

# **EVOLUCION TECNOLOGICA SOBRE VARIADORES DE VELOCIDAD**

**Diego Armando AguaciaAcosta<sup>1</sup>, Diego Fernando Carreño Alba<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Universidad ECCI

Cr 19 No. 49-20

<sup>1</sup>diegoaguacia@hotmail.com

<sup>2</sup>gofdie.17@hotmail.com

## **RESUMEN**

Este artículo pretende dar a conocer que es un variador de velocidad, sus componentes e identificar sus propiedades, así mismo analizar su funcionamiento y de acuerdo al tipo de variador establecer el ideal según la necesidad en el área que se esté trabajando, dar a conocer la importancia de este elemento en la contribución del ahorro de energía en las diferentes industrias ya que de acuerdo a su configuración y programación se puede regular el consumo de un motor e identificar el alcance de un variador de velocidad en el control de un sistema.

**PALABRAS CLAVES:** control, energía, motor, sistema, variador.

## **ABSTRACT**

This article will show that it is a variable speed, its components and identify their properties, also analyze their performance and according to the type of inverter establish the ideal as needed in the area you are working, raising awareness of the importance of this element in the contribution of energy saving in different industries since according to their configuration and programming can regulate the consumption of an engine and identify the scope of a variable speed control of a system.

**KEYWORDS:** Control, energy, inverter, motor, System

## **1. INTRODUCCION**

En la industria moderna cierta parte de los sistemas electrónicos funcionan a velocidades variables, ejemplo máquinas herramientas (Tornos, Fresas, CNC), teleféricos, ascensores, motores hidráulicos, etc., para esto es necesario un sistema de control exacto de la velocidad que se vaya a utilizar y de esta manera alcanzar la productividad deseada de los equipos y así mismo de los procesos bajo estándares de calidad garantizando la seguridad y bienestar del personal, la necesidad de instalación de estos variadores nace del mejoramiento continuo en el proceso operativo y el ahorro de energía eléctrica. Se debe entender que la regulación de velocidad se realiza a través de métodos mecánicos como poleas o engranajes o por medios eléctricos, su importancia radica en que cada caso es particular ya que la elección correcta de las características de los motores y variadores requieren del conocimiento de las particularidades de cada producto.

Los variadores de velocidad son dispositivos que permiten variar la velocidad de un motor controlando electrónicamente el voltaje y la frecuencia entregada al motor, manteniendo el torque constante (hasta la velocidad nominal). [12]

Dentro de las principales funciones de los variadores se encuentra: una aceleración controlada la cual se realiza por medio de una rampa de aceleración lineal o en forma de  $s$ , esta rampa se puede regular y así mismo variar el tipo de aceleración; una variación de velocidad el cual es un sistema en lazo abierto; regulación de velocidad el cual es un variador con seguimiento de velocidad.

La selección de un variador depende del rango de corriente del variador y del motor, seleccionar el voltaje de operación correcto, confirmar el rango de velocidad requerido y verificar el desempeño de la aplicación con sobrecarga.

En el desarrollo del presente artículo se va a identificar el principio de funcionamiento, la evolución a través de los años y las aplicaciones comunes de los variadores de velocidad en el comercio y la industria, el objetivo es transmitir al lector un concepto fundamental en el tema y promover a la investigación del mismo.

## 2. MARCO TEORICO

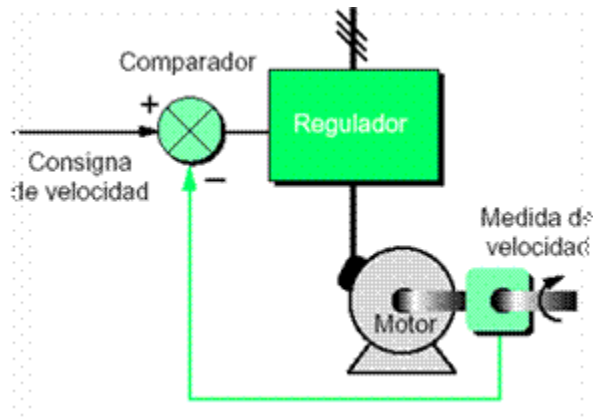
Anteriormente en la implementación y puesta en marcha de los motores eléctricos industriales era predeterminada la disposición de arranque y alimentación directa sobre la red de distribución sin embargo, podía presentar inconvenientes perjudiciales en ciertas aplicaciones e incluso hasta incompatibles con el funcionamiento y procedimiento deseado de la máquina como los siguientes [2]:

- La corriente de arranque ocasionaba alteraciones de otros componentes conectados en la misma red.
- Esfuerzos mecánicos al arrancar o en determinado momento, inaceptables para la máquina y seguridad de los operarios.
- Imposibilidad de obtener las velocidades necesarias manteniendo la eficiencia. [2]

Los arrancadores y los variadores de velocidad eliminan estos inconvenientes. La tecnología electrónica les ha proporcionado mayor flexibilidad y ha ampliado su campo de aplicación, Pero todavía falta elegir bien [2], a continuación se encontraran fundamentos básicos de funcionamiento, evolución e implementación de tan importantes instrumentos industriales.

### 2.1 Funcionamiento.

Históricamente, el variador para motor de corriente continua fue la primera solución propuesta en los años 60 desde entonces los arrancadores y variadores de velocidad electrónicos se han impuesto en la industria como la solución moderna, económica, fiable y más versátil en muchas aplicaciones, en la figura 1 se muestra el principio de funcionamiento de la variación de velocidad [1].



**Figura 1. Principio de funcionamiento de la regulación de velocidad [1].**

Los variadores de velocidad son instrumentos industriales, básicamente dispositivos electrónicos que permiten un completo control de velocidad rotacional en motores eléctricos de inducción; estos motores eléctricos pueden ser alimentados con corriente continua (C.C) en los cuales la variación de velocidad se efectuara por medio de una variación de la tensión, o pueden ser alimentados con corriente alterna (C.A) en los cuales la variación de velocidad se efectuara por medio de una variación de la frecuencia; los más utilizados son los de motor trifásico de inducción y rotor sin bobinar. Estos variadores de velocidad también son denominados como inversores o variadores de frecuencia. [3]

### **2.1.1 Variadores De Velocidad Para Motores De Corriente Continua**

Los variadores de velocidad para dicho tipo de motor han seguido evolucionando en lo que concierne a su etapa de control (comunicación por computadora, panel digital de programación, etc.), mientras que su etapa de potencia (rectificadores controlados mediante tiristores o transistores) permanece invariable [8].

Los motores DC tienen dos componentes principales: armadura y campo. La interacción de los campos magnéticos de ambos componentes provoca la rotación del rotor [8].

Una unidad de potencia de estado sólido transforma la energía AC de alimentación a un voltaje DC ajustable. Este voltaje alimenta a la armadura del motor. La velocidad del motor DC varía proporcionalmente al voltaje de la armadura mientras la corriente de campo del motor es constante, en la figura 2 se muestra un esquema de rectificación controlado por tiristores para este tipo de motor [8].

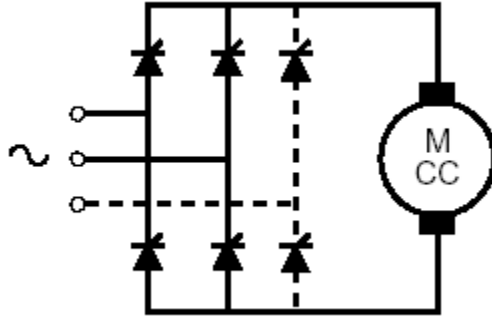


Figura 2. Esquema de rectificador para motor de cc [1]

los Rectificadores Controlados de Silicio (SCR) normalmente llamados “tiristores”, son usados en la unidad de potencia para convertir voltaje AC a un voltaje DC controlado. El SCR conduce corriente cuando un pequeño impulso de voltaje es aplicado a su terminal gate [8] como se muestra en la figura 3.



Figura 3. Funcionamiento del tiristor [8].

Matemáticamente en este tipo de motores se cumple la siguiente expresión:

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

Donde

$V_t$  es el Voltaje suministrado

$K$  es la constante de la máquina.

$FM$  es el Flujo magnético producido por el campo

$Nm$  es la Velocidad mecánica (rpm).

Luego para obtener las revoluciones requeridas se despeja:

$$N_m = \frac{Vt}{K*FM} \quad (2)$$

### 2.1.2 Variador De Velocidad Para Motores De Corriente Alterna

También conocido como variador de frecuencia (VFD, Variable Frequency Drive) es un sistema electrónico diseñado para controlar la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (C.A) por medio de la variación de la frecuencia del voltaje suministrado al motor y a la misma vez variando dicho voltaje para evitar la saturación del flujo magnético al elevarse la corriente lo cual dañaría el motor, convirtiendo entonces necesariamente las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables. [4]

Los variadores de frecuencia son una tecnología emergente empujada por la evolución de los componentes de electrónica de potencia y los microprocesadores, a continuación se muestra el diagrama de un variador de frecuencia: [5]

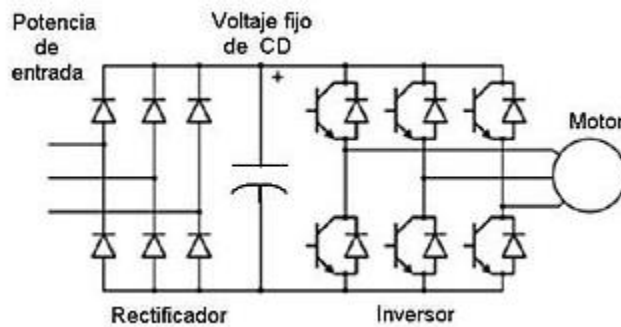
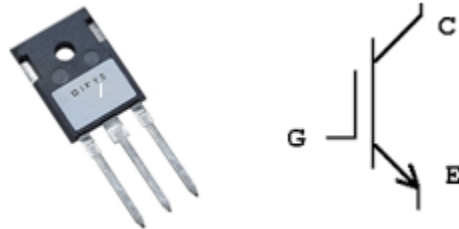


Figura 4. Diagrama de un variador de frecuencia [6]

El funcionamiento básico de este sistema consiste en:

- Etapa Rectificadora: Convierte la tensión alterna en continua mediante rectificadores de diodos, tiristores, etc. [6]
- Etapa intermedia: Actúa como filtro para suavizar la tensión rectificada y reducir la emisión de armónicos. [6]

- 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-transistores bipolares de puerta Aislada) para generar los pulsos controlados de tensión. Los equipos más modernos utilizan IGBT's inteligentes que incorporan un microprocesador con toda la protección por sobre corriente, sobre tensión, baja tensión, cortocircuitos, puesta a masa del motor, sobre temperaturas, etc. A continuación se muestra imagen de transistor IGBT: [6]



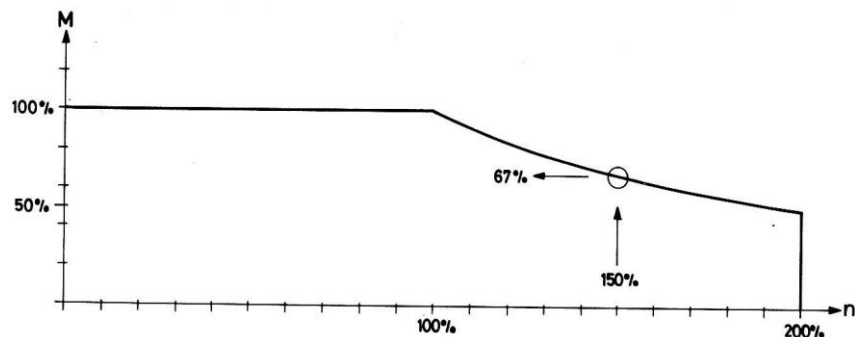
**Figura 5. Imagen física y simbólica de un transistor IGBT [7]**

El transistor IGBT es un dispositivo semiconductor que generalmente se utiliza como interruptor controlado en circuitos de electrónica de potencia siendo adecuado para velocidades de conmutación de hasta 20 kHz. La tensión de control de puerta es de unos 15 V. ofreciendo la ventaja de controlar sistemas de potencia aplicando una señal eléctrica de entrada muy débil en la puerta. [7]

- 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. [6]

#### Relación De Variación De Velocidad Y Torque

Como se mencionó anteriormente los variadores de frecuencia varían proporcionalmente a esta el voltaje de alimentación, luego los motores se fabrican para una velocidad nominal o de trabajo determinada por lo cual con frecuencias mayores a las nominales su eficiencia en cuanto a torque va disminuyendo, lo cual será útil en algunas aplicaciones pero en otras le afectara como se muestra en la siguiente figura 6 : [7]



**Figura 6. Curva torque (M) vs velocidad (n) [7]**

Esto también quiere decir, que el Torque depende directamente del flujo magnético, por lo cual para obtener el control del Torque, hay que operar sobre este parámetro; por ello, si tenemos en cuenta las relaciones de torque y velocidad tenemos la siguiente expresión: [7]

$$\text{Torque constante} = \text{flujo constante, en consecuencia } \frac{V}{f} \text{ Constante.} \quad (3)$$

V = Voltaje

f = Frecuencia

Se comprende que el factor  $V/f$  tiene especial importancia en la forma de configurar un variador, ya que de ahí dependerá el Torque motriz desarrollado por el motor, sin importar la velocidad de giro como se muestra en la siguiente figura. [7]

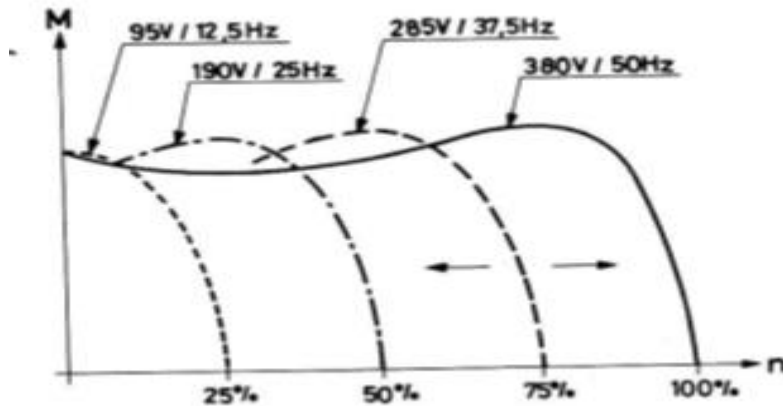


Figura 7. Configuración de voltaje y frecuencia para un torque constante [7]

Una de las importantes finalidades de utilizar variadores de frecuencia es el poder mantener constante la eficiencia del motor.

## 2.2 Desarrollo Y Evolución De Los Variadores De Velocidad

El principio fundamental de los variadores de velocidad tiene su inicio en la mecánica, los primeros reguladores de velocidad son sistemas mecánicos de poleas o ruedas dentadas en diferentes diámetros que se organizan en relación a sus diámetros para ampliar o reducir la velocidad del sistema, estos sistemas son utilizados actualmente en algunos mecanismos para transmisión de potencia (Cajas de velocidades Vehículos, Tornos convencionales), en la figura 8 observamos un variador de velocidad regulado por un mecanismo de piñones.



**Figura 8 Variador de velocidad mecánico**

En 1924 Nikola Tesla desarrolla y patenta el motor de corriente alterna por inducción, motor que con sus características de funcionamiento de acuerdo a la frecuencia de energía aplicada la velocidad de giro de su rotor cambia. De esta forma la idea de variar la velocidad se transfiere a regular la frecuencia de energía inyectada al motor a través de un alternador de CA. [9]

Durante los años 1950 a 1970 se implementó la regulación de velocidad con el sistema Ward -Leonard un sistema más simple pero con el mismo principio del implementado por Nikola Tesla, este sistema ya era un sistema multimotor con capacidad de regular la velocidad de varios motores de forma sincrónica modificando simplemente frecuencia de energía entregada a través del alternador de frecuencia. [9]

Entre los años 70 y 80 se desarrolla la tecnología de variadores de velocidad 6 y 10 pasos de frecuencia, estos equipos eran voluminosos y costosos y su aspecto se asemejaba al de un transformador de corriente, requerían de refrigeración por aceite y era necesario ubicar el variador lo más cerca al motor. Prácticamente exclusivos en ventiladores, bombas y cintas transportadoras. [9] [10]

Durante los años 90 con la aparición de las tecnologías de la electrónica y la aparición de los software de programación de las tecnologías inteligentes y los mandos lógicos programados Un sistema de Variador de Velocidad actual es aquel que tiene la facultad de convertir la energía eléctrica en un movimiento mecánico, manteniendo el control de consumo de energía y potencia requerido para mover el sistema. [11].

En relación al artículo de investigación de la “Revista Electroindustria” en los últimos tres años, la demanda de variadores de velocidad en el sector industrial está aumentando gracias a su éxito en distintas aplicaciones y sus ventajas en el ámbito de ahorro de energía, optimización de procesos y control de plantas a través de sistemas de comunicación remotos. [12]

En la actualidad los variadores se complementan con una variedad de funciones integradas que ayudan a regular y ajustar adecuadamente el variador según la necesidad del operador o programador según sea su rol. Dentro del avance tecnológico reflejado en los últimos años se destacan las funciones de diálogo que ayudan al usuario a identificar los valores de temperatura, corriente, y tensión de los motores, de una forma más rápida y efectiva. [13]

En la Figura 9 observamos el modelo de un variador de velocidad con configuración PLC y comunicaciones análogas y digitales.





**Figura 9. Fotografía de un variador que incluye  
Numerosas funciones integradas (ATV58H -  
Telemecanique) [13]**

El principio fundamental de los variadores de velocidad se refleja en la complejidad de su estructura electrónica y de su gran ventaja de controlar la velocidad de los motores. Adicionalmente en la actualidad es claro es que los variadores toman la señal lineal de corriente alterna, la pasa por un rectificador, la transforma en corriente continua y mediante su electrónica la modula y la convierte en una frecuencia. No obstante toda su estructura electrónica, hardware y Software cumplen adicionalmente como un factor de seguridad en la protección de los motores. [12]

Otra parte interesante en la evolución de los variadores y relacionada al porqué de la alta demanda en la implementación de estos equipos en la industria, Es que en algunos equipos se incorporan funciones de PLC, con comunicaciones analógicas de interfaz de usuario, que brinda al usuario herramientas de monitoreo y control al operador. [12]

El desarrollo elevado de la electrónica y los microprocesadores en los últimos años fortalecen las características de los variadores convirtiéndose en una herramienta importante en la industria en el ahorro de consumo de energía. Esta característica lo convierte en un grande controlador de la implementación industrial en la automatización de procesos. [14]

### **2.3 Ventajas Y Aplicaciones Del Variador De Velocidad.**

Los variadores de velocidad son dispositivos que permiten controlar electrónicamente la frecuencia entregada a un motor para regular su velocidad permitiendo ahorrar energía. [15]

Para seleccionar un variador de velocidad se recomienda tener en cuenta lo siguiente.

1) Características técnicas al motor a controlar :

a) Corriente máxima

- b) Voltaje nominal
  - c) Frecuencia nominal
  - d) Compatibilidad con un variador de velocidad
- 2) Tipo de carga de acuerdo al torque o par , velocidad
- a) Torque constante
  - b) Torque Variable o Cuadrático
- 3) Condicionales ambientales.
- 4) Calidad de energía y condiciones de red eléctrica.

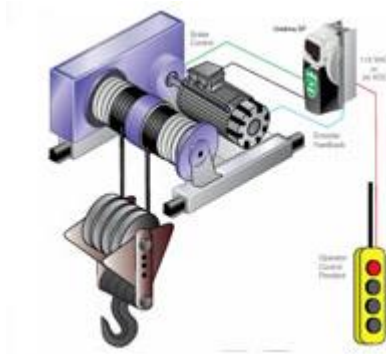
Teniendo en cuenta lo anterior en la actualidad se encuentran diferentes tipos de variadores de velocidad, lo que nos permite escoger el ideal de acuerdo a la aplicación o carga que se desea controlar.

Para control de motores de torque cuadrático (bombas, ventiladores), El variador de velocidad está diseñado para operar de manera segura y silenciosa sobre el arranque y freno del motor, garantizando una vida útil de los componentes eléctricos y mecánicos del sistema por mayor tiempo, Normalmente para este tipo de sistemas , se utilizan variadores con control PWM (Vectorial) con rangos de frecuencia de 0-400 Hz, con capacidad de sobrecarga típicas de 120% 1m/10m; 200% Tnom en arranque, en rangos de tensión desde 380 hasta 690V (ver figura 10), controlando el sistema en un mínimo de revoluciones con cargas reducidas es posible lograr reducir el consumo de energía en un 60%. [14]



**Figura 10. Variador de Velocidad P/Ventilador de Techo B Puro [16]**

Para cargas con torque constante a cualquier velocidad como grúas, molinos, correas transportadoras, ascensores prensas de imprenta, etc., se recomienda utilizar variadores de velocidad con control directo de torque, es importante aclarar que en este tipo de aplicaciones los variadores no ahorran energía debido a que su consumo también es constante y está directamente relacionado al torque constante, (ver figura 11). [15]



**Figura 11. Aplicación variador de velocidad puente grúa [17]**

Para aplicaciones de carga constante, es frecuente utilizar variadores con control directo de torque, frecuencia común de 0 a 400 Hz, sobrecarga de 150% hasta 400%  $T_{nom}$  en arranque, el control directo de torque brinda energías de arranque bajas, lo que permite utilizar fusibles de bajo amperaje, se evidencia un gasto de energía mínimo lo que ayuda al motor a tener menos carga y fatiga mecánica al motor, aumentando su vida útil. [14]

De igual manera que los motores eléctricos convencionales los variadores de velocidad deben tener un sistema de refrigeración que depende del ambiente al cual se someta el equipo. Es decir que la altura a nivel de mar, la atmosfera, la temperatura, la humedad y demás exposiciones físicas a las que se exponga el equipo afectarán positiva o negativamente la refrigeración del variador. [11]

Es de importancia tener en cuenta aspectos asociados como son las características propias medio donde se instala el variador tales como.

- Polvo magnético
- Polvo conductivo
- Humedad

En la gran mayoría de sistemas, los variadores de velocidad son instalados dentro gabinetes que deben cumplir con características mínimas de instalación ambiental, proporcionado por el fabricante en el manual del usuario, es de importancia cumplir con estos mínimos requisitos para garantizar el debido funcionamiento del equipo y evitar las posteriores fallas. [9]

Revisando la gama de variadores de velocidad que se encuentran en el mercado usualmente estos equipos cuentan con los siguientes rangos de conexión tensión eléctrica, de 200 a 240 V, de 220 a 230 V, de 380 a 480 V o de 575 a 690 V. y teniendo en cuenta que en las redes industriales de tensión en Colombia son de 220V, 440 V, 460 V el ultimo rango en variadores de velocidad no sería funcional en nuestras redes, teniendo en cuenta que los variadores de velocidad regulan la frecuencia la diferencia de las redes Europeas que son de 50 Hz con las de Estados Unidos, Países de Centro América y Sur América en estos últimos Colombia es de 60 Hz los variadores tiene la facultad de trabajar es estas dos condiciones sin ningún problema.[11]

### 3. CONCLUSIONES

- Se identificaron los variadores de Velocidad como un sistema de regulación de frecuencia de energía que está evolucionando con los cambios tecnológicos de la electrónica y herramienta fundamental para el ahorro de energético en la industria.
- Una de las importantes finalidades de utilizar variadores de frecuencia es el poder mantener constante la eficiencia en los procesos industriales.
- A través del estudio por el estado del arte realizamos la lectura de diferentes artículos y se comprende que el principio de funcionamiento del variador está ligado directamente al tipo de motor y torque requerido en la aplicación.
- Es importante tener en cuenta en los próximos estudios a realizar que la evolución tecnológica es fundamental en la parte electrónica y que la investigación se debe enfocar más a esta ciencia.

## REFERENCIAS

- [1] Daniel Clenet, Schneider Electric, cuaderno técnico n. 208, [http://www.infoplc.net/files/documentacion/motion\\_control/infoPLC\\_net\\_CT208\\_Arrancadores\\_y\\_variadores\\_velocidad\\_electronicos.pdf](http://www.infoplc.net/files/documentacion/motion_control/infoPLC_net_CT208_Arrancadores_y_variadores_velocidad_electronicos.pdf)
- [2] Arturo Iglesias Castro, Arrancadores y variadores de velocidad electrónicos, <http://es.slideshare.net/aicvigo1973/arrancadores-y-variadores-de-velocidad-electronicos-16484029?related=15>
- [3] misiku\_mich, variadores de frecuencia (drives) [http://es.slideshare.net/misiku\\_mich/variadores-de-frecuencia-drives?related=17](http://es.slideshare.net/misiku_mich/variadores-de-frecuencia-drives?related=17)
- [4] Cristian stiven Gallego Rivera, Variadores de Velocidad, <http://es.slideshare.net/cristianstiveng1/variadores-de-velocidad?related=18>
- [5] construcción de Variador de frecuencia, capítulo 2, <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20/5/Capitulo2.pdf>
- [6] Francisco Nazar, Variadores de Velocidad, <http://es.slideshare.net/FranciscoNazar1/variadores?related=1>
- [7] Mauricio Jeria, Variadores de Frecuencia, [ingenieros.es/files/proyectos/Variadores\\_de\\_frecuencia.pdf](http://ingenieros.es/files/proyectos/Variadores_de_frecuencia.pdf)
- [8] Franco Follano, Variador de velocidad de Motor DC, <http://es.scribd.com/doc/98738022/Variador-de-Velocidad-de-Motor-DC#scribd>
- [9] “Vocational Training” <http://vfd-training.com/vfd-history/> (2015)
- [10] Miguel Cirre “Evolución de los Convertidores de Frecuencia” pp. 60-61 (2004)
- [11] WEG Transformando Energía en Soluciones, *Selección y aplicación de sistemas de velocidad variable*, pp. 1 – 5 (2013)
- [12] “Variadores de frecuencia: Responsables de perfeccionar la acción de los motores” <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1014#> (2008)

- [13] Schneider Electric “Cuaderno Técnico n° 208 Arrancadores y variadores de velocidad electrónicos” pp. 1- 28 (2003)
- [14] “Ahorro de energía con Variadores de Velocidad” <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1005&tip=7> (2008)
- [15] SIEMENS “Guía práctica de selección y puesta en marcha de variadores de velocidad SinamicsG110/ Micromaster 420(aplicaciones sencillas/estandar).” Pp. 1-4 (2009)
- [16] “Soluciones Electricas SICA” <http://www.sicaelec.com/catalogo/producto/204-1810-variador-de-velocidad-p-ventilador-de-techo-b-puro> (2014)
- [17] “Aplicación de Variadores de velocidad” [http://www.selecsacatalogo.com/variadores\\_de\\_velocidad\\_polipastos.html](http://www.selecsacatalogo.com/variadores_de_velocidad_polipastos.html) (2009)