



REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”

Trabajo de Diploma

En opción al Título de Ingeniero Eléctrico

Título: Interface de comunicación para evaluar sinergia en variadores de velocidad ALTVAR.

Diplomante: Yunior Cabrera Aballe

Tutores: Dr. Luis Delfín Rojas Purón

MC. Gabriel Hernández Ramírez

Ing. Daniel Mendiola Ellis

Curso, 2010-2011
“Año 53 de la Revolución”



Agradecimientos

La realización de este Trabajo de Diploma y mi éxito profesional no fuese posible sin la contribución de algunas personas a quienes quisiera agradecer:

Agradezco a mi familia por guiarme en los momentos más difíciles y gracias por creer en mí.

A mis tutores Dr. Luis D. Rojas Purón, MC Gabriel Hernández Ramírez, Ing. Daniel Mendiola Ellis, por sus consejos y orientaciones durante la realización de este trabajo.

A todos los profesores, por los conocimientos y experiencia que me transmitieron, su incuestionable nivel científico unido a su pedagogía y humildad, hago llegar mi más sincero respeto y gratitud.

Agradezco a mis vecinos por el apoyo prestado.

Agradezco a todos los compañeros del laboratorio eléctrico de la fábrica Pedro Sotto Alba por instruirme de valiosos conocimientos.

A mis compañeros de aula por su ayuda brindada ante mis estudios y por vivir una fabulosa experiencia durante cinco años.



Dedicatoria

*A mis padres: Giraldo Cabrera García y
Grisel Aballe París.*

*A mi Hijo: Ernesto Alejandro Cabrera
Serrano*

A mi esposa: Damisela Serrano Brunet

A toda mi familia



Pensamiento



El que quiere hacer algo busca soluciones, el que no quiere nada busca justificaciones.

Ernesto Che Guevara



Índice

<i>Título: Interface de comunicación para evaluar sinergia en variadores de velocidad ALTIVAR.</i>	I
<i>Agradecimientos</i>	II
<i>Pensamiento</i>	IV
<i>Resumen</i>	1
<i>Summary</i>	2
<i>Situación Problemática</i>	3
<i>Problema</i>	3
<i>Hipótesis</i>	3
<i>Objetivo</i>	3
<i>Resultados esperados</i>	4
<i>Capítulo 1</i>	5
Capítulo 1: Inversor Sinusoidal de tensión a PWM.	6
1.1 Introducción.....	6
1.2 Estado del arte de Inversores Sinusoidales de Tensión a PWM.	8
1.3 Esquemas principales de moduladores a PWM.	9
1.4 Algoritmos de control a PWM.	12
1.5 Conclusiones parciales.....	20
<i>Capítulo 2</i>	21
Capítulo 2: Descripción del variador de velocidad ALTIVAR 71	22
2.1 Introducción.....	22
2.2 Descripción del variador.....	23
2.3 Esquema de potencia y circuito de mando.....	25
2.4 Protocolos de comunicación.....	29
2.5 Aplicaciones en accionamientos con bombas centrífugas.....	34
2.6 Conclusiones parciales.....	42
<i>Capítulo 3</i>	43

V

Título: Interface de comunicación para evaluar sinergia en variadores de velocidad ALTIVAR
Autor: Yúnior Cabrera Aballe



Capítulo 3 Base experimental de los inversores de Sinusoidal Tensión a PWM.....	44
3.1 Introducción.....	44
3.2 Base experimental de los inversores Sinusoidal de Tensión a PWM	44
3.3 Análisis estadísticos de los datos experimentados	44
3.4 Conclusiones parciales.....	46
<i>Capítulo 4.....</i>	<i>47</i>
Capítulo IV sinergia	48
4.1 Introducción.....	48
4.2 Descripción del esquema de simulación	48
4.3 Evaluación de la sinergia	49
4.4 Interface construida por el Toolboxes GUI de MATLAB.....	53
4.5 Mapa de memoria del variador de velocidad ALTIVAR 71	57
4.6 Códigos de MATLAB para crear la interface	60
4.6 Principios de Algoritmos Genéticos	66
4.7 Fundamentos de AG	67
4.8 Conclusiones parciales.....	71
<i>Capítulo 5.....</i>	<i>72</i>
Capítulo V Valoración Económica.....	73
5.1 Introducción.....	73
5.2 Cálculo de los costos de explotación	73
5.3 Gastos de inversiones	74
5.4 Cálculo del tiempo de amortización	75
<i>Conclusiones Generales</i>	<i>77</i>
<i>Recomendaciones.....</i>	<i>78</i>
<i>Bibliografía.....</i>	<i>79</i>



Resumen

En este trabajo se elabora una interface de comunicación entre una estación de trabajo en soporte MATLAB de un PC y un variador de velocidad ALTIVAR, que opera con carga variable en un circuito RLC de un motor de inducción trifásico de jaula de ardilla.

La estructura de la interface se basa en varios bloques de adquisición de datos usando terminales de protocolos Modbus-USB.

En el caso de estudio se desarrolla con un observador del índice de modulación del Inversor Sinusoidal de Tensión a PWM, que cambia con respecto a la corriente de carga del circuito inversor RLC que lo constituye el motor de inducción. Las condiciones de cargas variables son ajustadas con el uso de un bloque difuso.

Es de interés, el bloque acondicionador de señales, que es modelado desde el MATLAB, y ofrece una evaluación de la sinergia del sistema. Se incluye además, la base teórica experimental del circuito de potencia obtenida desde una interface gráfica, ayudada por el toolbox GUI de MATLAB.



Summary

This paperwork is intended to create a communication interphase between a workstation under PC MATLAB support and ALTIVAR which will be operate by variable charge in a RLC circuit of a thee phase cage induction motor.

The interphase structured is based on several data acquiring blocks which will use Modbus-USB protocol ends.

The studied case is carried out with an index reader of sinusoidal. In the case of study it is developed with an observer of the index of modulation of the Voltage Sinusoidal Inverter to PWM that it changes with respect to the current of load of the investing circuit RLC that constitutes the induction motor. The conditions of multisession charges are fit with the use of a diffuse block.



Situación Problémica

Cuando se opera un motor de inducción con un variador de velocidad a diferentes valores de corriente en el circuito de carga se crea una variación de la cantidad de información por lo que se hace necesario conocer los diferentes parámetros de las variables eléctricas en el accionamiento.

Problema

La posibilidad de evaluar la sinergia del variador de velocidad ALTIVAR, cuando se opera con alta variabilidad en la corriente del circuito de carga, y diferentes índices de modulación de un inversor sinusoidal de tensión a PWM, presentes para condiciones de cargas mecánicas de turbo-máquinas de accionamientos con motor de inducción, de hidro-transporte de pulpa laterítica de mineral de níquel.

Hipótesis

Mediante el estudio de los principales índices informativos en los protocolos comunicación de variadores de velocidad ALTIVAR, cuando este opera con apreciable entropía de información, es posible entonces elaborar un adecuado protocolo de comunicación que permita evaluar con una aproximación, la sinergia del sistema.

Objetivo

Elaborar una interface informática que permita evaluar la sinergia del variador de velocidad ALTIVAR, operando en condiciones industriales.



Resultados esperados

- ✓ Describir el variador de velocidad ALTIVAR operando en condiciones industriales.
- ✓ Elaborar una interface informática para evaluar la sinergia del sistema del circuito inversor.
- ✓ Montar el esquema de la interface para las condiciones de carga variable del accionamiento con motor de inducción.
- ✓ Ofrecer la simulación de la interface a diferentes estados de cargas del circuito inversor a PWM asistido por MATLAB.



Capítulo 1



Capítulo 1: Inversor Sinusoidal de tensión a PWM.

1.1 Introducción

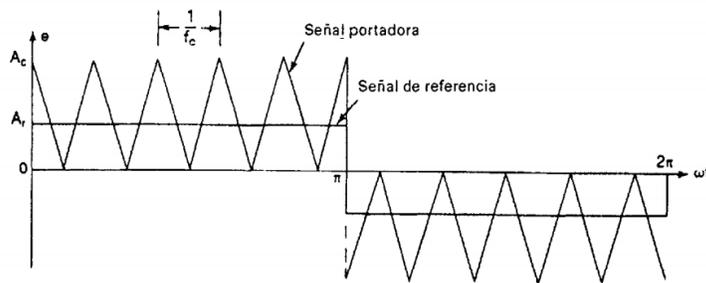
Los convertidores de corriente directa a corriente alterna se conocen como inversores. La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada en corriente directa a un voltaje simétrico de salida en corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada. Tanto el voltaje de salida como la frecuencia pueden ser fijos o variables. Si se modifica el voltaje de entrada de corriente directa y la ganancia del inversor se mantienen constantes, es posible obtener un voltaje variable de salida. Por otra parte si el voltaje de entrada en corriente directa es fijo y no es controlable, se puede obtener un voltaje de salida variable si se varia la ganancia del inversor, esto por lo general se hace controlando la modulación del ancho de pulso (PWM) dentro del inversor. La ganancia del inversor se puede definir como la relación entre el voltaje de salida en corriente alterna y el voltaje de entrada en corriente directa.

En los inversores ideales, las formas de onda del voltaje de salida deberían ser sinusoidales. Sin embargo, en los inversores reales no son sinusoidales y contienen ciertos armónicos. Para aplicaciones de mediana y baja potencia, se pueden aceptar los voltajes de onda cuadrada o casi cuadrada; para aplicaciones de alta potencia, son necesarias las formas de onda sinusoidales de baja distorsión. Dada la disponibilidad de los dispositivos semiconductores de potencia de alta velocidad, es posible minimizar o reducir significativamente el contenido armónico del voltaje de salida mediante las técnicas de conmutación.

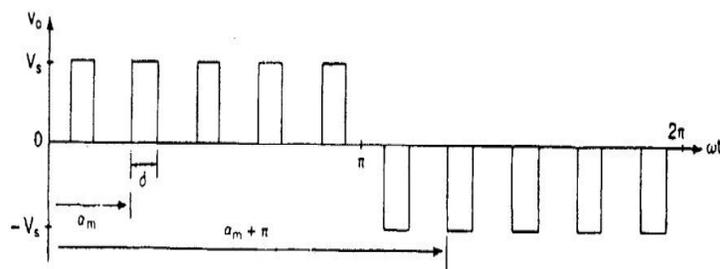
Los inversores se pueden clasificar básicamente en dos tipos: (1) inversores monofásicos y (2) inversores trifásicos. Cada tipo puede utilizar dispositivos con activación y desactivación controlada, (es decir BJT, MOSFET, IGBT, MCT, SIT, GTO) o tiristores de conmutación forzada, según la aplicación. Estos inversores utilizan por lo general señales de control PWM, para producir un voltaje de salida en corriente alterna. Un inversor se llama *inversor alimentado por voltaje* (VSI) si el voltaje de entrada se conserva constante; *inversor alimentado por corriente* (CFI) si la corriente de entrada se conserva constante; e *inversor enlazado en corriente directa variable* si el voltaje de entrada es controlable.



Utilizando varios pulsos en cada medio ciclo de voltaje de salida puede reducirse el contenido del armónico. La generación de señales de excitación para activar y desactivar los transistores aparece en la figura 1, mediante la comparación de una señal de referencia con una onda portadora triangular. La señal de referencia establece la frecuencia de salida, ω_0 , la frecuencia de la portadora, ω_c , determina número de pulsos por cada pulsos p. el índice de modulación controla el voltaje de salida. El índice de modulación controla el voltaje de salida. Este tipo de modulación también se conoce como modulación uniforme de ancho de pulso (UPWM). El número de pulsos por medio ciclo se determina a partir de $m = \frac{\omega_c}{\omega_0}$ donde $m = \frac{\omega_c}{\omega_0}$ y se define como la relación de modulación de la frecuencia. La variación del índice de modulación M desde 0 hasta 1 varía el ancho de pulso desde 0 hasta π y el ancho de voltaje de salida desde 0 hasta V_s .



Generación de la señal de excitación



Voltaje de salida

Figura 1 Modulación de varios anchos de pulsos



1.2 Estado del arte de Inversores Sinusoidales de Tensión a PWM.

Los inversores se emplean con regularidad en varedores de velocidad de Corriente Alterna como fuentes ininterrumpibles (UPS) y otras aplicaciones, de las cuales los varedores de velocidad continúan siendo la aplicación de mayor crecimiento y desarrollo de los inversores. Un inversor utilizado con este propósito debe tener la posibilidad de variar a la vez, el cuándo se mantiene una relación aproximadamente constante del voltaje y frecuencia de la salida para evitar la saturación magnética en el motor. Como se mencionó voltaje y la frecuencia de acuerdo con la velocidad u otro requerimiento del control. Esto se requiere anteriormente, los inversores de fuente de voltaje son clasificados, generalmente, en dos tipos: Modulación por Amplitud de Pulso (PAM) y Modulación por Ancho de Pulso (PWM). Estos inversores se desarrollaron a principios de los 60 cuando se introdujeron las técnicas de conmutación forzadas, como los esquemas de conmutación de McMurray-Bedford. Los inversores de fuente de voltaje PAM, normalmente utilizados en aplicaciones industriales de baja y media potencia, han sido totalmente reemplazados por los inversores PWM. El propósito de la modulación PWM es generar una onda de salida de la magnitud y frecuencia deseada, con una composición de pulsos de ancho variable. En las últimas décadas han sido propuestas varias estrategias de conmutación PWM.

Primeramente, todas las estrategias de conmutación estuvieron basadas en técnicas de implementación analógicas. Estas técnicas, gradualmente, han sido sustituidas por técnicas digitales. Actualmente la mayoría de las técnicas de conmutación PWM están basadas en esquemas de control implementados con microprocesadores. El control y el modelado de los accionamientos de corriente alterna son muchos más complejos que aquellos de corriente directa. Dentro de las máquinas de corriente alterna, los motores de inducción con rotor tipo de jaula de ardillas son el caballo de hierro de la industria debido a su bajo costo y a otras características enumeradas previamente. Al ser operado directamente desde las líneas de voltaje (a 60 Hz de entrada con un voltaje esencialmente constantes), los motores de inducción opera a una velocidad casi constante. Sin embargo, con el uso de la electrónica de potencia es posible variar la velocidad del motor.



Entonces, es necesario tener convertidores capaces de proporcionar frecuencia variable y una fuente de poder con el menor contenido de armónico posible. Aún más dificultades se encuentran al procesar las señales retroalimentadas en la presencia de armónicos. Normalmente se utilizan convertidores módulo dos por ancho de pulso (PWM, Pulse Width Modulation) alimentados por voltaje con la finalidad de resolver este problema. Existen numerosas técnicas que han sido desarrolladas en los últimos años. A pesar de que estas soluciones proporcionan un buen desempeño, aún existe presencia de errores debido a estados transitorios, a la estimación de variables de estado y rizado debido a armónicos.

Sin embargo, la existencia de cada vez más poderosos **Procesadores Digitales de Señales** (DSP, Digital Signal Processor) para el control de accionamientos eléctricos proporciona grandes oportunidades para mejorar la modulación mediante algoritmos un poco más complejos, como la modulación **PWM por vectores espaciales** (SV-PWM), Space Vector Pulse width Modulation). De hecho, este tipo de modulación tiene ciertas ventajas sobre otros métodos como un menor contenido de armónicos en las señales de corriente y voltaje y un índice de modulación alto.

A continuación se presenta un tipo en específico de convertidores fuente de voltaje, el **Inversor Fuente de Voltaje** (VSI, Voltaje Source Inverter), y la estrategia de modulación utilizada en el presente proyecto de investigación.

1.3 Esquemas principales de moduladores a PWM.

El Inversor Fuente de Voltaje (VSI, Voltaje Source Inverter) es un dispositivo que recibe un voltaje de corriente directa y lo convierte en corriente alterna. El inversor es alimentado por una fuente de voltaje a la entrada y su impedancia de Thevenin debe ser idealmente cero. El voltaje de corriente directa puede ser fijo o variable y puede ser obtenido de una línea o de una máquina rotatoria de corriente alterna a través de un rectificador y un filtro. La salida en este caso será trifásica y la forma de onda puede ser tipo PWM, entre otras la figura 2 muestra el funcionamiento del VSI, el cual acepta un voltaje de corriente directa como entrada y produce una salida de corriente alterna, la cual alimenta al motor de inducción.

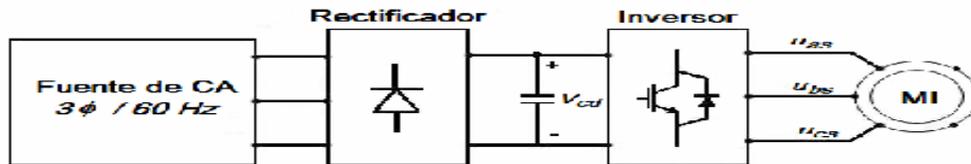


Figura 2 Inversor Fuente de voltaje en un accionamiento con motor de inducción

En este tipo de convertidores los dispositivos semiconductores de potencia por lo general quedan polarizados directamente debido al voltaje de alimentación de corriente directa; por lo tanto, dispositivos controlados como los GTOs, BJTs, IGBTs, MOSFETs de potencia e IGCTs son adecuados. Un diodo de libre retorno es conectado en paralelo con cada dispositivo para tener libre flujo de corriente inversa con la finalidad de evitar daños al semiconductor. Un aspecto muy importante es que la forma de onda de voltaje de corriente alterna no es afectada por los parámetros de la carga.

El VSI básicamente actúa como una interfaz entre el sistema de alimentación y el motor de inducción y satisface los siguientes requerimientos:

- Ajusta la frecuencia de acuerdo con la velocidad de salida.
- Ajusta el voltaje de salida para mantener un flujo en el entrehierro constante en la región de operación de par constante del motor de inducción.
- Proporciona una corriente nominal de forma continua a cualquier frecuencia

1. Inversor Fuente de Voltaje con Modulación Ancho de Pulso (VSI- PWM). El voltaje de corriente directa es esencialmente constante en magnitud y se usa un rectificador a diodos para rectificar el voltaje de línea. El inversor debe controlar la magnitud y la frecuencia de los voltajes de corriente alterna de salida. Esto es logrado por la modulación de forma que los voltajes de salida sean lo más parecidos posibles a una señal senoidal. Entre ellos está el PWM senoidal (SPWM – Sinusoidal PWM), PWM de eliminación armónica seleccionada (SHE PWM – Selected Harmonic Elimination PWM), PWM de corriente de rizado mínima, PWM de vectores espaciales (SV – PWM – Space Vector PWM), PWM aleatorio, PWM



con control de corriente por banda de histéresis, PWM senoidal con control de corriente instantánea, modulación delta, y modulación sigma – delta.

2. **Inversores Fuentes de Voltaje de onda cuadrada.** El voltaje de entrada de corriente directa es controlado para controlar la magnitud del voltaje de salida. La forma de onda de salida de corriente alterna es similar a la onda cuadrada.

En ambos VSIs, un capacitor grande es utilizado para lograr que la entrada al inversor sea similar a la de una fuente de voltaje con una impedancia interna muy baja a la frecuencia de conmutación del inversor de la figura 3.

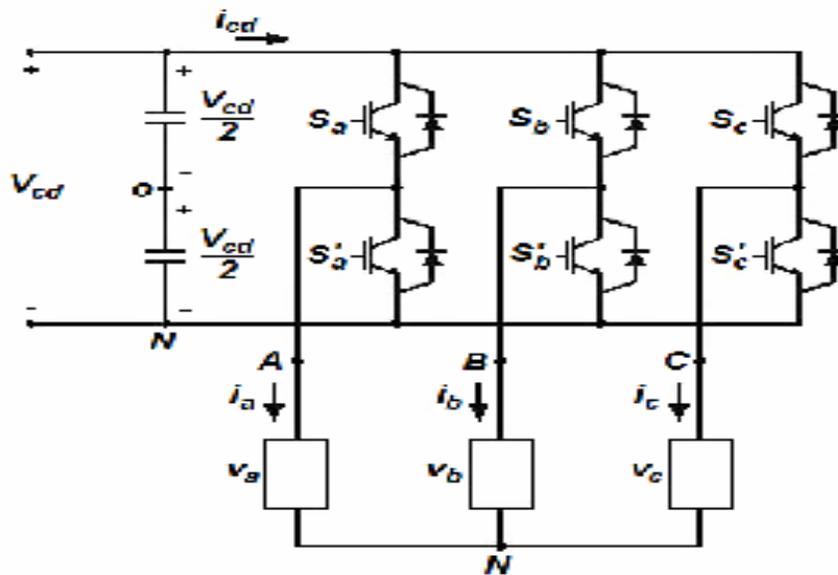


Figura 3. Inversor fuente de voltaje trifásica

El inversor trifásico más utilizado consiste en tres ramas, una para cada fase, como se muestra en la figura. La salida de cada rama, por ejemplo de voltaje V_{an} (con respecto al bus negativo de corriente directa), dependen solo de V_{cd} y el estado del interruptor. El voltaje de salida es independiente de la corriente de salida de la carga ya que siempre uno de los interruptores de la rama esta encendido (cerrado) a cada instante. Esta consideración es válida si se ignora el tiempo muerto en cada conmutación asumiendo que los interruptores son ideales.



1.4 Algoritmos de control a PWM.

En este trabajo se utiliza el (VSI- PWM), el funcionamiento PWM senoidal, como se dijo anteriormente, el objetivo es el de dar forma y controlar los voltajes de salida trifásicos balanceados para la salida es necesario utilizar una forma de onda triangular, V_{tri} , que es comparada contra tres voltajes senoidales de control desfasados 120° entre sí, como se muestra en la figura.

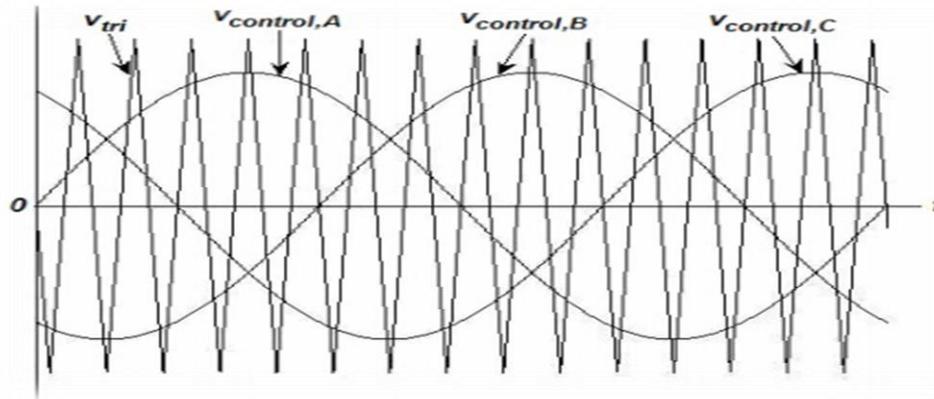


Figura 4. PWM Senoidal: forma de onda de señales de control y portadora.

La frecuencia de la señal triangular portadora, F_s , establece la frecuencia de conmutación del inversor y es por lo general constante junto con su amplitud. Las señales de control, $V_{control}$, son usadas para modular el ciclo de trabajo para los inversores y tienen frecuencia F_f , la cual es la frecuencia fundamental deseada del voltaje de salida del inversor. Obviamente, el voltaje de salida no será una senoidal perfecta y poseerá componentes de voltajes a frecuencias de armónicas de f_r .

El índice de modulación de amplitud es definido como

$$\text{---} (1.1)$$

Donde $V_{control}$ y V_{tri} son las amplitudes pico de la señal de control y de la señal portadora, respectivamente. Asimismo, el índice de modulación de frecuencia es definido como



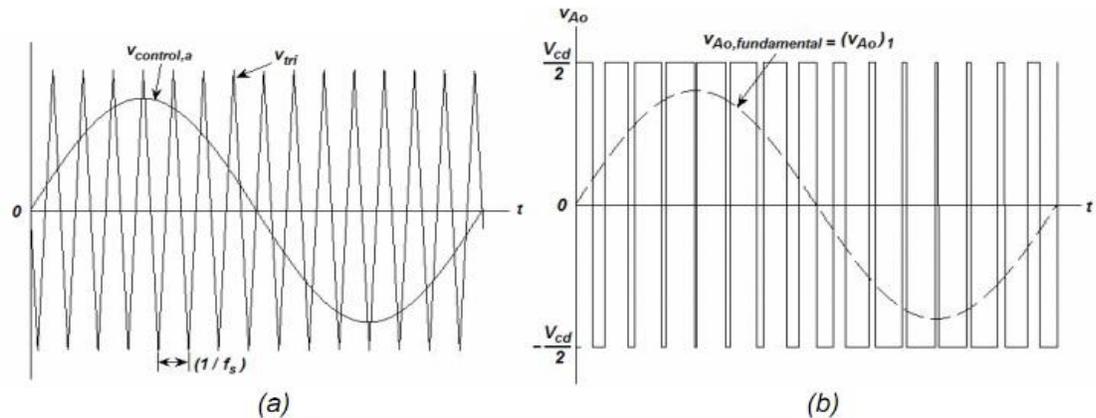
— (1.2)

Del inversor e la figura 2, considerándose únicamente la rama de la fase a. Los interruptores S_a y S'_a son controlados al comparar las señales $V_{control}$ y V_{tri} . Los siguientes voltajes de salida resultan (independientemente de la corriente de salida)

$$S_a \text{ ON,} \quad V_{A0} = + \quad (1.3)$$

$$S'_a \text{ ON} \quad V_{A0} = - \quad (1.4)$$

El voltaje de salida V_{A0} fluctúa entre dos valores dado que se consideran interruptores ideales, como se dijo previamente (es decir, nunca están apagados simultáneamente). En la figura 3 se ilustran las formas de ondas características de la modulación para una $M_f = 15$ y $M_a = 0.8$. En la figura 5(a) se muestra la señal de control senoidal de la fase a y la portadora triangular. Asimismo en la figura 5 (B) se observan la señal de voltaje de salida V_{A0} y su componente de frecuencia fundamental. El espectro armónico de v_{Ac} se muestra en la figura 5 (c), donde los voltajes de armónicos normalizados $(V_{A0})_h / (0.5 V_{cd})$ que tienen amplitud significativa son graficados.



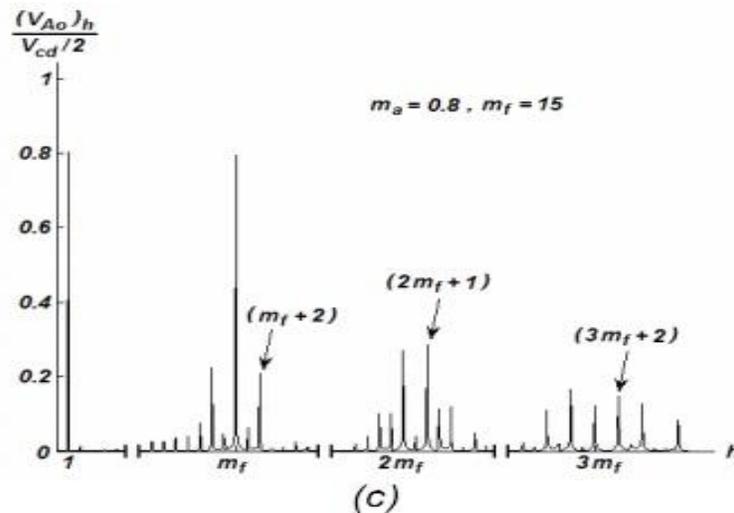


Figura5. Modulación Ancho de Pulso (PWM): (a) señal portadora triangular y de control de la fase a; (b) componente fundamental y voltaje de salida; (c) espectro armónico de la señal de salida.

De la figura 3 se pueden observar algunas características importantes:

1. La amplitud pico de la componente de frecuencia fundamental (V_{A0}), es m_a veces $0.5 V_{cd}$. Esto puede explicarse considerando una $V_{control}$ constante durante cada período de conmutación como se muestra en la figura 5(a). Lo anterior resulta en la forma de onda V_{ac} . El voltaje de salida promedio durante cada periodo de conmutación como se muestra en la figura 5(a). Lo anterior resulta en la forma de onda V_{ac} . El voltaje de salida promedio durante un período de conmutación V_{ac} depende de la razón de $V_{control}$ a V_{tri} para un V_{cd} dado, o bien

$$V_{A0} = \frac{V_{control}}{V_{tri}} \cdot V_{cd} \quad (1.5)$$

Si $V_{control}$ varía muy poco durante el período de tiempo de tiempo de conmutación, es decir, que m_f es grande se puede considerar lo anterior, como se muestra en la figura 4 (b).

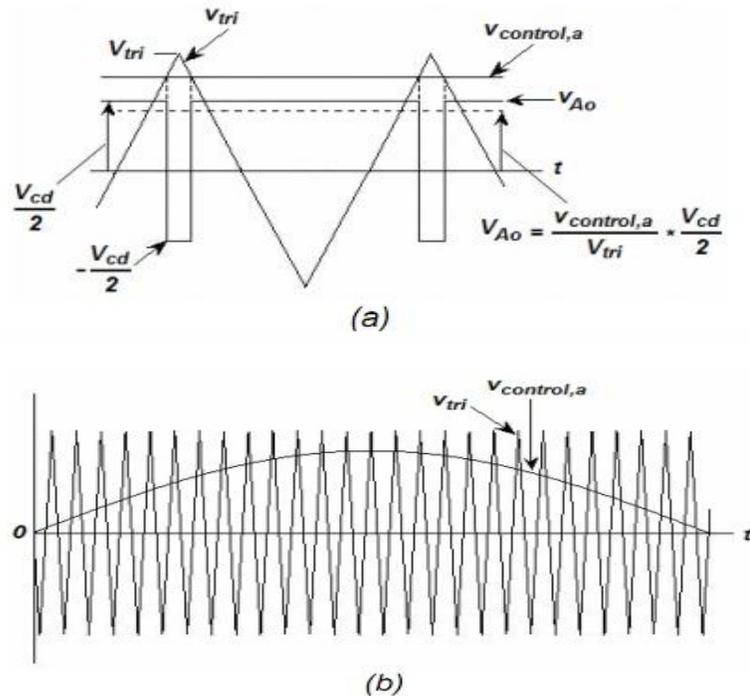


Figura 6. PWM Senoidal: señal de control constante en un período de tiempo de conmutación; (b) señal portadora triangular y de control de la fase a.

De hecho, $V_{control}$ se escoge senoidal para proporcionar una salida de voltaje senoidal con menos armónicos. Considerándose que el voltaje de control varía senoidalmente a la frecuencia $f_1 =$, la cual es la frecuencia deseada (fundamental) a la salida del inversor.

El hecho de que la componente de frecuencia fundamental V_{Ao} varía senoidalmente y en fase con $V_{control}$ como función de tiempo, se obtiene que

$$\begin{aligned}
 (v_{Ao})_1 &= \frac{V_{control}}{V_{tri}} \sin \omega_1 t \frac{V_{cd}}{2} \\
 &= m_a \sin \omega_1 t \frac{V_{cd}}{2} \quad \text{para } m_a \leq 1.0 \\
 (V_{Ao})_1 &= m_a \frac{V_{cd}}{2} \quad \text{para } m_a \leq 1.0
 \end{aligned}
 \tag{1.6}$$



1. Los armónicos a la salida del inversor aparecen como bandas laterales centradas en la frecuencia de conmutación y sus múltiplos (alrededor de los armónicos m_f , $2m_f$ y así en adelante) es útil observar que el voltaje de fase está dado por

$$-V_{cd} \quad (1.7)$$

Por lo tanto, los componentes armónicos de (V_{an}) y (V_{a0})

2. El armónico m_f es un entero impar. El escogerlo de esta forma resulta una simetría impar y de media onda. De esta forma los armónicos pares desaparecen de la forma de onda V_{A0} .

Si se hacen las consideraciones anteriores a las otras dos fases se tienen el esquema completo para el inversor.

Como puede observarse el esquema en la figura 5 (a), existe una cantidad idéntica de componente promedio de corriente directa presentes en los voltajes de salida V_{an} y V_{bn} , los cuales son medidos al bus negativo de corriente directa. Estos componentes se cancelan en los voltajes de línea a línea, como se muestra en la figura 5(B).

En los inversores trifásicos sólo los armónicos de los voltajes de línea a línea son de interés. Los armónicos a la salida de cualquiera de las ramas del inversor, por ejemplo, V_{an} en la figura 5(a) son idénticos a los armónicos de V_{A0} en la figura 3.

Considerando el armónico de m_f (lo mismo se aplica para los múltiplos impares), la diferencia de fase entre el m_f armónico en V_{an} y V_{bn} es $(120m_f)^\circ$. Esta diferencia de fase será cero (múltiplo de 360) si m_f es impar y múltiplo de 3. Como consecuencia, el armónico en m_f se suprime del voltaje de la línea V_{AB} . El mismo argumento se aplica en la supresión de armónicos en los múltiplos impares de m_f si m_f es un múltiplo impar de 3 (de esta forma se eliminan los armónicos pares). De esta forma, algunos armónicos dominantes considerando solo una fase pueden eliminarse del voltaje línea a línea del inversor trifásico, como se muestra en la figura 5(c).

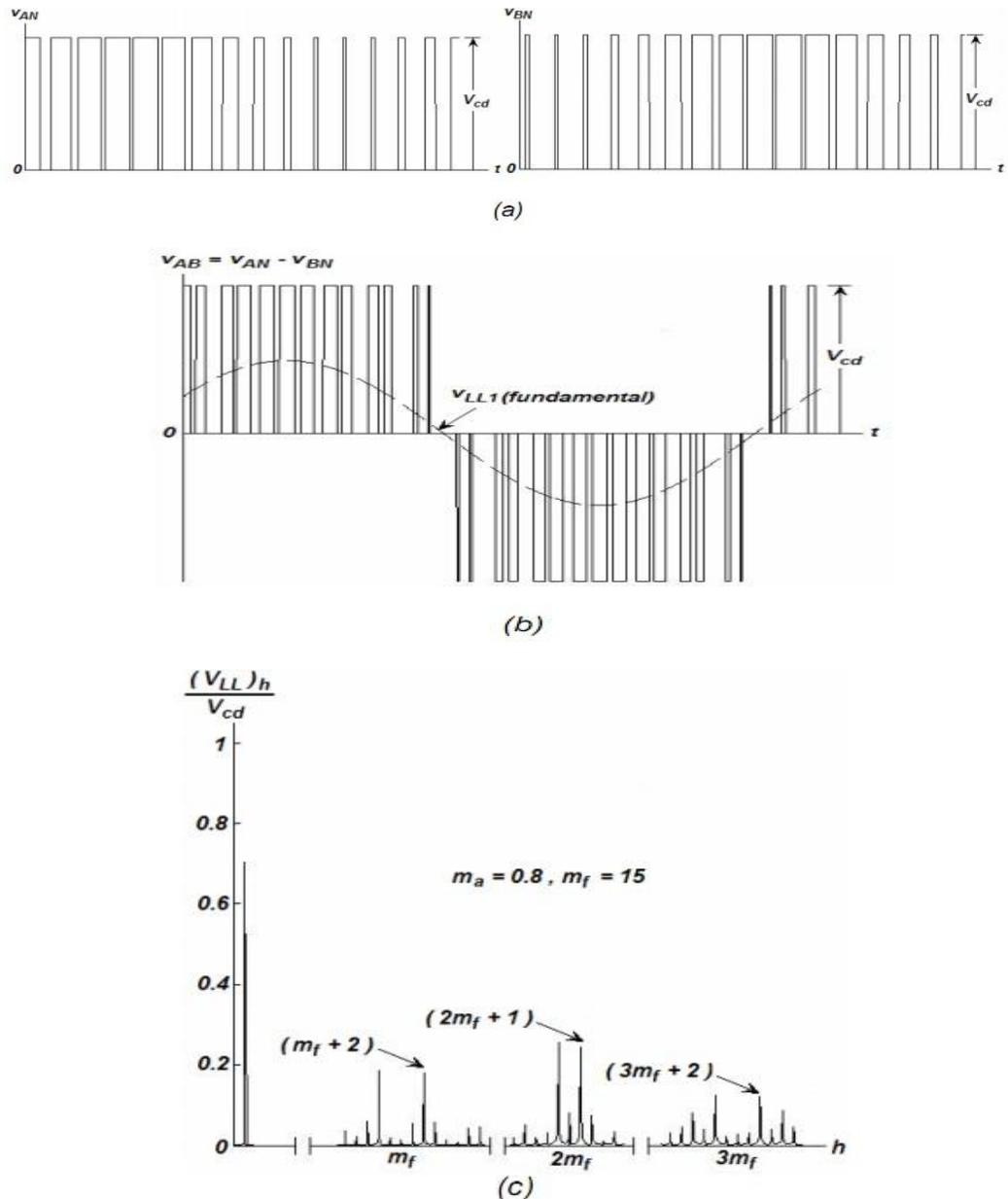


Figura 7 formas de onda del PWM senoidal 3- (a) voltajes de fase de salida; (b) voltajes de línea a línea de salida y componente fundamental; (c) espectro armónico.

Para el PWM sinodal se debe considerar lo siguiente:

1. Para valores pequeños de m_f , para armónicos pares, debe utilizarse un PWM sincronizado y m_f debe ser impar. Si m_f es múltiplo de 3 se cancelan los armónicos más dominantes en el voltaje de línea a línea.



2. Para valores grandes de m_f , las amplitudes de los subarmónicos debidos a un PWM no sincronizados son pequeñas. Puede ser usado cuando la frecuencia de la señal triangular es constante y la frecuencia de $V_{control}$ varía, resultando en valores no enteros de m_f . Sin embargo el inversor acciona a un motor de corriente alterna, los subarmónicos cercanos a frecuencia cero, a pesar de ser pequeños en amplitud, resultan corrientes de una amplitud grande indeseables.
3. Durante la sobremodulación, independientemente del valor de m_f , la condición 1 debe ser observada.

La selección de la frecuencia de conmutación f_s y el índice de modulación de frecuencia m_f son de gran importancia. Debido a la relativa facilidad para filtrar voltajes armónicos a alta frecuencia, es deseable utilizar una frecuencia de conmutación lo más alta posible. Sin embargo existe una desventaja; las pérdidas en los interruptores del inversor se incrementan proporcionalmente con la frecuencia de conmutación f_s . Por lo tanto, dicha frecuencia de se selecciona en muchas ocasiones mayor a 20 KHz para que sea superior al rango audible. En aplicaciones como la del motor de inducción (50 – 60 Hz) donde la frecuencia fundamental a la salida del inversor puede ser requerida tan alta como 200 Hz, m_f puede ser 9 o menor para una f_s a 2 KHz. Sin embargo, m_f será mayor a 100 para frecuencias de conmutación mayores a 20 KHz.

Asimismo, si los valores de control pico son mayores que el valor pico de la señal portadora triangular (caso de sobremodulación), la magnitud del voltaje fundamental no se incrementa proporcionalmente con m_a . en la figura 6 se muestra el valor rms del voltaje fundamental de línea a línea V_{LL1} como función m_s . Para valores muy altos de m_s el PWM degenera a la operación en onda cuadrada del inversor, el cual resulta un máximo valor de V_{LL1} igual a $0.78 V_{cd}$. En la región de sobremodulación existen más armónicos centrados alrededor de las frecuencias de los armónicos m_f y sus múltiplos, pero los dominantes no tienen una amplitud tan grande como en la modulación lineal. Por lo tanto, las pérdidas en la carga debido a frecuencias armónicas no son tan altas. Cabe destacar que las gráficas y figuras desarrolladas previamente fueron realizadas con el software computacional MATLAB®/SIMULINK®.

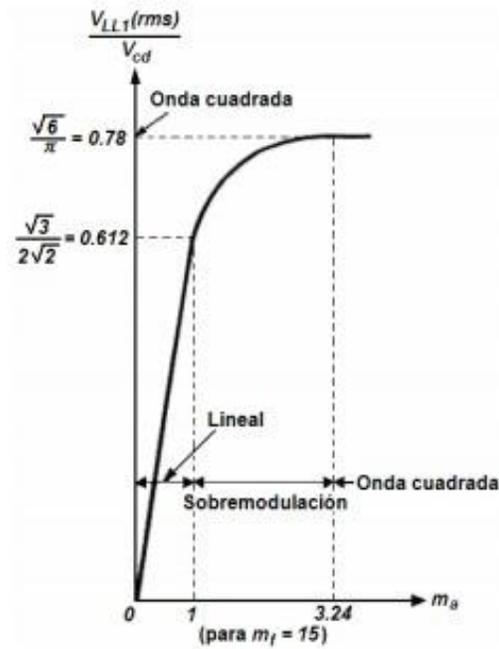


Figura 8 $V_{LL1}(RMS)/V_{cd}$ como función de m_a .



1.5 Conclusiones parciales.

- ✓ En este capítulo se trataron los diferentes aspectos relacionados con el inversor sinusoidal de tensión a PWM.
- ✓ Se logró ejemplificar brevemente el estado de los inversores sinusoidales de tensión.
- ✓ Se analizaron los esquemas principales y sus dispositivos electrónicos.



Capítulo 2



Capítulo 2: Descripción del variador de velocidad ALTIVAR 71

2.1 Introducción

Sin duda alguna los accionamientos a base de motores eléctricos son los más numerosos en la mayoría de las aplicaciones industriales, y dentro de ellos los basados en motores de corriente continua han gozado de una total hegemonía en el campo industrial durante décadas entre otras razones porque la variación de la velocidad está en función de la variación de la tensión de alimentación. No obstante es un motor con un elevado costo de mantenimiento. En la actualidad el motor con menor nivel de exigencias en el mantenimiento son los motores trifásicos, asíncronos tipo jaula de ardilla o rotor en cortocircuito, debido a que carecen de colector, tienen una relación peso-potencia mucho menor que los de continua, y por tanto también un costo significativamente más bajo. Cuanta además con capacidad de soportar sobrecargas y su elevado rendimiento, lo hace el motor más atractivo para la industria de hoy en día, no obstante una limitación era la no fácil variación simultánea del par y la velocidad. Los dispositivos conocidos como **variadores de frecuencia** que como veremos también lo son de tensión, han cambiado drásticamente esta limitación.



2.2 Descripción del variador

El variador de velocidad Altivar 71 es un inversor de frecuencia para motores asíncronos de jaula de ardilla de 0,37 a 500 kW. Sus funciones evolucionadas y sus prestaciones en lazo abierto y lazo cerrado le permiten responder perfectamente a las exigencias de las máquinas complejas y de altas potencias. Fiable y robusto, el Altivar 71 asegura un servicio sin interrupción. Resiste las caídas de tensión hasta - 50 %, disminuye las perturbaciones de las instalaciones con sus filtros RFI y soporta temperaturas de hasta 50°C. Posee una amplia gama de certificaciones de calidad de conformidad con los estándares: baja tensión en 50178 y IEC 61800-5-1. Emisores conductivos y radiados CEM: entorno 2 (sector industrial)- IEC 61800-3, EN 55011 - EN 55022. En cuanto al grado de protección: IP21 hasta 75 kW en 380/480 V y hasta 45kW en 220/ 240 V. Para valores más altos que estos, se cumple con el grado de protección agregando el kit de conformidad IP21. En cuanto a la Temperatura ambiental de operación: de -10 a +50°C sin reducir la capacidad normal. Operación hasta 60°C reduciendo la capacidad normal y usando un kit de control de ventilación acorde con el rango de tensión. Para una altitud máxima de operación: 1000 m sin reducir la capacidad normal, para valores más altos se reduce la capacidad de la corriente 1% por cada 100 m adicionales. Limitado a 2000 m del sistemas de distribución eléctrica referidos a tierra (TT ó TN-S). En cuanto a la humedad relativa: 95 %, sin condensación, ni goteo de agua. Conforme con IEC 60068-2-3. Las condiciones ambientales: IEC 721-3-3, clase 3C1 y 3S2. Conforme con clase 3C2 para la versión reforzada del Altivar 71 (y el sufijo S337 para ordenar la referencia). En cuanto a la alimentación: 200V -15% 240V +10%, trifásica para ATV71 pueden ser usados para operación monofásica reduciendo la capacidad nominal del variador por un punto y agregando un inductor.

Posee un terminal gráfico extraíble El "joystick" de navegación permite un acceso rápido y sencillo a los menús desplegados. La pantalla gráfica muestra de forma clara los textos en 8 líneas de 24 caracteres. Puede conectarse en enlace multipunto a diversos variadores. Se suministra con 6 idiomas instalados de base (español, alemán, inglés, chino, francés e italiano). Se pueden cargar otros idiomas mediante flasheado. Hasta 15 kW, el variador Altivar 71 puede pedirse con un terminal de 7 segmentos integrado. El



software de programación PowerSuite permite la configuración, el ajuste y la puesta a punto del variador Altivar 71, así como del conjunto de los demás variadores de velocidad y arrancadores de Telemecanique. Puede utilizarse en conexión directa, a través de Ethernet, por medio de una conexión inalámbrica por Bluetooth por medio de una conexión wireless .

Macroconfiguración

El variador Altivar 71 ofrece una programación rápida y sencilla por macroconfiguración que corresponde a aplicaciones o usuarios diferentes: marcha/paro, manutención, elevación, uso general, conexión a redes de comunicación, regulador PID, maestro/esclavo. Cada una de las configuraciones sigue siendo totalmente modificable. El menú “Arranque rápido” permite asegurar en pocos pasos el funcionamiento de la aplicación, optimizar el funcionamiento y asegurar su protección. La arquitectura, la jerarquización de los parámetros y las funciones de acceso directo ofrecen una programación simplificada y rápida, incluso para funciones complejas las cuales están contenidas dentro del sistema.

Servicios

- El variador Altivar 71 integra numerosas funciones de mantenimiento, supervisión y de diagnóstico:
- Funciones de test de variadores integradas con pantalla de diagnóstico en el Terminal gráfico extraíble.
- Imagen de las entradas/salidas.
- Imagen de la comunicación en los diversos puertos.
- Función de osciloscopio visualizable con el software de programación PowerSuite.
- Gestión del parque del variador gracias a los microprocesadores flasheables.
- Uso de estas funciones a distancia mediante la conexión del variador a un módem a través de la toma Modbus.
- Identificación de los elementos que constituyen el variador así como de las versiones de software.
- Históricos de los fallos con el valor de 16 variables cuando aparece el fallo.
- Flasheado de los idiomas del terminal.
- Se puede memorizar un mensaje de 5 líneas de 24 caracteres en el variador.



Terminal gráfico

Códigos de estado del variador:

- ACC: Rampa aceleración
- CLI: Limitación de intensidad
- CTL: Parada controlada tras pérdida de fase de red
- DCB: Frenado por inyección de corriente continua en curso
- DEC: Rampa deceleración
- FLU: Magnetización del motor en curso
- FST: Parada rápida
- NLP: Potencia no alimentada (sin red en L1, L2, L3)
- NST: Parada en rueda libre
- OBR: Deceleración autoadaptada
- PRA: Función Power removal activada (variador bloqueado)
- RDY: Variador listo
- RUN: Variador en marcha
- SOC: Corte aguas abajo controlado en curso
- TUN: Autoajuste en curso
- USA: Alarma de sub tensión

2.3 Esquema de potencia y circuito de mando

El menú [ARRANQUE RÁPIDO] (SIM-) debe configurarse sólo o antes que otros menús de configuración del variador. Si previamente se ha realizado una modificación en uno de éstos, en particular en [CONTROL MOTOR] (drC-), algunos parámetros de [ARRANQUE RÁPIDO] (SIM-) pueden modificarse como, por ejemplo, los parámetros del motor si se ha elegido un motor síncrono. Regresar al menú [ARRANQUE RÁPIDO] (SIM-) después de haber modificado otro menú de configuración del variador no tiene ningún efecto pero tampoco supone un riesgo. Para no complicar inútilmente la lectura de este capítulo, no se describirán los cambios que siguen a una modificación de otro menú de configuración.

Macro configuración

La macro configuración permite la configuración rápida de las funciones de un dominio de aplicación específico.

Se distinguen siete macro configuraciones:

- marcha/paro (configuración de fábrica)
- manutención



- uso general
- elevación
- regulador PID
- bus de comunicación
- maestro/esclavo

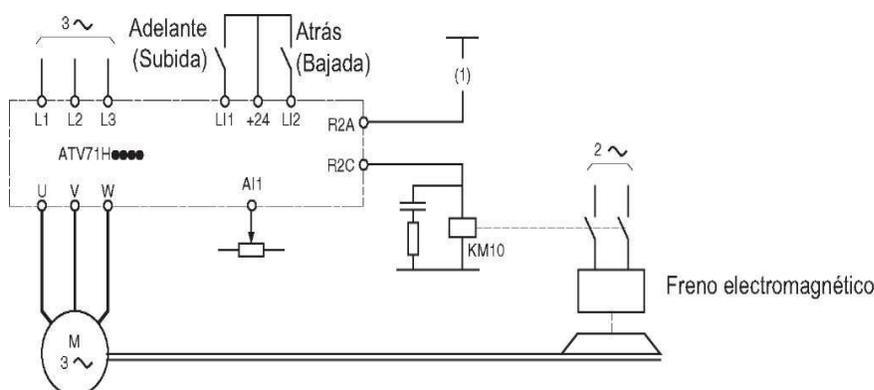


Figura 9 Esquema de conexión del variador con el motor para frenado.

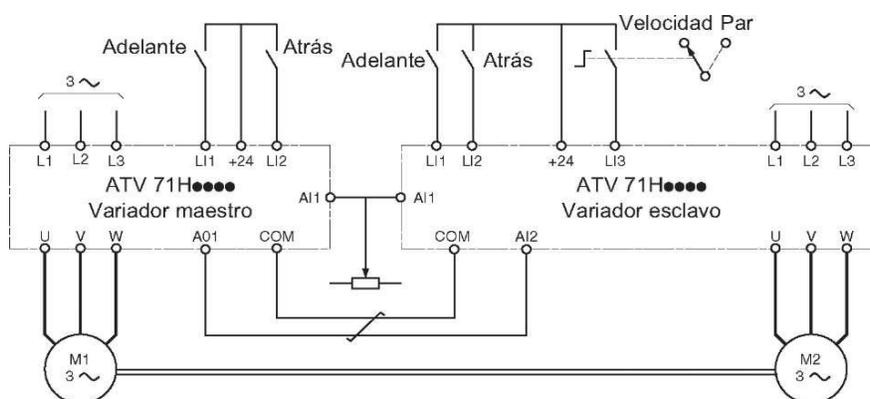


Figura 10 Esquema de conexión de 2 motores y 2 variadores de velocidad.

Cuando los dos motores están vinculados mecánicamente el cierre del contacto velocidad/par conlleva el funcionamiento en modo maestro/esclavo. El variador maestro



regula la velocidad y controla el variador esclavo en par para garantizar la repartición de la carga.

Circuito de control del variador

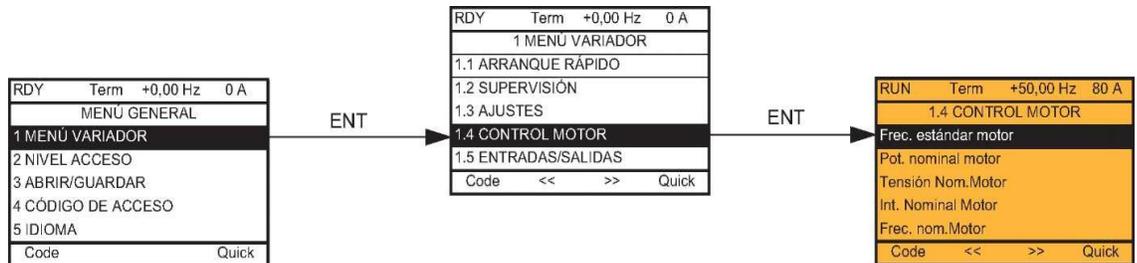


Figura 11 Menú del variador para el control de motores.

Con terminal integrado

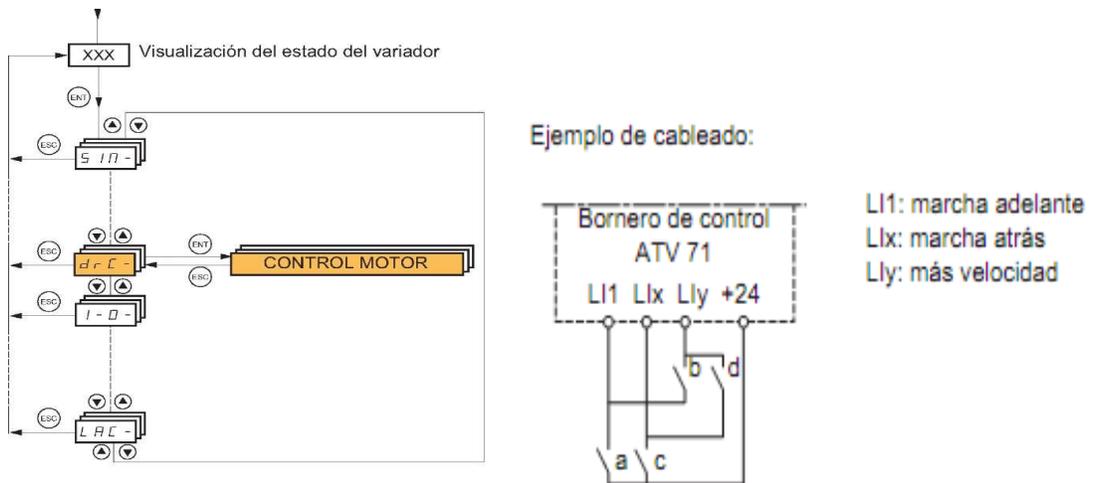


Figura 12 control del motor y cableado de conexión.



Parámetros de motor síncrono:

Estos parámetros son accesibles si [Tipo control motor] (Ctt) en la página 70 = [Motsíncrono] (SYn). En este caso no es posible acceder a los parámetros de motor asíncrono.

Cód.	Nombre/descripción	Rango de ajuste	Ajuste de fábrica
nCrS	<input type="checkbox"/> [Int.nominal síncrono] Corriente nominal del motor síncrono indicada en la placa de características.	De 0,25 a 1,5 In (2)	Según calibre del variador
nSPS	<input type="checkbox"/> [Vel.nominal síncron] Velocidad nominal del motor síncrono indicada en la placa de características. En el visualizador integrado de 0 a 9.999 rpm y después de 10,00 a 60,00 krpm.	De 0 a 60.000 rpm	Según calibre del variador
PPnS	<input type="checkbox"/> [Pares polos sínc.] Número de pares de polos del motor síncrono.	De 1 a 50	Según calibre del variador
PHS	<input type="checkbox"/> [Constante FEM sínc.] Constante de FEM del motor síncrono, en mV por rpm (tensión de pico por fase). En el visualizador integrado de 0 a 9.999 y después de 10,00 a 65,53 (de 10.000 a 65.536).	De 0 a 65.535	Según calibre del variador
LdS	<input type="checkbox"/> [Inductancia eje d] Inductancia estática del eje "d" en mH (por fase). En los motores con polos lisos [Inductancia eje d] (LdS) = [Inductancia eje q] (LqS) = Inductancia estática L.	De 0 a 655,3	Según calibre del variador
LqS	<input type="checkbox"/> [Inductancia eje q] Inductancia estática del eje "q" en mH (por fase). En los motores con polos lisos [Inductancia eje d] (LdS) = [Inductancia eje q] (LqS) = Inductancia estática L.	De 0 a 655,3	Según calibre del variador
rSRS	<input type="checkbox"/> [Res. estátor sínc.] Resistencia estática en frío (por bobinado). El ajuste de fábrica se sustituye por el resultado del autoajuste, si éste se realiza. Si el usuario conoce el valor, puede indicarlo.	Según calibre del variador	Según calibre del variador

Motor asíncrono

Si se efectúa un autoajuste o se modifica alguno de los parámetros de motor que condicionan el autoajuste ([Tensión Nom. Motor] (UnS), [Frec. nom.Motor] (FrS), [Int. Nominal Motor] (nCr), [Vel. Nominal Motor] (nSP), [Pot. nominal motor] (nPr)), los parámetros Xyw vuelven a tener los ajustes de fábrica o calculados.

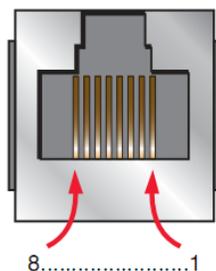


r_{SN}	<input type="checkbox"/> [Res.estator Medida] Resistencia estática en frío calculada por el variador, sólo lectura. Valor en miliohmios ($m\Omega$) hasta 75 kW, en centésimas de miliohmios ($m\Omega/100$) a partir de 75 kW.
I_{dN}	<input type="checkbox"/> [Int.magn.calculada] Corriente de magnetización en A calculada por el variador, sólo lectura.
L_{FN}	<input type="checkbox"/> [Cálculo induct.disp.] Inductancia de fuga en mH calculada por el variador, sólo lectura.
t_{rN}	<input type="checkbox"/> [Cálculo cte.t.rotor] Constante de tiempo rotórica en mS calculada por el variador, sólo lectura.
n_{SL}	<input type="checkbox"/> [Desliz.nom.mot.] Deslizamiento nominal en Hz, calculado por el variador, sólo lectura. Para modificar el deslizamiento nominal, modifique la [Vel. Nominal Motor] (n_{SP}) (página 68).
PP_n	<input type="checkbox"/> [N°pares polos calc.] Número de pares de polos calculado por el variador, sólo lectura.
r_{SA}	<input type="checkbox"/> [Aj.resist.estator] Resistencia estática en frío (por bobinado), valor modificable. En miliohmios ($m\Omega$) hasta 75 kW, en centésimas de miliohmios ($m\Omega/100$) a partir de 75 kW. En el visualizador integrado de 0 a 9.999 y después de 10,00 a 65,53 (de 10.000 a 65.536).
I_{dA}	<input type="checkbox"/> [Aj.int.magnet.] Corriente de magnetización en A, valor modificable.
L_{FA}	<input type="checkbox"/> [Aj.Ind.dispers.] Inductancia de fuga en mH, valor modificable.
t_{rA}	<input type="checkbox"/> [Aj.cte.tiempo rotor] Constante de tiempo rotórico en mS, valor modificable.

2.4 Protocolos de comunicación

Modbus TCP/IP o tarjeta de Ethernet es como se conecta el variador de velocidad Altivar 71 con la computadora.

La conexión a Ethernet se realiza mediante una tarjeta RJ45 conector de pines de salida.



Pin	Signal
1	TD+
2	TD-
3	RD+
4	
5	
6	RD-
7	
8	



Figura 13 puerto RJ45.

El acceso a Ethernet por la vía del terminal gráfico del variador se realiza de la siguiente forma. Se localiza la palabra Ethernet en el menú del dispositivo, se configura los parámetros que pueden ser accedidos desde el menú.

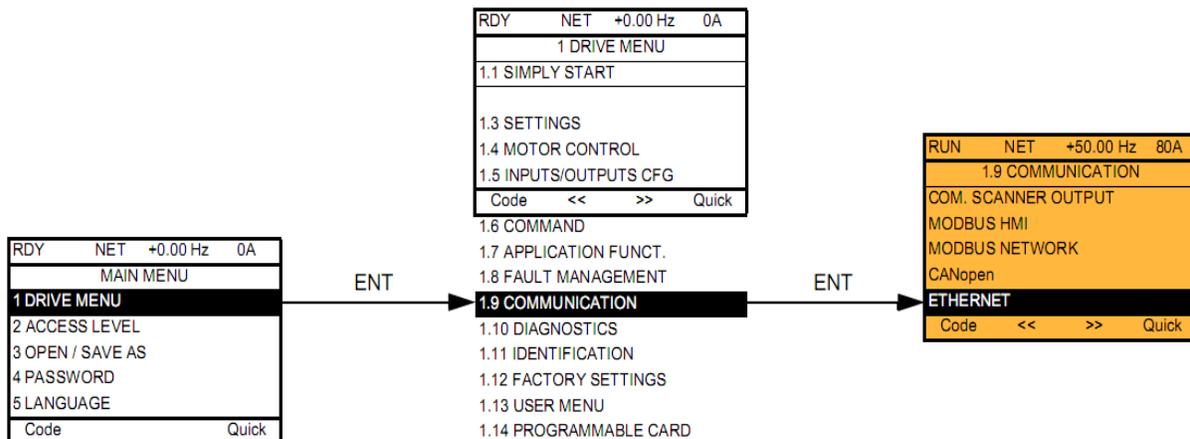


Figura 14 Comunicación vía Ethernet mediante la pantalla del variador.

La velocidad de la transmisión es detectada automáticamente por la tarjeta (10 Mbps a 100 Mbps)

Code	Description
(bdr)	[Bit rate] Transmission speed detected on the network by the Ethernet card Type: Display (read-only) Possible values: [0 Mbps] (0n); Indeterminate speed (before automatic detection of the Ethernet network speed) [10 Mbps] (10n); 10 Mbps [100 Mbps] (100n); 100 Mbps Default value: [0 Mbps] (0n)
(IPC-)	[IP card]
(IPC1) (IPC2) (IPC3) (IPC4)	[139.160.069.241] (139) (160) (069) (241) Ethernet card IP address Type: Configuration (read and write) Display (read-only) if the address has been supplied by a BOOTP or DHCP server Possible values: <ul style="list-style-type: none"> • 0 to 255 for each of fields IPC1, IPC2, IPC3 and IPC4. • If the value is [0.0.0.0] (0) (0) (0) (0), the Ethernet card waits for an address from a BOOTP or DHCP server. Note: If you enter a value other than [0.0.0.0] (0) (0) (0) (0), dynamic addressing by a BOOTP or DHCP server is disabled. Note: After dynamic addressing by a BOOTP or DHCP server, the value [0.0.0.0] (0) (0) (0) (0) is replaced by the address supplied. Default value: [0.0.0.0] (0) (0) (0) (0)



Lista de funciones que pueden ser configuradas

Functions		Graphic display terminal	Integrated display terminal	PowerSuite software workshop	Standard Web server
Entering the IP addresses		•	•	•	
FDR (Faulty Device Replacement)	Entering the device name	•		•	
	Configuration (time delay, etc.)	•	•	•	•
	Commands (save, etc.)	•	•		•
IO Scanning	Enable IO Scanner	•	•	•	•
	Configuring the IO Scanner variables			•	•
Reserving control (IP master)		•	•	•	•
Communication monitoring		•	•	•	•
Security of access to the standard Web server	Changing the "username"			•	
	Changing the "HTTP password"				•
	Changing the "Write password"			•	•



Tarjetas de extensión de entradas/salidas: entradas lógicas, salidas de colector abierto, relés, entrada de sonda PTC, entradas analógicas, salidas analógicas, entrada de control por pulsos de frecuencia.
 Tarjetas de comunicación industrial: Modbus TCP, Fipio, Modbus/Uni-Telway, Modbus Plus, EtherNet/IP, DeviceNet, Profibus DP, InterBus y CC-Link para una conexión a las principales redes del mercado.

Figura 15 Tarjeta de entrada y salidas de colector abierto.



Tarjetas de interface para codificador de tipo incremental o absoluto: RS422, de colector abierto, Push Pull RS422 con emulación de codificador Resolver
 SinCos, SinCosHiperface, EnDat, SSI
Para
 Obtener el par nominal incluso a una velocidad 0.
 Aumentar la precisión de velocidad y de par.
 Aumentar el rendimiento dinámico.

Figura 16 Tarjeta de interface de codificación



Canales de control y de consigna

Las órdenes de control (marcha adelante, marcha atrás, parada, etc.) y las consignas pueden proceder de los siguientes canales:

Control	Consigna
<ul style="list-style-type: none"> • Borneros: entradas lógicas LI • Terminal gráfico • Modbus integrado • CANopen integrado • Tarjeta de comunicación • Tarjeta Controller Inside 	<ul style="list-style-type: none"> • Borneros: entradas analógicas AI, entrada de pulsos, codificador • Terminal gráfico • Modbus integrado • CANopen integrado • Tarjeta de comunicación • Tarjeta Controller Inside • Más/menos velocidad a través del bornero • Más/menos velocidad a través del terminal gráfico

[Perfil E/S] (IO): El control y la consigna pueden provenir de canales distintos. Este perfil permite una utilización simple y ampliada a de la comunicación. Los controles se pueden llevar a cabo a través de las entradas lógicas en el bornero o a través del bus de comunicación. Cuando los controles se llevan a cabo a través de un bus, éstos están disponibles en una palabra y funcionan como un bornero que contiene únicamente entradas lógicas. Las funciones de aplicación se pueden asignar a los bits de esta palabra. Un mismo bit puede tener varias asignaciones.

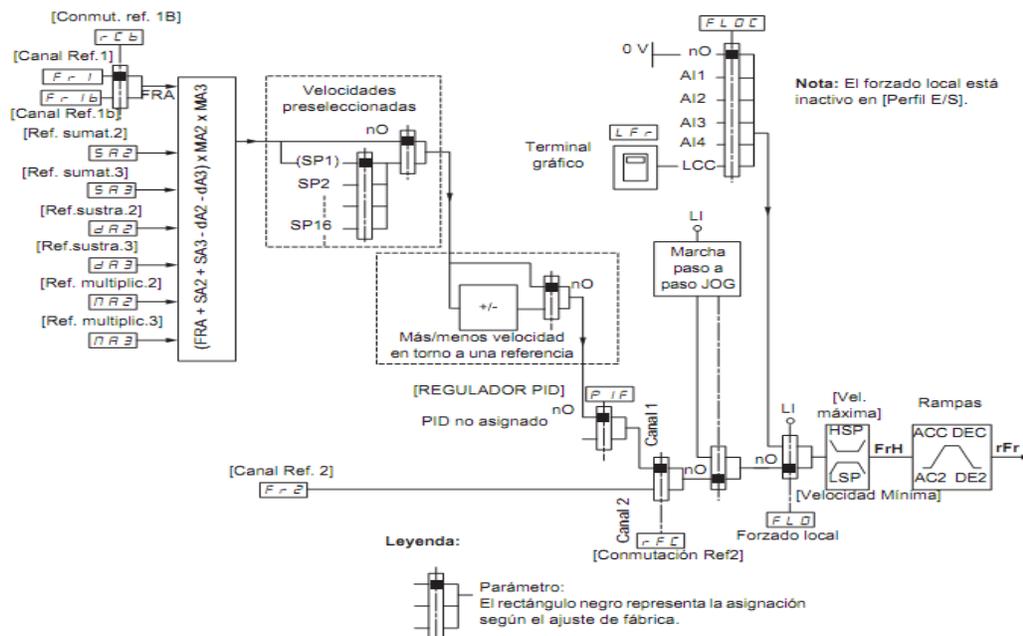


Figura 17 Regulador PID del variador para la industria



Consignas

Fr1, SA2, SA3, dA2, dA3, MA2, MA3:

- borneros, terminal gráfico, Modbus integrado, CANopen integrado, tarjeta de comunicación, tarjeta Controller Inside.

Fr1b, para SEP e IO:

- borneros, terminal gráfico, Modbus integrado, CANopen integrado, tarjeta de comunicación, tarjeta Controller Inside

Fr1b, para SIM:

- borneros, accesible sólo si Fr1 = borneros

Fr2:

- borneros, terminal gráfico, Modbus integrado, CANopen integrado, tarjeta de comunicación, tarjeta Controller Inside y más/menos velocidad

Canal de control en el perfil [Perfil E/S] (IO)

Selección de un canal de control:

Es posible asignar un control o una acción:

- A un canal fijo seleccionando una entrada LI o un bit Cxxx:

- Si se selecciona, por ejemplo, LI3, esta acción siempre se iniciará a través de LI3 independientemente del canal de control conm

- Si se selecciona, por ejemplo, C214, esta acción siempre se iniciará a través de CANopen integrado con el bit 14.

Independientemente del canal de control conmutado.

- A un canal conmutable seleccionando un bit CDxx:

- Si se selecciona, por ejemplo CD11, esta acción se iniciará a través de LI12 si el canal de borneros está activo,

C111 si el canal Modbus integrado está activo,

C211 si el canal CANopen integrado está activo,

C311 si el canal de tarjeta de comunicación está activo,

C411 si el canal de tarjeta Controller Inside está activo.

Si el canal activo es el terminal gráfico, las funciones y controles asignados a los bits internos conmutables CDxx están inactivos.

Nota:

- No es posible utilizar CD14 y CD15 en una conmutación entre 2 redes, ya que no corresponden a ninguna entrada lógica.



Bornero	Modbus integrado	CANopen integrado	Tarjeta de comunicación	Tarjeta Controller Inside	Bit interno conmutable
					CD00
LI2 (1)	C101 (1)	C201 (1)	C301 (1)	C401 (1)	CD01
LI3	C102	C202	C302	C402	CD02
LI4	C103	C203	C303	C403	CD03
LI5	C104	C204	C304	C404	CD04
LI6	C105	C205	C305	C405	CD05
LI7	C106	C206	C306	C406	CD06
LI8	C107	C207	C307	C407	CD07
LI9	C108	C208	C308	C408	CD08
LI10	C109	C209	C309	C409	CD09
LI11	C110	C210	C310	C410	CD10
LI12	C111	C211	C311	C411	CD11
LI13	C112	C212	C312	C412	CD12
LI14	C113	C213	C313	C413	CD13
-	C114	C214	C314	C414	CD14
-	C115	C215	C315	C415	CD15

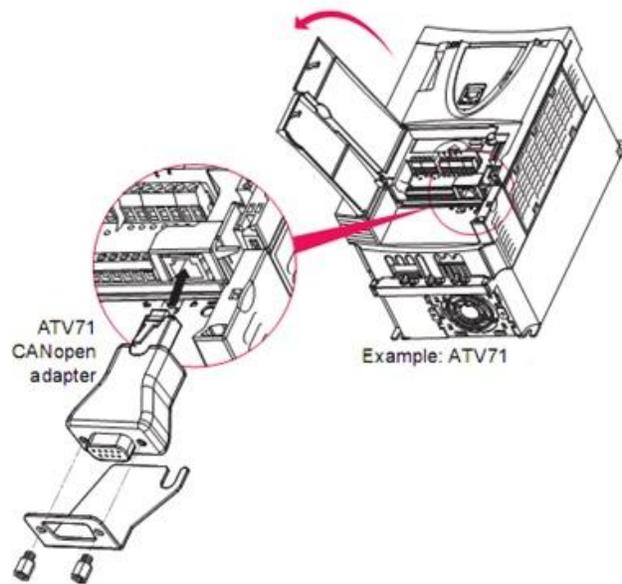


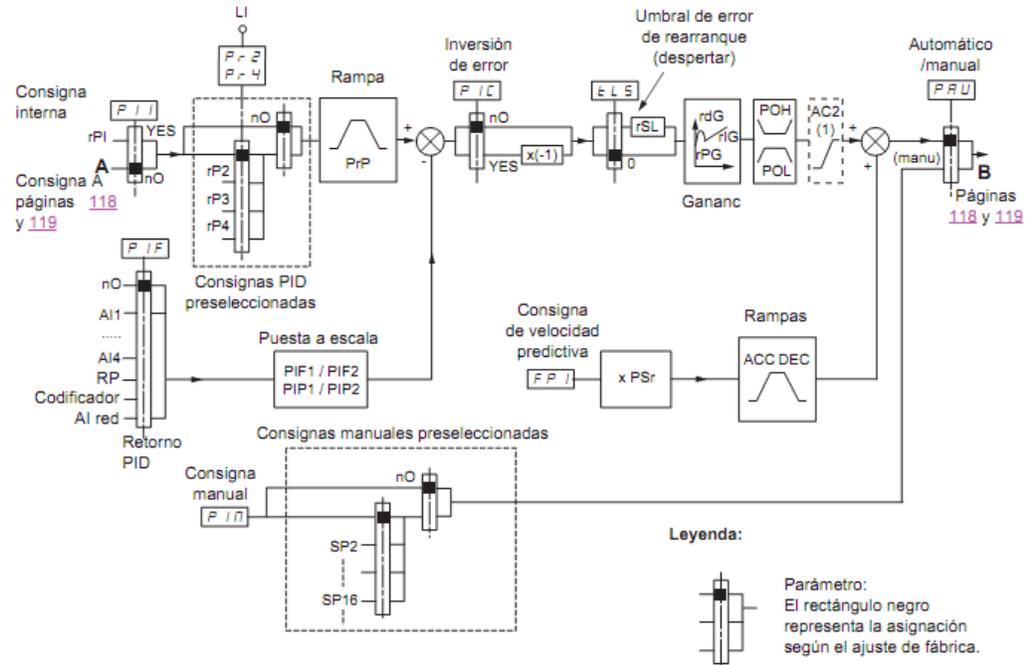
Figura 18 Conexión CANopen del ALTIVAR 71

2.5 Aplicaciones en accionamientos con bombas centrífugas

Regulador PID

Sinóptico

La función se activa mediante la asignación de una entrada analógica al retorno PID (medida).



(1) La rampa AC2 sólo está activa en el arranque de la función PID y durante los "despertares" del PID.

Figura 19 Esquema de conexión para una industria con regulador PID

Retorno PID:

El retorno PID debe asignarse a una entrada analógica de la AI1 a la AI4, a la entrada de frecuencia o al codificador, según si hay instaladas tarjetas de ampliación.

Consigna PID:

La consigna PID se puede asignar a los parámetros siguientes:

- Consignas preseleccionadas por entradas lógicas (rP2, rP3, rP4)

Según la configuración de [Ref. Interna PID] (PII),

- consigna interna (rPI) o - consigna A (Fr1 o Fr1b)

Tabla de combinación de las consignas PID preseleccionadas



LI (Pr4)	LI (Pr2)	Pr2 = nO	Consigna
			rPI o A
0	0		rPI o A
0	1		rP2
1	0		rP3
1	1		rP4

Puesta a escala del retorno y las consignas:

- Parámetros PIF1, PIF2, permiten ajustar la escala del retorno PID (rango del captador).

Es indispensable que esta escala se conserve para el resto de parámetros. Parámetros PIP1, PIP2

Permiten la puesta en escala del rango de regulación, es decir, la consigna. El rango de regulación debe estar comprendido en el rango del captador.

El valor máximo de los parámetros de la puesta en escala es 32767. Para facilitar la puesta en servicio es aconsejable utilizar valores lo más cercanos posible a este máximo restando en las potencias de 10 en relación a los valores reales.

Ejemplo (vea la curva siguiente): Regulación del volumen contenido en una cubeta de entre 6 m³ y 15 m³.

- captador utilizado 4-20 mA, 4,5 m³ para 4 mA, 20 m³ para 20 mA, donde PIF1 = 4.500 y PIF2 = 20.000
- rango de regulación de 6 a 15 m³, donde PIP1 = 6.000 (consigna mínima) y PIP2 = 15.000 (consigna máxima)
- ejemplos de consignas:
 - rP1 (consigna interna) = 9.500
 - rp2 (consigna preseleccionada) = 6.500
 - rP3 (consigna preseleccionada) = 8.000
 - rP4 (consigna preseleccionada) = 11.200

El menú [CONFIG. VISUALIZACIÓN] permite personalizar el nombre de la unidad visualizada y su formato.

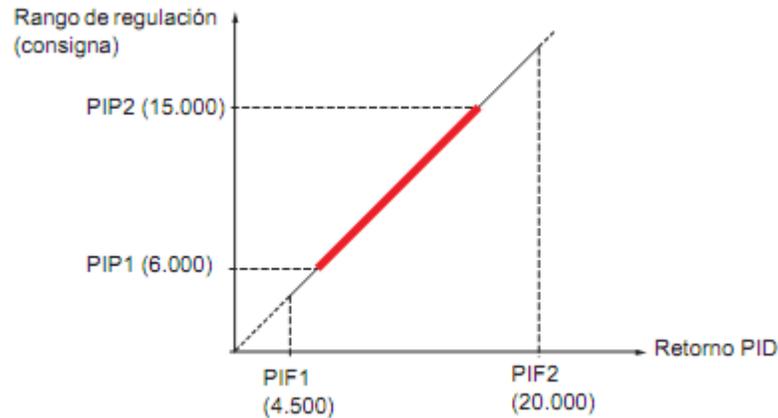


Figura 20 Rango de regulación PID

Otros parámetros:

- Parámetro rSL:

Permite fijar el nivel de error PID por encima del cual el regulador PID se reactiva (despertar), después de una parada provocada por un rebasamiento del tiempo máximo en mínima velocidad tLS.

- Inversión del sentido de corrección (PIC): Si PIC = nO, la velocidad del motor se incrementa cuando el error es positivo. Por ejemplo:

Regulación de presión con compresor. Si PIC = YES, la velocidad del motor disminuye cuando el error es positivo. Por ejemplo:

Regulación de temperatura por ventilador de refrigeración

- Una entrada lógica puede provocar un by-pass de la ganancia integral.
- Una salida lógica puede configurar e indicar una alarma de retorno PID.
- Una salida lógica puede configurar e indicar una alarma de error PID.

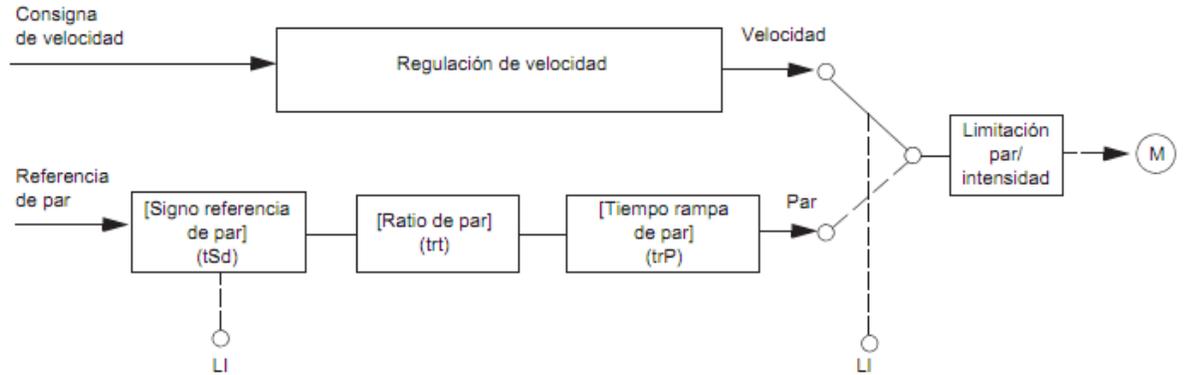


Figura 21 Control del par en el variador.

Esta función permite alternar un funcionamiento con regulación de velocidad y un funcionamiento con control de par.

Con el control de par, la velocidad puede variar dentro de una "banda muerta" configurable. Cuando ésta alcanza el límite inferior o superior, el variador pasa automáticamente a la regulación de velocidad (réplica) y continúa a esa velocidad límite. El par regulado ya no se mantiene, y pueden darse dos casos.

- Si el par vuelve a tener el valor solicitado, el variador vuelve al control de par.
- Si el par no vuelve a tener el valor solicitado cuando finaliza el tiempo configurable, el variador pasa a mostrar un fallo o una alarma.

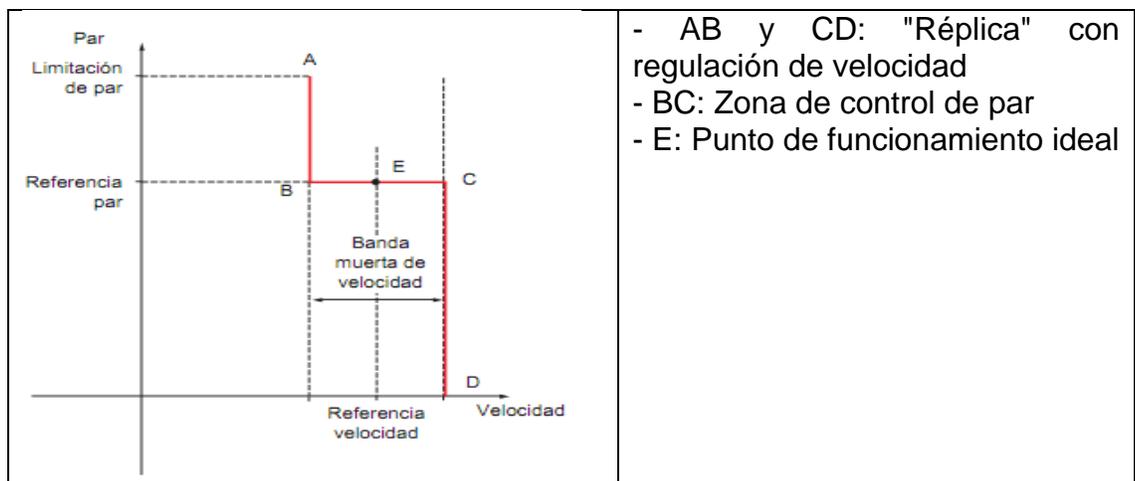


Figura 22 Regulación de velocidad



Cód.	Nombre/descripción	Rango de ajuste	Ajuste de fábrica
t0r-	<p>[CONTROL DE PAR]</p> <p>Función únicamente accesible para [Tipo control motor] (Ctt) ■ [SVC I] (CUC) o [CVF] (FUC).</p> <p> Nota 1: Esta función no puede utilizarse con algunas funciones. Respete las precauciones indicadas en la página 123.</p> <p>Nota 2: Esta función no es compatible con la gestión de fallo [Deslizamiento de carga] (AnF)</p>		
t55	<p><input type="checkbox"/> [Conmut. par / vel.]</p> <p><input type="checkbox"/> [No] (nO): Función inactiva. Los demás parámetros no son accesibles.</p> <p><input type="checkbox"/> [Si] (YES): Control de par permanente</p> <p><input type="checkbox"/> [LI1] (LI1)</p> <p>⋮</p> <p><input type="checkbox"/> [...]: Vea las condiciones de asignación en la página 123.</p> <p>En el estado 1 de la entrada o del bit asignado: Control de par</p> <p>En el estado 0 de la entrada o del bit asignado: Regulación de velocidad</p>		[No] (nO)
tr1	<p><input type="checkbox"/> [Canal Ref. de par]</p> <p><input type="checkbox"/> [No] (nO): Sin asignar (consigna de par nula)</p> <p><input type="checkbox"/> [AI1] (AI1): Entrada analógica</p> <p><input type="checkbox"/> [AI2] (AI2): Entrada analógica</p> <p><input type="checkbox"/> [AI3] (AI3): Entrada analógica, si hay instalada una tarjeta de entradas y salidas VW3A3202</p> <p><input type="checkbox"/> [AI4] (AI4): Entrada analógica, si hay instalada una tarjeta de entradas y salidas VW3A3202</p> <p><input type="checkbox"/> [HMI] (LCC): Terminal gráfico</p> <p><input type="checkbox"/> [Modbus] (Mdb): Modbus integrado</p> <p><input type="checkbox"/> [CANopen] (CAn): CANopen integrado</p> <p><input type="checkbox"/> [Carta COM.] (nEt): Tarjeta de comunicación (si está instalada)</p> <p><input type="checkbox"/> [Carta prog.] (APP): Tarjeta Controller Inside (si está instalada)</p> <p><input type="checkbox"/> [RP] (PI): Entrada de pulsos, si hay instalada una tarjeta de entradas y salidas VW3A3202</p> <p><input type="checkbox"/> [Codificador] (PG): Entrada de codificador, si hay un codificador</p> <p>El 100% de la referencia corresponde al 300% del par nominal.</p>		[No] (nO)
t5d	<p><input type="checkbox"/> [Signo referencia de par]</p> <p><input type="checkbox"/> [No] (nO): Función inactiva</p> <p><input type="checkbox"/> [LI1] (LI1)</p> <p>⋮</p> <p><input type="checkbox"/> [...]: Vea las condiciones de asignación en la página 123.</p> <p>En el estado 0 de la entrada o del bit asignado, el signo del par es el de la referencia.</p> <p>En el estado 1 de la entrada o del bit asignado, el signo del par es inverso al de la referencia.</p>		[No] (nO)
trt ()	<p><input type="checkbox"/> [Ratio de par]</p> <p>Coefficiente aplicado a la [Referencia de par] (tr1).</p>	Del 0 al 1.000%	100%
trP ()	<p><input type="checkbox"/> [Tiempo rampa de par]</p> <p>Tiempo de aumento y de disminución para una variación del 100% del par nominal.</p>	De 0 a 99,99 s	3 s
t5t	<p><input type="checkbox"/> [Parada Regulación Par]</p> <p><input type="checkbox"/> [Velocidad] (SPd): Parada con regulación de velocidad, según la configuración del tipo de parada (vea la página 140).</p> <p><input type="checkbox"/> [Rueda libre] (YES): Parada en rueda libre</p> <p><input type="checkbox"/> [Parada con par 0] (SPn): Parada con par nulo, pero que conserva el flujo magnético en el motor.</p> <p>Este funcionamiento sólo es posible en [Tipo control motor] (Ctt) ■ [CVF] (FUC).</p>		[Velocidad] (SPd)

Bombas de balancín

[Sistema ENA]



El Sistema ENA es una ley de control destinada a las máquinas giratorias excéntricas. La aplicación principal es la bomba de petróleo. El principio de funcionamiento retenido permite:

- el funcionamiento sin resistencia de frenado
- reducir las limitaciones mecánicas en el vástago
- reducir las fluctuaciones de corriente de línea
- ahorrar energía al mejorar la relación potencia eléctrica-caudal

[Ganancia prop. ENA]

Este ajuste se efectúa de forma que se alcance un equilibrio entre el ahorro de energía obtenido (o las fluctuaciones de corriente de línea) y las limitaciones mecánicas impuestas al vástago. El ahorro de energía se consigue gracias a la disminución de la fluctuación de la corriente y al mayor caudal conseguido con una misma velocidad media.

[Ganancia int. ENA]

Este ajuste permite alisar la tensión del bus de corriente continua.

Arranque la máquina con una ganancia integral y proporcional baja (proporcional del 25% e integral del 10%) a fin de evitar que se dispare por sobretensión ante la ausencia de resistencia de frenado. Observe si estos ajustes son los adecuados.

Consejo de ajuste durante el funcionamiento:

- Para eliminar la resistencia de frenado y la consiguiente subida de tensión en el bus de corriente continua:

Observe la velocidad de la máquina en el terminal gráfico.

Disminuya el valor de la ganancia integral hasta alcanzar el que provoque la caída de la velocidad de la máquina. Cuando se alcance dicho valor, aumente la ganancia integral hasta lograr una velocidad de la máquina estable.

Mediante el terminal gráfico o un osciloscopio, verifique si la tensión del bus de corriente continua es estable.

- Para ahorrar energía:

Al disminuir la ganancia proporcional (de manera progresiva) puede favorecerse el ahorro de energía mediante la disminución del valor máximo de corriente de línea y el



aumento de las variaciones de velocidad y, en consecuencia, de los esfuerzos mecánicos. El objetivo consiste en encontrar los ajustes que permitan ahorrar energía y a la vez minimizar los esfuerzos mecánicos. Cuando se disminuye la ganancia proporcional, puede ser necesario reajustar la ganancia integral a fin de evitar un disparo por sobretensión.

Observación: Cuando se hayan realizado los ajustes necesarios, es conveniente verificar si la bomba arranca correctamente. La falta de par al arrancar puede deberse a un valor de ajuste de la ganancia integral ENA demasiado bajo.

[Relación reducción]

Este ajuste corresponde a la relación existente entre la velocidad del motor antes del reductor y la que se establezca después del reductor. Este parámetro sirve para ver en el terminal gráfico la velocidad media en Hz y la velocidad de la máquina en unidades de cliente (por ejemplo: en sacudidas por minuto). Para poder verlas en el terminal gráfico, estas magnitudes deben seleccionarse en el menú.



2.6 Conclusiones parciales

- ✓ En este capítulo se mostraron los diferentes esquemas de conexión del variador de velocidad Altivar para su posterior conexión a la red eléctrica.
- ✓ Se conocieron los métodos y puertos de comunicación tales como el Modbus, CANopen, Ethernet como vías de comunicación entre el variador y una red para su supervisión desde una estación de trabajo.



Capítulo 3



Capítulo 3 Base experimental de los inversores de Sinusoidal Tensión a PWM

3.1 Introducción

Los sistemas de automatización por software son hoy en día el mejor ejemplo de control y su utilización se encuentra en aumento en el mercado por las facilidades que brinda tales como: bajo costo de operación, mejor productividad, velocidad en el trabajo y mayor confiabilidad en los procesos. El sistema de estudio es el de un variador de velocidad Altivar 71 y su conexión con un bloque de inversor sinusoidal de tensión a PWM, en donde tenemos dos variables a controlar que son: la corriente del circuito de carga y los diferentes índices de modulación del bloque de inversión. En estos tipos de sistemas el acoplamiento se produce porque las variables de entrada afectan a las salidas simultáneamente. Esta característica hace que sea posible el ajuste de controladores para cada variable a controlar, por lo que es necesario primero diseñar circuitos con el software MATLAB®/SIMULINK® permite la simulación del modelo matemático del sistema para obtener los valores a utilizar en los controladores del proceso.

3.2 Base experimental de los inversores Sinusoidal de Tensión a PWM

Se elabora un modelo simulado con el software SIMULINK del bloque inversor conectado a diferentes cargas por individual para conocer cómo se comportan los parámetros, con el fin de obtener el controlador de un modelo real simulado. Las señales de entradas y salidas para la operación de nuestro trabajo, se adquieren a través de la simulación del demo AC 3 campo orientado, que es el demo que más se asemeja a un variador de velocidad, colocada en nuestra computadora en donde se opera el programa SIMULINK®, quedando así recogidas las datas para diferentes estados de carga del inversor sinusoidal de tensión a PWM.

3.3 Análisis estadísticos de los datos experimentados

El análisis de los datos nos muestra como es el comportamiento de un inversor sinusoidal de tensión a PWM cuando trabaja con alta variabilidad de la carga en el circuito inversor. Se tomaran 10 muestras, con una tensión constante aplicadas a sistema en cuestión y se recogerán los datos de la tensión y corriente en el bloque del



inversor con esa data se elaborara una tabla con el fin de conocer las diferentes mediciones en el inversor a PWM, así como sus gráficas.

Valores de potencia (HP)	Inversor	
	Tensión (V)	Corriente (A)
2	237.2	15.8
3	117.3	15.1
4	117.2	15.1
5	236.8	15.12
10	232.6	28.98
15	232	28.95
20	220	66
30	109.6	67.32
40	109.4	66.66
50	62	172.2
75	63.49	163.1
100	8.8	73.25

Gráfica de valores en el inversor cuando este opera con alta variabilidad en la carga con un tiempo $T=0.030s$.

Ver anexo 1.

En los datos se puede observar que para valores de potencias 4 hp la tensión en el circuito inversor se comportó entre los valores de 117 V a 236 V y la corriente de 15.1 a 15.8 A. de 15 hp a 30 la tensión se mantuvo en el rango de 109 V a 232 V y la corriente 28.98 A subió a 67.32 A, de 40 a 100 la tensión cayó de 109.4 V a 8.8 V y la corriente aumentó de 66.66 73.25. Las caídas de tensión en el inversor se debe a un aumento de la potencia demandada por el equipo al este tener una fuente de tensión estable de 220 V el motor de inducción generaba corrientes más altas por su pérdida de potencia.



3.4 Conclusiones parciales

- ✓ En este capítulo se trató el tema del inversor sinusoidal de tensión a PWM algunos de sus esquemas de potencia y los datos por los cuales se pueden tomar las mediciones del circuito inversor para conocer cómo se comportan la tensión y la corriente cuando este opera con alta variabilidad en el circuito de la carga.
- ✓ Las diferentes técnicas de conmutación así como los diferentes tipos de dispositivos que se utilizan para conformar un circuito inversor.
- ✓ La simulación del esquema ayudada por el software SIMULINK de MATLAB.



Capítulo 4



Capítulo IV sinergia

4.1 Introducción

Que es la Sinergia

Según el diccionario Larousse explica:

Sinergia es la acción coordinada de una o más causas cuyo efecto es superior a la suma de los efectos individuales.

La sinergia es básicamente una forma de no cumplimiento del principio de superposición.

La sinergia en los inversores sinusoidales de tensión a PWM se logra cuando existe un tiempo T1 que es la adquisición de los datos arrojados por las mediciones en el inversor, al tenerse esos datos se pueden comparar los resultados y evaluarlos con un tiempos T2 todo eso en tiempo real o sea en un intervalo dado, pero si además de eso puedes tener un T3 para realizar otra operación con esos mismos datos entonces existe la sinergia en ese esquema y si podemos mejorar la eficiencia de los elementos que componen al circuito analizados podemos evaluar la sinergia y mejorar las características. Aunque cuando hablamos de eficiencia no siempre el accionamiento eléctrico debe tener la misma eficiencia que los motores o bombas en ocasiones la eficiencia del motor está a 0.80%, pero la eficiencia del accionamiento está muy por debajo de la del esquema o viceversa.

4.2 Descripción del esquema de simulación

El esquema de simulación se desarrolló con el software SMULINK de MATLAB, se escogió un demo SV-PWM, por las características presentadas en el esquema, dentro de la máscara aparecen los parámetros a controlar, el bloque de rectificación contiene datos similares a los de un variador de velocidad cuando opera en condiciones normales. Los índices de modulación a PWM de conmutación del control del inversor se asemeja a los parámetros reales del inversor, la potencia del motor, la corriente, velocidad, los datos de resistencia del estator, la inductancia mutua, el coeficiente de



fricción que está dentro de su máscara se encuentran todos los dispositivos necesarios para crear una simulación del control de un accionamiento con variador de velocidad.

El esquema cuenta con una fuente de voltaje de 220, un circuito rectificador construido a diodos un Chopper, un circuito inversor y un motor de inducción. Además cuenta con numerosos lazos de control para los IGBT.

4.3 Evaluación de la sinergia

Para hablar de sinergia se necesita tener los datos de un muestreo donde los valores de la variables a adquirir se puedan leer con una alta velocidad de procesamiento, lo primero es leer los datos que tenemos guardados de modulación como un array en el workspace de MATLAB (G), para nuestra evaluación se tomaron 150 de los datos de la modulación en el motor, figura 23 para un $t=0.030$ s tomados como muestra donde se aprecia una coincidencia de 53 huecos estos son los datos para una relación de proporción de 3 a 1 es posible evaluar sinergia en ese tiempo con esas 53 coincidencias.

Tabla de modulación (Index Modulation)

No de coincidencia T=0.030 s donde es posible evaluar sinergia	10 hp		5 hp	
	0	-1,24E-20	0	-1,24E-20
1	2,50E-05	7,76E-12	2,50E-05	7,76E-12
2	5,00E-05	9,36E-11	5,00E-05	9,36E-11
3	7,50E-05	6,75E-11	7,50E-05	6,75E-11
	1,00E-04	1,83E-10	0,0001	1,83E-10
	1,25E-04	1,85E-10	0,000125	1,85E-10
	1,50E-04	3,29E-10	0,00015	3,29E-10
	1,75E-04	3,59E-10	0,000175	3,59E-10
	2,00E-04	5,30E-10	0,0002	5,30E-10
	2,25E-04	5,87E-10	0,000225	5,87E-10
	2,50E-04	7,21E-10	0,00025	7,21E-10
	2,75E-04	8,67E-10	0,000275	8,67E-10
	3,00E-04	3,89E+01	0,0003	38,870003
	3,25E-04	4,29E+01	0,000325	42,894927
	3,50E-04	4,97E+01	0,00035	49,739284
	3,75E-04	5,70E+01	0,000375	56,98418
	4,00E-04	-2,40E+00	0,0004	-2,4012947



	4,25E-04	-2,40E+00
	4,50E-04	-1,25E-03
	4,75E-04	-1,24E-03
	5,00E-04	-1,23E-03
	5,25E-04	1,10E+02
	5,50E-04	1,20E+02
	5,75E-04	1,27E+02
	6,00E-04	1,37E+02
	6,25E-04	-2,40E+00
	6,50E-04	-2,40E+00
	6,75E-04	-4,46E-03
	7,00E-04	-4,43E-03
	7,25E-04	-4,39E-03
	7,50E-04	2,01E+02
	7,75E-04	2,12E+02
	8,00E-04	2,20E+02
	8,25E-04	2,31E+02
	8,50E-04	-2,41E+00
	8,75E-04	-2,41E+00
	9,00E-04	-9,97E-03
	9,25E-04	-9,89E-03
	9,50E-04	-9,82E-03
	9,75E-04	2,97E+02
	1,00E-03	-1,29E-02
	1,03E-03	3,15E+02
	1,05E-03	3,24E+02
	1,08E-03	-2,42E+00
	1,10E-03	-2,42E+00
	1,13E-03	-1,57E-02
	1,15E-03	-1,56E-02
	1,18E-03	-1,55E-02
	1,20E-03	-1,50E-02
	1,23E-03	-1,74E-02
	1,25E-03	-1,73E-02
	1,28E-03	4,03E+02
	1,30E-03	-2,42E+00
	1,33E-03	-1,92E-02
	1,35E-03	-1,90E-02
	1,38E-03	-1,89E-02
	1,40E-03	-1,93E-02
	1,43E-03	-2,03E-02

0,000425	-2,4012697
0,00045	-0,0012485
0,000475	-0,001239
0,0005	-0,0012296
0,000525	110,12455
0,00055	119,58591
0,000575	126,87107
0,0006	136,75568
0,000625	-2,4045558
0,00065	-2,404506
0,000675	-0,0044602
0,0007	-0,0044262
0,000725	-0,0043925
0,00075	201,3085
0,000775	211,94767
0,0008	220,22146
0,000825	230,90808
0,00085	-2,4101461
0,000875	-2,4100537
0,0009	-0,0099663
0,000925	-0,0098905
0,00095	-0,0098153
0,000975	296,61195
0,001	-0,0128716
0,001025	314,57145
0,00105	324,45912
0,001075	-2,415961
0,0011	-2,4158245
0,001125	-0,0157011
0,00115	-0,0155818
0,001175	-0,0154633
0,0012	-0,0150341
0,001225	-0,017408
0,00125	-0,0172757
0,001275	403,31396
0,0013	-2,4193472
0,001325	-0,0191942
0,00135	-0,0190484
0,001375	-0,0189037
0,0014	-0,0192666
0,001425	-0,0202781



	1,45E-03	-2,01E-02
	1,48E-03	-2,00E-02
	1,50E-03	4,53E+02
	1,53E-03	-2,42E+00
	1,55E-03	-2,12E-02
	1,58E-03	-2,11E-02
	1,60E-03	-2,09E-02
	1,63E-03	4,70E+02
	1,65E-03	-2,19E-02
	1,68E-03	-2,17E-02
	1,70E-03	-2,16E-02
	1,73E-03	4,76E+02
	1,75E-03	-2,25E-02
	1,78E-03	-2,24E-02
	1,80E-03	-2,42E+00
	1,83E-03	-2,20E-02
	1,85E-03	4,69E+02
	1,88E-03	-2,26E-02
	1,90E-03	-2,42E+00
	1,93E-03	-2,23E-02
	1,95E-03	-2,42E+00
	1,98E-03	-2,29E-02
	2,00E-03	-2,27E-02
	2,03E-03	-2,25E-02
	2,05E-03	-2,23E-02
	2,08E-03	4,67E+02
	2,10E-03	-2,28E-02
	2,13E-03	-2,27E-02
	2,15E-03	-2,25E-02
	2,18E-03	-2,42E+00
	2,20E-03	-2,30E-02
	2,23E-03	-2,42E+00
	2,25E-03	-2,26E-02
	2,28E-03	-2,42E+00
	2,30E-03	4,63E+02
	2,33E-03	-2,42E+00
	2,35E-03	-2,26E-02
	2,38E-03	-2,42E+00
	2,40E-03	-2,22E-02
	2,43E-03	-2,27E-02
	2,45E-03	-2,42E+00

0,00145	-0,0201242
0,001475	-0,0199714
0,0015	453,28389
0,001525	-2,4213798
0,00155	-0,0212163
0,001575	-0,0210554
0,0016	-0,0208956
0,001625	469,53433
0,00165	-0,0218822
0,001675	-0,0217163
0,0017	-0,0215517
0,001725	475,52077
0,00175	-0,0225267
0,001775	-0,022356
0,0018	-2,4221794
0,001825	-0,022013
0,00185	468,64475
0,001875	-0,0226186
0,0019	-2,4224305
0,001925	-0,0222624
0,00195	-2,4220771
0,001975	-0,0228515
0,002	-0,0226786
0,002025	-0,022507
0,00205	-0,0223368
0,002075	466,95101
0,0021	-0,0228226
0,002125	-0,0226501
0,00215	-0,0224789
0,002175	-2,4223006
0,0022	-0,0229522
0,002225	-2,422762
0,00225	-0,0225917
0,002275	-2,4224043
0,0023	462,92312
0,002325	-2,4227542
0,00235	-0,0225841
0,002375	-2,4223969
0,0024	-0,0222296
0,002425	-0,0227497
0,00245	-2,4225613



	2,48E-03	-2,24E-02	0,002475	-0,0223929
4	0,0025	-2,42E+00	0,0025	-2,4222073
5	0,002525	4,59E+02	0,002525	458,97869
6	0,00255	-2,24E-02	0,00255	-0,0224479
7	0,002575	-2,42E+00	0,002575	-2,422262
8	0,0026	-2,21E-02	0,0026	-0,022096
9	0,002625	-2,42E+00	0,002625	-2,4219127
10	0,00265	-2,23E-02	0,00265	-0,0223245
11	0,002675	-2,42E+00	0,002675	-2,4221396
12	0,0027	-2,20E-02	0,0027	-0,0219746
13	0,002725	-2,42E+00	0,002725	-2,4217925
14	0,00275	-1,91E-02	0,00275	-0,0190942
15	0,002775	-2,42E+00	0,002775	-2,4220247
16	0,0028	-2,19E-02	0,0028	-0,0218607
17	0,002825	-2,42E+00	0,002825	-2,4216795
18	0,00285	-2,15E-02	0,00285	-0,0215183
19	0,002875	-2,42E+00	0,002875	-2,4219097
20	0,0029	-2,17E-02	0,0029	-0,0217468
21	0,002925	-2,42E+00	0,002925	-2,4215666
22	0,00295	-2,14E-02	0,00295	-0,0214063
23	0,002975	-2,17E-02	0,002975	0,0216925- 0,0216925
24	0,003	-2,42E+00	0,003	-2,4215175
25	0,003025	-2,14E-02	0,003025	-0,0213577
26	0,00305	-2,42E+00	0,00305	-2,4211806
27	0,003075	-2,10E-02	0,003075	-0,0210234
28	0,0031	-2,13E-02	0,0031	-0,0213105
29	0,003125	-2,12E-02	0,003125	-0,0211507
30	0,00315	-2,10E-02	0,00315	-0,0209921
31	0,003175	-2,08E-02	0,003175	-0,0208348
32	0,0032	-2,11E-02	0,0032	-0,0211312
33	0,003225	-2,10E-02	0,003225	-0,0209728
34	0,00325	-2,08E-02	0,00325	-0,0208158
35	0,003275	-2,42E+00	0,003275	-2,4206545
36	0,0033	4,48E+02	0,0033	448,13061
37	0,003325	-2,08E-02	0,003325	-0,0207888
38	0,00335	-2,42E+00	0,00335	-2,4206164
39	0,003375	-2,05E-02	0,003375	-0,0204638
40	0,0034	-2,42E+00	0,0034	-2,420294
41	0,003425	-2,42E+00	0,003425	-2,4205853
42	0,00345	-2,04E-02	0,00345	-0,0204331



43	0,003475	-2,42E+00		0,003475	-2,4202635
44	0,0035	-2,01E-02		0,0035	-0,0201138
45	0,003525	4,40E+02		0,003525	439,56295
46	0,00355	-2,42E+00		0,00355	-2,4202345
47	0,003575	-2,01E-02		0,003575	-0,020085
48	0,0036	-2,42E+00		0,0036	-2,4199183
49	0,003625	-1,98E-02		0,003625	-0,0197713
50	0,00365	-2,01E-02		0,00365	-0,020063
51	0,003675	-2,42E+00		0,003675	-2,4198965
52	0,0037	-1,97E-02		0,0037	-0,0197498
53	0,003725	-2,42E+00		0,003725	-2,4195857

4.4 Interface construida por el Toolboxes GUI de MATLAB

Interface de comunicación para evaluar sinergia en variadores de velocidad ALTIVAR 71



Figura 23. Presentación de la interface.



Figura 24. Modo de conexión de la interface mediante Ethernet.

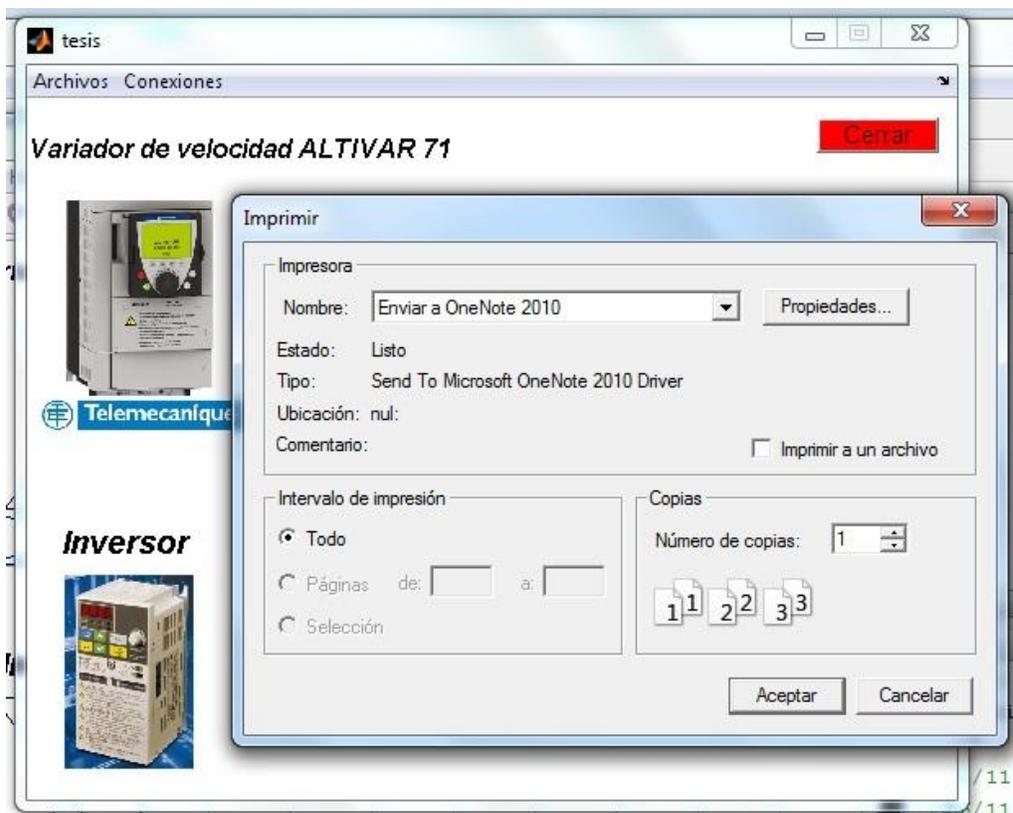


Figura 25. Para imprimir los datos a través de la interface



Figura 24 uimenu para abrir otra interface.

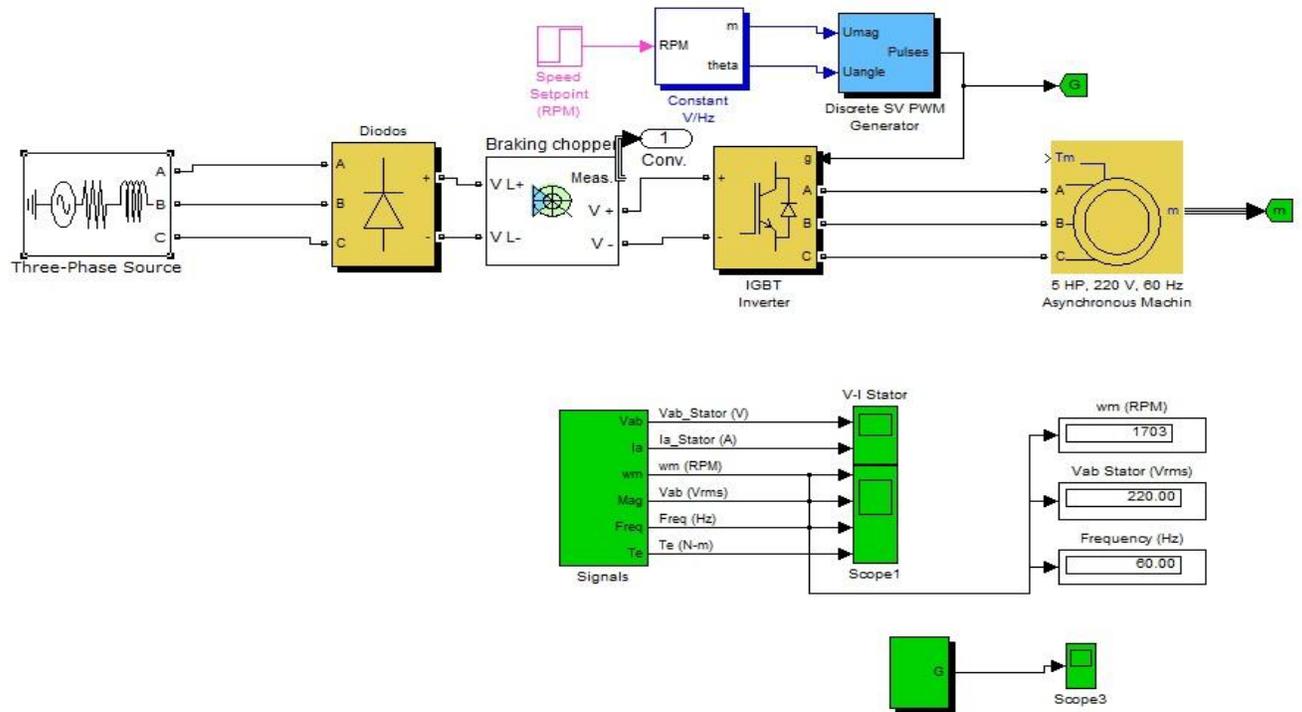


Figura 25 Modelo de regulación de velocidad en el variador



Figura 25 Interface para sinergia en el circuito del inversor ayudada por le toolbox GUI de MATLAB.



4.5 Mapa de memoria del variador de velocidad ALTIVAR 71

El mapa de memoria nos brinda la posibilidad de conectar el variador de velocidad con una PC. El modo para realizar la conexión lo da el fabricante del equipo y se encuentra en el manual del usuario VW3 A3 310 modbus TCP/IP tarjeta de Ethernet

- Servicio de escaneado I/O entre el controlador o PLC (IO escáner)
- EL dispositivo I/O escaneado

Este cambio está usualmente construido para servicios implícitos, tales como la programación de un PLC. El escáner de entrada y salida periódicamente esta generado por la lectura/escritura de múltiples registros (23=16#17). El variador de velocidad ALTIVAR 71 tiene por defecto las direcciones que son asignadas de fábrica. Estas direcciones pueden ser modificadas. En el ALTIVAR 71 el servicio de escaneado puede ser configurado para una tarjeta de Ethernet o Modbus server.

Cuando la entrada y salida del servicio de escaneado se ha activado en el dispositivo.

- La conexión TCP está habilitada en el dispositivo.
- Los parámetros asignados en variables periódicas son cambiados cíclicamente entre el dispositivo y el la tarjeta Ethernet.
- Los parámetros asignados a las variables periódicas de salida están reservados por la entrada y salida del escaneado. Y no se pueden escribir por otro servicio Modbus, aunque el escáner no este enviando las variables de salida periódicas.

Direcciones del Modbus Server

Unit ID	Modbus TCP server	Accessible parameters
0	Variable speed drive	See the Altivar 71 Communication parameters Manual.
251	Ethernet card	See the "Ethernet card parameters" section.
252	Controller Inside card	2048 words (%MW0 to %MW2047).
255	IO Scanner	See the "IO Scanner" section.



Parámetros de la tarjeta de Ethernet

Address	Size (in words)	Description	Access	Possible values, comments
60 000	6	MAC address	R	00-80-F4-80-xx-yy 00: 60 000 80: 60 001 F4: 60 002 80: 60 003 xx: 60 004 yy: 60 005
60 006	4	Current value of IP Address [IP card] (IPC-)	R/W	IPC1..IPC2..IPC3..IPC4 IPC1: 60 006 IPC2: 60 007 IPC3: 60 008 IPC4: 60 009
60 010	4	Current value of Subnet mask [IP Mask] (IPM-)	R/W	IPM1..IPM2..IPM3..IPM4 IPM1: 60 010 IPM2: 60 011 IPM3: 60 012 IPM4: 60 013
60 014	4	Current value of Gateway Address [IP Gate] (IPG-)	R/W	IPG1..IPG2..IPG3..IPG4 IPG1: 60 014 IPG2: 60 015 IPG3: 60 016 IPG4: 60 017
60 018	1	Transmission speed [Bit rate] (bdr)	R	<ul style="list-style-type: none"> ■ 0: Speed not defined ■ 10: 10 Mbps ■ 100: 100 Mbps
60 019	2	OK transmission counter	R/W	
60 021	1	Store-and-forward transmission counter	R/W	
60 022	1	Late collision counter	R/W	
60 023	1	Buffer (Tx) error counter	R/W	
60 024	2	OK reception counter	R/W	
60 026	1	CRC error counter	R/W	



Variables periódicas

Variables de salida que se escriben por el escáner

No	Asignación del sistema	Configuración
0	Reservado	No
1	Palabra de control (Cmd)	Si
2	Configuración de velocidad (LFrd)	Si
3	No asignada	Si
4	No asignada	Si
5	No asignada	Si
6	No asignada	Si
7	No asignada	Si
8	No asignada	Si
9	No asignada	Si
10	No asignada	Si
11-13	Reservada	no

*Estas variables no pueden ser cambiadas cuando el motor está funcionando.

*Los parámetros de monitoreo no se pueden configurar como variables periódicas de salida.



VARIABLES DE ENTRADA QUE SE LEEN POR EL ESCÁNER

No	Asignación del sistema	Configuración
0	Reservado	No
1	Palabra de control (EtA)	Si
2	Configuración de velocidad(rFrd)	Si
3	No asignada	Si
4	No asignada	Si
5	No asignada	Si
6	No asignada	Si
7	No asignada	Si
8	No asignada	Si
9	No asignada	Si
10	No asignada	Si
11-13	Reservada	no

Para el MATLAB se crea una estructura de datos usando un cell la cual tiene la condición de escribir y leer los datos almacenados.

4.6 Códigos de MATLAB para crear la interface

Para la presentación del programa se utilizó el siguiente código

```
function presentación
%Autor: Yunior Cabrera Aballe
%Estudiante de Ingeniería Eléctrica ISMM
%*****
% presentación: función que presenta la pantalla de presentación
%*****
clear,clc,cla,close all
%Creamos figura
figdiag=figure('Units','Normalized',...
               'Position',[0.0725 0.0725 0.57 0.57]),... %Tamaño de la
presentación
               'Number','off',...
               'Name','Departamento de Ingeniería Eléctrica ISMM', ...
               'Menubar','none', ...
               'color',[0 0 0]);
%Ubicamos ejes en figura
```



```
axes('Units','Normalized',...
     'Position',[0 0 1 1]);
%Incluir imagen
%Importamos imagen *.jpg,junto con su mapa de colores
[x,map]=imread('fondo.jpg','jpg');
%Representamos imagen en figura, con su mapa de colores
image(x),colormap(map),axis off,hold on
%Títulos sobre imagen
%Título
text(6,20,'Interface de comunicación para evaluar sinergia en variadores de
velocidad ALTIVAR 71','Fontname','Arial','FontSize',24,'Fontangle','Italic',
...
'Fontweight','Bold','color',[0 0 0]);

%Nombre del programador
text(10,280,'Diplomante: Yunior Cabrera Aballe','Fontname', ...
'Comic Sans MS','Fontangle','Italic','Fontweight','Bold', ...
'FontSize',16,'color',[0 0 0]);
%Nombre de los tutores
text(10,300,'Tutores: Dr. Luis Delfin Rojas Purón','Fontname', ...
'Comic Sans MS','Fontangle','Italic','Fontweight','Bold', ...
'FontSize',16,'color',[0 0 0]);
text(50,320,'MCs. Gabriel Hernández Ramírez','Fontname', ...
'Comic Sans MS','Fontangle','Italic','Fontweight','Bold', ...
'FontSize',16,'color',[0 0 0]);
text(50,340,'Ing. Daniel Mendiola Ellis','Fontname', ...
'Comic Sans MS','Fontangle','Italic','Fontweight','Bold', ...
'FontSize',14,'color',[0 0 0]);
%Botón Continuar
botok=uicontrol('Style','pushbutton', ...
'Units','normalized', ...
'Position',[.84 .03 .12 .05], ...
'String','CONTINUAR',...
'Callback','clear all; close all;clc; interface;');
```

Códigos de las interfaces

```
function varargout = Interface(varargin)
% INTERFACE M-file for Interface.fig
%   INTERFACE, by itself, creates a new INTERFACE or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = INTERFACE returns the handle to a new INTERFACE or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   INTERFACE('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in INTERFACE.M with the given input arguments.
%
%   INTERFACE('Property','Value',...) creates a new INTERFACE or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before Interface_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to Interface_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
```



```
%  
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES  
  
% Edit the above text to modify the response to help Interface  
  
% Last Modified by GUIDE v2.5 27-Jun-2011 18:28:47  
  
% Begin initialization code - DO NOT EDIT  
gui_Singleton = 1;  
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...  
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...  
                  'gui_OpeningFcn', @Interface_OpeningFcn, ...  
                  'gui_OutputFcn',  @Interface_OutputFcn, ...  
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...  
                  'gui_Callback',    []);  
if nargin && ischar(varargin{1})  
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});  
end  
  
if nargin  
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});  
else  
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});  
end  
% End initialization code - DO NOT EDIT  
  
% --- Executes just before Interface is made visible.  
function Interface_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)  
% This function has no output args, see OutputFcn.  
% hObject    handle to figure  
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB  
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)  
% varargin   command line arguments to Interface (see VARARGIN)  
  
% Choose default command line output for Interface  
handles.output = hObject;  
  
% Update handles structure  
guidata(hObject, handles);  
  
axes(handles.axes1)  
background = imread('sinergia.jpg');  
axis off;  
imshow(background);  
axes(handles.axes5)  
background = imread('Logo.jpg');  
axis off;  
imshow(background);  
axes(handles.axes2)  
background = imread('IGBT.jpg');  
axis off;  
imshow(background);  
axes(handles.axes3)
```



```
background = imread('Comunica.jpg');
axis off;
imshow(background);
axes(handles.axes4)
background = imread('comunicacion.jpg');
axis off;
imshow(background);
% UIWAIT makes Interface wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = Interface_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in Control.
function Control_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Control (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
%Botón Continuar
botok=uicontrol('Style','pushbutton', ...
    'Units','normalized', ...
    'Position',[.84 .03 .12 .05], ...
    'String','CONTINUAR',...
    'Callback','clear all; close all;clc; GUI;');

% --- Executes on button press in Supervicion.
function Supervicion_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Supervicion (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in Monitoreo.
function Monitoreo_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Monitoreo (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in Siguiente.
function Siguiente_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Siguiente (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
'Callback','close; interface';
'Callback','open; tesis';
```



Código de la 2 interface

```
function varargout = tesis(varargin)
% TESIS M-file for tesis.fig
%
%     TESIS, by itself, creates a new TESIS or raises the existing
%     singleton*.
%
%     H = TESIS returns the handle to a new TESIS or the handle to
%     the existing singleton*.
%
%     TESIS('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%     function named CALLBACK in TESIS.M with the given input arguments.
%
%     TESIS('Property','Value',...) creates a new TESIS or raises the
%     existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%     applied to the GUI before tesis_OpeningFcn gets called. An
%     unrecognized property name or invalid value makes property application
%     stop. All inputs are passed to tesis_OpeningFcn via varargin.
%
%     *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%     instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help tesis

% Last Modified by GUIDE v2.5 22-Jun-2011 12:33:12

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @tesis_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @tesis_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before tesis is made visible.
function tesis_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```



```
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin     command line arguments to tesis (see VARARGIN)

% Choose default command line output for tesis
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes tesis wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = tesis_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout    cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject     handle to figure
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;
axes (handles.axes1)
background = imread('Altivar 71.jpg');
axis off;
imshow(background);
varargout{1} = handles.output;
axes (handles.axes2)
background = imread('inversor.jpg');
axis off;
imshow(background);
varargout{1} = handles.output;
axes (handles.axes3)
background = imread('telemecanique.jpg');
axis off;
imshow(background);
% --- Executes on button press in Cerrar.
function Cerrar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject     handle to Cerrar (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject     handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)
selection = questdlg(['Cerrar ' get(handles.figure1, 'Name') '?'], ...
                    ['Cerrar ' get(handles.figure1, 'Name') '...'], ...
                    'Si', 'No', 'Si');
```



4.6 Principios de Algoritmos Genéticos

Para hablar de algoritmos genéticos tenemos que hablar antes de inteligencia computacional o soft computing, ya que la computación evolutiva (dentro de la cual se comprenden los algoritmos genéticos) es uno de los campos constituyentes de esta nueva disciplina. El soft computing es una técnica innovadora para construir sistemas inteligentes. A diferencia de la computación convencional, tolera imprecisiones, incertidumbres y aproximaciones. El objetivo del soft computing es precisamente conseguir soluciones aceptables, robustas y de bajo coste tolerando lo máximo posible las imprecisiones, incertidumbres y aproximaciones sobre el problema a resolver.

Los principales campos constituyentes del soft computing son la lógica fuzzy, la computación neuronal (redes neuronales), la computación evolutiva (algoritmos genéticos), el aprendizaje de las máquinas y el razonamiento probabilístico, con las más recientes incorporaciones de la teoría del caos y partes de la teoría del aprendizaje. Es importante remarcar que el soft computing no es una disputa de eficacia entre todos estos campos. Al contrario, se trata de combinar las distintas metodologías de estos campos para conseguir el sistema más cercano posible que imite la inteligencia humana en una tarea específica. Los algoritmos genéticos son algoritmos de búsqueda de propósito general que se basan en el modo en que la naturaleza consigue hacer que sus especies estén cada vez más adaptadas a su entorno, es decir, en la evolución. El año 1975 se toma como punto de referencia del origen de los estudios sobre algoritmos genéticos y, desde entonces hasta hoy en día, han ido mejorando y han sido utilizados para resolver problemas de los ámbitos más diversos.

Los elementos que se utilizan para la evaluación de la sinergia están dados por los Scope o display que se encuentran en la simulación, los datos almacenados de tensión corriente velocidad, modulación y torque son evaluados en tiempo real para obtener una mejor respuesta a las perturbaciones o deficiencias que tenga el sistema y poder mejorarlas con la evaluación de sinergia al accionamiento. Todos esos datos son variables de entrada que hay que caracterizar para el desarrollo de la gui.

Conceptos de sinergia



Para la conexión de la interface se utiliza la conexión Ethernet que esto se logra a través de un mapa de memoria del variador de velocidad y la adquisición de datos desde el MATLAB

4.7 Fundamentos de AG

Algoritmos Genéticos básicos

Los algoritmos genéticos básicos son los algoritmos genéticos más simples y son en los que se basan el resto de variantes. Su funcionamiento se basa en intentar imitar la evolución natural para buscar la mejor solución para un problema. Los algoritmos genéticos operan sobre un grupo de posibles soluciones al que se le llama población y que inicialmente es creado aleatoriamente. A cada una de estas posibles soluciones se le llama individuo o cromosoma y se representa como una cadena de números, habitualmente bits (0 y 1). Los individuos tienen una longitud concreta y a cada uno de los números que conforman un individuo se le llama gen. Lógicamente, la población que es generada al principio aleatoriamente será una población de malas soluciones, pero precisamente se trata de que la población vaya mejorando por medio de la evolución natural hasta conseguir buenas soluciones.

Función de fitness

La evolución natural se basa en que las especies se vayan adaptando a su entorno. Del mismo modo, en los algoritmos genéticos, las soluciones han de ir adaptándose al problema para que, al final, tengamos una población de buenas soluciones. La función de fitness es la función que mide lo adaptado que está un individuo al problema. Esta función será la que diga lo cerca que está una posible solución de la mejor solución del problema: cuanto mayor sea la función de fitness de un individuo, más cerca estará de la mejor solución. La función de fitness es la única función específica de cada problema de todas las funciones que realiza un algoritmo genético. Es, en cierto modo, la que define el problema dentro del algoritmo genético.

Selección de individuos

En cada generación de individuos debe hacerse una selección de los individuos más cualificados para pasar sus genes a la siguiente generación, al igual que ocurre con la



selección natural. Para acercarse lo más posible a ésta última, la selección en un algoritmo genético se hará de manera aleatoria, pero teniendo cada individuo una probabilidad de ser seleccionado proporcional a su función de fitness, es decir, a la bondad de sus genes. De este modo conseguimos que en general se vayan eligiendo a los mejores individuos, pero, al mismo tiempo, los que no son tan buenos también tienen posibilidades de pasar y aportar algún gen que haga falta para formar mejores individuos en la siguiente generación.

Una vez seleccionados los individuos cuyos genes pasarán a la siguiente generación, se procede a la formación de ésta. Para ello primero se realizarán un número aleatorio de cruces (como máximo población/2). Los individuos que se vayan a cruzar también se deberán elegir aleatoriamente, teniendo en cuenta que un mismo individuo no puede cruzarse más de una vez. El cruce consiste en un intercambio de genes entre dos individuos a partir de un punto que, como casi todo, se elige aleatoriamente. A continuación se muestra un ejemplo:

```
110|01      110|11
+   =>
010|11      010|01
```

Ejemplo 1: cruce

Después de realizarse todos los cruces tendremos un nuevo grupo de individuos que poseerán nuevas características con respecto a los anteriores.

Mutación En la naturaleza se dan cambios en las especies que no se deben a los genes heredados de sus antepasados, sino a las mutaciones que se producen por azar en su cadena genética y pueden aportar valores positivos o negativos en la adaptación de la especie a su entorno. Esto mismo se realiza en los algoritmos genéticos. Se elige al azar cuántos y cuáles de los individuos van a mutar (un individuo no puede mutar más de una vez), se elige que gen de su cadena mutará y se cambia ese gen por su complementado, como se ve a continuación:



1|0|101 => 1|1|101

Ejemplo 2: mutación

Una vez realizadas las mutaciones, ya tendremos la nueva generación, que, previsiblemente tendrá mejores características de adaptación al problema que la anterior, es decir, mejores funciones de fitness.

Condición de parada

Se deben realizar numerosos ciclos de selección, cruce y mutación para mejorar suficientemente la población de individuos. El algoritmo genético debe finalizar cuando considere que la mejor solución encontrada hasta ese momento es bastante buena o que no va a poder encontrar una mejor. Para eso se define una condición de parada. La condición de parada más sencilla es hacer que el algoritmo pare siempre después de haber hecho un número de ciclos predeterminado. Otra posible condición de parada es que la función de fitness alcance un valor determinado que se considere que es suficientemente bueno para ese problema. La condición que se utilizará en este trabajo como condición de parada es una mezcla de ambas. Se guardará el individuo que tenga el valor de fitness más alto de la generación inicial. A partir de ahí, si ese valor no es superado en veinte ciclos, el algoritmo parará. Siempre que el valor de fitness del individuo sea superado, se guardará el nuevo mejor individuo y se volverá a contar hasta veinte ciclos del algoritmo. La solución al problema será el individuo que esté guardado en el momento que pare el algoritmo.

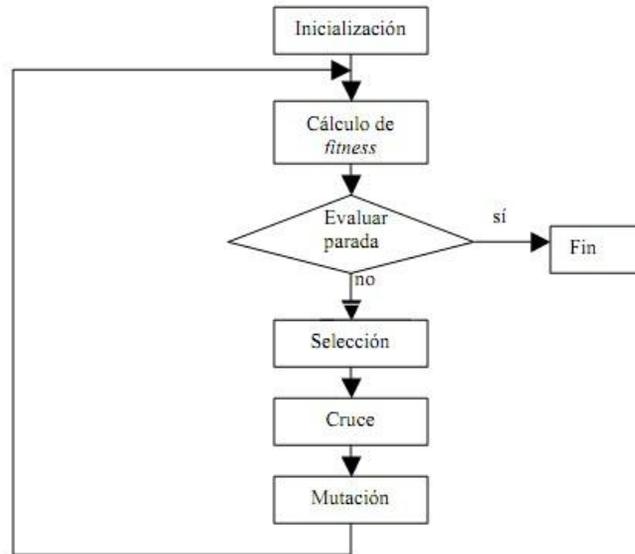


Figura 29 Diagrama de flujo del algoritmo genético



4.8 Conclusiones parciales

- ✓ Desarrollar la Interface capaz de evaluar la sinergia en el inversor sinusoidal de tensión cuando este opera con apreciable entropía de datos.
- ✓ Mejorar las características y condiciones en los inversores sinusoidal de tensión a PWM para tener un elevado desempeño.



Capítulo 5



Capítulo V Valoración Económica

5.1 Introducción

La aplicación y el empleo de técnicas inteligentes en los accionamientos de instalaciones industriales contribuyen a mejorar la eficiencia y el entorno de trabajo en estos sistemas.

Por otra parte, el software para la adquisición de datos y monitoreo de procesos industriales, trae consigo una serie de ventajas con respecto a los sistemas de control en los que se utiliza mucho la mano del hombre, desde este punto de vista, la aplicación de software evaluador reduce mucho los costos por mano de obra, brinda ventajas a la hora de evaluar el estado del proceso, gracias a la utilidad de históricos que se presenta, y a su vez se puede asignar tareas de mantenimiento a el equipo, y así mismo se puede tener una idea sobre la vida útil de cada uno de los accesorios, como también la pérdida de equipos por mal funcionamiento.

Desde el punto de vista económico la implementación de estos sistemas inteligentes asegura desde un inicio el desempeño óptimo del proceso, pero no se puede dejar de lado, que el montaje de una estación con todos los equipos vinculados con el software, de principio resultará una inversión fuerte, por la necesidad de adquisición de transductores, PCs, cables de comunicación; prácticamente se necesita una inversión,

5.2 Cálculo de los costos de explotación

Estos incluyen los gastos de la instrumentación de campo, en accesorios del PC y el software.

$$CTI = \Sigma CIC + \Sigma CV$$

$$CTI = 750 + 400 = 1150.00 \text{ \$USD } 972.00 \text{ CUC } 24300.00 \text{ CUP}$$

Dónde:

ΣCIC : Costo total de la instrumentación de campo

No tiene



ΣCV : Costo total de equipos y medios de explotación.

CV=3130.00 USD

$$A = CV + CTI$$

Costo total general sería: \$3130.00 - \$750.00= 1980.00 USD

A: Ahorro por concepto de software es de 1980.00 USD

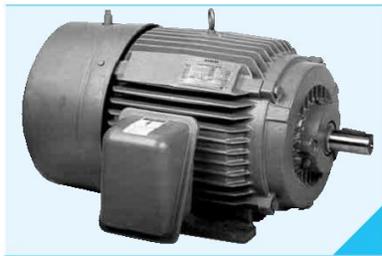
5.3 Gastos de inversiones

Materiales

Variador de velocidad ALTIVAR 71 HU40N4 5 hp \$705.00



Motor de inducción trifásico 220V, 4kW, 5hp, conexión estrella \$1500.00



PLC \$450:00



Nport \$75.00



PC \$400.00



El monto total de la inversión es de \$3130.00 USD 2662.00 CUC 66150.00 CUP

5.4 Cálculo del tiempo de amortización

El método que se utiliza es el de saldo decreciente

Costo total de la inversión durante su vida útil $K_i = F_0 + KR + K_m - K$

$$r = 1 - \sqrt[10]{K_i / (F_0 - KR - K_m)}$$

$$r = \sqrt[10]{350 / (3130 - 200 + 0)} = 2.21$$

El primer año $K_a(1) = r * (F_0 + KR + K_m - K_i) = r * K_i$

$$K_a(1) = 2.21 * (3130 - 350) = 2780$$

Para el primer año del tiempo de amortización de la inversión.

El segundo año

Valor que resta por amortizar

$$VR(2) = 2780 - 2780 = 0$$

$$K_a(2) = 2.21 * 0 = 0$$

La amortización de la inversión se realiza en 1 año. Por lo que es factible hacer la inversión.



5.5 Conclusiones parciales

- ✓ Los costos total integral fueron de 972.00 CUC, 24 300 CUP.
- ✓ Los gastos de inversión se estimaron en 2662.00 CUC, 66 150 CUP
- ✓ La inversión tiene un tiempo de amortización de 1 año.



Conclusiones Generales

- ✓ Describir el variador de velocidad ALTIVAR 71 sus modos de conexión.
- ✓ Elaborar una interface informática que permita conocer donde se encuentran los huecos, para la posible evaluación de sinergia.
- ✓ Ofrecer la simulación de la interface a diferentes estados de cargas del variador ALTIVAR 71 asistido por MATLAB.



Recomendaciones

- La creación de varios evaluadores de sinergia para el sistema
- La implementación y conocimiento de los demos de MATLAB con la realización de esquemas reales de accionamiento.
- Usar el mapa de memoria para otros programas de monitoreo, supervisión y control.



Bibliografía

ABAD, H.B.B.; VARJANI, A.Y.; ASGHAR, T. "Using Fuzzy Controller in Induction Motor Speed Control with Constant Flux", *Procedimientos de la Academia Mundial de Ciencia. Ingeniería y Tecnología*, 2005, abril (5).

ABDIN, E.; GHOEEM, A.; DIAB, H. *Efficiency optimization of a vector controlled induction motor drive an artificial neuronal network*. IECON Proceeding Annual Conference, 2003: p 2543-2548.

ABRAHAMSEN, F. et. al. Efficiency-optimized control of medium size induction motor drives. *IEEE Transaction on Industrial Application*, 2001, 36(6): p 1761-1767.

ANTOINE, K.K. *Patrones cognoscitivos para el diagnóstico de las escobillas de los turbogeneradores en la Empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara*. Trabajo de Diploma, ISMM, 2007.

BABUSKA, R.; VERBRUGGEN, H.B.; HELLENDORRN, H. *Promising Fuzzy Modelling and Control Methodologies for Industrial Applications*. Holanda: Universidad de Tecnología de Delft, s.a.

BERNAL, F.; CERRADA, F.R. Model-based loss minimization for DC na AC vector-controlled motors including core saturation. *IEEE Transaction on Industrial Application*, 2000, 36: p 755-763.

BLANUSA, B.; MATIC, P.; VUKOSAVIC, S.N. *An improved search based algorithm for efficiency optimization in the induction motor drives*. Yugoslavia: Universidad de Banja Luka, 2002.



- BÖCKER, J.; MATHAPATI, S. *State of the Art of Induction Motor Control*. Alemania: Universidad de Paderborn.
- BOGLIETTI, A. et. Al. Influence of the inverter characteristics on the iron losses in PWM inverter-fed induction motors. *IEEE Trans. On Industry Applications*. 1990, 26(5).
- BOSE, B.K. *Modern Power Electronics and AC Drives*. New York: Prentice Hall, 2002.
- BOSE, B.K. Expert System, Fuzzy Logic, and Neural Network Applications in Power Electronics and Motion Control. *Conferencia del IEEE*, Agosto 1994, 82(8).
- BURNS, R.S. *Advanced Control Engineering*. Butterworth – Heinemann, 2001.
- CASADEI, D. et. al. Two Viable Schemes for Induction Motors Torque Control. *Transacciones del IEEE sobre la Electrónica de Potencia*, septiembre 2002, 17(5).
- COSTA MONTIEL, A.; VILARAGUT LLANES, M. *Modelos Matemáticos y Simulación del Motor de Inducción Trifásico*. La Habana: CIPEL - ISPJAE, 2005.
- CZARNECKI L. Effect of supply voltage harmonics on IRP-based switching compensator control. *IEEE Transactions on Power Electronics*. February 2009, 24(2): p 483-488.
- DÍAZ, H.; BORJAS, R.; SAGÁRDIA, A.. Diseño y ensayo de un controlador difuso para un motor de inducción trifásico. *Revista Facultad de Ingeniería U.T.A*, 1997, 4 .
- EMADI, A. *Energy-Efficient Electric Motors*. 3 ed. 2004.
- FILIPPICH, M. *Digital Control of a Three Phase Induction Motor*. Trabajo de Diploma. Universidad de Queensland, 2002.



HENDERSON, D.S. *Variable Speed Electric Drives – Characteristics and Applications*.
Universidad Napier, Reino Unido.

GARCIA, G.; SANTIESTÉBAN, A.; BRIGNONE, D. Iron losses influence on a field-oriented controller. 20th International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation, IECON-94, Bologna, Italy. p 633-638.

Kaburlasos, V. G.: “Novel Fuzzy System Modelling for Automatic Control Applications”, 4^{ta} Conferencia Internacional sobre Tecnología y Automatización, Thessaloniki, Greece, October 2002.

KARRIS, S.T. *Introduction to Simulink with Engineering Applications*. [s.l]: Orchard Publications, 2006.

KIOSKERIDIS, I.; MARGARIS, N. Loss Minimization in Induction Motor Adjustable Speed Drives. *Transacciones del IEEE sobre la Electrónica de Potencia*, Febrero del 1996, 43(1).

KIOSKERIDIS, I.; MARGARIS, N. Loss Minimization in Scalar-Controlled Induction Motor Drives with Search Controllers. *Transacciones del IEEE sobre la Electrónica de Potencia*, marzo del 1996, 11(2).

KUMAR, S.; SINGH, B.; CHATTERJEE, J. K. *Fuzzy Logic Based Speed Controller for Vector Controlled Cage Induction Motor*. Nueva Delhi: Instituto de Tecnología de la India, s.a.

MATH WORKS INC. *MATLAB Fuzzy Logic Toolbox User's Guide*. [s.l.]: Math Works Inc., 1998.



MCPHERSON, G.; LARAMORE, R.D. *An Introduction to Electrical Machines and Transformers*. 2 ed. La Habana, 1988.

MOHAN, N.; UNDELAND, T.M.; ROBBINS, W.P. *Power Electronics: Converter Applications and Design. Motor Drive Applications*. 2 ed. Nueva York: John Wiley & Sons, 2002. TI,TII.

MORENO EGUILAZ, J.M., et.al. *Fuzzy logic based improvements in efficiency optimization of induction motor drives*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.

MUDI, R. K.; PAL, N.R. A Robust Self-Tuning Scheme for PI- and PD-Type Fuzzy Controllers. *Transacciones del IEEE sobre la Lógica Fuzzy*. febrero del 1999, 7(1).

OROS, R. C.; FORTE, G.O.; CANALI, L. *Scalar Speed Control of a d-q Induction Motor Model Using Fuzzy Logic Controller*. Córdoba: Universidad Tecnológica Nacional, 2004.

RASHID, M. H. *Power Electronics Handbook*. [s.l.]: Academic Press, 2001.

REZNIK, L. *Fuzzy Controllers*. [s.l.]: Newnes Publishers, 1993.

ROJAS PURÓN, L.D.; GUZMÁN DEL RIO, D.; MORERA, M. *Mejoramiento de eficiencia en accionamiento de bomba centrífuga por control de pérdidas usando lógica difusa*. XI Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control, septiembre del 2005.

Rojas Purón, L. D. *Accionamiento eléctrico asincrónico para transporte eficiente de pulpa laterítica*. Tesis doctoral. ISPJAE, 2006.



ROMERO RUEDA, I. *Conferencias de Máquinas Eléctricas III: Conferencia #5: Momentos de rotación y potencias del motor de inducción*. Moa: ISMM, 2002.

SÁNCHEZ PARRA, M.; BAHAMACA FERNÁNDEZ, L.J. *Realización de controladores lógicos difusos para el control de procesos en tiempo real: Especificación y Diseño*. México: IIE – UCI, [s.a].

SOUSA, G.C.D.; BOSE, B.K.; CLELAND, J.G. Fuzzy Logic Based On-Line Efficiency Optimization of an Indirect Vector Controlled Induction Motor Drive. *Transacciones del IEEE sobre la Electrónica Industrial*. Abril de 1995, 42(2).

SPIEGEL, R. J.; TURNER, M.W.; MCCORMICK, V.E. *Fuzzy – Logic – Based Controllers for Efficiency Optimization of Inverter – Fed Induction Motor Drives*. EE.UU: Agencia de Protección del Medioambiente, Mayo 1999.

TA, C.M.; HORI, Y. Convergence Improvement of Efficiency-Optimization Control of Induction Motor Drives. *Transacciones del IEEE sobre Aplicaciones Industriales*. noviembre / diciembre del 2001, 37(6).

TAKAGI, T.; SUGENO, M. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. *IEEE Proceedings*. Diciembre 1974, 12: p 1585-1588.

TURNER, M.W.; MCCORMICK, V.E.; CLELAND, J.G.: *Efficiency Optimization Control of AC Induction Motors: Initial Laboratory Results*. EE.UU: Agencia de Protección del Medioambiente, Mayo 1999.

VAEZ – ZADEH, S.; HENDI, F. A continuous efficiency optimization controller for induction motor drives. *Energy Conversion and Management*. 2005, 46: p. 701–713.



WALKER M. L.; DIANA G. Test bed system to evaluate the efficiency of variable speed drives under varying load conditions. *IEEE* , 1998. p 345 –348.

YATIM A. ; UTOMO, W. On line optimal control of variable speed compressor motor drive using neural control model. *PE Proceeding Conference*, 2004. p 83-87.

Referencia en Internet

VIEJO HERNANDO, D. Sistemas expertos, 2003. [en línea]. Consultado [20040406]. Disponible en: <http://www.divulga-ia.com/cursos/cursos.xml?numero=2&nombre=2003-9-26a&numLecc=1>

SAMPER MÁRQUEZ, J.J. Introducción a los sistemas expertos, 2004. [en línea]. Consultado [20081011]. Disponible en: <http://www.redcientifica.com/doc/doc199908210001.html>.

SAMPER, J. Sistemas expertos. El conocimiento al poder, 2003. [en línea]. Consultado [20090318]. Disponible en: <http://www.psycologia.com/articulos/ar-jsamper01.htm>.

CRIADO BRIZ J.M. Introducción a los sistemas expertos. [en línea]. 2002. Consultado [20090109]. Disponible en: http://ingenieroseninformatica.org/recursos/tutoriales/sist_exp/cap1.php.

WIKIPEDIA . Sistema_GUI. [en línea]. 2004. Consultado [20090211]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_gui.

CASTRO M. Sistemas expertos. [en línea]. 2002. Consultado [20090423]. Disponible en: http://strix.ciens.ucv.ve/~iartific/Material/PP_Sistemas_Expertos.pdf.

FÉLIX, J. Aplicaciones, ventajas y limitaciones de los sistemas expertos. [en línea]. 2004. Consultado [20090512]. Disponible en: <http://efelix.iespana.es/efelix/expertaplicaciones.htm>.



Anexos

Tabla 1 Datos de la simulación en el inversor sinusoidal de tensión a pwm para diferentes estados de carga.

