



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO
DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ
FACULTAD DE METALURGIA ELECTROMECHANICA
DEPARTAMENTO DE ELECTRICA

Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Eléctrico

Tema: Sistema SCADA para evaluar eficiencia en variador de
velocidad ALTIVAR

Autor: José Manuel Silva

Tutores: Dr. Luis Delfín Rojas Purón
Ing. Hilder Lobaina Galano
Dpto. Ingeniería Eléctrica.
ISMM, Moa, Holguín

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo, José Manuel Silva Portelles, autor del trabajo de diploma “Sistema SCADA para evaluar eficiencia en variador de velocidad ALTIVAR” certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el cual podrá hacer uso del mismo para fines docentes, educativos e investigativos.

Firma del Autor

Los abajo firmantes, certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdos de la dirección del centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener una investigación de esta envergadura, referida a la temática señalada.

Firma del tutor

Jefe de Departamento

Jefe de Carrera

Dedicatoria

A mi madre Aine, quien ha visto siempre en mí la capacidad de crecerme como ser humano y para la cual soy su orgullo mayor.

A todas aquellas personas que pusieron su granito de arena en esta investigación y sin los cuales hubiera sido imposible su realización.

Agradecimiento

A mí querida familia por la ayuda brindada y en especial a mi madre Aine.

A Jorge Luis, que por muchos años ha velado por mi crecimiento personal y he sido un hijo para él.

A mi compañera Eidy, por su comprensión y apoyo.

A mis tutores Dr. Luis Delfín Rojas Purón y al Ing. Hilder Lobaina Galano por la acertada maestría pedagógica en la conducción de esta investigación, por el optimismo que fue capaz siempre de trasmitirme, por las ideas tan valiosas y por la confianza depositada en mí.

A Rolando por su ayuda en la corrección de la tesis. Siempre tan atento y dispuesto a ayudar.

A la negra y su familia, por su sabiduría y consejos, por su optimismo y confianza depositada en mi.

A los profesores de la carrera por sus brillantes demostraciones de sabiduría.

A los compañeros del departamento de Automática de la empresa Pedro Soto Alba, por las facilidades brindadas siempre que fue necesario.

A mis amigos y amistades que siempre confiaron en mí.

A todos gracias

RESUMEN

Este trabajo parte de la necesidad de elaborar una interface informática que permita evaluar el comportamiento del variador de velocidad ALTIVAR operando con alta variabilidad en la corriente del circuito de carga. Se plantea la interface de comunicación entre la estación de trabajo en soporte Citect de un PC y un variador de velocidad ALTIVAR 71, que opera con carga variable en un circuito RLC de 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 protocolo Modbus- Modbus TCI- IP.

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.

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

SUMMARY

This work is based on the necessity of elaborating a computer interface that allows to evaluate the behavior of the variator of speed ALTIVAR operating with high variability in the current of the load circuit. The communication interface is established between the work station in support Citect of a PC and a variator of speed ALTIVAR 71 that operates with variable load in a circuit RLC of motor of induction trifásico of squirrel cage.

The structure of the interface is based on several blocks of acquisition of data using protocol terminals Modbus - Modbus TCI - IP.

The case of study is developed with an observer of the modulation index of the Sinusoidal Tension Investor to PWM that changes with regard to the current of load of the circuit investor RLC that constitutes the induction motor. The conditions of variable loads.

It is of interest, the block conditioner of signs that is modeled from the Citect, and offers an evaluation of the variator behavior in the system. It is also included, the experimental theoretical base of the circuit of power obtained from a graphic interface, helped by the toolbox GUI of the Citect.

ÍNDICE	Pág.
Introducción.....	1
Capítulo I: Inversores Sinusoidales de Tensión a PWM.....	4
1.1 Introducción.....	4
1.2 Estado del arte de Inversores Sinusoidal Tensión a PWM.....	4
1.3 Esquemas principales de moduladores a PWM.....	6
1.4 Algoritmos de control de PWM.....	7
1.5 Conclusiones parciales.....	16
Capítulo II: Descripción del variador de velocidad ALTIVAR.....	17
2.1 Introducción.....	17
2.2 Descripción del variador altivar 71 HU40 M3	17
2.3 Esquema de potencia. Circuito de mando.....	24
2.4 Protocolos de comunicaciones.....	24
2.5 Aplicaciones en accionamientos con bombas centrífugas.....	24
2.6 Conclusiones parciales.....	27
Capítulo III: Base experimental del Inversores de Sinusoidal Tensión a PWM.....	28
3.1 Introducción.....	28
3.2 Base experimental del Inversores de Sinusoidal Tensión a PWM.....	28
3.3 Análisis estadístico de los datos experimentales.....	29
3.4 Conclusiones parciales.....	31
Capítulo IV: Sistemas SCADA.....	32
4.1 Introducción.....	32
4.2 Nociones sobre SCADA.....	32
4.3 Interfaces para evaluar eficiencia en variadores de velocidad.....	34
4.4 SCADA supervisora de eficiencia.....	37
4.5 Conclusiones parciales.....	39
Capítulo V: Simulación usando la interface de comunicación asistida por CITECT.....	40
5.1 Introducción.....	40
5.2 Descripción del esquema de simulación.....	40

5.3 Interfaces del GUI para el supervisor de eficiencia.....	42
5.4 Fundamentos de SCADA.....	45
5.5 Estimador de eficiencia.....	53
5.6 SCADA del control de eficiencia.....	59
5.7 Conclusiones parciales.....	60
Capítulo VI: Evaluación de eficiencia del variador de velocidad.....	61
6.1 Introducción.....	61
6.2 Cálculo de los costos de explotación.....	61
6.3 Gastos de inversiones.....	62
6.4 Cálculo de tiempo de amortización.....	63
6.5 Conclusiones parciales.....	66
Conclusiones Generales.....	67
Recomendaciones.....	68
Bibliografía.....	69
Anexos	

INTRODUCCIÓN

La Electrónica de Potencia se utiliza cada vez más en diferentes aplicaciones, su tarea consiste en procesar y controlar el flujo de la energía eléctrica por medio el suministro de voltajes y corrientes de forma óptima, que pueda ser aprovechada por las diferentes cargas.

Este proceso debe realizarse con convertidores o convertidores - inversores que tengan características de alto rendimiento, bajo costo y alta calidad de la tensión; además poseer corriente en las terminales de entrada y salida de los convertidores y convertidores - inversores.

Ante el desarrollo tecnológico se ha extendido la utilización de estos convertidores por las bondades que ellos reportan a la industria. Los variadores de velocidad garantizan proporcionan una utilización óptima de la energía, pues en dependencia de la carga del motor es posible variar esta velocidad y a la vez la energía de consumo del sistema, lo se revierte en una mayor eficiencia.

El tipo de carga al que esta sometido el motor, es uno de los factores que se debe tener en cuenta para variar la velocidad del mismo. Este es un proceso que debe realizarse de manera minuciosa utilizando los equipos que permitan obtener datos de las condiciones reales de operación del motor.

En condiciones reales de operaciones los variadores de velocidad necesitan una adecuada instrucción para lograr un servicio adecuado; de ahí la importancia de poseer una interface informática que permita evaluar la sinergia del variador de velocidad.

Es posible encontrar software que permiten modelar la variación de la velocidad de los motores trabajando en condiciones reales. Esto software se opera a través de una computadora conectada al variador mediante sus puertos de comunicación.

Uno de los variadores que tienen aplicación en las industrias del territorio de Moa es el variador ALTIVAR 71 HU40 M3, este variador aparece principalmente en las plantas

procesadoras de níquel. Como parte del proceso de perfeccionamiento económico y el ahorro de recursos se le ha prestado especial atención a la utilización eficiente de los variadores de velocidad.

Independientemente que se ha trabajado en la búsqueda de alternativas para determinar la sinergia de los variadores de velocidad ALTIVAR, cuando estos operan 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, todavía no se logra evaluar de manera objetiva esta sinergia.

En los hidro-transporte de pulpa laterítica de mineral de níquel, debido a la variabilidad de la carga de mineral es sumamente importante que se evalúe la sinergia de los variadores de velocidad ALTIVAR que se usan. Por lo que se impone desplegar una investigación que permita a través de una interface informática que permita evaluar la sinergia del variador de velocidad ALTIVAR operando en condiciones industriales.

Todo lo anterior permite declarar los siguientes elementos conductores de la investigación:

Problema

- ▶ La necesidad de evaluar el comportamiento del variador de velocidad ALTIVAR 71 HU40 M3, para condiciones de cargas mecánicas de accionamientos con motor de inducción, cuando se opera con alta variabilidad en la corriente del circuito de carga para diferentes índices de modulación del inversor sinusoidal de tensión a PWM.

Hipótesis

Mediante el estudio de los principales índices informativos de los protocolos de comunicación, del variador de velocidad ALTIVAR 71 HU40 M3, cuando este opera con excesiva entropía de información, entonces, es posible elaborar una

adecuada interfase de comunicación que permita evaluar, el comportamiento del variador y se obtenga una reducción en el consumo energético de la instalación.

Objetivo

Elaborar una interface informática que permita evaluar el comportamiento energético del variador de velocidad ALTIVAR 71 HU40 M3, con vista a la reducción de pérdidas de la instalación.

Objetivos específicos

- Describir el variador de velocidad ALTIVAR 71 HU40 M3 operando en condiciones de campo.
- 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 asistida por CITECT.
- Elaborar una interface informática para evaluar el comportamiento energético de la instalación.

Métodos de investigación empleados:

- Método de investigación documental y bibliográfica para la sistematización los fundamentos teóricos que sustentan la temática.
- Método de investigación teórico - experimental para describir, caracterizar la sinergia del variador de velocidad ALTIVAR 71 HU40 M3.
- Modelación análisis y síntesis en el procesamiento de la información tanto del nivel teórica como empírica.

CAPITULO I: INVERSORES SINUSOIDALES DE TENSIÓN A PWM.

Una parte de la electrónica de potencia estudia la utilización de inversores. La función del inversor es transformar una tensión de corriente continua (cc) a una tensión de corriente alterna (ca) cuya frecuencia en el lado de ca es variable de acuerdo a la deseada. En este capítulo se realiza un esbozo de los inversores Sinusoidales de tensión a PWM, resaltando los aspectos fundamentales que permitan adquirir los conocimientos básicos para evaluar la eficiencia de los variadores de velocidad.

1.1 Estado del arte de Inversores Sinusoidales Tensión a PWM.

Los inversores se emplean con regularidad en vareadores de velocidad de Corriente Alterna como fuentes ininterrumpibles (UPS) y otras aplicaciones, de las cuales los vareadores 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.

Esquemas principales de moduladores a PWM.

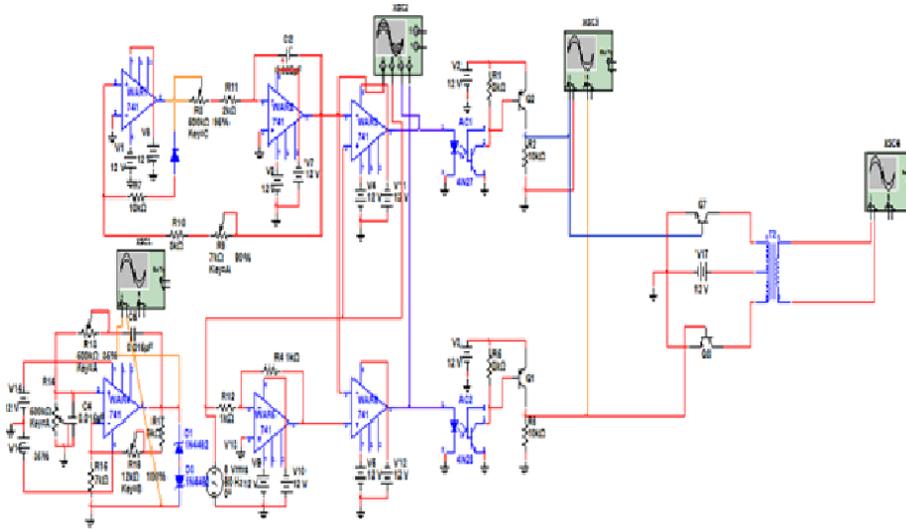


Figura1 Esquemas principales de moduladores a PWM.

En muchas aplicaciones industriales, a menudo es necesario el control a la salida de los inversores por lo cual se han desarrollado varias técnicas de modulación con el objetivo de:

Hacer frente a las variaciones de entrada de corriente directa, la regulación de voltaje de los inversores y los requisitos de control constante de voltaje y frecuencia. Los inversores más avanzados utilizan la modulación por ancho de pulso (PWM o Pulse Width Modulation) con una frecuencia portadora mucho más alta para aproximarse más a la onda seno o modulación por vectores del espacio mejorando la distorsión armónica de salida. También se puede pre distorsionar la onda para mejorar el factor de potencia ($\cos \Phi$).

La idea básica es comparar una tensión de referencia sinusoidal de baja frecuencia (que sea imagen de la tensión de salida buscada) con una señal triangular simétrica de alta frecuencia de conmutación. La frecuencia de la onda

triangular (llamada portadora) debe ser, como mínimo 20 veces superior a la máxima frecuencia de la onda de referencia, para que se obtenga una reproducción aceptable de la forma de onda sobre una carga, después de efectuado el filtraje. La señal resultante de dicha comparación generará la lógica para abrir y cerrar los semiconductores de potencia.

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.

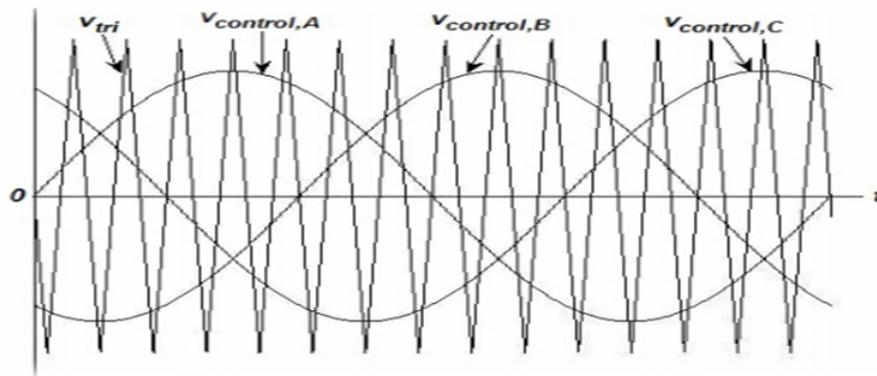


Figura 2 PWM Senoidal: forma de onda de señales de control y portadora.

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_r , 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

$$M_a = \frac{V_{control}}{V_{tri}} \quad (1.1)$$

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

$$M_f = \frac{f_s}{f_1} \quad (1.2)$$

Del inversor en 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)

$$V_{control, a} > V_{tri}, \quad S_a \text{ ON}, \quad V_{A0} = \frac{1}{2} V_{cd} \quad (1.3)$$

$$V_{control, a} < V_{tri}, \quad S'_a \text{ ON}, \quad V_{A0} = -\frac{1}{2} V_{cd} \quad (1.4)$$

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.

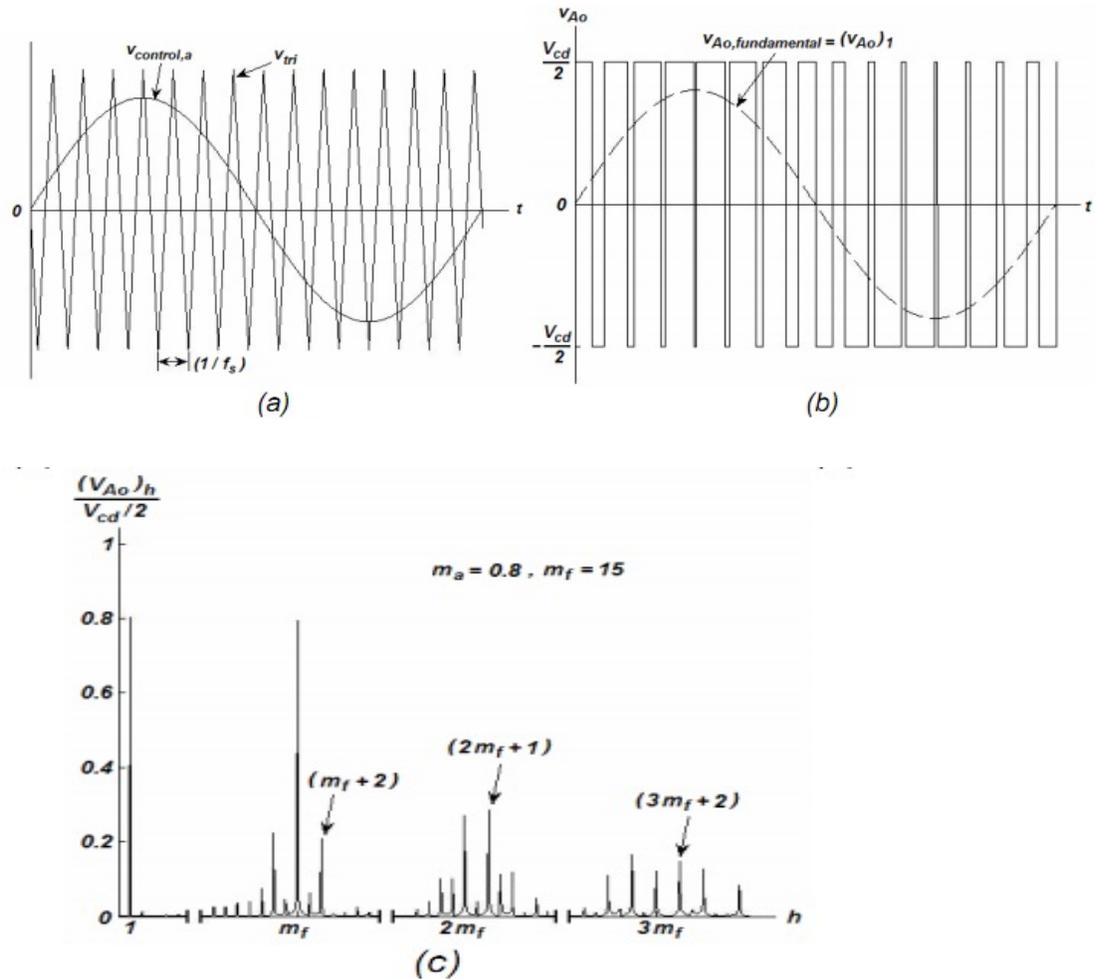


Figura3. Modulación Ancho de Pulso (PWM): (a) señal portadora triangular y de control de la fase a; (b) componente fundamental y voltaje de salida; (c) espectro armónico de la señal de salida.

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

$$V_{A0} = \frac{V_{control} V_{cd}}{V_{tri} \cdot 2} \quad V_{control} \leq V_{tri} \quad (1.5)$$

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

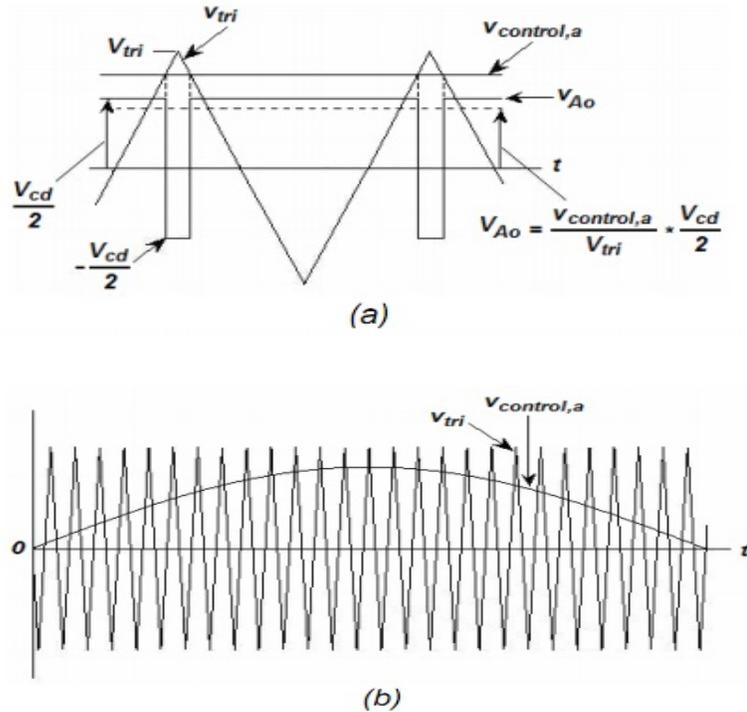


Figura 4. PWM Senoidal: señal de control constante en un período de tiempo de conmutación; (b) señal portadora triangular y de control de la fase a.

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 $f_1 = \omega 1/2\pi$, la cual es la frecuencia deseada (fundamental) a la salida del inversor.

El hecho de que la componente de frecuencia fundamental V_{A0} varía senoidalmente y en fase con V_{control} como función de tiempo, se obtiene que

$$\begin{aligned}
(v_{A0})_1 &= \frac{V_{control}}{V_{tri}} \sin \omega_1 t \frac{V_{cd}}{2} \\
&= m_a \sin \omega_1 t \frac{V_{cd}}{2} \quad \text{para } m_a \leq 1.0 \\
(V_{A0})_1 &= m_a \frac{V_{cd}}{2} \quad \text{para } m_a \leq 1.0
\end{aligned} \tag{1.6}$$

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

$$v_{an} = v_{a0} + \frac{1}{2}V_{cd} \tag{1.7}$$

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

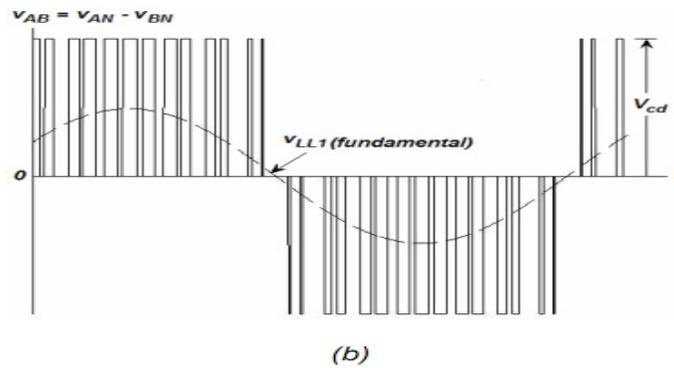
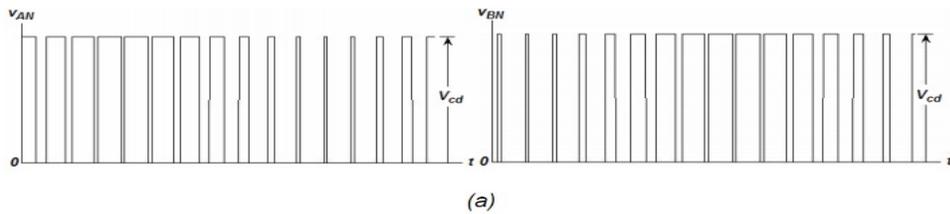
2. El armónico m_f es un entero impar. El escogerlo de esta forma resulta una simetría impar y de media onda. De esta forma los armónicos pares desaparecen de la forma de onda V_{A0} .

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).



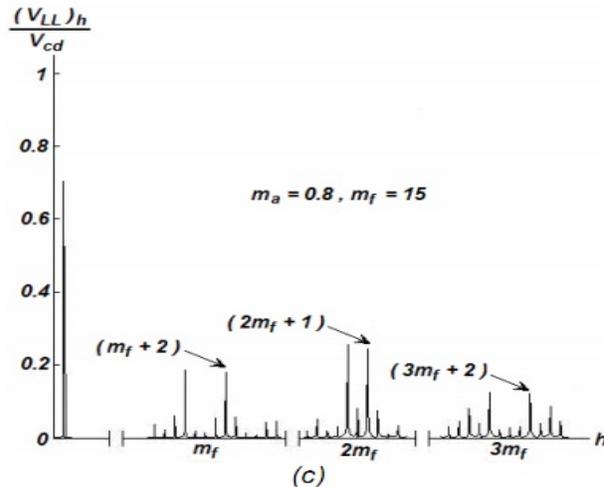


Figura 5 Formas de onda del PWM senoidal 3- (a) voltajes de fase de salida; (b) voltajes de línea a línea de salida y componente fundamental; (c) espectro armónico

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. Pude 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 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 sobre- modulación 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®.

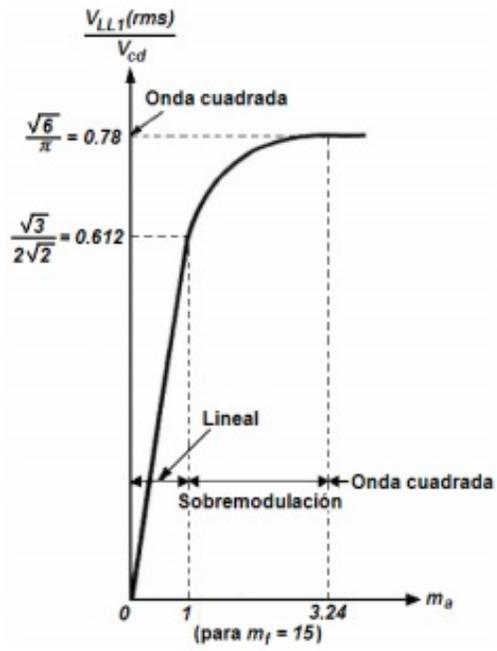


Figura 8 VLL1(RMS)/Vcd como función de ma.

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 II: DESCRIPCIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD ALTIVAR 71 HU40 M3

2.1 INTRODUCCIÓN

Una gran parte de los equipos utilizados en la industria moderna funcionan a velocidades variables, como por ejemplo los trenes laminadores, los mecanismos de elevación, las máquinas-herramientas, etc. En los mismos se requiere un control preciso de la velocidad para lograr una adecuada productividad, una buena terminación del producto elaborado, o garantizar la seguridad de personas y bienes.

El estudio de este fenómeno para cada caso particular tiene una gran importancia práctica, ya que la elección correcta de las características de los motores y variadores a instalar para un servicio determinado, requieren el conocimiento de las particularidades de éste producto.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL VARIADOR ALTIVAR 71 HU40 M3

Los variadores de velocidad son dispositivos electrónicos que permiten variar la velocidad y el momento de los motores asíncronos trifásicos, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables.



Figura 1. Variador ALTIVAR 71 HU40M3

Es importante señalar que estos equipos se utilizan cuando las necesidades de la aplicación sean:

- Dominio de par y la velocidad
- Regulación sin golpes mecánicos
- Movimientos complejos
- Mecánica delicada

Los variadores de frecuencia están compuestos por tres etapas que garantizan su funcionamiento:

- Etapa Rectificadora. Convierte la tensión alterna en continua mediante rectificadores de diodos, tiristores, etc.
- Etapa intermedia: a través de un filtro permite suavizar la tensión rectificada y reducir la emisión de armónicos.
- Etapa inversora, también conocida como ondulator: Convierte la tensión continua en otra de tensión y frecuencia variable mediante la generación de pulsos. Actualmente se emplean IGBT's (Isolated Gate Bipolar Transistors) para generar los pulsos controlados de tensión. Ver figura 2

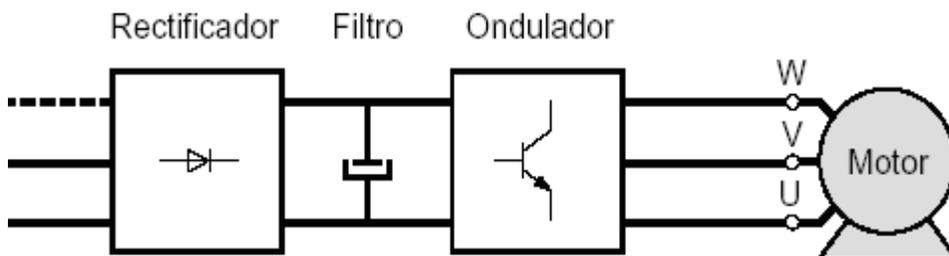


Figura 2. Diagrama en bloque del variador ALTIVAR 71 HU40M3

Los arrancadores y variadores de velocidad electrónicos se componen de dos módulos generalmente montados en una misma envoltura:

- Un módulo de control que controla el funcionamiento del aparato,
- Un módulo de potencia que alimenta el motor con energía eléctrica.

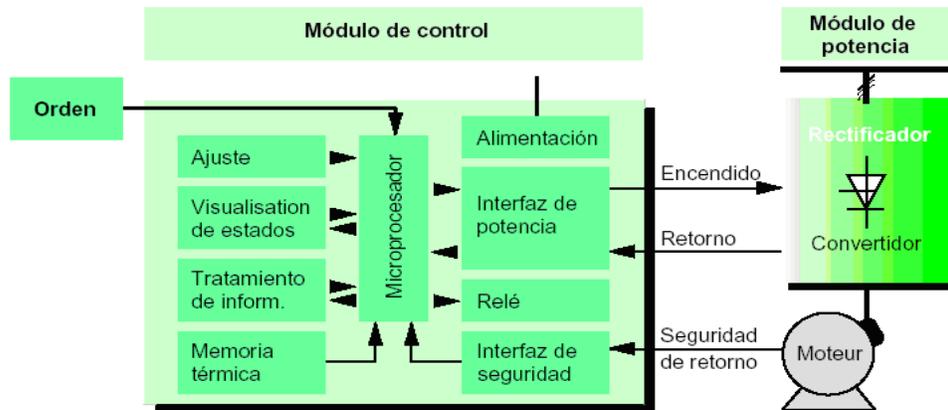


Figura 3 Modulo de control de los inversores

El módulo de control

En los arrancadores y variadores modernos, todas las funciones se controlan mediante un microprocesador que gestiona la configuración, las órdenes transmitidas por un operador o por una unidad de proceso y los datos proporcionados por las medidas como la velocidad, la corriente, etcétera.

Las capacidades de cálculo de los microprocesadores, así como de los circuitos dedicados han permitido diseñar algoritmos de mando con excelentes prestaciones y, en particular, el reconocimiento de los parámetros de las máquinas. A partir de estas informaciones, el microprocesador gestiona las rampas de aceleración y deceleración, el control de la velocidad y la limitación de corriente, generando las señales de control de los componentes de potencia. Las protecciones y la seguridad son procesadas por circuitos especializados o están integradas en los módulos de potencia.

El módulo de potencia

El módulo de potencia está principalmente constituido por:

Componentes de potencia (diodos, tiristores, IGBT...),

Interfaces de medida de las tensiones y/o corrientes.

El ALTIVAR 71 HU40 M3

Es uno de los variadores que existen en el mercado mundial, ofrecidos por el fabricante Telemecanique.

Este tipo de variadores en sus partes constructivas cuenta con un terminal gráfico extraíble que es el encargado de brindarle la información adecuada al operador, este contiene:

Terminal gráfico desviable: el mismo se fija en la parte delantera del variador y es el encargado de facilitar la comunicación del variador para la obtención de datos, realizar órdenes directas, entre otras.

Este terminal gráfico en esencia se utiliza:

- Para controlar, ajustar y configurar el variador.
- Para ver los valores actuales (motor, entradas/salidas...).
- Para memorizar y telecargar configuraciones; se pueden memorizar hasta 4 ficheros de configuración.

Es importante señalar que el controlador gráfico puede conectarse a una distancia determinada con ayuda de accesorios para el montaje en una puerta, e incluso puede conectarse a varios ventiladores con la ayuda de conexión multipunto.

La temperatura máxima que utiliza es de 60 °C, su grado de protección es de IP54 y en el mercado este controlador puede ser adquirido junto con el variador o por separado.

Descripción del terminal

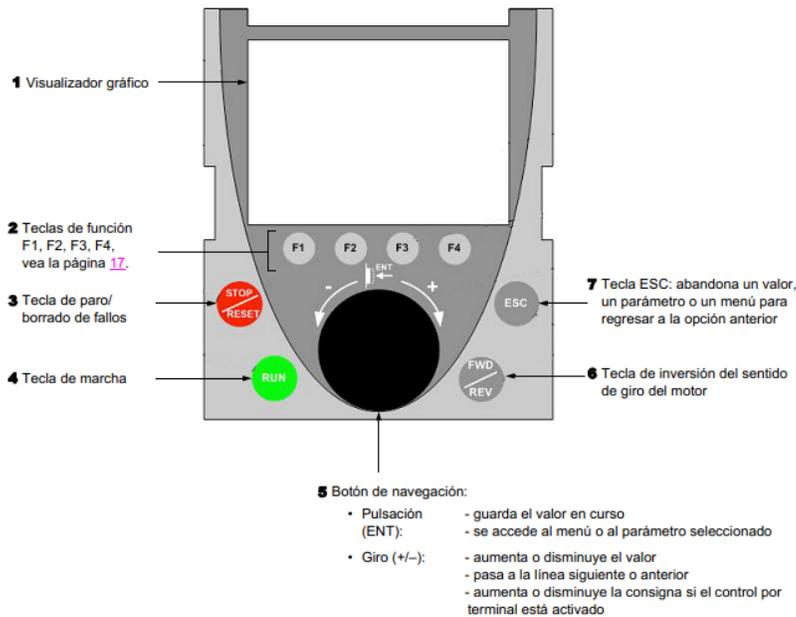


Figura 4. Terminal gráfico

Componente del terminal

1 Visualizador gráfico:

- 8 líneas, 240 × 160 píxeles.
- Visualización de grandes dígitos legibles a una distancia de 5 m.
- Visualización de barras gráficas.

2 Teclas de funciones asignables F1, F2, F3, F4:

- Funciones de diálogo: acceso directo, pantallas de ayuda, navegación.
- Funciones de aplicación: “Local Remote”, velocidad preseleccionada.

3 Tecla “STOP/RESET”: control local de parada del motor/borrado de los fallos.

4 Tecla “RUN”: control local de marcha del motor.

5 “Joystick” de navegación:

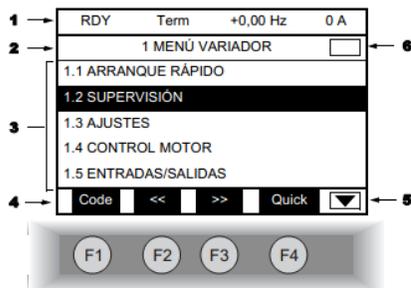
- Pulsación: grabación del valor en curso (ENT).
- Rotación ±: incrementa o disminuye el valor, pasa a la línea siguiente o anterior.

6 Tecla “FWD/REV”: inversión del sentido de rotación del motor.

7 Tecla “ESC”: abandono de un valor, de un parámetro o de un menú para volver a la elección anterior.

Nota: las teclas 3, 4 y 6 permiten controlar directamente el variador.

Descripción de la pantalla gráfica



1. Línea de visualización: su contenido es configurable. Con el ajuste de fábrica, indica:

- Estado del variador.
- Canal de control activo:
 - Term: Bornero
 - HMI: Terminal gráfico
 - Mdb: Modbus integrado
 - CAN: CANopen integrado
 - Carta COM.: Carta comunicación
 - APP: Tarjeta Controller Inside
- Referencia de frecuencia
- Corriente en el motor

2. Línea de menú: indica el nombre del menú o del submenú en curso.
3. Visualización de menús, submenús, parámetros, valores, barras de LED, etcétera, en forma de ventana desplazable, en cinco líneas como máximo.

La línea o el valor seleccionado por el botón de navegación se visualizan resaltados.

4. Visualización de las funciones asignadas a las teclas F1 a F4, alineadas sobre ellas.

5. Significa que esta ventana de visualización no sigue más abajo.

Significa que esta ventana de visualización sigue más abajo.

6. Significa que esta ventana de visualización no empieza más arriba.

Significa que esta ventana de visualización empieza más arriba.

MENU GENERAL

1-Menú variador.

2-Nivel Acceso.

3-Abrir/guardar.

4-Código de acceso.

5-Idioma.

6-Pantalla Supervisión.

2.3 Esquema de potencia. Circuito de mando.

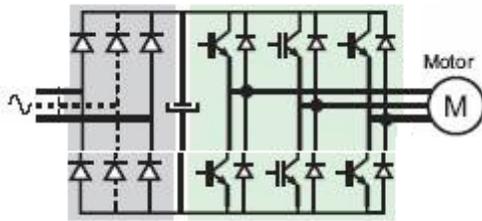


Figura 5 Esquema de potencia, circuito de mando

El control de los motores eléctricos mediante conjuntos de conmutación “Todo o Nada” es una solución bien adaptada para el accionamiento de una amplia gama de máquinas. No obstante, conlleva limitaciones que pueden resultar incómodas en ciertas aplicaciones.

2.4-Protocolos de comunicaciones.

Los límites de velocidad, las rampas, los límites de corriente y otros datos de configuración, se definen usando un teclado integrado o mediante PLC (sobre buses de campo) o mediante PC.

Los parámetros de funcionamiento y las informaciones de alarma, y los defectos pueden verse mediante display.

Del mismo modo, los diferentes comandos (marcha, parada, frenado...) pueden proporcionarse desde interfaces de diálogo hombre/máquina, mediante el terminal gráfico extraíble o utilizando PC.

En el caso de utilización de un PC, este debe estar equipado con el software correspondiente en este caso power suite, esta comunicación se hace posible mediante una tarjeta de extensión de entradas y salidas esta posibilita varios tipos de comunicación.

2. 5 Aplicaciones en accionamientos con bombas centrífugas.

Existen cuatro formas básicas de regular caudal en las bombas:

- Válvula de estrangulamiento.
- Arranque-parada.
- Bifurcación o by-pass.
- Regulación por velocidad.

La primera opción es la más utilizada en la industria, y es común encontrarnos con regulaciones mixtas entre la primera y la segunda.

El estrangulamiento mediante válvula implica una variación en la instalación, al incluir una pérdida de carga adicional en el circuito hidráulico, con lo cual la bomba no puede dar el caudal nominal, ya que tiene que impulsar el fluido a una presión mayor. Se disminuye el caudal, pero como las pérdidas por presión han aumentado, la potencia demandada al motor no ha disminuido en la misma proporción que el caudal. El resultado es que el rendimiento global de las instalaciones es bajo.

La opción de arranque - parada es la más perjudicial tanto para el motor, como para la instalación y para la bomba, debido fundamentalmente a los golpes de ariete.

Energéticamente hablando es más eficaz que el método anterior, pues si la bomba funciona la mitad del tiempo a plena carga, y la otra mitad está parada, lógicamente, para un caudal medio, la potencia media demandada al motor también es la mitad. Ahora bien, las averías que causa en la instalación, repercuten en un envejecimiento prematuro del sistema, que se traduce en una eficiencia muy baja y un costo muy alto.

El sistema de regulación por by-pass es el menos eficaz, desde el punto de vista energético, debido a que el caudal que circula por la bomba se mantiene constante, así como la demanda de potencia al motor. La razón, es que la bomba ve siempre la misma instalación, independientemente del grado de apertura de la válvula. Se consigue una buena regulación del caudal, a costa de recircular parte

del fluido que impulsa la bomba. Resulta obvio, que tenemos una parte de energía consumida desaprovechada.

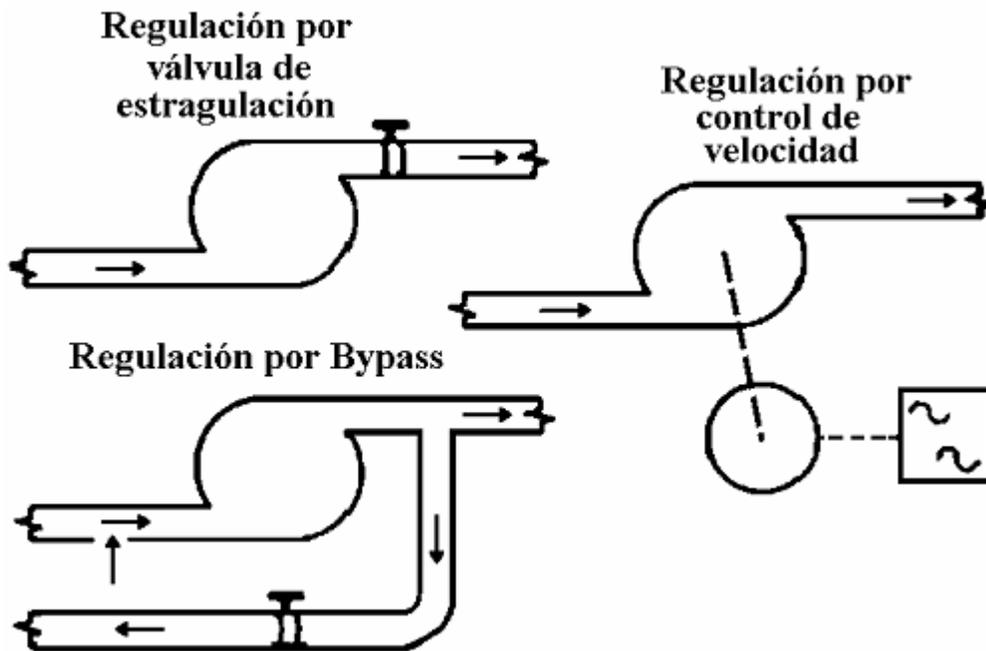


Figura 6. Esquema de regulación del caudal en bombas centrífugas

En la industria, los variadores se utilizan en motores que se encuentran acoplados a bombas:

- **Bombas y ventiladores centrífugos.** Controlan el caudal, uso en sistemas de presión constante y volumen variable. En este caso se obtiene un gran ahorro de energía porque el consumo varía con el cubo de la velocidad, o sea que para la mitad de la velocidad, el consumo es la octava parte de la nominal.
- **Bombas de desplazamiento positivo.** Control de caudal y dosificación con precisión, controlando la velocidad. Por ejemplo en bombas de tornillo, bombas de engranajes. Para transporte de pulpa de fruta, pasta, concentrados mineros, aditivos químicos, chocolates, miel, barro, etc.

2.6 Conclusiones parciales.

Los variadores de velocidad ALTIVAR no tiene elementos móviles, ni contactos.

La conexión del cableado es muy sencilla.

Permite arranques suaves, progresivos y sin saltos.

Controla la aceleración y el frenado progresivo.

Limita la corriente de arranque.

CAPÍTULO 3 BASE EXPERIMENTAL DE LOS INVERSORES SINUSOIDAL DE TENSIÓN A PWM

3.1 Introducción

Los sistemas de automatización por software son hoy 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 12 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 a 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 IV: SISTEMAS SCADA

4.1 Introducción

Al sistema de supervisión, control y adquisición de datos se le conoce como SCADA, (por sus siglas en inglés). Los sistemas SCADA utilizan la computadora y tecnologías de comunicación para automatizar el monitoreo y control de procesos industriales. Estos sistemas son partes integrales de la mayoría de los ambientes industriales complejos o muy geográficamente dispersos, ya que pueden recoger la información de una gran cantidad de fuentes muy rápidamente, y la presentan a un operador en una forma amigable.

4.2 Nociones sobre SCADA

Los sistemas SCADA mejoran la eficacia del proceso de monitoreo y control proporcionando la información oportuna para poder tomar decisiones operacionales apropiadas.

El sistema SCADA (supervisory control and data acquisition) está estructurado con una computadora principal o “master” (generalmente llamada Estación Maestra, “Master Terminal Unit” o MTU); una o más unidades control obteniendo datos de campo (generalmente llamadas estaciones remotas, “Remote Terminal Units,” o RTU); y una colección de software estándar y/o a la medida usado para monitorear y controlar remotamente dispositivos de campo.

Un sistema SCADA normalmente se utiliza en una fábrica u otro tipo de industria y se reconocen a menudo como Sistemas de Control Distribuidos (DCS – “Distributed Control Systems”.)

Las comunicaciones pueden ser vía una red de área local (LAN), y serán normalmente confiables y de alta velocidad. Un sistema DCS emplea generalmente cantidades significativas de control a lazo cerrado. Un sistema SCADA por otra parte, generalmente cubre áreas geográficas más grandes, y

normalmente depende de una variedad de sistemas de comunicación menos confiables que una LAN.

El control a lazo cerrado en esta situación será menos deseable. Un sistema SCADA se utiliza para vigilar y controlar la planta industrial o el equipamiento. El control puede ser automático, o iniciado por comandos de operador. La adquisición de datos es lograda en primer lugar por las RTU que exploran las entradas de información de campo conectadas con ellos (pueden también ser usados PLC – “Programmable Logic Controllers”). Esto se hace generalmente a intervalos muy cortos. La MTU entonces explorará las RTU generalmente con una frecuencia menor. Los datos se procesarán para detectar condiciones de alarma, y si una alarma estuviera presente, sería catalogada y visualizada en listas especiales de alarmas.

Los datos pueden ser de tres tipos principales:

- Datos analógicos (por ejemplo números reales) que quizás sean presentados en gráficos.
- Datos digitales (on/off) que pueden tener alarmas asociadas a un estado o al otro.
- Datos de pulsos (por ejemplo conteo de revoluciones de un medidor) que serán normalmente contabilizados o acumulados.

La interfaz primaria al operador es una pantalla que muestra una representación de la planta o del equipamiento en forma gráfica. Los datos vivos (dispositivos) se muestran como dibujos o esquemas en primer plano (foreground) sobre un fondo estático (background). Mientras los datos cambian en campo, el foreground es actualizado (una válvula se puede mostrar como abierta o cerrada, etc.). Los datos analógicos se pueden mostrar como números, o gráficamente (esquema de un tanque con su nivel de líquido almacenado). El sistema puede tener muchas de tales pantallas, y el operador puede seleccionar los más relevantes en cualquier momento.

4.3 Interfaces para evaluar eficiencia en variadores de velocidad

Dentro del desarrollo del Control Automatizado, uno de los principios básicos de la automatización de sistemas y procesos radica en la comunicación que debe existir entre el hombre y una máquina, un equipo o una computadora, esta interface hombre – máquina forma una parte importante e integral de los procesos modernos industriales.

Para ello fueron desarrollándose diferentes técnicas para la interconexión de equipos y para el control de procesos mediante buses, de modo que la forma en que el usuario se comunica con una aplicación para solicitar los recursos del sistema constituye la interfaz del mismo.

La interfaz en los procesos de automatización y control de sistemas es particularmente importante para establecer una comunicación eficiente y lo más cómoda posible entre el usuario de la computadora y la aplicación o proceso, permitiendo de manera simple la toma de información del sistema e interactuar con el mismo.

Uno de los dispositivos que actualmente se están utilizando para garantizar la interfaz de comunicación son los NPort. Este es un dispositivo que permite la comunicación de una computadora con distintos equipos de medición, monitoreo y control.

El NPort para conectarse a la computadora se le debe asignar un número IP; también este puede formar parte de una red.

La comunicación hombre - máquina se establece a través de menús, ventanas, teclado, ratón, y speaker para algunos sonidos que la computadora emite, en general, todos aquellos canales por los cuales se permite la comunicación entre ellos (hombre –computadora), esta comunicación más comodidad y eficiencia.

Básicamente se pueden distinguir dos tipos de interfaces:

- Una interfaz de hardware, a nivel de los dispositivos utilizados para ingresar, procesar y entregar los datos: teclado, ratón y pantalla visualizadora.
- Una interfaz de software, destinada a entregar información acerca de los procesos y herramientas de control, a través de lo que el usuario observa habitualmente en la pantalla.

En nuestro caso se utiliza una interfaces de software para transmitir la información que se genera desde el variador hacia la PC y viceversa. Esta interfaz facilita la supervisión, control y adquisición de datos del proceso.

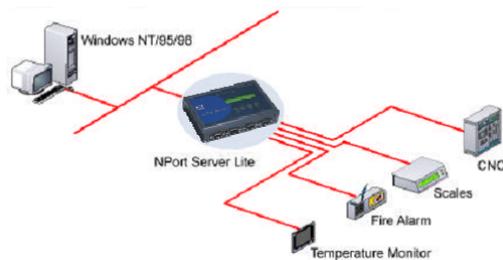


Figura 1 Interfaz de comunicación

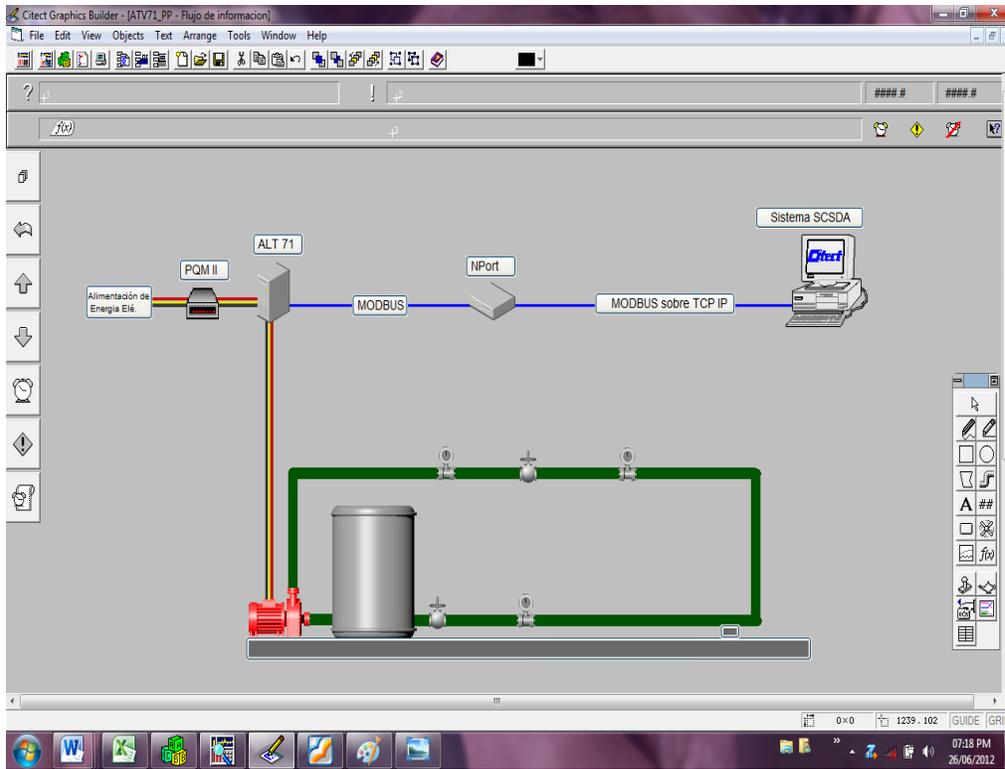


Figura 2 Control de flujo de información

4.4 SCADA supervisora de eficiencia

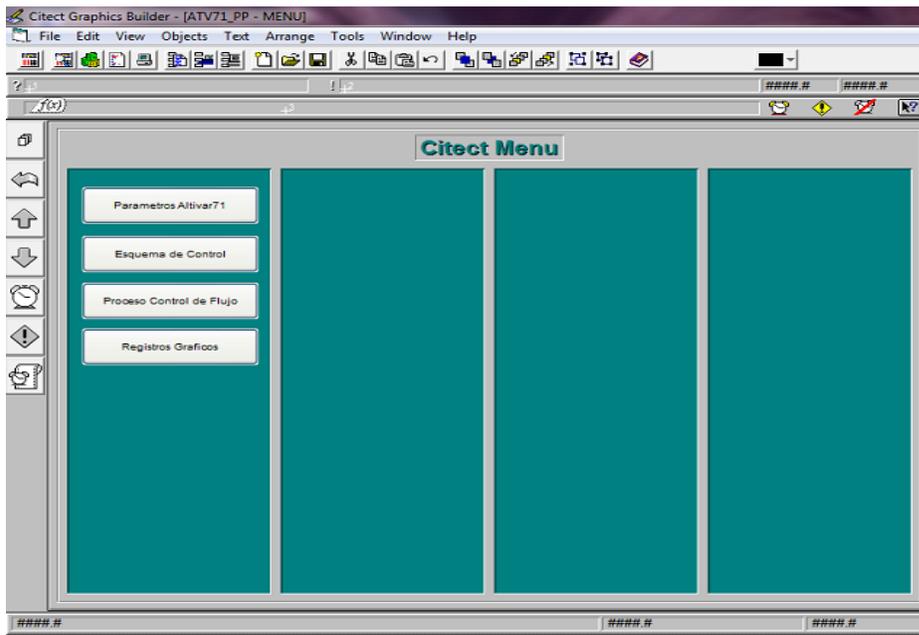


Figura 3 Menú CitectSCADA

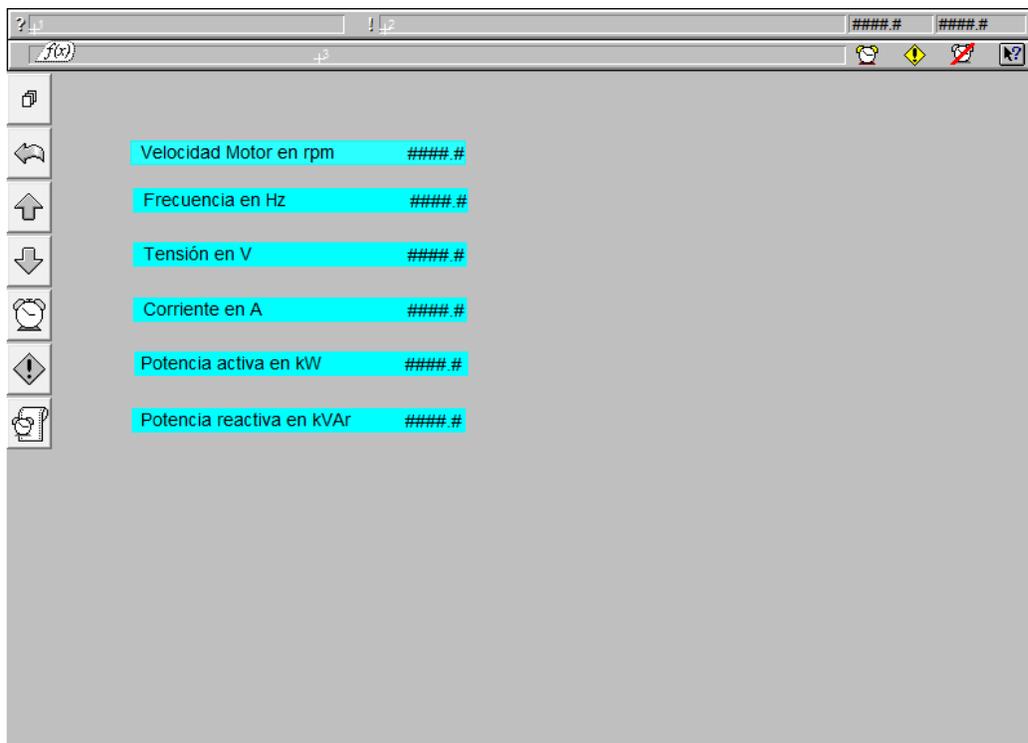


Figura 4 SCADA supervisora de eficiencia

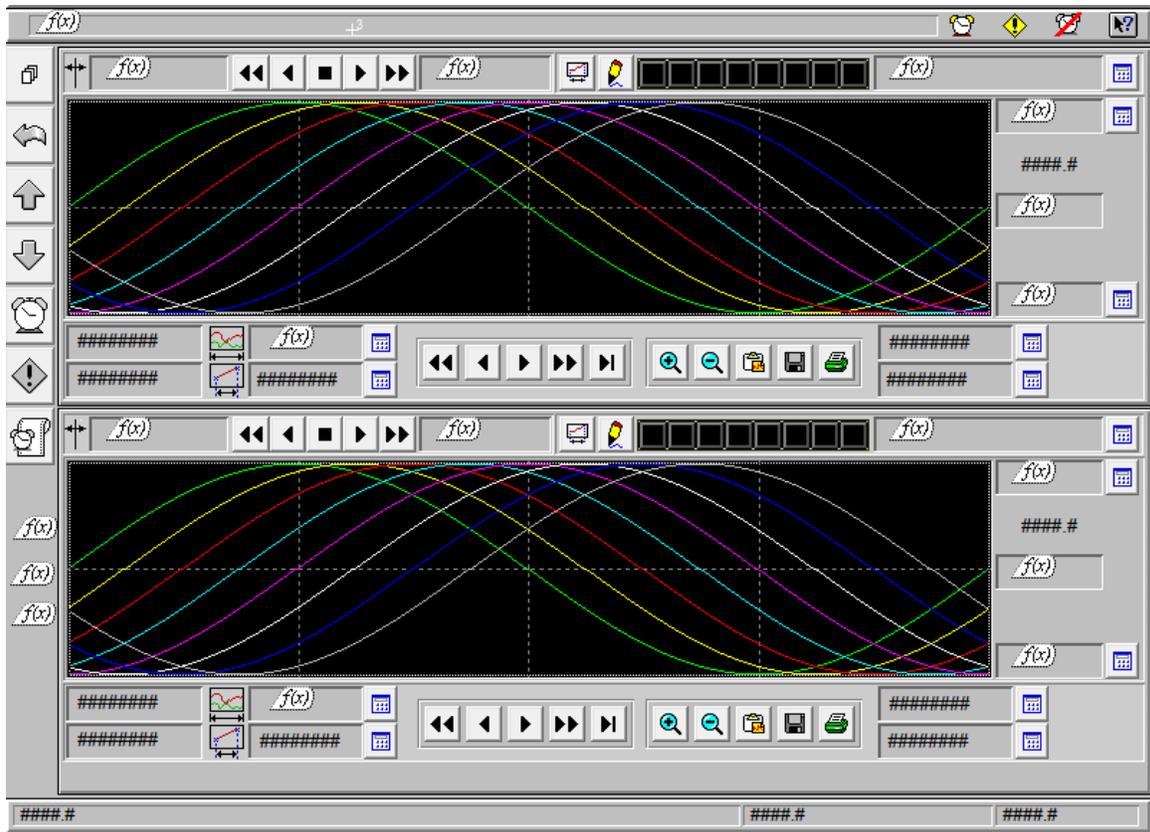


Figura 5 Historial gráfico de los parámetros de trabajo del variador

4.5 Conclusiones parciales

Por las facilidades que brindan los sistemas SCADAS, se utilizan ampliamente en el campo industrial.

A través de una interfaz de comunicación entre la PC y el variador, utilizando un sistema SCADA, es posible controlar la eficiencia del sistema.

CAPÍTULO V: SIMULACIÓN USANDO LA INTERFACE DE COMUNICACIÓN ASISTIDA POR CITECT

5.1 Introducción

El modo de trabajo, de una simulación usando la interface de comunicación asistida por CITECT, puede ser manual o automático, según las necesidades del proceso que estemos considerando, dada la enorme flexibilidad que ofrecen los reguladores de velocidad, permitiendo hallar soluciones para obtener puntos de trabajo óptimos en todo tipo de procesos, pudiendo ser manejados por ordenador, PLC, señales digitales o de forma manual.

El esquema de simulación que se presenta corresponde al circuito de retroalimentación ubicado en el laboratorio de hidráulica en el ISMMM, a través de este circuito es posible el control de flujo de líquido mediante las válvulas. Utilizando el variador de velocidad del motor es posible garantizar el control del flujo de líquido y de esta manera ahorrar energía y obtener beneficios adicionales.

5.2 Descripción del esquema de simulación.

Con vista a demostrar la eficiencia que se logra con la utilización de un variador de velocidad, es necesario tener presente cada uno de los elementos que intervienen en el proceso de simulación utilizando un sistema SCADA.

El esquema de simulación estará formado por:

Cuchillas seccionadoras de alimentación de energía: permite suministrar o interrumpir la energía al circuito del proceso.

Cuchillas protectoras: protege el circuito de sobre corrientes.

PC: encargada de soportar el software SCADA a través del cual se realizaran el control y monitoreo del proceso.

Nport: dispositivo encargado de la interfaz de comunicación entre la PC y el variador de velocidad.

Variador de velocidad: permite variar la velocidad del motor a través del control de la frecuencia.

PQMII (Power Quality Meter): es conocido como analizador de redes, posibilita conocer todos los parámetros de las líneas de alimentación de energía del sistema.

Motor: se encarga de convertir la energía eléctrica en energía mecánica.

Bomba centrífuga: a través de su movimiento succiona y expulsa el líquido del sistema.

Tanque: se encarga del almacenamiento del líquido.

Tuberías: constituyen los conductos por donde circula el líquido.

En el tanque de almacenaje se encuentra el líquido, el cual es succionado por una bomba centrífuga por medio del motor de inducción asincrónico trifásico que se encuentra acoplado a ella. Líquido circula a través de las tuberías donde se analizan un grupo de variables como el control de flujo, presión y las pérdidas en la instalación.

Desde el motor, mediante conductores, se realiza la conexión al variador Altivar 71 HU40M3. Este variador se encarga de regular la velocidad del motor por medio de la frecuencia de alimentación al motor.

Se va establecer una comunicación entre el variador y la máquina mediado por el Eneport. Mediante la conexión de un analizador de redes (PQM), a la línea de entrada de alimentación de energía del variador conocemos parámetros como:

Tensión de línea

Tensión de fase

Corriente

Potencia

Energía

Y la gestión de alarmas

A la PC, llega la información que se interpreta a través del software CitectSCADA, el operador interactúa con el proceso en tiempo real. Mediante las diferentes ventanas del programa puede conocer el comportamiento de la eficiencia del proceso y dar órdenes directas al proceso mediante la interface de comunicación con el variador

5.3 Interfaces del GUI para el supervisor de eficiencia

La **interfaz gráfica de usuario**, conocida también como **GUI** (del inglés *graphical user interface*) es un programa informático que actúa de interfaz de usuario, utilizando un conjunto de imágenes y objetivo gráfico para representar la información y acciones disponibles en la interfaz. Su principal uso, consiste en proporcionar un entorno visual sencillo para permitir la comunicación con el sistema operativo de una máquina o computador.

Para la comunicación de la PC con el variador se revisó la documentación del dispositivo suministrada por el fabricante. De esta manera se pudo verificar que el dispositivo tiene dos puertos de comunicación integrados que permiten la conexión del dispositivo a una red Modbus:

- Un conector de puerto RJ45 Modbus ubicado en el panel frontal del dispositivo que es usado para conectar:
 - Terminal Gráfico Extraíble.
 - Terminal industrial HMI del tipo Magelis.
 - El software de Configuración Power Suite.

- Un conector de puerto RJ45 Modbus ubicado en el los terminales de control del dispositivo, que es dedicado a comunicar con un PLC, controlador, terminal grafico o el software de configuración Power Suite.

Después de identificado los protocolos de comunicación se procedió a la confección de un cable/conector que permitiera la comunicación del dispositivo con la computadora, para esto se revisó la distribución de pines suministrada por el fabricante para el ALTIVAR 71 y se llegó a la conclusión que era necesario un media converter RS232/RS485 para la conexión punto a punto de la computadora con el dispositivo.

Una vez lista las condiciones para el establecimiento de la conexión, se procedió a la configuración remota del dispositivo la cual fue exitosa. Durante la configuración se mantuvieron la mayor parte de los parámetros con sus valores de fabricación, excepto la dirección modbus la cual se le asignó la número 4.

- Dirección Modbus:4
- Bits de Datos:8
- Paridad: Par
- Bits de stop:1
- Velocidad: 19200 Baut/

Debido que muchas computadoras modernas no tienen puertos serie incluido para el establecimiento de la comunicación con el Citect se tuvo que acudir a la utilización de los Nports, los cuales permiten conectar una computadora con Windows a múltiples dispositivos sobre una red TCP/IP. La utilización de los driver Real COM permite que el sistema operativo Windows reconozca los puertos serie mapeados como si ellos estuvieran físicamente presente en el ordenador. El software Nport Administrator es el software suministrado para la configuración, diagnóstico y comunicación con los Nports desde una PC y fue exactamente el

utilizado para el mapeado de los puertos series en la computadora que se utilizó en la comunicación del Citect con el ATV71 a través del Nport.

Para la configuración de la comunicación del Citect con el variador de velocidad inicialmente se crearon todos los componentes esenciales para establecer la comunicación en Citect con dispositivo dentro los cuales podemos mencionar IOserver, IODevice, Port, Board:

IOserver: IOserver_UNI

IODevice: IODevice_UNI

Protocol:MODBUS

Address: 4

Port: Port 1_Board1

IODevice No: 1

Port: Port1_Board1

Board: Board1

Baud Rate: 19200

Stop Bits: 1

Data Bits: 1

Parity: Even_P

Port: Port1

Board: Board1

Board Type: COMX

Address:0

Para la definición de los tags de variables se revisó el mapa de memoria suministrado por el fabricante en el manual del dispositivo, del cual se utilizaron los

tres parámetros más importantes para nuestro caso: Dirección lógica, tipo de dato, factor de conversión y unidad de Ingeniería.

Mapa de memoria en el manual del Altivar 71.

Input measurements

Code	Description	
ULn	Parameter name:	Power supply voltage
	Terminal display:	[Mains voltage]
	Logic address:	3207 = 16#0C87
	CANopen index:	2002/8
	INTERBUS index:	5FB9/09
	DeviceNet path:	71/01/08
	Type:	UINT
	Read/write:	R
	Unit:	0.1 V

Para el caso del parámetro de medición **Voltaje de la Fuente de Energía** la definición de tag de variable quedaría del siguiente modo en Citect:

Variable Tag Name: ATV71_VoIPwrSpplly

I/O Device Name: IODevice_UNI

Address: 43208

Data type: UINT

Eng Units:Volts

Ver anexo (ventanas para preparar interfaz)

5.4 Fundamentos de SCADA.

Como se ha abordado en el capítulo anterior, SCADA (supervisión, control y adquisición de datos) usualmente se refiere a un sistema central que monitoriza y controla un sitio completo o una parte de un sitio que nos interesa controlar (el control puede ser sobre máquinas en general, depósitos, bombas, etc.) o

finalmente un sistema que se extiende sobre una gran distancia (kilómetros / millas).

La utilización del sistema SCADA para evaluar la eficiencia del sistema objeto de investigación va a permitir:

- Configurar mandos central o local, al operador, a través de páginas gráficas (las pantallas).
- Agregar botones de mando gráficos a sus páginas, que permite realizar una o múltiples tareas.
- Manipular las animaciones prediseñadas para simular el estado real de operación del proceso en cuestión; además de mostrar mensajes de textos y gráficos del estado de dicho proceso y mostrar alarma de advertencia por mal funcionamiento del proceso.
- Posibilidad de especificar órdenes a través del teclado para todas las páginas o simplemente para páginas individuales.
- Las alarmas pueden desplegarse a través de mensajes en la pantalla del ordenador o través de sonidos.
- Permite la historicidad y comportamiento en tiempo real en formato gráfico.
- Produce informes periódicos del proceso.
- Desarrollar de múltiples ventanas del sistema de seguridad que permita el acceso del personal al área o áreas de la planta dentro de su mando.
- Los datos de la ventana principal permiten el intercambio con otras aplicaciones para el análisis de los datos y procesos posteriores, o controlar y poner a punto el sistema.

El sistema SCADA conceptualmente se divide en dos partes:

- La configuración
- Funcionamiento

La configuración consiste en un grupo de herramientas (las aplicaciones) con las que construyen el sistema de simulación. Este se configura a través del Explorador de Citect que se usa para crear y manejar el proyecto.

Los datos del proyecto a organizar se configuran en orden lógico, y en grupos. Se puede diseñar su sistema para usar uno o más proyectos en un momento, dependiendo del diseño o sistema.

Para la configuración se emplea:

- Explorador de Citect, Editor del Project
- Constructor de los Gráficos
- Editor de Cicode.

El funcionamiento es la aplicación que se usa para controlar y supervisar el proyecto. Se debe ajustar el mejoramiento del sistema para satisfacer los requisitos establecidos, para la configuración se usan las herramientas anteriormente expresadas. Una vez configurado su SCADA de proyecto o proyectos, es posible la compilación para conseguir la simulación del sistema.

La simulación de SCADA se comunica con los dispositivos, alarmas del proceso, niveles animados y otros. Para usar la simulación del sistema la computadora requiere de una llave de protección.

Una de las soluciones en el control SCADA es utilizando un programa para monitorizar, controlar y automatizar señales analógicas y digitales capturadas a través de tarjetas de adquisición de datos. Uno de los programas más utilizados para este fin es el CitectSCADA.

Control de supervisión = medir para corregir.

Registro de datos = obtención y tratamiento de datos.

Un proyecto de CitectSCADA lo conforman tres elementos principales:

- Las páginas de los gráficos
- Los bancos de datos de la configuración
- Archivos de Cicode (lenguaje de programación)

Las páginas de los gráficos muestran, en la pantalla de la computadora, el estado o condición del proyecto. Estos gráficos pueden contener los mandos y botones de órdenes que le permiten a un operador controlar los procesos del proyecto.

Los bancos de datos guardan la información de la configuración del proyecto que se usa por la simulación para controlar y supervisar el mismo. Algunos bancos de datos se unen a las páginas de los gráficos específicos.

Cicode lenguaje de programación para el diseño del proyecto, que supervisa y control las aplicaciones. Similar al lenguaje Pascal.

Para configurar un proyecto CitectSCADA se necesita diseñar diferentes áreas:

- Crear el proyecto usando el Explorador de Citect.
- Preparar la comunicación con el dispositivo siguiendo los pasos básicos del procedimiento del I/O device. A menudo, los detalles de comunicación no son conocidos al crear un proyecto nuevo en este caso el I/O device puede ser definido como un dispositivo de memoria.
- Definir los datos que CitectSCADA necesita para leer, escribir y usar para definir las etiquetas inconstantes. Se puede adoptar un etiquetado estructurado convenientemente, se puede definir la mayoría de las etiquetas variables sin saber la dirección física.
- Crear las páginas de los gráficos que usando el comando constructor de los gráficos. Una vez creadas las páginas básicas, se puede agregar los objetos gráficos para la indicación e interacción del usuario.
- Configurar cualquier característica que no exista, a través del comando editor del proyecto. Esto incluye las alarmas, reportes, eventos, anotaciones, etc.

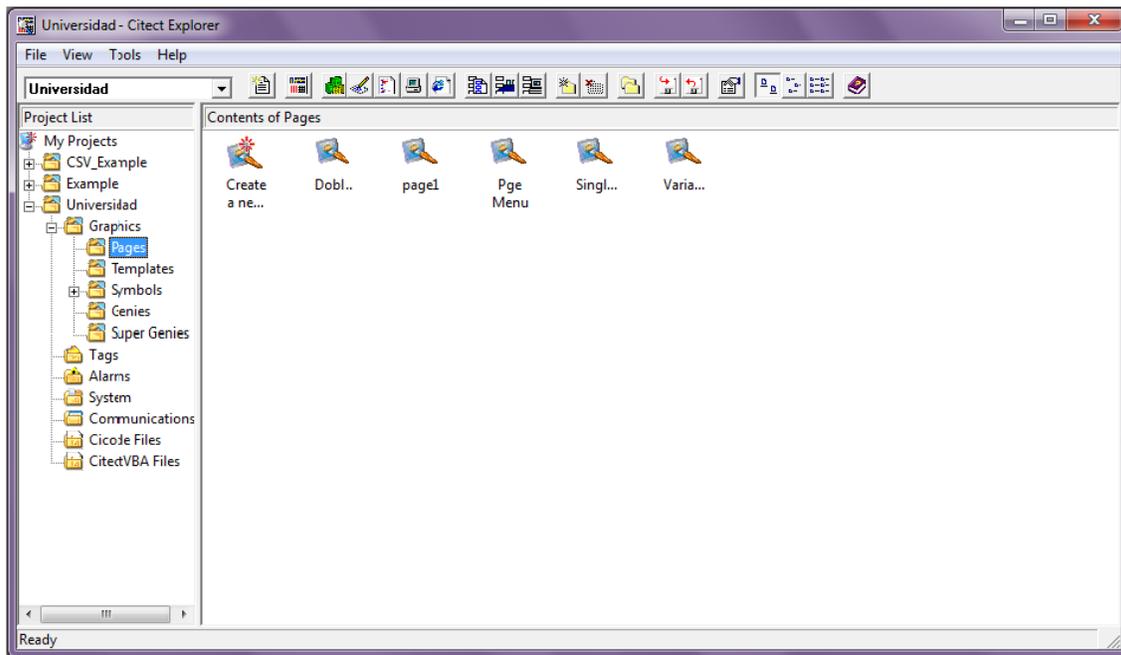
- Crear y escribir la norma que Cicode utilizará para funcionamiento usando al Editor de Cicode.

Estos pasos se realizan en un orden lógico. Antes de hacer cualquiera de estos pasos, primero hay que considerar los requisitos y diseñar el sistema.

Principales comandos Citect

El Explorador de Citect

Se utiliza para crear y operar los proyectos de CitectSCADA. Permite controlar la configuración para ejecutar al Editor del Proyecto, Constructor de los Gráficos, y



Editor de Cicode. Ejemplo

Cuando se inicia el Explorador de Citect, el Editor del Proyecto y Constructor de los Gráficos automáticamente se minimizan. Cuando se cierra el Explorador de Citect, las otras aplicaciones de CitectSCADA se cierran también.

Editor de proyecto

Se prepara el editor de proyecto Citect para crear y manejar el banco de datos de CitectSCADA que contiene la información de la configuración para el proyecto

CitectSCADA que no se relaciona a las páginas de los gráficos. Todos los CitectSCADA proyectan los archivos del banco de datos en el editor de proyecto Citect.

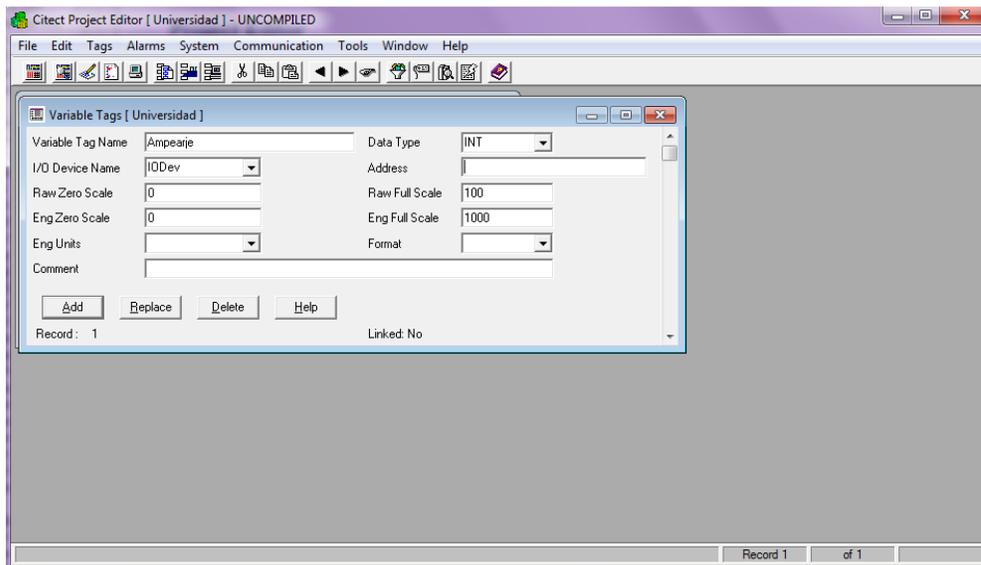
El editor del proyecto tiene algunas órdenes específicas que se puede acceder usando el sistema del menú o botones, como:

Informe el botón de la Selección: Escoja un informe de CitectSCADA.

Encuentre el botón de Función de Usuario: Busque una función de Cicode usuario-definida.

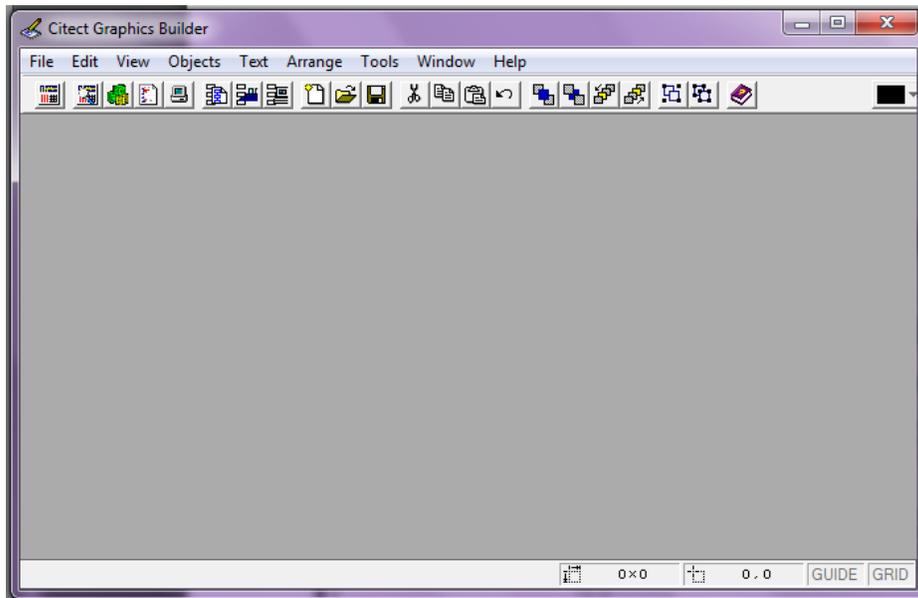
El menú de Función de inserción: Inserte una función de Cicode pre-definida.

El menú de Etiqueta pegar: Inserte una etiqueta inconstante pre-definida.



Comando constructor de gráficos Citect

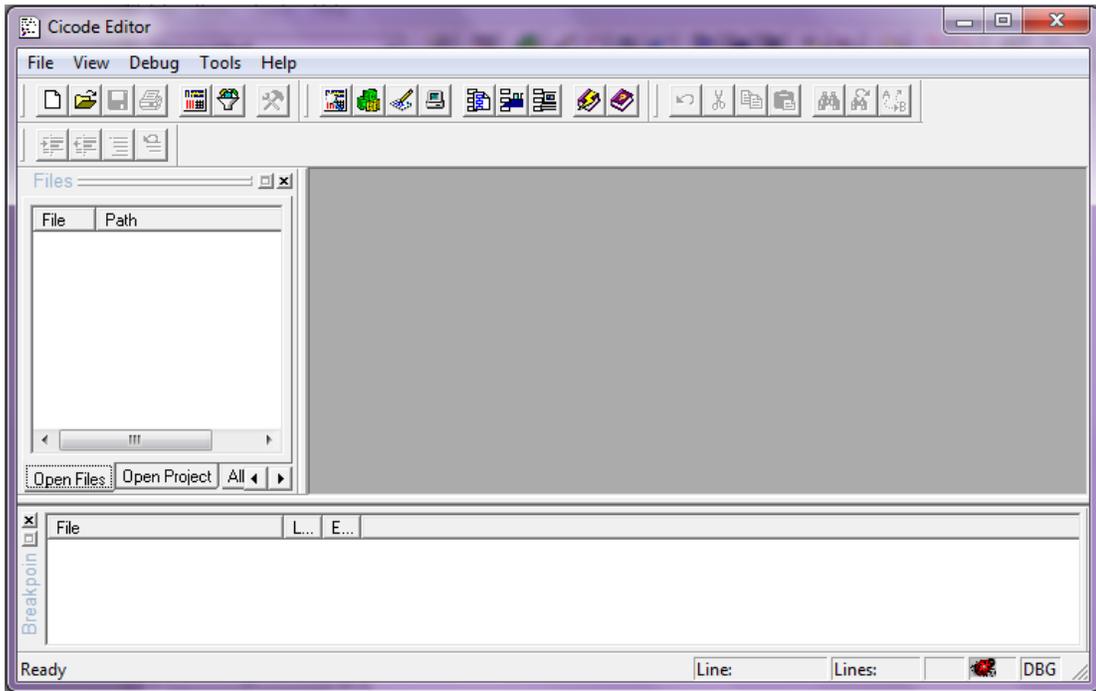
Se prepara al Constructor de los Gráficos para crear y revisar las páginas de los gráficos, incluso los objetos que comprenden las páginas de los gráficos. Constructor de los gráficos empieza automáticamente cuando se hace doble clic en el botón un objeto gráfico en el Explorador de Citect.



Editor de Cicode

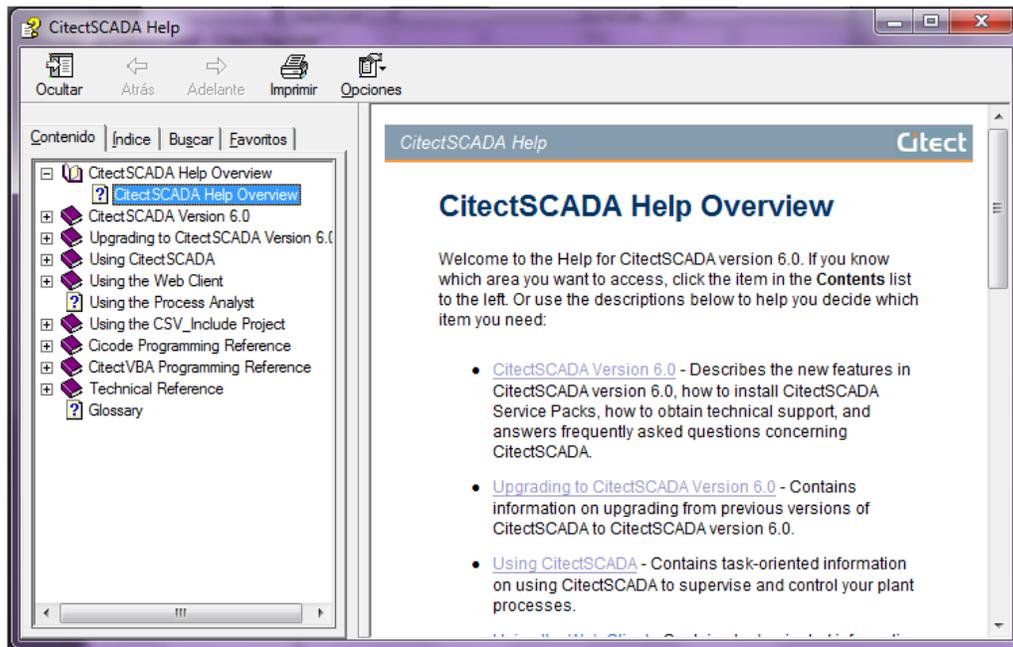
Se prepara al Editor de Cicode para escribir y revisar sus programas de Cicode. Dentro de la ventana editor Cicode, se puede conseguir las ayudas por cualquier función de Cicode, haciendo clic derecho y escoge ayuda en el menú.

Se puede preparar al Editor de Cicode como una depuración de la simulación a ayudarle a remontar a través de su Cicode corriente y puede rastrear abajo los errores de la programación. Usted también puede poner a punto sus programas de Cicode de una computadora remota.



Ayuda CitectSCADA

La ayuda de CitectSCADA contiene la información útil para ayudar a desarrollar el sistema de CitectSCADA. Se puede acceder la Ayuda del Explorador de Citect, Constructor de los Gráficos, Editor del Proyecto, y Editor/Debugger.



5.5 Estimador de eficiencia.

Muchos programas de estimación de ahorros mediante el uso de esta técnica, indican las posibilidades de ahorro de electricidad entre un 20 y 50%. Este porcentaje está en dependencia de las características de ocupación de la carga y la relación existente entre las condiciones de diseño interior y la exterior.

Asociado al trabajo de los variadores de velocidad se encuentran los controles que lo gobiernan. Estos controles asimilan los modelos y los algoritmos para la regulación, pero en ocasiones es difícil estudiar los sistemas lo suficiente para calibrarlos en función de una respuesta rápida y energéticamente racional. Con la experiencia acumulada, estos controles no solo imponen un caudal en función de la variable controlada sino que además, pueden tener incorporado procedimientos de diagnóstico de la funcionalidad de las instalaciones (Liu, 2007) (Wu et al., 2007) (Yoshida; Kumar, 2007) (Ma; Wang, 2009).

Para entregarle toda la energía al fluido el elemento clave es el motor eléctrico, este motor como máquina compleja debe de adaptarse a las condiciones de explotación continua. No obstante la eficiencia promedio que se presenta en ellos es de alrededor del 85 %. La existencia en el mercado de motores de alta

eficiencia permite incorporar estos dispositivos, mejorando su desempeño en un 5% o superior.

Las bombas centrifugas se emplean de forma generalizada en los sistemas de bombeo ya que garantizan una gran operatividad en los caudales. El diseño mecánico va en constante cambio y aparecen impelentes y bombas en general con mejores prestaciones.

El variador de velocidad impone los parámetros de trabajo del motor y la bomba en función de una variable de referencia en este caso el caudal. Al definir el valor de set point (valor deseado) del caudal y de conjunto con su control, se impone un régimen racional satisfaciendo las necesidades del fluido ante los estados cambiantes de la red hidráulica y la carga. El control del caudal mediante válvulas de estrangulamiento aun y cuando se cumple el requerimiento del flujo se provoca un incremento en la presión y una muy pobre reducción del consumo eléctrico. En el sistema con variador de velocidad con una reducción en el flujo del 50% se obtiene un consumo de energía de tan solo el 12.5% de la capacidad máxima de energía en kW/h del motor (Aguirre, 2002).

Comportamiento energético a flujo variable.

Existen programas como el proporcionado por Danfoss que permiten realizar estimaciones del comportamiento energético de instalaciones de bombeo. Para su uso, hay que conocer ciertas características de las instalaciones y de su régimen de operación por lo que se decidió demostrar las potencialidades del uso de variadores de velocidad en una instalación experimental. Este prototipo se encuentra en el laboratorio de hidráulica del ISMMM. (ver anexo 2)

En el sistema van a existir las siguientes relaciones:

- Relación lineal entre el caudal (Q) y la frecuencia de trabajo del accionamiento, revoluciones por minuto (rpm)

- Relación cuadrática entre el caudal y la carga del sistema o presión de descarga (p)
- Relación cúbica de Q con respecto a la potencia activa (P), que demanda la bomba

Según las leyes de la proporcionalidad existen ecuaciones predeterminadas para el ajuste de la relación (Montero, 2010)

N o	Relación	Ecuación de proporcionalidad	Coefficiente de correlación
1	Q - rpm	$y = 186502x^{1,2408}$	0,9979
2	Q - h	$y = 12175x^2$	1
3	Q - P	$y = 158,02x^2 + 14,902x - 0,0778$	0,9939

La prueba con variador de velocidad Altivar 71, se realizó la apertura total de la válvula de la descarga de la bomba y se fue variando desde 1800 rpm hasta 350 rpm, con disminución de 150 rpm en los gráficos 1, 2 y 3 se muestra los resultados.

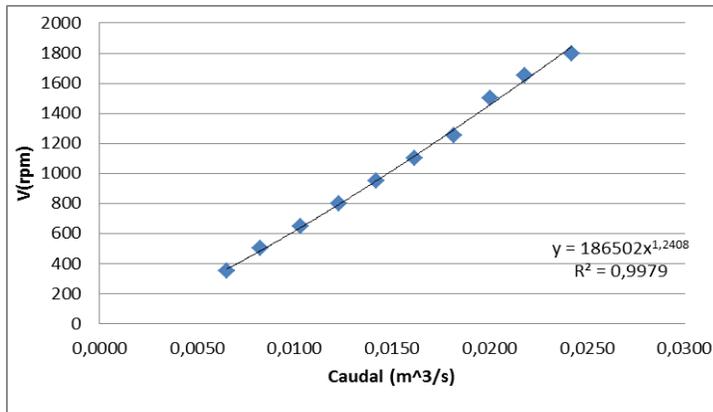


Gráfico 1 Caudal contra velocidad del motor

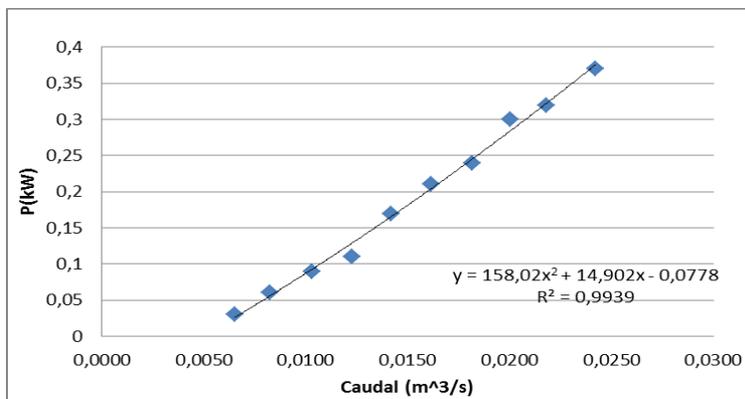


Gráfico 2 Caudal contra potencia del motor

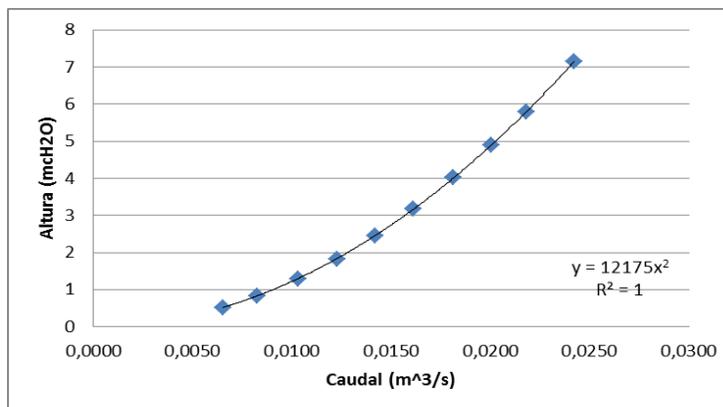


Gráfico 3 Caudal contra presión

En el gráfico 4 se muestra la baja eficiencia del control de flujo por el método de estrangulación, a partir de la diferencia con el uso del variador de velocidad Altivar 71, tomando como base el consumo energético experimentado por cada uno.

Gráfico 4 caudal contra potencia con estrangulamiento

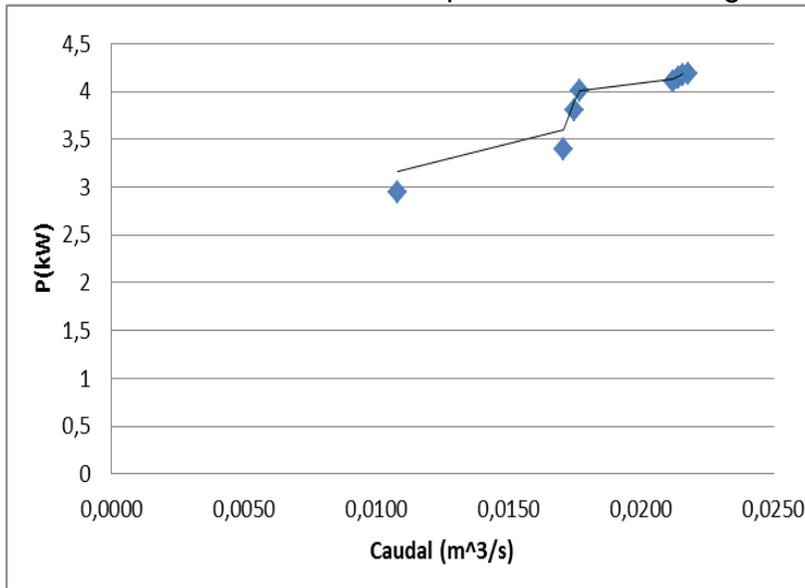
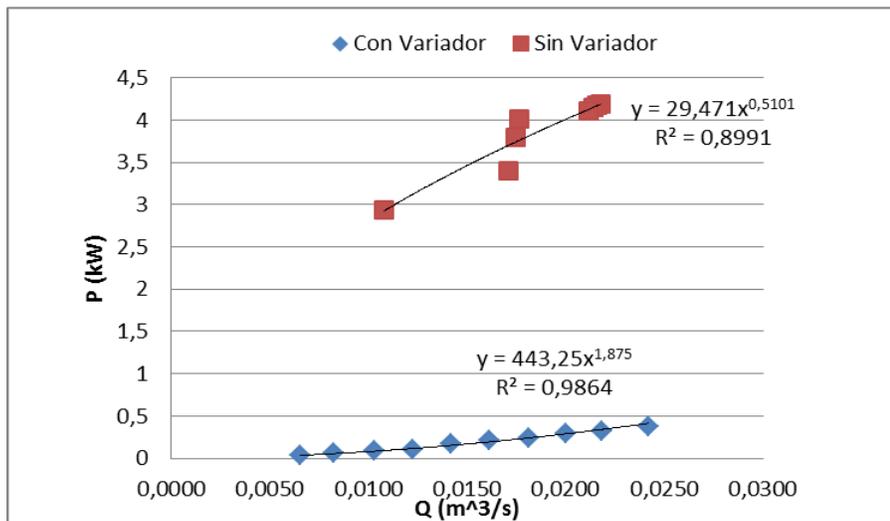


Gráfico 5 Comparación del control del caudal con variador y sin variador



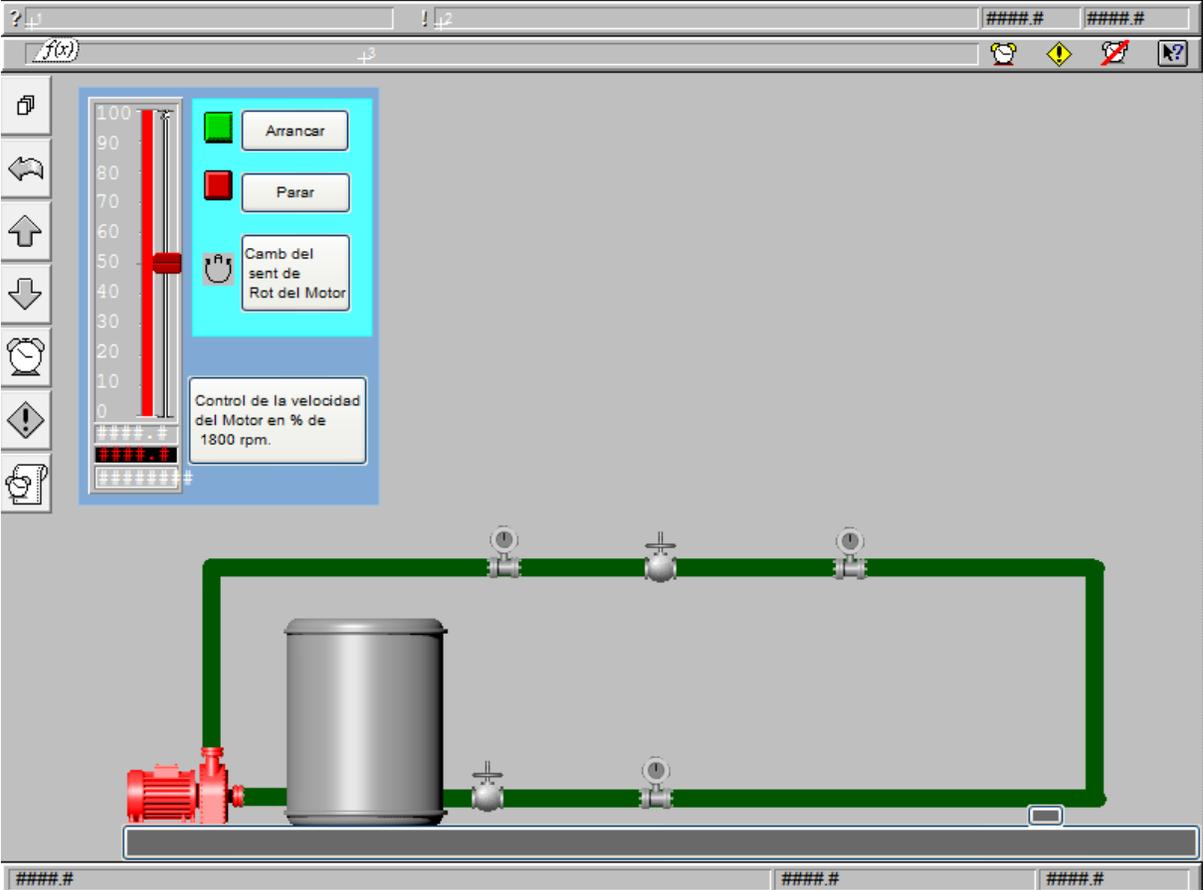
Las pruebas realizadas demuestran la eficiencia del empleo del variador Altivar 71, evidenciadas en el ahorro de energía.

La medición del consumo mediante un analizador de redes es el método más exacto para determinar la potencia de entrada del motor. También puede leerse la corriente y la potencia reactiva y determinar el factor de potencia. Es poco invasivo y al menos que el instrumento esté conectado permanentemente, es necesario detener el motor para su instalación. Este instrumento es relativamente caro. La

realización de ensayos sin carga por su parte, necesita desacoplar el motor y conectarle instrumentos de medición para llevar a cabo los ensayos. A partir de estos ensayos y, en combinación con otras acciones, puede determinarse el consumo del motor y la potencia entregada a la carga, este constituye un método difícil de aplicar en condiciones de campo

El variador 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 (sin desclasificación).

5.6 SCADA del control de eficiencia.



5.7 Conclusiones parciales.

Se demostró la eficiencia del variador Altivar 71 HU40M3 en el sistema de caudal variable por el método variación de velocidad con respecto al método de estrangulación.

Se demostraron las potencialidades de la SCADA del control de eficiencia.

CAPÍTULO VI: EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DEL VARIADOR DE VELOCIDAD

6.1 Introducción.

En la Industria, es frecuente encontrarse con procesos que incluyen motores que trabajan en condiciones variables de carga de funcionamiento tales como movimiento de líquidos, gases u otros. En estos casos, la regulación electrónica de la velocidad de los motores en función de las necesidades sustituye a los sistemas tradicionales de controles obsoletos, responsables de importantes pérdidas de energía, con resultados energéticos espectaculares.

Ahora bien, la utilización de un software para la adquisición de datos y monitoreo de procesos industriales, trae consigo una serie de ventajas con respecto a los sistemas de control manuales, desde este punto de vista, la aplicación de software evaluador reduce los costos por mano de obra, facilita evaluar el estado del proceso, gracias al historial gráfico, y a su vez se puede asignar tareas de mantenimiento al equipo; además se puede tener una idea sobre la vida útil de cada uno de los accesorios.

Aunque la inversión inicial de los equipos vinculados al software puede resultar costosa, se logrará una mejor eficiencia. Esto implica, además la durabilidad del sistema.

6.2 Cálculo de los costos de explotación.

Para el cálculo del costo de explotación se debe incluir los gastos de la instrumentación de campo, accesorios del PC y el software.

$$CTI = \sum CIC + \sum CV$$

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

Dónde:

Σ CIC: Costo total de la instrumentación de campo

No tiene

Σ CV: 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

6.3 Gastos de inversiones.

Dispositivos

Figura 1 Variador de velocidad ALTIVAR 71 HU40M3 5hp \$6000.00 USD



Figura 2 Nport \$75.00 USD



Figura 3 PQM II \$ 200 USD



Figura 4 PC \$500.00 USD



El monto total de la inversión es de \$6775.00 USD, \$8 205.00 CUC, \$ 205 125.00 CUP

6.4 Cálculo de tiempo de amortización

Un sistema donde las característica del mismo, sean iguales o similares a las de nuestra estación experimental (motor 5hp, bomba 5hp, bombeo de agua con una resistencia hidráulica relativamente baja) se cumple que para los costos de la energía por ejemplo para la empresa Ernesto Che Guevara se comportaría:

Datos de las pruebas por el método con el variador.								
H	v	Q (m ³ /s)	P (kW)	rpm	f(Hz)	Energía (kWh) 24 h	Energía (kWh) 8760h	Costo prom. energía para un año
7,14	12,3	0,0242	0,37	1800	60	8,88	3241,2	
5,8	11,1	0,0218	0,32	1650	55	7,68	2803,2	

4,89	10,2	0,0200	0,3	1500	50	7,2	2628	
4,01	9,2	0,0181	0,24	1250	45	5,76	2102,4	
3,17	8,2	0,0161	0,21	1100	40	5,04	1839,6	
2,45	7,2	0,0142	0,17	950	35	4,08	1489,2	
1,83	6,2	0,0123	0,11	800	30	2,64	963,6	
1,29	5,2	0,0103	0,09	650	25	2,16	788,4	
0,83	4,2	0,0083	0,06	500	20	1,44	525,6	
0,52	3,3	0,0065	0,03	350	15	0,72	262,8	
			pro 0,19			4,56	1664,4	346,05

Tabla 1 Datos de las pruebas por el método con el variador

Costo de la energía				
Febrero	Marso	Abril	Mayo	Promedio
0,1238	0,1272	0,1389	0,1352	0,13236
0,1686	0,1738	0,1851	0,1795	0,17776
0,3031	0,3133	0,3223	0,3124	0,31362
				0,207913333

Tabla 2 Costo de la energía (en CUC)

Datos de las pruebas por el método de estrangulamiento				
Q (m ³ /s)	P (Kw)	Energía (kWh) 24h	Energía (kwh) 8760h	Costo prom. energía para un año
0,0216	4,19	100,56	36704,4	
0,0214	4,17	100,08	36529,2	
0,0213	4,15	99,6	36354	
0,0205	4,11	98,64	36003,6	
0,0201	4,9	117,6	42924	
0,0174	4,01	96,24	35127,6	
0,0107	2,91	69,84	25491,6	
	4,06285714	97,5085714	35590,6286	7399,766222

Tabla 3. Datos de las pruebas por el método de estrangulamiento

Es importante señalar que los parámetros de explotación del sistema deben ser los mismos, para que se cumpla lo antes expuesto.

Se tiene que $T_{\text{amortización}} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Energía Ahorrada}}$

$T_{\text{amortización}} = 8\,205 / 7\,053$

$T_{\text{amortización}} = 1.163$ (que representaría en un año un ahorro de \$10 190.81 CUC, lo que representa un tiempo de amortización en menos de un año)

Donde:

$T_{\text{amortización}}$: es el tiempo de recuperación de la inversión.

Inversión: es lo que se invierte en la compra del producto.

Energía ahorrada: es la energía que se ahorra con el producto que se propone comprar en (CUC).

6.5 Conclusiones parciales.

Los costos total integral fueron de 1980.00 USD

Los gastos de inversión se estimaron en \$6775.00 USD, \$8 205.00 CUC, \$ 205 125.00 CUP

La inversión tiene un tiempo de amortización menor de 1 año.

CONCLUSIONES GENERALES

Se describió el variador de velocidad ALTIVAR 71 HUM40M3 y sus modos de conexión.

Se elaboró una interface informática para conocer donde el comportamiento del variador en condiciones de campo.

Se realizaron las pruebas de trabajo a diferentes estados de carga con y sin el variador, demostrando la eficiencia del uso del variador ALTIVAR 71 HUM40M3.

Se realizó una interfaz comunicativa del PC con el variador por medio de un NPort con el software CitectSCADA, demostrando las potencialidades del uso del SCADA.

Recomendaciones

Continuar profundizando en la temática para ampliar el alcance de la misma.

BIBLIOGRAFÍA

- CABRERA ABALLE, Y.; **Interface de comunicación para evaluar sinergia en variadores de velocidad ALTIVAR. Trabajo de diploma. ISMMM, 2011.**
- COSTA MONTIEL, A.; VILARAGUT LLANES, M. *Modelos Matemáticos y Simulación del Motor de Inducción Trifásico*. La Habana: CIPEL - ISPJAE, 2005.
- 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.
- FONSECA ALPAJÓN, D.; Interfaz para comunicación de sistema SCADA de accionamientos con variadores de velocidad. **Trabajo de diploma. ISMMM, 2009.**
- 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.
- 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.

PERCY VIEGO, F; DE ARMAS TEYRA, M.; PADRÓN PADRÓN, A. Uso final de la energía eléctrica. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente Universidad de Cienfuegos. Cienfuegos, 2007

Referencia en Internet

CRIADO BRIZ J.M. Introducción a los sistemas expertos. [en línea]. 2002. Consultado [20120109]. Disponible en: http://ingenieroseninformatica.org/recursos/tutoriales/sist_exp/cap1.php.

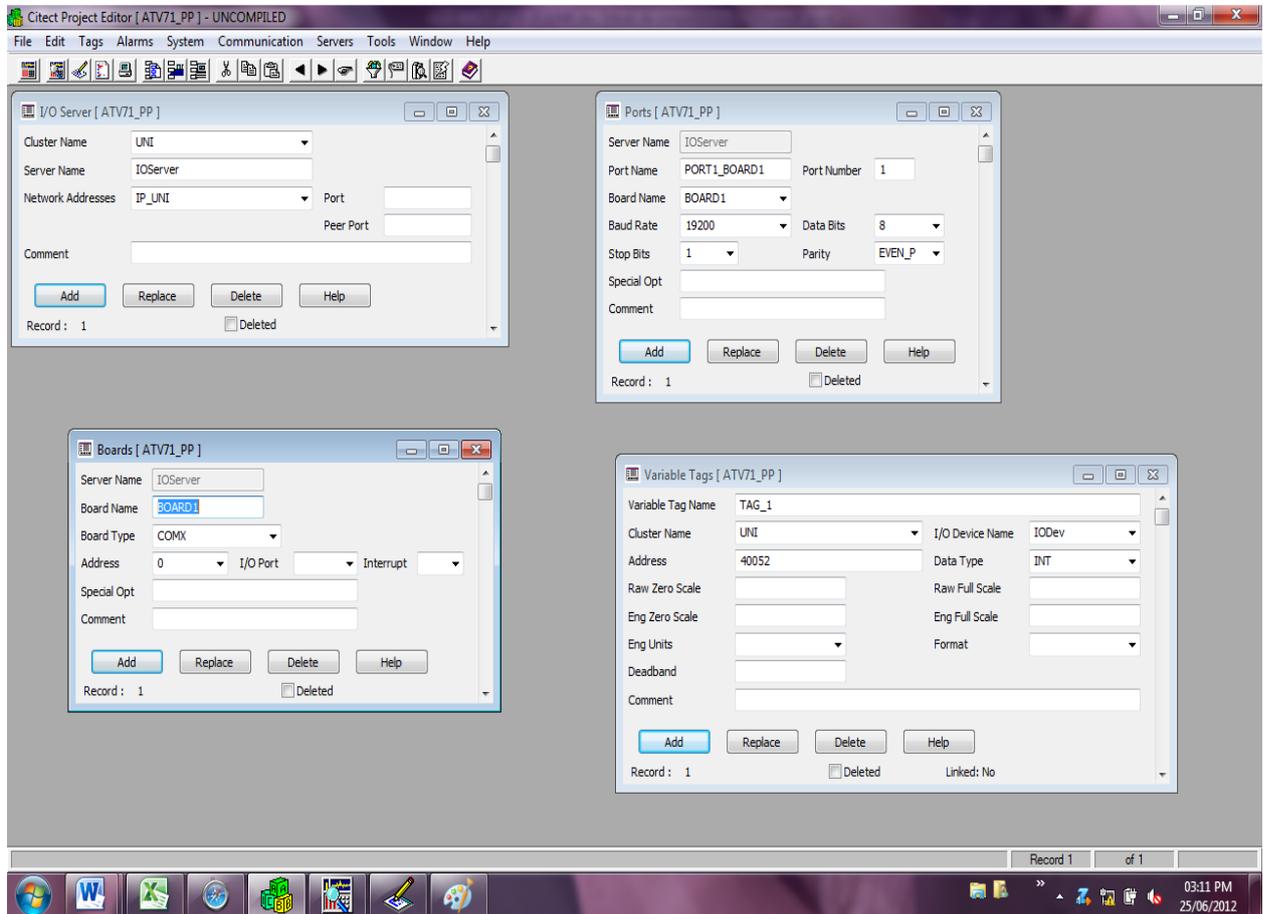
WIKIPEDIA . Sistema_GUI. [en línea]. 2004. Consultado [20120211]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_gui.

CASTRO M. Sistemas expertos. [en línea]. 2002. Consultado [20120423]. 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 [20120512]. Disponible en: <http://efelix.iespana.es/efelix/expertaplicaciones.htm>.

Anexo No. 1

INTERFACES DEL GUI



Ports [ATV71_PP]

Server Name: IOserver

Port Name: PORT1_BOARD1 Port Number: 1

Board Name: BOARD1

Baud Rate: 19200 Data Bits: 8

Stop Bits: 1 Parity: EVEN_P

Special Opt:

Comment:

Record : 1 Deleted

I/O Server [ATV71_PP]

Cluster Name: UNI

Server Name: IOserver

Network Addresses: IP_UNI Port:

Peer Port:

Comment:

Record : 1 Deleted

Boards [ATV71_PP]

Server Name: IOserver

Board Name: BOARD1

Board Type: COMX

Address: 0 I/O Port: Interrupt:

Special Opt:

Comment:

Buttons: Add, Replace, Delete, Help

Record : 1 Deleted

Variable Tags [ATV71_PP]

Variable Tag Name: TAG_1

Cluster Name: UNI I/O Device Name: IODev

Address: 40052 Data Type: INT

Raw Zero Scale: Raw Full Scale:

Eng Zero Scale: Eng Full Scale:

Eng Units: Format:

Deadband:

Comment:

Buttons: Add, Replace, Delete, Help

Record : 1 Deleted Linked: No