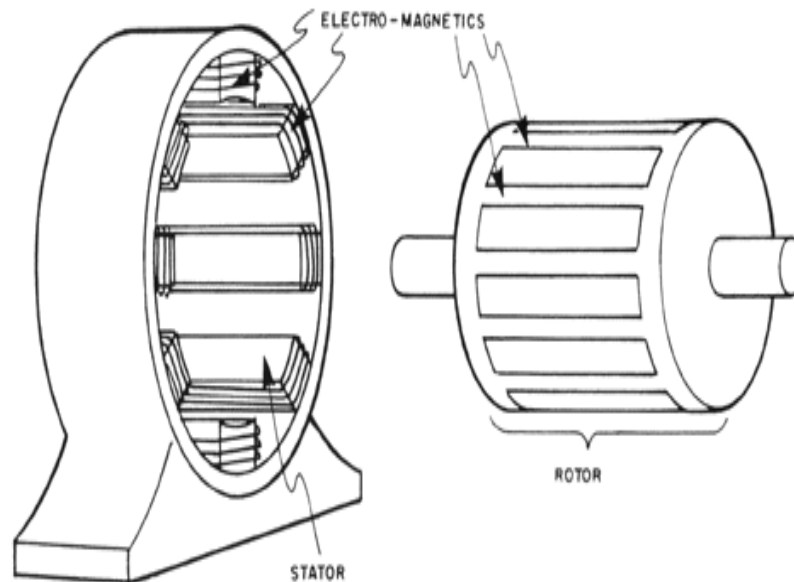
La regulación permite disminuir la velocidad nominal y la utilización óptima del motor se produce en caso de regulación a par constante. La gama de regulación no es constante y resulta muy sensible a las variaciones de la carga. Asimismo, el inconveniente de este sistema de variación está en las grandes pérdidas de energía.

La modificación de la resistencia rotórica puede verse como un caso especial de inyección de una tensión al rotor, pues se crea una caída de tensión en la resistencia agregada externamente.

Si se sustituye la resistencia por un elemento activo, la energía no se desperdicia y se puede alcanzar velocidades súpersincrónicas y corregir el factor de potencia. De esta manera, inyectando una tensión secundaria de frecuencia de resbalamiento y con un ángulo de fase determinado se puede variar el resbalamiento resultante e introducir una componente reactiva adecuada.

**4.1.5.4 Regulación por impulsos.** La regulación por impulsos de la velocidad generalmente se aplica en motores de pequeña potencia, y básicamente consiste en provocar variaciones periódicas y de corta duración de los parámetros del motor, de tal manera y a una frecuencia tal, que la velocidad requerida se obtiene como una velocidad promedio de las aceleraciones y desaceleraciones producidas durante el ciclo completo de variación de los parámetros.

**Figura 2. Estator y rotor de un motor de inducción**



Fuente: <http://html.rincondelvago.com/motores-de-induccion.htm>> Consultado Mayo 8 de 2012.

#### **4.1.6 Métodos de frenado para motores de inducción.**

**4.1.6.1 Frenado por reducción de frecuencia<sup>9</sup>.** La preferencia actual por la regulación a frecuencia variable se debe a la posibilidad de utilizar el sencillo y robusto motor de jaula de ardilla; cuyo mantenimiento es mucho más fácil que el de un motor de contactos deslizantes, lo que resulta muy importante en máquinas que operan bajo condiciones ambientales difíciles. Además este tipo de motor eléctrico resulta más económico y compacto que los restantes.

---

<sup>9</sup> DEFINICIÓN, Frenado por reducción de frecuencia. {En línea}.  
<<http://html.rincondelvago.com/motores-de-induccion.htm>> Consultado Mayo 8 de 2012.

Asímismo, este método permite transformar fácilmente un equipo de velocidad fija en un accionamiento de velocidad variable, sin realizar grandes modificaciones.

Con este tipo de regulación se puede obtener un amplio control de velocidades, con el máximo par disponible en todas las frecuencias con un elevado rendimiento. Si se prolonga la característica al cuadrante generador se puede obtener un frenado muy eficiente por reducción de frecuencia, con una recuperación de energía hacia la red de alimentación.

Si bien pueden utilizarse distintos tipos de convertidores de frecuencia rotativos, en la actualidad la modificación de la frecuencia se realiza fundamentalmente por medio de variadores estáticos electrónicos que ofrecen una regulación suave, permitiendo un aumento en la vida útil de todas las partes involucradas y originando un ahorro en el mantenimiento por ausencia de partes en movimiento que sufran desgastes.

**4.1.6.2 Frenado por contra corriente**<sup>10</sup>.El principio consiste después de haber aislado el motor de la red, aunque gira todavía, en conectarlo a la red, pero en sentido inverso. Es una forma de frenado muy eficaz que debe ser desconectado antes de que el motor gire en sentido inverso. Antes de adoptar este sistema, es absolutamente necesario asegurarse de que el motor es capaz de soportar los frenados por contracorriente. En el momento del frenado, las puntas de corriente y de par son bastante superiores a las producidas durante el arranque. Este procedimiento no es adecuado más que en determinadas aplicaciones de pequeña potencia.

---

<sup>10</sup> DEFINICIÓN, Frenado por contracorriente y por inyección de cc. {En línea}. <[www.educarchile.cl/UserFiles/P0029/File/.../Motores\\_asincronos.doc](http://www.educarchile.cl/UserFiles/P0029/File/.../Motores_asincronos.doc)> Consultado Mayo 8 de 2012.

**4.1.6.3 Frenado por inyección de corriente continua.** Este procedimiento consiste en inyectar corriente continua en el estator previamente separado de la red.

Esta corriente crea un flujo fijo en el espacio. Para que el valor de este último corresponda a un frenado conveniente, la corriente debe ser aproximadamente 1,3 veces la intensidad.

El valor de esta corriente está fijado sólo por los devanados del estator y la tensión de la fuente de corriente es pequeña (por ejemplo 20 voltios).

## **4.2 VARIADOR DE VELOCIDAD**

**4.2.1 Reseña histórica del variador de velocidad<sup>11</sup>.** El desarrollo de los variadores de velocidad ha cambiado en sus métodos de construcción e implementación. El primer variador del cual se tiene conocimiento apareció en 1910, y fue inventado por el alemán Hermann Föttinger. Este variador de velocidad continua, realizado a través de un convertidor de par trabajaba con resistencias que se iban accionando mediante relés mecánicos accionados mediante embragues que se accionaban manualmente. A principios de los años 70 aparecen los primeros convertidores de frecuencia para accionamientos de velocidad variable. en 1998 la compañía Emotron se hallaba ya entre los pioneros en introducir el control de par directo sacando al mercado algunos modelos donde se variaba la velocidad utilizando contactos o algún sistema óptico implementado en el acelerador, este iba activando los relés según como se accionara el pedal de mando; los aparatos más grandes trabajan con baterías de hasta 96v entre 100 y

---

<sup>11</sup>DEFINICIÓN, Variador de velocidad {En línea}.

<[www.reitec.es/web/descargas/documentacion3.pdf](http://www.reitec.es/web/descargas/documentacion3.pdf)> Consultado Abril 13 de 2012.

250 A. en los variadores de velocidad modernos el control de velocidad se hace mediante pulsos de onda cuadrada, estos pulsos son amplificados por tiristores de potencia y los últimos por transistores de potencia.

Cabe decir que en los motores de CA no solo se varía la frecuencia sino que se modifica el ángulo eléctrico entre fases lo que hace que el motor se detenga estando en marcha o invierta su sentido de giro.

Los variadores modernos se adaptan a la potencia que necesita el motor logrando con esto una reducción en los requerimientos de energía eléctrica al mismo tiempo que protege y permite la variación de velocidad sin ningún accesorio extra entre el motor y la carga obteniéndose con esto disminuciones en los costos operativos. Conforme se mejoraba el empleo de los variadores de velocidad durante los últimos años, han surgido nuevos requisitos. La mayoría de ellos hacen referencia al rendimiento dinámico: par a velocidad cero, respuesta rápida para mejorar el impacto de la carga y control exacto de la velocidad.

Hasta ahora, los sistemas de variadores de c.c. hacían incluir estas características. Los componentes generadores de corrientes de flujo y par se controlaban de modo mecánico en la posición exacta según el tipo de motor mediante la combinación de conmutadores y juegos de cepillos. Este sistema garantizaba que los variadores de c.c. generasen pares controlados a cualquier velocidad. Sin embargo, existían algunos inconvenientes como, por ejemplo, el desgaste mecánico de los cepillos (que precisan un mantenimiento periódico), el nivel de potencia global y los mayores costos que genera el motor.

Lo que necesitaban estos sistemas era la construcción de un motor de C.A. equipado con rendimiento dinámico gracias a la inclusión de un variador de C.C.

La respuesta es el control vectorial. En los variadores vectoriales, el módulo variador controla las corrientes que generan flujo y par a fin de optimizar el empleo de la corriente que genera el par motor. Gracias a la tecnología mejorada de los circuitos de control, la reacción a la carga también se ha visto mejorada, al igual que el mantenimiento de la velocidad.

De hecho, los variadores se utilizan ahora no sólo en lugar de los variadores de c.c. tradicionales sino también en lugar de los controladores de servomecanismo.

#### **4.2.2 Qué es el variador de velocidad<sup>12</sup>.**

Es un dispositivo o conjunto de dispositivos mecánicos, hidráulicos, eléctricos o electrónicos empleados para controlar la velocidad giratoria de maquinaria, especialmente de motores. También es conocido como accionamiento de Velocidad Variable.

La maquinaria industrial generalmente es accionada a través de motores eléctricos, a velocidades constantes o variables, pero con valores precisos. No obstante, los motores eléctricos generalmente operan a velocidad constante o cuasi-constante, y con valores que dependen de la alimentación y de las características propias del motor, los cuales no se pueden modificar fácilmente. Para lograr regular la velocidad de los motores, se emplea un controlador especial que recibe el nombre de variador de velocidad. Los variadores de velocidad se emplean en una amplia gama de aplicaciones industriales, como en ventiladores y equipo de aire acondicionado, equipo de bombeo, bandas y transportadores industriales, elevadores, llenadoras, tornos y fresadoras, etc.

---

<sup>12</sup> DEFINICIÓN, Variadores de velocidad. {En línea}  
<<http://www.buenastareas.com/ensayos/Definicion-De-Variadores-De-Velocidad/1642859.html>>  
Consultado Abril 14 de 2012.



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

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

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

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

También se fomenta el ahorro de energía mediante el uso de variadores de velocidad porque un equipo accionado mediante un variador de velocidad emplea generalmente menor energía que si dicho equipo fuera activado a una velocidad fija constante. Los ventiladores y bombas representan las aplicaciones más llamativas. Por ejemplo, cuando una bomba es impulsada por un motor que opera a velocidad fija, el flujo producido puede ser mayor al necesario. Para ello, el flujo

podría regularse mediante una válvula de control dejando estable la velocidad de la bomba, pero resulta mucho más eficiente regular dicho flujo controlando la velocidad del motor, en lugar de restringirlo por medio de la válvula, ya que el motor no tendrá que consumir una energía no aprovechada.

**4.2.2.1 Variador de paso ajustable<sup>13</sup>.** Este dispositivo emplea poleas y bandas en las cuales el diámetro de una o más poleas puede ser modificado.

**4.2.2.2 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.

**4.2.2.3 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.

**4.2.2.4 Variador hidrodinámico.** Emplea aceite hidráulico para transmitir 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.

---

<sup>13</sup>Variador de velocidad, {En línea}. <[www.ecured.cu/index.php/Variador\\_de\\_velocidad](http://www.ecured.cu/index.php/Variador_de_velocidad)> Consultado Abril 14 de 2012.

**4.2.2.5 Variador hidrovicoso<sup>14</sup>**. Consta de uno o más discos conectados con un eje de entrada, los cuales estará en contacto físico (pero no conectados mecánicamente) con uno o más discos conectados al eje de salida. El par mecánico (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.

**4.2.2.6 Variadores para motores de corriente continua<sup>15</sup>**. Estos 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:

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

Dónde:

$V_t$ : 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:

$$Nm = \frac{V_t}{K * FM} \quad (2)$$

---

<sup>14</sup>Variador de velocidad, {En línea}. <[www.ecured.cu/index.php/Variador\\_de\\_velocidad](http://www.ecured.cu/index.php/Variador_de_velocidad)> Consultado Abril 14 de 2012.

<sup>15</sup>Variador de velocidad, {En línea}. <[www.ecured.cu/index.php/Variador\\_de\\_velocidad](http://www.ecured.cu/index.php/Variador_de_velocidad)> Consultado Abril 14 de 2012.

Entonces, de (2) puede observarse que la velocidad mecánica de un motor de CC 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 CC: controlando su voltaje terminal, o bien, manipulando el valor de la corriente de campo.

**4.2.2.7 Variadores por corrientes de Eddy**<sup>16</sup>. Consta de un motor de velocidad fija y un embrague de corrientes de Eddy. El embrague contiene un rotor de velocidad fija (acoplado al motor) y un rotor de velocidad variable, separados por un pequeño entrehierro. Se cuenta, además, con una bobina de campo, cuya corriente puede ser regulada, la cual produce un campo magnético que determinará el par mecánico transmitido del rotor de entrada al rotor de salida. De esta forma, a mayor intensidad de campo magnético, mayor par y velocidad transmitidos, y a menor campo magnético menores serán el par y la velocidad en el rotor de salida. El control de la velocidad de salida de este tipo de variadores generalmente se realiza por medio de lazo cerrado, utilizando como elemento de retroalimentación un tacómetro de corriente alterna.

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

$$Nm = \frac{120 * f * (1-s)}{P} \quad (3)$$

---

<sup>16</sup>Variadores de velocidad, {En línea}.

<[http://books.google.com/books?id=O6lLKvpBfi4C&pg=PA123&dq=variadores+de+velocidad+para+motores&hl=es&ei=xux8TcHIMsLetwflv\\_S6BQ&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=4&ved=0CEEQ6AEwAw#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com/books?id=O6lLKvpBfi4C&pg=PA123&dq=variadores+de+velocidad+para+motores&hl=es&ei=xux8TcHIMsLetwflv_S6BQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4&ved=0CEEQ6AEwAw#v=onepage&q&f=false)> Consultado Abril 23 de 2012.

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

**4.2.2.9 Variadores para motores de corriente alterna.** 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.

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

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

- Cuando se trata de motores de inducción, se tiene:

$$N_m = \frac{120 * f * (1-s)}{P} \quad (5)$$

Dónde:

$N_s$  = velocidad síncrona (rpm)

$N_m$  = velocidad mecánica (rpm)

$f$  = frecuencia de alimentación (Hz)

$s$  = deslizamiento (a dimensional)

$P$  = número de polos.

Como puede verse en las expresiones (4) y (5), 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

#### 4.3 COMPOSICIÓN DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD<sup>17</sup>

Los variadores de velocidad están compuestos por:

- **Etapa Rectificadora:** Convierte la tensión alterna en continua mediante rectificadores de diodos, tiristores.
- **Etapa intermedia:** Filtro para suavizar la tensión rectificada y reducir la emisión de armónicos.
- **Inversor:** Convierte la tensión continua en otra de tensión y frecuencia variable mediante la generación de pulsos. Actualmente se emplean IGBT's (IsolatedGate Bipolar Transistors) para generar los pulsos

---

<sup>17</sup>Variadores de velocidad, {En línea}. <<http://html.rincondelvago.com/variadores-de-velocidad.html>> Consultado Abril 30 de 2012.

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 para generar los pulsos variables de tensión y frecuencia. Y además controla los parámetros externos en general, etc.

Los variadores más utilizados utilizan modulación PWM (Modulación de Ancho de Pulsos) y usan en la etapa rectificadora puente de diodos rectificadores. En la etapa intermedia se usan condensadores y bobinas para disminuir las armónicas y mejorar el factor de potencia.

El Inversor convierte la tensión continua de la etapa intermedia en una tensión de frecuencia y tensión variables. Los IGBT envían pulsos de duración variable y se obtiene una corriente casi sinodal en el motor.

La frecuencia portadora de los IGBT se encuentra entre 2 a 16kHz. Una portadora con alta frecuencia reduce el ruido acústico del motor pero disminuye el rendimiento del motor 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) estén aisladas galvánicamente.

## **5. METODOLOGÍA**

### **5.1 TIPO DE PROYECTO**

El variador de velocidad y todos los elementos que lo conforman, es un tipo de proyecto investigativo y aplicativo, que igualmente se implementará en un aula de estudio exactamente en el salón de máquinas I adecuándola para tal fin. Se inició fundamentalmente con la investigación de todo lo relacionado desde como empieza hasta donde termina, sus aplicaciones, funcionamiento y qué dispositivos adicionales contiene para que el sistema funcione tal como es, y sea más fácil de aplicar a la hora de hacer prácticas. El variador de velocidad se instaló paso a paso para entender el comportamiento, funcionamiento y organización del sistema de los componentes electromecánicos; teniendo en cuenta los siguientes puntos:

### **6.2 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

- Obtener y verificar medidas del módulo para que todo lo que está instalado en él se acomode a los agujeros o troquelados.
- La búsqueda de información acerca del dispositivo primario como su funcionamiento, conexiones y por ultimo información del actuador que en este caso es un motor trifásico de corriente alterna que se pueda acomodar con estas características.
- La adecuación del lugar de clase para situar el variador.



- El modulo será de color transparente tal como son los demás módulos que hay en el laboratorio.

### **5.3 FUENTE PRIMARIA**

- Estudiantes de tecnología eléctrica
- Docentes del área de eléctrica

### **5.4 FUENTE SECUNDARIA**

- Libros
- Internet
- Revistas y manuales

### **5.5 ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR**

**5.5.1 Primera etapa.** Adaptar un variador de velocidad a un módulo de trabajo. Dicho modulo debe sostener y proteger el dispositivo.

Para la conexión debe estar acoplado fijamente al módulo de trabajo y con las entradas para la fuente de alimentación.

El suministro de red al variador debe ser 220V-240V.

**5.5.2 Segunda etapa.** Dejar listas las entradas de alimentación hacia el variador de velocidad y las salidas de éste al motor.

**5.5.3 Tercera etapa.** Definir prácticas de laboratorio que pueden realizarse con un variador DANFOSS VLT 2800. Cabe anotar que estas prácticas se realizarán al vacío, en caso contrario el motor deberá cargarse máximo al 50% de su capacidad nominal.

- Control del motor
- Puesta en marcha
- Lógica de freno. Elevación de velocidad
- Funcionamiento de los menús
- Conocimiento del módulo de control del laboratorio
- Inversión de giro

**5.5.4 Cuarta etapa.** Impedir que los estudiantes que realicen las pruebas en el laboratorio de máquinas 1 del Tecnológico Pascual Bravo Institución Universitaria manejen cableado con voltaje y que no haya errores en el alambrado físico y control manual de la máquina.

Ventajas de la utilización del Variador de Velocidad en el arranque de motores.

- Ahorro energético.
- El variador de velocidad no tiene elementos móviles, ni contactos.
- La conexión del cableado es muy sencilla y evita que los estudiantes manipulen cableado con voltaje.
- Permite arranques suaves, progresivos y sin saltos.
- Controla la aceleración y el frenado progresivo.
- Limita la corriente de arranque.
- Consigue un ahorro de energía cuando el motor funcione parcialmente cargado, con acción directa sobre el factor de potencia.

- Puede detectar y controlar la falta de fase a la entrada y salida de un equipo. Protege el motor.

## **5.6 ACTIVIDADES A DESARROLLAR OBJETIVOS**

- Compra de materiales
- Selección de herramientas
- Elaboración del módulo de trabajo
- Montaje del módulo de trabajo

## **6. RESULTADOS DEL PROYECTO**

### **6.1.DESCRIPCIÓN TÉCNICA**

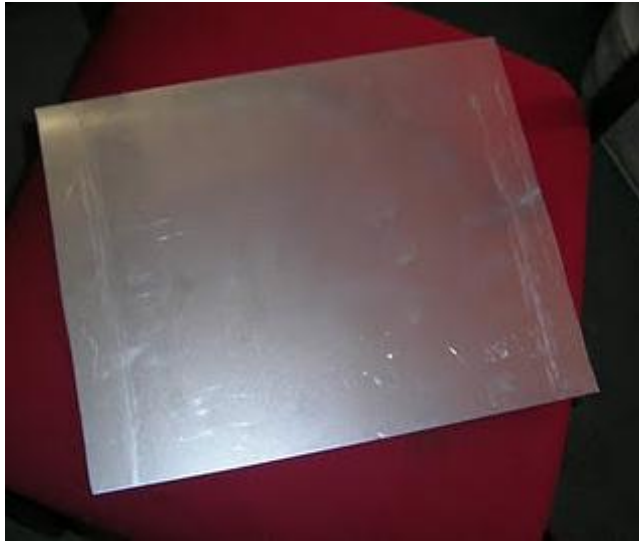
Este proyecto tiene como principio la investigación y posteriormente la adaptación de un variador de velocidad en un módulo de acrílico que para fines didácticos en el laboratorio de Máquinas<sup>1</sup> del Tecnológico Pascual Bravo Institución Universitaria.

Éste módulo es de acrílico, tendrá una protección trifásica, un variador de velocidad, conectores banana hembra, cableado para las conexiones internas, correíllas plásticas.

#### **6.1.1Módulo.**

Es una lámina en acrílico donde se colocarán los dispositivos deconexión, maniobra, comando, medición, protección, alarma y señalización, con sus cubiertas y soportes correspondientes, para cumplir una función específica dentro de un sistema eléctrico. Y puede ser de diversos materiales, teniendo en cuenta que debe cumplir con la normatividad que rige la fabricación de estos elementos.

**Figura 3 Lámina De Acrílico**



Fuente: Foto tomada por los estudiantes responsables del proyecto.

### **6.1.2 Protección trifásica**

Estos interruptores protegen contra sobrecargas de las instalaciones de cableado eléctrico. Actúan con un porcentaje por encima de la corriente nominal por acción térmica o por acción de una sobrecarga de varias veces la corriente nominal por acción magnética. Están capacitados para abrir el circuito en el caso de un cortocircuito.

**Figura 4. Protección Trifásica**



Fuente:<[www.electrocastillo.com/index.php?.Termomagnético.termo-magnéticos](http://www.electrocastillo.com/index.php?.Termomagnético.termo-magnéticos)>  
Consultado Mayo 12 de 2012.

### **6.1.3 Variador de velocidad.**

Es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor.

**Figura 5. Variador de velocidad**



Fuente: <<http://www.tecnoing.com/descargas.aspx?CatId=BroVarDan>>  
Consultado Mayo 12 de 2012.

#### **6.1.4 Conector banana-hembra.**

**Figura 6. Conector banana-hembra**

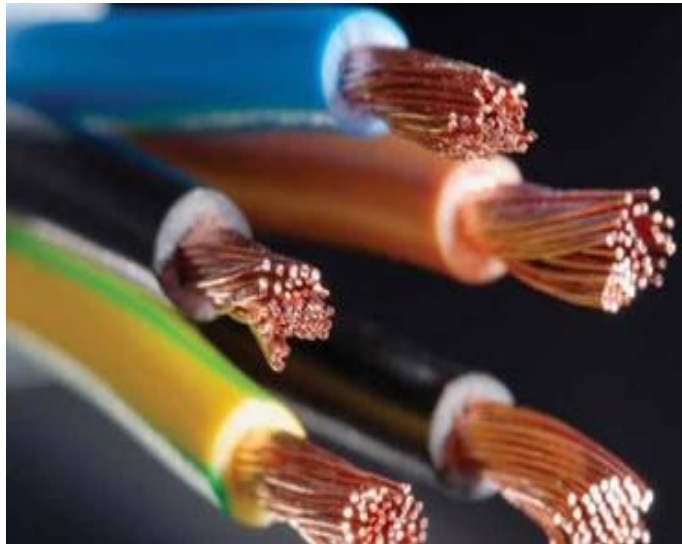


Fuente: <http://bricos.com/productos/marcas/himel/>>Consultado Mayo 12 de 2012.

### **6.1.5 Cableado.**

La función de los cables es conducir la energía eléctrica de un punto a otro para poder aprovecharla, realizar la unión metálica de conexión eléctrica entre los puntos de alimentación y las cargas.

**Figura 7. Cableado**



Fuente: <http://bricos.com/productos/marcas/himel/>>Consultado Mayo 12 de 2012.

## **6.2 INTRODUCCIÓN AL VARIADOR DE VELOCIDAD DANFOSS VLT 2800**

Es importante tener en cuenta algunos aspectos de funcionamiento y operación de este tipo de dispositivo con el fin de evitar errores en la operación, que pueden poner en riesgo al operador y al dispositivo mismo.



El variador de velocidad DANFOSS de la serie VLT 2800 que se utilizara tiene las siguientes características: voltaje de entrada 220/240 V AC, voltaje de salida 0/440 V AC, potencia 3 Hp, corriente nominal 10.2 A.

Este variador ira protegido con una protección trifásica de (220/240V AC – 20 A). La salida de la protección va a la entrada de los fusibles, la salida de los fusibles ira a la alimentación del variador de velocidad L1, L2, L3.

**Figura 8. Dimensiones y conexiones de entrada y salida del variador de velocidad**

**Dimensiones (mm):**

Altura

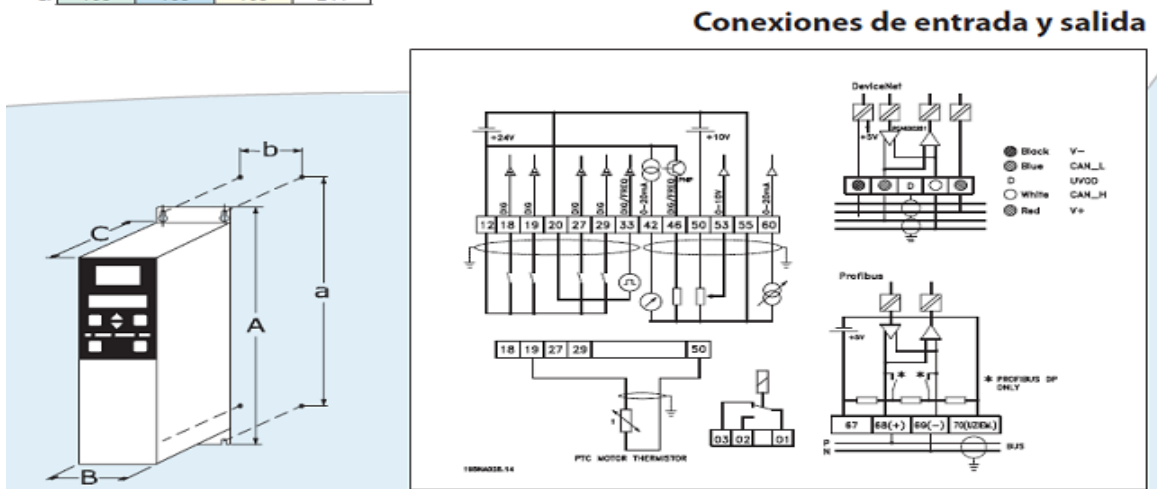
A:	200	267.5	267.5	505
a:	191	257	257	490

Anchura

B:	75	90	140	200
b:	60	70	120	120

Profundidad

C:	168	168	168	244
----	-----	-----	-----	-----



Fuente: [www.danfoss.com/drives](http://www.danfoss.com/drives)> Consultado Abril 13 de 2012.

Para la adaptación del variador de velocidad al módulo de prácticas del laboratorio de máquinas 1 del tecnológico Pascual Bravo Institución Universitaria, se diseñara modulos en lámina de acrílico calibre 0.4 mm de espesor, con las medidas alto 60 cm y ancho 55 cm.

Este módulo tendrá un riel en la parte superior izquierda que será el soporte de la protección trifásica y el relé, cada uno con sus respectivas perforaciones de entradas y salidas para la banana banana hembra que irán separadas entre sí a 4 cm.

Habrá una estructura metálica cuadrada que irá al respaldo de la lámina de acrílico unida por tornillos de  $\frac{1}{4}$  de pulgada, dicha estructura servirá a su vez como soporte trasero para el variador de velocidad mediante unas barras soldadas. Se diseñara una abertura para situar el variador de velocidad, también las perforaciones para las entradas de alimentación de la red y las salidas del variador de velocidad hacia el motor.

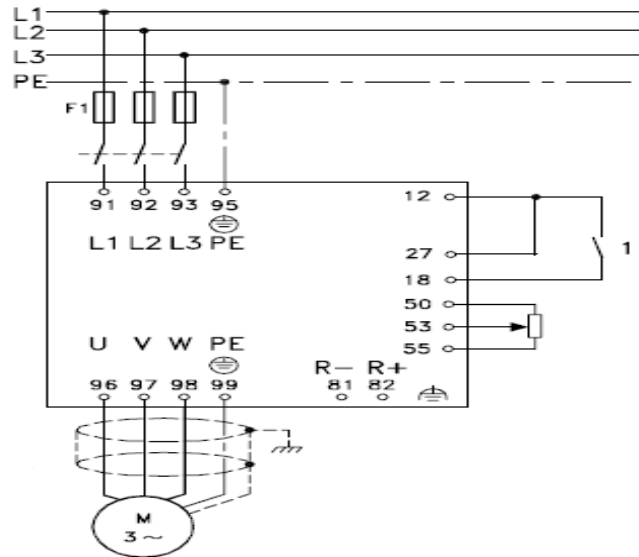
El cableado de la alimentación trifásico será de calibre #12 tipo vehicular de color negro y llevaran sus respectiva marcación de fases.

### **6.3 CONEXIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD**

Conectar la alimentación de la red a los terminales de alimentación del variador de velocidad, 91,92, 93 y la conexión a tierra, al terminal 95.

Instale un cable apantallado/blindado entre el motor y los terminales de motor en el variador de velocidad, U, V, W. el apantallamiento tiene un conector para el mismo.

**Figura 9. Instalación del variador de velocidad**

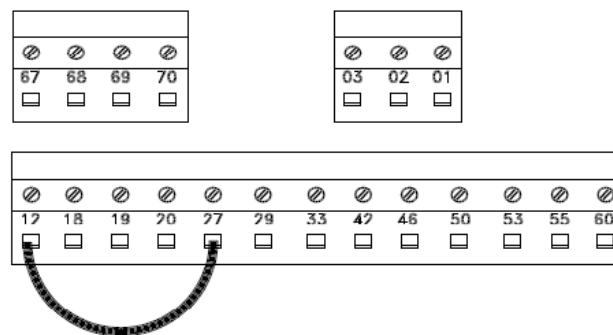


Fuente: [www.danfoss.com/drives](http://www.danfoss.com/drives)> Consultado Abril 12 de 2012.

#### 6.4 INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y CABLES DE CONTROL

Retire la cubierta delantera debajo del panel de control. Coloque un puente entre los terminales 12 y 27.

**Figura 10. Instalación eléctrica el variador de velocidad**



Fuente: [www.danfoss.com/drives](http://www.danfoss.com/drives)> Consultado Abril 12 de 2012.

## 6.5 PROGRAMACIÓN

Realice la programación en el panel de control.

Pulse la tecla [QUICK MENU] para acceder al Menú rápido. En este menú, puede seleccionar los parámetros con las teclas [+] y [-]. Los valores de parámetros se pueden modificar pulsando la tecla [CHANGE DATA]. Los cambios se programan con las teclas [+] y [-]. Valide el cambio de un ajuste de parámetro pulsando la tecla [CHANGE DATA]. La modificación de los valores de parámetros se guarda automáticamente después de un fallo de alimentación eléctrica. Si el display muestra tres puntos a la derecha, significa que el valor de parámetro tiene más de tres dígitos. Para mostrar el valor, active [CHANGE DATA]. Los parámetros más importantes a modificar son:

- Potencia del motor [Kw]
- Tensión del motor [V]
- Frecuencia del motor [Hz]
- Velocidad nominal del motor [Rpm]
- Tiempo de rampa de aceleración [S]
- Tiempo de rampa de desaceleración [S]

## 6.6 ARRANQUE NO INTENCIONADO DEL MOTOR

El motor se puede parar mediante órdenes digitales, órdenes de bus, referencias o parada local, mientras el convertidor esté conectado a la red eléctrica. Si las consideraciones acerca de la seguridad personal hacen necesario asegurarse de que no ocurran arranques no intencionados, estas paradas no son suficientes. El

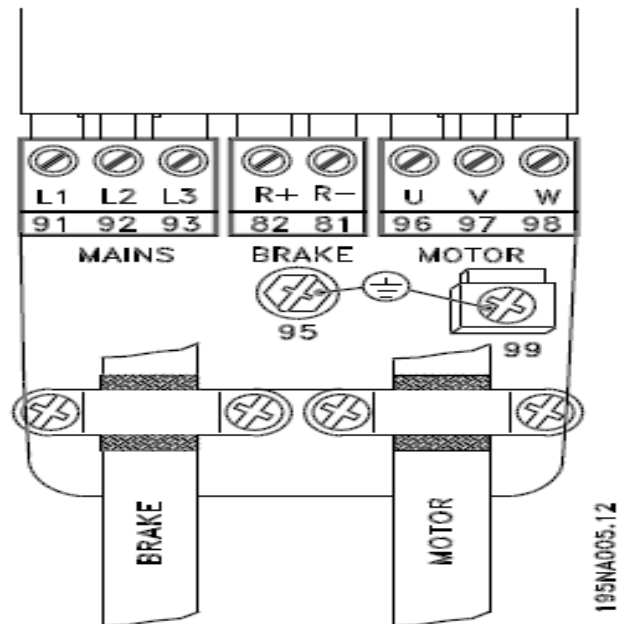
motor puede arrancar mientras se están programando los parámetros. Por este motivo, la tecla de parada [STOP/RESET] siempre debe estar activada, después de lo cual pueden modificarse los datos. Un motor que se ha parado puede arrancar si ocurre un fallo en los componentes electrónicos del convertidor de frecuencia, o si se desaparece una sobrecarga momentánea, un fallo en el suministro de red o un fallo en la conexión del motor.

## **6.7 UNIDAD DE CONTROL**

En la parte delantera del convertidor de frecuencia hay un panel de control y está dividido en cuatro grupos de funciones:

- Display LED de seis dígitos
- Teclas para modificar los parámetros del variador y cambiar funciones del display
- Luces indicadoras
- Teclas para el funcionamiento local
- Instalación eléctrica como lo muestra la figura

Figura 11. Conexión física del variador y borneras del panel

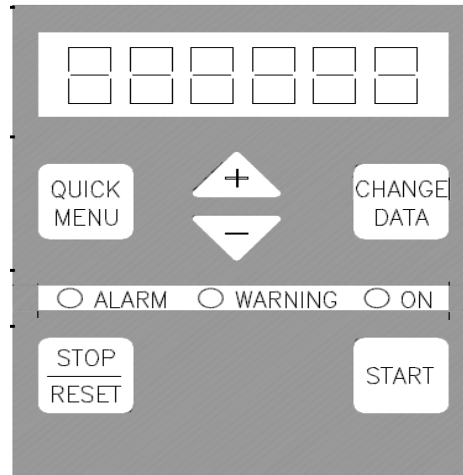


Fuente: [www.danfoss.com/drives](http://www.danfoss.com/drives) consultado Abril 12 de 2012.

Todos los datos se visualizan en un display LED de seis dígitos que puede mostrar un elemento de dato continuamente durante el funcionamiento normal.

## 6.8 TECLAS DE CONTROL

Figura 12. Teclas de control frontal y Display



Fuente: [www.danfoss.com/drives](http://www.danfoss.com/drives). Consultado Abril 12 de 2012.

## 6.9 APLICACIONES

Mediante las funciones del display y de las teclas se puede usar el variador, así: QUICK MENÚ proporciona acceso a los parámetros de menú rápido, CHANGE DATA se utiliza para cambiar ajustes. La tecla también sirve para confirmar un cambio en los ajustes de parámetro, + / -se utiliza para seleccionar parámetros y cambiar sus valores. Estas teclas se utilizan en el modo de display para seleccionar la visualización de un valor de funcionamiento, STOP / RESET sirve para detener un motor conectado o para reiniciar el variador tras una desconexión, START se utiliza para arrancar el variador. Siempre está activada, aunque la tecla start no puede anular un comando de parada.

Practica 1 arranque y control del motor se programó con los valores nominales del motor. Se colocó en marcha el variador y se programaron los siguientes parámetros:

- 1-20 Potencia del motor 3.5 Hp
- 1-22 Voltaje del motor 235 V
- 1-23 Frecuencia del motor 60 Hz
- 1-24 Corriente del motor 13.4 A
- 1-25 Velocidad del motor 1799 RPM
- 3-02 Referencia mínima 5 Hz
- 3-03 Referencia máxima 60 Hz
- 3-41 Tiempo de aceleración 5 S
- 3-42 Tiempo de desaceleración 10 S

Se activó el modo manual de operación y se controló a través del potenciómetro Icpl2 manualmente. Obteniéndose los siguientes resultados

**Tabla 1. Resultados de las prácticas**

Hz	Voltaje	Corriente	RPM
0.0	1.50	0	0
10.5	64	1.84	296
20.0	100	1.6	547.2
30.8	135	1.53	894
40.3	163	1.3	1200
50	200	1.2	1450
60	230	1	1783

Fuente: Tabla realizada por los estudiantes responsables del proyecto.



Se concluye la práctica de arranque del motor con variación de frecuencia a través del variador de velocidad.

Practica 2 funcionamientos del menú y teclas de función. El variador tiene tres tipos de menú:

Status: se trabaja principalmente para lectura de datos y se muestra en el display el valor del parámetro y la lectura del dato seleccionado.

Quick menú: menú rápido con el cual se accede a programar los parámetros de uso más frecuente como los valores nominales del motor.

Main menú: muestra los parámetros del menú principal y su configuración. Se accede a todos los parámetros del variador para profundizar en cada menú y sub menú, ver la tabla 1.5 del manual de funcionamiento.

**6.9.1 Manual y automático.** Durante el funcionamiento normal, el variador de velocidad está en modo automático, en el que la señal de referencia se transmite externamente, analógica o digitalmente mediante los terminales de control. Sin embargo, en modo manual, la señal de referencia se puede transmitir localmente mediante el panel de control.

Cuando el modo manual está activado, las siguientes señales de control permanecerán activas en los terminales de control:

- Arranque manual (LCP2)
- Parada desactivada (LCP2)
- Arranque automático (LCP2)
- Reset
- Parada de inercia inversa

- Reset y parada de inercia inversa
- Parada rápida inversa
- Parada inversa
- Cambio de sentido
- Freno de CC
- Termistor
- Parada precisa inversa
- Parada/arranque preciso
- Velocidad fija
- Comando de parada mediante comunicación serie

## 7. CONCLUSIONES

- Con la adaptación de un variador de velocidad a un módulo de prácticas para motores, se evitan muchos errores que se pueden cometer al conectar inapropiadamente los motores o dispositivos.
- El fácil acceso a la configuración de variador de velocidad y lo sencillo de las funciones básicas, nos permiten un arranque en rampa, buenos tiempos de aceleración y desaceleración, un buen control del cambio de la velocidad en los motores de inducción.
- Con el variador de velocidad se consigue mejorar el rendimiento y desgaste de la máquina.
- Con las prácticas realizadas se obtuvieron los arranques y velocidades deseadas.
- El variador de velocidad permite hallar fallas a través de sus leds de aviso. Led verde indica la alimentación del variador de velocidad, led amarillo indica una advertencia, y el led rojo intermitente indica una alarma.
- Al detectar una falla y se enciende el led rojo intermitente de alarma, se debe desbloquear el variador de velocidad presionando el botón off/reset y luego dejar sin voltaje hasta que se apague el display.

## 8. RECOMENDACIONES

Para realizar prácticas con el variador de velocidad se debe tener en cuenta:

- El voltaje del variador de velocidad es peligroso cuando el equipo está conectado a la red. La instalación incorrecta del motor o del convertidor de frecuencia puede generar daños al equipo, lesiones físicas, o incluso la muerte. Por tanto, es importante respetar las instrucciones del manual, así como las normas, reglamentos de seguridad vigentes.
- Desconecte el variador de velocidad de la red de alimentación para evitar el arranque accidental de cualquier motor.
- No retire las conexiones de la red de alimentación, ni las del motor u otras conexiones de alimentación mientras el variador de velocidad esté conectado a la red.
- Proteja a los usuarios de la tensión de alimentación.
- Proteja el motor contra sobrecargas conforme a la normativa vigente.
- La corriente de fuga a tierra es de 3,2 mA (miliamperios).
- La tecla [OFF] (apagar) no es un interruptor de seguridad. No desconecta el convertidor de frecuencia de la red de alimentación. De manera que se debe tener precaución.

## BIBLIOGRAFÍA

- Tedesco Carlos Francisco. Ascensores Electrónicos Y Variadores De Velocidad, Editorial Alsina
- Acedo Sánchez José. Instrumentación Y Control Básico De Procesos, Ediciones Díaz De Santos S.A. (Madrid, España) Instituto Superior De La Energía, (2006)
- Fraile Mora Jesús. Máquinas Eléctricas. 6ª edición. Editorial McGraw-Hill Interamericana De España S.A. 2008.
- Álvarez Pulido Manuel. Convertidores De Frecuencia, Controladores De Motores, Marcombo S.A. (07/2000)

## CIBERGRAFÍA

- [www.scribd.com/doc/16155171/tableros-electricos/2009](http://www.scribd.com/doc/16155171/tableros-electricos/2009)
- [www.electrocastillo.com/index.php?...termo](http://www.electrocastillo.com/index.php?...termo)
- <http://www.tecnoing.com/descargas.aspx?CatId=BroVarDan>
- [www.slideshare.net/.../trabajo-practico-n-1-los-perifericos](http://www.slideshare.net/.../trabajo-practico-n-1-los-perifericos)
- <http://bricos.com/productos/marcas/himel/>
- [www.isatableros.com/interruptores-termo-magnéticos/2009](http://www.isatableros.com/interruptores-termo-magneticos/2009)
- <http://www.buenastareas.com/ensayos/definicion-de-variadores-de-velocidad/1642859.html>

## ANEXOS

### Anexo A. Vista frontal del módulo de trabajo



**Anexo B. Vista trasera del módulo de trabajo**





**Anexo C. Conexiones protección trifásica y relé**

