



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*

**Tema:** Interface para la adquisición de datos en accionamientos eléctricos usando CITECT

**Autor:** Dainier Avila Sánchez

**Tutores:** Dr. Luis Delfín Rojas Purón  
Ing. Daniel Mendiola Ellis  
Msc Oscar Peña Guilarte

Moa, Holguín  
“Año 53 de la Revolución.”





*Declaración de Autoridad.*

Yo: Dainier Avila Sánchez

Tutores: Dr. Luis Delfín Rojas Purón

Ing. Daniel Mendiola Ellis

Msc. Oscar Peña Guilarte

Autor de este Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Eléctrico, titulado: **Interface para la adquisición de datos en accionamientos eléctricos usando CITECT** certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

---

(Diplomante)

Dainier Avila Sánchez

---

(Tutores)

Dr. Luis Delfín Rojas Purón

Ing. Daniel Mendiola Ellis

Msc Oscar Peña Guilarte



Agradecimientos.

*Para agradecer, no solo hay que esperar a recibir, podemos agradecer por una frase, un criterio, o por un gesto de amistad: expresiones sencillas de valor incalculable.*

*.....Agradezco de forma especial a mi hija Daliana por todo su amor y cariño hacia mí.*

*.....Agradezco a mis padres y mis hermanos, por brindar siempre su apoyo incondicional bajo condiciones de cualquier índole.*

*.....A mi esposa por su confianza y apoyo durante todo este tiempo.*

*A mis familiares más allegados que dijeron presente cuando los necesite.*

*.....A mis compañeros de aula y de beca, especialmente a David, Yoendris, Fernando y Jorge Carralero.*

*.....A mis tutores Luis Delfín Rojas Purón, Daniel Mendiola Ellis, Oscar Peña Guilarte por la tutela brindada.*

*.....Al claustro de profesores que supo guiarme todo este tiempo de universidad, en especial al profesor Yordan Guerrero Roja.*

*A todos*

*MUCHAS GRACIAS*



## DEDICATORIA

*Les dedico este trabajo a todas aquellas personas que con la esperanza de mi superación supieron estar ahí para apoyarme incondicionalmente. Les estaré eternamente agradecido. Dedico este trabajo a mis padres y mi esposa, por su apoyo y entrega, y en especial a mi amada hija a quien debo todas mis fuerzas para continuar.*

*Para ti, mi niña.*



PENSAMIENTO

*Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.*

*Albert Einstein.*



## Índice

<b>DECLARACIÓN DE AUTORIDAD.....</b>	<b>I</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>II</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>III</b>
<b>PENSAMIENTO.....</b>	<b>IV</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>VII</b>
<b>SUMARY.....</b>	<b>VIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>IX</b>
<b>OBJETIVO.....</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>1</b>
<b>HIPÓTESIS.....</b>	<b>1</b>
<b>PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>2</b>
<b>ADQUISICIÓN DE DATOS.....</b>	<b>2</b>
1.1 INTRODUCCIÓN.....	3
1.2 PROCESO DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	4
1.2.1 Definiciones conceptuales.....	4
1.2.2 Cómo se adquieren los datos.....	5
1.2.3 Esquema físico de un Sistema de adquisición de datos.....	5
1.2 ESTADO DEL ARTE DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES.....	7
Características básicas de un convertidor A/D.....	11
ERRORES DE LOS CONVERTIDORES ANALÓGICO/DIGITAL.....	12
Muestreo de la señal.....	13
CONCLUSIONES PARCIALES.....	16
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>17</b>
<b>DESCRIPCIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD ALTIVAR.....</b>	<b>17</b>
2.1 INTRODUCCIÓN.....	17
2.1.2 Generalidades sobre el control de velocidad en los accionamientos eléctricos.....	19
2.2 DESCRIPCIÓN DEL VARIADOR.....	20
2.2.1 TIPOS DE VARIADORES DE VELOCIDAD.....	21
DESCRIPCIÓN DEL VARIADOR ALTIVAR 71.....	27
2.3 ESQUEMA DE POTENCIA Y CIRCUITO DEL MANDO DEL ALTV 71.....	34
METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL CONVERTIDOR.....	37
Rectificador.....	38
Chopper.....	39
Inversor.....	40
DISTINTAS CLASES DE CONVERTIDORES.....	42
Modulación por ancho de pulso.....	43
2.4 PROTOCOLOS DE COMUNICACIONES DEL ALTIVAR 71.....	45
2.5 APLICACIONES EN ACCIONES DE VELOCIDAD AJUSTABLE.....	48
CONCLUSIONES PARCIALES.....	54



<b>CAPITULO III.....</b>	<b>55</b>
<b>FUNDAMENTOS DE ADQUISICIÓN DE DATOS USANDO CITECT .....</b>	<b>55</b>
3.1 INTRODUCCIÓN .....	56
3.2 TOOLBOX DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE CITEC .....	57
<i>Adquisición de Datos .....</i>	<i>57</i>
3.2.1 Características de un sistema SCADA .....	58
➤ Componentes de Hardware. ....	60
3.2.2 Software SCADA y Principales Productos Comerciales.....	61
3.3 INTERFACE DE COMUNICACIÓN EN AMBIENTE GUI . ....	62
INTERFACES DE COMUNICACIÓN. ....	62
➤ FUNCIONES PRINCIPALES DE LA INTERFAZ DE USUARIO.....	65
3.4 DESCRIPCIÓN DE LA INTERFEZ CITECT—VARIADOR.....	66
<b>CONCLUSIONES PARCIALES .....</b>	<b>68</b>
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>69</b>
<b>INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON SU VALORACIÓN ECONÓMICA.....</b>	<b>69</b>
4.1 INTRODUCCIÓN .....	70
4.2 VALORACIÓN TÉCNICA. ....	71
4.3 VALORACIÓN ECONÓMICA. ....	71
4.4 VALORACIÓN SOCIAL. ....	72
<i>CONCLUSIONES PARCIALES.....</i>	<i>73</i>
<b>CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>74</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>75</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>76</b>
<b>ANEXO. ....</b>	<b>77</b>



### RESUMEN

El trabajo consiste en implementar una interface para la adquisición de datos utilizando CITECT en el estudio de un accionamiento eléctrico, donde se elabora una estación de trabajo en soporte CITECT de un PC y un variador de velocidad ALTIVAR, que opera con carga variable de un motor de inducción trifásico de jaula de ardilla. Se desarrollaron dos casos de estudio mediante la conducción de las características de trabajo del accionamiento con un variador de velocidad tipo ALTIVAR. Las condiciones de carga variable son ajustadas con el uso de un bloque difuso. Es de interés, la base teórica experimental del circuito de potencia obtenida desde una interface grafica, ayudada por el software CITECT.



### *Summary*

This investigation have to objective to elaborate a interfase to adquire datas in the study of a electric working, where it elaborate a station work in support CITECT of PC and the varieters of speed ALTIVAR, that work with variable load of a motor of induction with threephases of cage of squirrel. It developed two cases of study by the conduction of the characters of the working work with a varieters of speed ALTIVAR. The conditions of variable load are fit defuse with the use of a block. Is interesting, the teoric experimental base of the power obtained since a grafic interfase, helped for the CITECT software.



## INTRODUCCIÓN

Con el fin de describir el sistema de acondicionamiento de señales para la adquisición de datos de un accionamiento eléctrico con variador de velocidad ALTIVAR, en condiciones de ensayos de laboratorio, cuando se opera con alta variabilidad en la corriente del circuito de carga, asistido por CitectScada. Caracterizaremos el variador de velocidad ALTIVAR y específicamente el ATV71, operando en condiciones industriales. Pretendiendo elaborar una interface que permita el control de instrumentos en los sistemas de monitoreo y supervisión de accionamientos eléctricos a partir de sistemas SCADA y elaborar una interface informática entre el variador y el programa CITECT. Los accionamientos de velocidad variable en motores de inducción están siendo utilizados con el objetivo de ahorrar energía en mecanismo tales como bombas y ventiladores centrífugos, existe la posibilidad de un ahorro adicional de la energía consumida mediante un control separado de parámetros como la tensión y la frecuencia aplicada al motor, minimizando sus pérdidas, una de las razones que justifica la utilización de los variadores de velocidad en los procesos industriales.



### Objetivo

Elaborar una interface que permita la adquisición de datos desde CITECT de un accionamiento eléctrico con variador de velocidad ALTIVAR operando en condiciones de ensayos de laboratorios.

### Objetivos específicos

- Describir el sistema de acondicionamiento de señales para la adquisición de datos de un accionamiento eléctrico usando CITECT.
- Caracterizar el variador de velocidad ALTIVAR operando en condiciones industriales.
- Elaborar una interface informática para la adquisición de datos desde CITECT.
- Montar el esquema de la interfase para las condiciones de carga variable del accionamiento con motor de inducción.
- Implementar el sistema de adquisición de datos del accionamiento asistido por CITECT.

### Hipótesis

Si se tiene las condiciones de todo el hardware para el accionamiento de señales desde CITECT de un accionamiento eléctrico ajustable, es posible entonces implementar la adquisición de datos del sistema configurando su trabajo sobre CITECT, para los propósitos de ensayos en estos accionamientos.

### Problema

La necesidad de implementar una interfase para la adquisición de datos en un accionamiento eléctrico con variador de velocidad ALTIVAR, en condiciones de ensayos de laboratorio, cuando se opera con alta variabilidad en la corriente del circuito de carga.



# *CAPITULO I*

## *Adquisición de datos*



### **1.1 Introducción.**

El acceso y la adquisición de la información es la clave a la hora de garantizar la seguridad y productividad en los procesos de producción. En este primer capítulo, se hace una fundamentación teórica sobre la adquisición de señales, el entorno de trabajo en CITECT, y sus herramientas para la adquisición de datos. También se hace referencia a los elementos tanto de software como de hardware, y su configuración. El software de CITECT garantiza este acceso para las operaciones de monitorización. Gracias a un sistema de monitorización y control altamente escalable y fiable, permite reducir los costos de operación y mejorar la productividad y la calidad de productos finales.



---

### 1.2 Proceso de adquisición de datos.

**Adquisición de datos** o adquisición de señales, consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador u otras electrónicas (sistema digital). Consiste, en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarla de manera que se puedan procesar en una computadora. Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que hace dicha transformación es el módulo de digitalización o tarjeta de Adquisición de Datos (**DAQ**). Un Sistema de Adquisición de Datos no es más que un equipo electrónico cuya función es el control o simplemente el registro de una o varias variables de un proceso cualquiera

#### 1.2.1 Definiciones conceptuales

**Dato:** Representación simbólica (numérica, alfabética...), atributo o característica de un valor. No tiene sentido en sí mismo, pero convenientemente tratado (procesado) se puede utilizar en la relación de cálculos o toma de decisiones.

**Adquisición:** Recogida de un conjunto de variables físicas, conversión en voltaje y digitalización de manera que se puedan procesar en un ordenador.

**Sistema:** Conjunto organizado de dispositivos que interactúan entre sí ofreciendo prestaciones más completas y de más alto nivel. Una vez que las señales eléctricas se transformaron en digitales, se envían a través del bus de datos a la memoria del PC. Una vez los datos están en memoria pueden procesarse con una aplicación adecuada, archivarlas en el disco duro, visualizarlas en la pantalla, etc...

**Rango:** Valores máximo y mínimo entre los que el sensor, instrumento o dispositivo funcionan bajo unas especificaciones.



### 1.2.2 Cómo se adquieren los datos

La adquisición de datos se inicia con el fenómeno físico o la propiedad física de un objeto (objeto de la investigación) que se desea medir. Esta propiedad física o fenómeno podría ser el cambio de temperatura, la intensidad, la presión, la fuerza aplicada a un objeto, o muchas otras cosas. Un eficaz sistema de adquisición de datos pueden medir todas estas diferentes propiedades antes mencionadas.

### 1.2.3 Esquema físico de un Sistema de adquisición de datos.

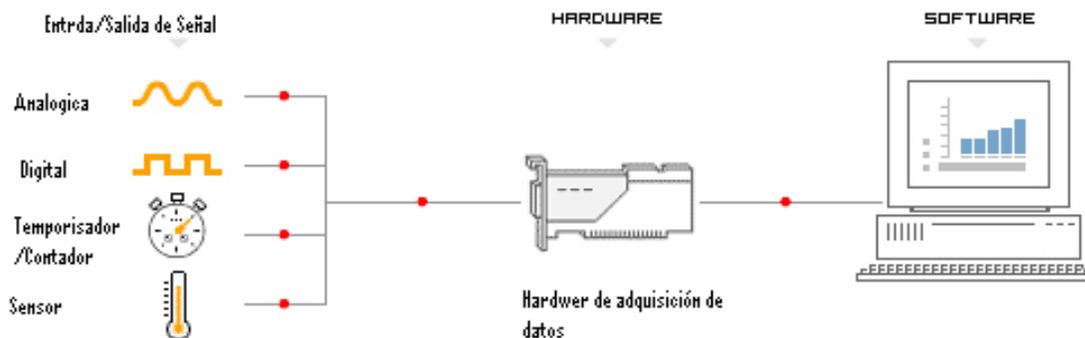


Fig. 1.1 Sistema de adquisición de datos



## Trabajo de diploma

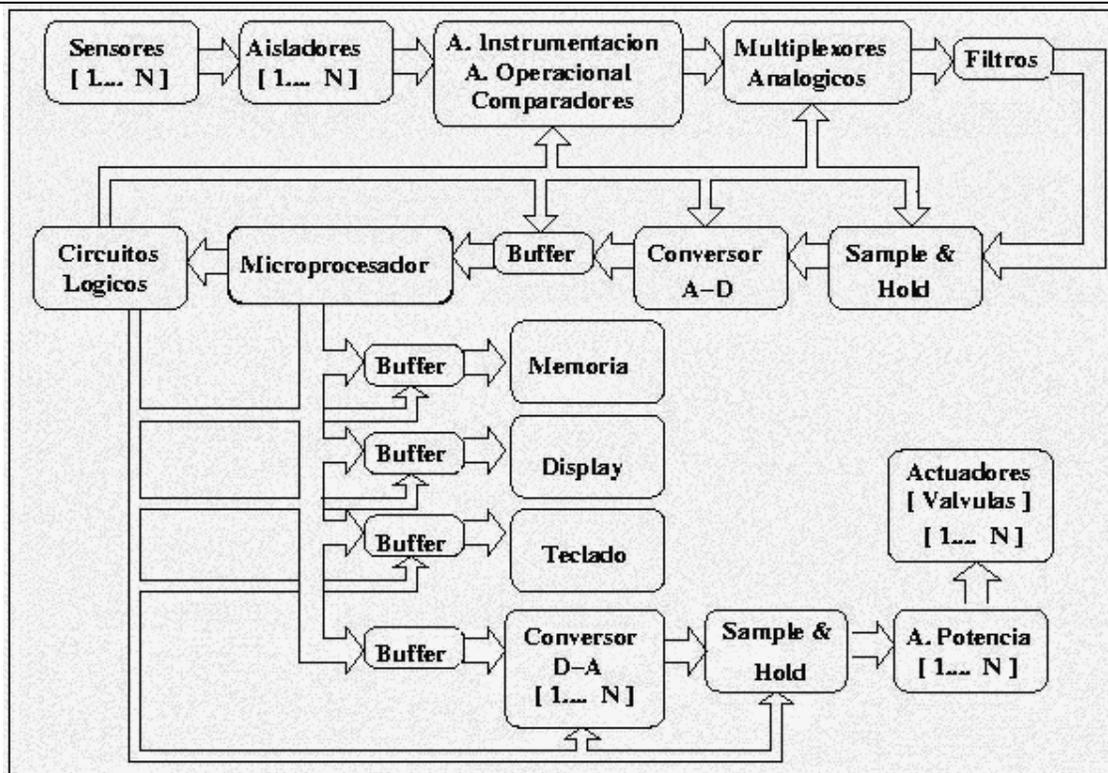


Fig.1.2. Diagrama General de un SAD.

Los componentes de los sistemas de adquisición de datos, poseen sensores adecuados que convierten cualquier parámetro de medición de una señal eléctrica, que se adquiere por el hardware de adquisición de datos. Los datos adquiridos se visualizan, analizan, y almacenan en un ordenador, ya sea utilizando el proveedor de software suministrado u otro software. Los controles y visualizaciones se pueden desarrollar utilizando varios lenguajes de propósito general. Estos entornos de adquisición proporcionan un lenguaje de programación además de bibliotecas y herramientas para la adquisición de datos y posterior análisis.

Un sistema típico de adquisición utiliza sensores, transductores, amplificadores, convertidores analógico - digital (A/D) y digital - analógico (D/A), para procesar información acerca de un sistema físico de forma digitalizada.



## *Trabajo de diploma*

**Sensor:** es un dispositivo que convierte una propiedad física o fenómeno en una señal eléctrica correspondiente medible, tal como tensión, corriente, el cambio en los valores de resistencia o condensador. La capacidad de un sistema de adquisición de datos para medir los distintos fenómenos depende de los transductores para convertir las señales de los fenómenos físicos mensurables en la adquisición de datos por hardware.

**Transductor:** Es un elemento que convierte la magnitud o parámetros que vamos a medir en una señal de salida (normalmente tensión o corriente) que puede ser procesada por nuestro sistema. Salvo que la señal de entrada sea eléctrica, podemos decir que el transductor es un elemento que convierte energía de un tipo en otro. Por tanto, el transductor debe tomar poca energía del sistema bajo observación, para no alterar la medida.

### ***1.2 Estado del arte de acondicionamiento de señales.***

De la misma manera que se toma una señal eléctrica y se transforma en una digital para enviarla al ordenador, se puede también tomar una señal digital o binaria y convertirla en una eléctrica (Acondicionamiento de Señales). En este caso el elemento que hace la transformación es un sistema de Adquisición de Datos de salida, o tarjeta de control. La señal dentro de la memoria del PC la genera un programa adecuado a las aplicaciones que quiere el usuario y, luego de procesarla, es recibida por mecanismos que ejecutan movimientos mecánicos, a través de servomecanismos, que también son del tipo transductores.

En todo SAD o sistema donde sea usado en conversor A/D es muy importante el acondicionamiento previo de la señal que es suministrada al conversor, la esencia del acondicionamiento es hacer que el rango de variación real que experimentará la variable a medir se convierta en el rango máximo de voltaje de entrada que acepta el conversor A/D que se utiliza, o sea que el valor mínimo de la variable a medir imponga a la entrada del conversor el valor mínimo del voltaje que el acepta y el valor máximo de la variable a medir imponga el valor máximo de voltaje que el conversor admite. Paralelamente el acondicionamiento de la señal también implica la transformación de la señal entregada por el sensor de forma que siempre la magnitud final sea voltaje, además en el acondicionamiento se puede garantizar el filtrado de valores de ruido no deseadas en la variable medida.



## *Trabajo de diploma*

---

La etapa acondicionamiento de señales formada básicamente por amplificadores operacionales, comparadores de nivel y amplificadores de instrumentación. Es la etapa encargada de filtrar y adaptar la señal proveniente del transductor a la entrada del convertidor analógico / digital. Esta adaptación suele ser doble y se encarga de:

- Adaptar el rango de salida del transductor al rango de entrada del convertidor (Normalmente en tensión).
- Acoplar la impedancia de salida de uno con la impedancia de entrada del otro.

El acondicionamiento de señales se desglosan por etapas, aunque aparezcan o no en dependencia del proceso a controlar.

- Amplificación
- Excitación
- Filtrado
- Multiplexado
- Aislamiento
- Linealización

La adaptación entre los rangos de salida del convertidor y el de entrada del convertidor tiene como objetivo, el aprovechar el margen dinámico del convertidor, de modo que la máxima señal de entrada debe coincidir con la máxima que el convertidor (pero no con la máxima tensión admisible, ya que para ésta entran en funcionamiento las redes de protección que el convertidor lleva integrada).

Por otro lado, la adaptación de impedancia es imprescindible ya que los transductores presentan una salida de alta impedancia, que normalmente no puede excitar la entrada de un convertidor, cuya impedancia típica suele estar entre 1 y 10 k.

El acondicionamiento de señales suele ser necesario si la señal desde el transductor no es adecuado para la adquisición del hardware que se utiliza. La señal puede ser amplificada o



## *Trabajo de diploma*

---

des amplificadas, o puede requerir de filtrado, o un cierre patronal, en el amplificador se incluyen componentes encargados de la demodulación. Varios otros ejemplos de acondicionamiento de señales podría ser el puente de conclusión, la prestación actual de tensión o excitación al sensor, el aislamiento, linealización, etc. Este pre tratamiento de la señal normalmente lo realiza un pequeño módulo acoplado al transductor.

La codificación es el paso por el cual la señal digital se ofrece según un determinado código binario, de modo que las etapas posteriores al convertidor puedan leer estos datos adecuadamente. Este paso hay que tenerlo siempre en cuenta, ya que puede hacer que obtengamos datos erróneos, sobre todo cuando el sistema admite señales positivas y negativas con respecto a masa, momento en el cual la salida binaria del convertidor nos da tanto la magnitud como el signo de la tensión que ha sido medida.

En una etapa de acondicionamiento podemos encontrar estas etapas, aunque no todas están siempre presentes:

**Amplificación:** Es el tipo más común de acondicionamiento. Para conseguir la mayor precisión posible la señal de entrada debe ser amplificada de modo que su máximo nivel coincida con la máxima tensión que el convertidor pueda leer.

**Aislamiento:** Otra aplicación habitual en el acondicionamiento de la señal es el aislamiento eléctrico entre el transductor y el ordenador, para proteger al mismo de procesos transitorios de alta tensión que puedan dañarlo. Un motivo adicional para usar aislamiento es el garantizar que las lecturas del convertidor no son afectadas por diferencias en el potencial de masa o por tensiones en modo común.

**Multiplexado:** Es la conmutación de las entradas del convertidor, de modo que con un sólo convertidor podemos medir los datos de diferentes canales de entrada. Puesto que el mismo convertidor está midiendo diferentes canales, su frecuencia máxima de conversión será la original dividida por el número de canales muestreados. Se aconseja que los multiplexores se utilicen antes del conversor y después del acondicionamiento de la señal, ya que de esta manera no molestará a los aislantes que podamos tener.



## *Trabajo de diploma*

**Filtrado:** El fin del filtro es eliminar las señales no deseadas de la señal que estamos observando.

Las señales alternas, tales como la vibración, necesitan un tipo distinto de filtro, conocido como filtro antialiasing, con un corte muy brusco, que elimina totalmente las señales de mayor frecuencia que la máxima a medir, ya que si no se eliminasen aparecerían superpuestas a la señal medida, con el consiguiente error.

**Linealización** - Muchos transductores, como los termopares, presentan una respuesta no lineal ante cambios lineales en los parámetros que están siendo medidos. Aunque la linealización puede realizarse mediante métodos numéricos en el sistema de adquisición de datos, suele ser una buena idea el hacer esta corrección mediante circuitería externa.

### **Amplificadores operacionales.**

En sus configuraciones básicas (inversora, no inversora, amplificadora, convertor de corriente a voltaje, etc.), son usados para garantizar que al convertor A/D le sea suministrado el rango máximo de voltaje y así el mismo pueda dar el mayor número de combinaciones posibles.

### **Amplificador de instrumentación.**

Puede alternadamente sustituir al amplificador operacional, siempre que la aplicación lo exija, pues los mismos tienen prestaciones superiores a los amplificadores operacionales normales, lo cual hace que sean más costosos. Entre las características de los amplificadores de instrumentación tenemos una impedancia de entrada infinita y una ganancia ajustable en ocasiones mediante una red resistiva de precisión externa o mediante resistores internos de precisión por interruptores o por software.

### **Aisladores.**

Son dispositivos de mucha importancia principalmente en sistemas médicos donde se requiere aislar completamente al paciente del equipo de medición con el fin de evitar que en



## *Trabajo de diploma*

---

caso de desperfectos del equipo los pacientes estén expuestos altos niveles de voltaje o corriente, también en equipos o instrumentos que manejen altas tensiones es necesario garantizar el aislamiento entre los instrumentos de medición y las fuentes de alta tensión. Entre los dispositivos más comunes son los opto-acopladores.

### **Características básicas de un convertidor A/D**

Existen una serie de características esenciales que hemos de tener en cuenta para realizar medidas de forma correcta. Aunque no se le haga alusión a todas, me referiré a las fundamentales que caracterizan un convertidor.

- Impedancia de entrada
- Rango de entrada
- Número de bits
- Resolución
- Tensión de fondo de escala
- Tiempo de conversión
- Error de conversión

**Número de bits:** Es el número de bits que tiene la palabra de salida del convertidor, y por tanto es el número de pasos que admite el convertidor. Así un convertidor de 8 bits sólo podrá dar a la salida  $2^8=256$  valores posibles.

**Resolución:** Es el mínimo valor que puede distinguir el convertidor en su entrada analógica, o dicho de otro modo, la mínima variación,  $V_i$ , en el voltaje de entrada que se necesita para cambiar en un bit la salida digital.



### **Tiempo de conversión:**

Es el tiempo que tarda en realizar una medida el convertidor en concreto, y dependerá de la tecnología de medida empleada. Evidentemente nos da una cota máxima de la frecuencia de la señal a medir.

Este tiempo se mide como el transcurrido desde que el convertidor recibe una señal de inicio de conversión (normalmente llamada SOC, Start of Conversión) hasta que en la salida aparece un dato válido. Para que tengamos constancia de un dato válido tenemos dos caminos:

- Esperar el tiempo de conversión máximo que aparece en la hoja de características.
- Esperar a que el convertidor nos envíe una señal de fin de conversión.

Si no respetamos el tiempo de conversión, en la salida tendremos un valor, que dependiendo de la constitución del convertidor será:

- Un valor aleatorio, como consecuencia de la conversión en curso
- El resultado de la última conversión

### ***Errores de los convertidores analógico/digital***

Los convertidores son circuito que presenta una serie de errores que debemos tener en cuenta, y estudios precedentes han demostrado que de forma general estos son los errores más comunes en ellos:

- **Error de offset**
- **Error de cuantificación**
- **Error de linealidad**
- **Error de apertura**



---

### Error de linealidad (linealidad integral):

Este error es la manifestación de la desviación entre la curva de salida teórica y la real, de modo que para iguales incrementos en la entrada, la salida indica distintos incrementos.

### Error de apertura:

Es el error debido a la variación de la señal de entrada mientras se está realizando la conversión. Este error es uno de los más importantes cuando se están muestreando señales alternas de una frecuencia algo elevada, (como por ejemplo el muestreo de voz) pero tiene poca importancia cuando medimos señales cuasi-continuas, como temperatura, presión, o nivel de líquidos. Para minimizar este tipo de error se usan los circuitos de muestreo y retención.

Este error es importante, ya que si no lo tenemos en cuenta raramente podemos digitalizar adecuadamente señales alternas.

Si consideramos un error que no afecte a la precisión total de la conversión, (por lo que habrá de ser menor que  $\frac{1}{2}$  LSB) la frecuencia máxima de muestreo deberá ser:

$$F_{max} = \frac{1}{T_a * \pi * 2^{n+1}} \quad (1)$$

En esta fórmula **T<sub>a</sub>** es el tiempo de apertura del circuito de muestreo y retención, o bien el tiempo total de conversión si el anterior no existe, y **n** el nº de bits del convertidor.

El circuito de muestreo y retención puede estar a veces integrado dentro de la misma cápsula del convertidor, lo que nos puede simplificar el diseño enormemente.

### Muestreo de la señal

El muestreo de la señal implica pérdida de información respecto a la señal de entrada, ya que de un número infinito de valores posibles para la entrada sólo tenemos un valor finito de valores posibles para la salida. Por tanto es fundamental saber cuántas muestras hemos de tomar.



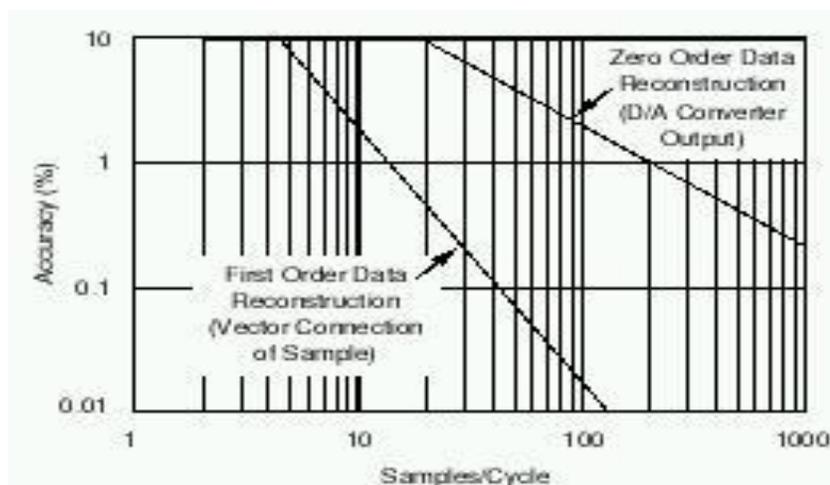
## Trabajo de diploma

Todo esto depende del error medio admisible, el método de reconstrucción de la señal (si es que se usa) y el uso final de los datos de la conversión. Independientemente del uso final, el error total de las muestras será igual al error total del sistema de adquisición y conversión más los errores añadidos por el ordenador o cualquier sistema digital. Para dispositivos incrementales, tales como motores paso a paso y conmutadores, el error medio de los datos muestreados no es tan importante como para los dispositivos que requieren señales de control continuas.

De cualquier modo, la precisión instantánea en cada muestra es igual a la precisión del sistema de adquisición y conversión, y en muchas aplicaciones esto puede ser más que suficiente. La precisión media de los datos muestreados puede mejorarse con estos métodos:

- Aumentar el número de muestras por ciclo
- Filtrado previo al multiplexado
- Filtrar la salida del convertidor digital / analógico

La mejora en la precisión media es mejorada con gran magnitud con un pequeño aumento en el número de muestras por ciclo, como podemos ver en la **fig. 1.2**.



**Fig. 1.2** Mejora de la precisión media.



## *Trabajo de diploma*

---

Para una reconstrucción de orden cero, podemos ver que con más de 10 muestras por ciclo de señal, podemos conseguir precisiones del 90 % o mejor. Normalmente se usan entre 7 y 10 muestras por ciclo.



### *Conclusiones parciales*

A partir fundamentación teórica sobre la adquisición de señales, en el entorno de trabajo en un sistema de monitoreo, y sus herramientas para la adquisición de datos, se logró:

1. Describir las etapas que componen el sistema de accionamiento de señales (Diagrama en bloque) para la adquisición de datos para ser utilizados, posteriormente en el estudio de un accionamiento eléctrico con variador de velocidad ALTV71.
2. Determinar elementos tanto de software como de hardware, y específicamente sus funciones y configuración.



# *Capítulo II*

## *Descripción del variador de velocidad ALTIVAR.*

### **2.1 Introducción**

El control de procesos y el ahorro de la energía son dos de las principales razones para el empleo



## *Trabajo de diploma*

---

de variadores de velocidad. La evolución de la ciencia y la tecnología ha traído consigo un desarrollo de gran magnitud para estos equipos. Aparejado a esto hoy en día una gran parte de los motores utilizados en la industria moderna funcionan a velocidades variables, como por ejemplo los trenes, los mecanismos de elevación, las máquinas-herramientas, las bombas, los ventiladores etc. En los que por su importancia se requiere un control preciso de la velocidad para lograr una adecuada productividad, una buena terminación del producto elaborado, y garantizar la seguridad de personas, dependiendo relativamente del modo en que se regule la velocidad. Sea por métodos mecánicos, como poleas o engranajes, o por medios eléctricos. Logrando así dar solución a disimiles problemas como el arranque de motores asíncronos. Eliminando parámetros como el pico de corriente en el arranque, las sacudidas mecánicas que se producen durante los arranques y paradas y el funcionamiento a velocidad constante. Independientemente de la carga a la que se someta la máquina. Dependiendo de la gran generación que existe de variador de velocidad tipo ALTIVAR, me referiré, en el desarrollo de este capítulo específicamente al ALTIVAR 71.



---

### **2.1.2 Generalidades sobre el control de velocidad en los accionamientos eléctricos.**

Se entiende por control de velocidad al cambio intencional de la variable velocidad en un accionamiento eléctrico, con el objetivo de realizar determinado proceso o cumplir algún requerimiento impuesto al sistema de regulación. El control de velocidad en el sentido en que es estudiado aquí no se lleva a cabo solamente para regular la velocidad como tal, sino también otras fines económicos como el ahorro de energía y el perfeccionamiento de las máquinas, regulando parámetros tales como la posición, la aceleración y el momento.

En la selección y diseño de un accionamiento eléctrico de velocidad variable deben tenerse en cuenta, fundamentalmente, los requerimiento impuesto al mecanismo por el accionamiento. Estos requerimientos aunque, en general, pueden ser de índole muy diversa respondiendo a la gran variedad de mecanismos que pueden encontrarse, pueden resumirse en seis indicadores o parámetros fundamentales que sirven también para evaluar cada tipo de variador o sistema de accionamiento eléctrico de velocidad variable. Estos requerimientos son:

- 1- El diapasón del control de velocidad.
- 2- La gradación del control.
- 3- La exactitud en el estado estacionario.
- 4- La calidad de la respuesta transitoria.
- 5- La dirección del control.
- 6- La carga permisible.



## **2.2 Descripción del variador.**

Dominio de par y la velocidad Los variadores son convertidores de energía encargados de modular la energía que recibe el motor. Son dispositivos electrónicos que permiten variar la velocidad y la cupla de los motores, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables.

- Se utilizan estos equipos cuando las necesidades de la aplicación sean:
  - ✓ Regulación sin golpes mecánicos
  - ✓ Movimientos complejos
  - ✓ Mecánica delicada

Adecuados para motores de corriente tanto alterna como continua, garantizan la aceleración y deceleración progresivas y permiten adaptar la velocidad a las condiciones de explotación de forma muy precisa. Según la clase del motor, se emplean variados de tipo rectificador controlado, convertidor de frecuencia o regulador de tensión. Los variadores de velocidad electrónicos desarrollan como principal tarea el control de procesos y el ahorro de la energía eliminando parámetros que por lo general propician gastos y pérdidas en la producción como son.

- El pico de corriente en el arranque. (Puede perturbar el funcionamiento de otros aparatos conectados a la red).
- Las sacudidas mecánicas que se producen durante los arranques y las paradas. (Pueden ser inaceptables para la máquina así como para la seguridad y comodidad de los usuarios).
- Funcionamiento a velocidad constante. (Puede proporcionar pérdidas para el sistema tecnológico).



---

## 2.2.1 TIPOS DE VARIADORES DE VELOCIDAD.

Según estudios realizados a investigaciones precedentes podemos afirmar que existen tres tipos básicos de variadores de velocidad que a su vez suelen ser los más usados: mecánicos, hidráulicos y eléctrico-electrónicos. Dentro de cada tipo pueden encontrarse más subtipos, que se detallarán a continuación. Los variadores de velocidad mecánicos e hidráulicos generalmente son conocidos como transmisiones cuando se emplean en vehículos, equipo agroindustrial u otro tipo de maquinaria.

### ***Variadores mecánicos.***

- Variadores de paso ajustable: estos dispositivos emplean poleas y bandas en las cuales el diámetro de una o más poleas puede ser modificado.
- Variadores de tracción: transmiten potencia a través de rodillos metálicos. La relación de velocidades de entrada/salida se ajusta moviendo los rodillos para cambiar las áreas de contacto entre ellos y así la relación de transmisión.



**Fig. 2.1** Diagrama en bloque de un Variador mecánico.

### ***Variadores hidráulicos.***

- Variador hidrostático: consta de una bomba hidráulica y un motor hidráulico (ambos de desplazamiento positivo). Una revolución de la bomba o el motor corresponde a una cantidad bien definida de volumen del fluido manejado. De esta forma la velocidad puede ser controlada mediante la regulación de una válvula de control, o bien, cambiando el desplazamiento de la bomba o el motor.
- Variador hidrodinámico: emplea aceite hidráulico para transmitir par mecánico entre un impulsor de entrada (sobre un eje de velocidad constante) y un rotor de salida (sobre un eje de velocidad ajustable). También llamado acoplador hidráulico de llenado variable.
- Variador hidrovicoso: consta de uno o más discos conectados con un eje de entrada, los cuales estará en contacto físico (pero no conectados mecánicamente) con uno o más discos



## Trabajo de diploma

conectados al eje de salida. El par mecánico (torque) se transmite desde el eje de entrada al de salida a través de la película de aceite entre los discos. De esta forma, el par transmitido es proporcional a la presión ejercida por el cilindro hidráulico que presiona los discos.

### **Variadores de velocidad eléctrico-electrónicos.**

Existen cuatro categorías de variadores de velocidad eléctrico-electrónicos.

- Variadores para motores de CC
- Variadores de velocidad por corrientes de Eddy
- Variadores de deslizamiento
- Variadores para motores de CA conocidos como variadores de frecuencia.

Los variadores eléctrico-electrónicos incluyen tanto el controlador como el motor eléctrico, sin embargo es común emplear el término variador únicamente al controlador eléctrico. Los primeros variadores de esta categoría emplearon la tecnología de los tubos de vacío. Con los años después se han ido incorporando dispositivos de estado sólido, lo cual ha reducido significativamente el volumen y costo, mejorando la eficiencia y confiabilidad de los dispositivos.

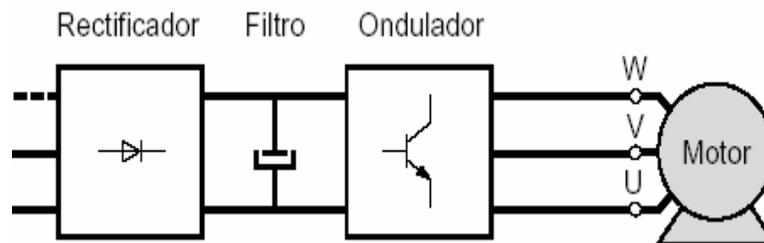


Fig.2.2 Diagrama de bloques de un Convertidor de frecuencia.

### **Variadores para motores de CC.**

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

$$V_t = K \cdot FM \cdot Nm \quad (2)$$



Donde

$V_t$  Voltaje terminal (V).

$K$  Constante de la máquina.

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

$Nm$  Velocidad mecánica (rpm).

Despejando la velocidad mecánica, se obtiene:

$$Nm = \frac{V_t}{K \cdot FM} \quad (3)$$

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

### ***Variadores por corrientes de Eddy.***

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

### ***Variadores de deslizamiento.***

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



$$Nm = \frac{120 \cdot f \cdot (1 - s)}{P} \quad (4)$$

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

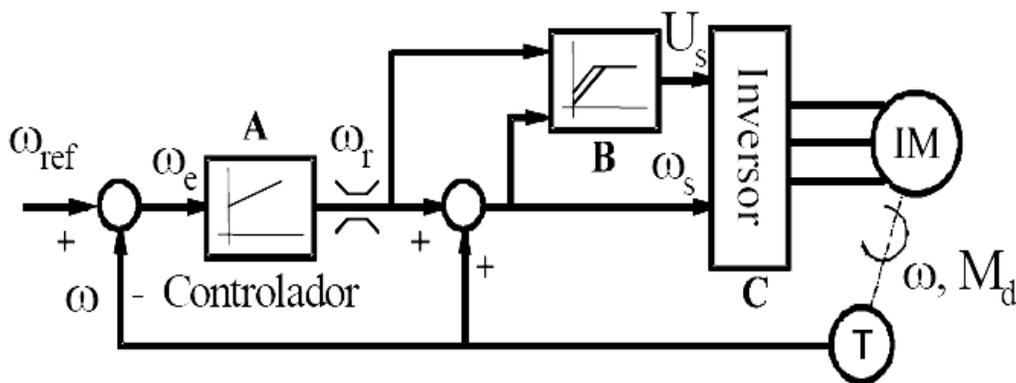


Fig. 2.3 Esquema físico de un de un controlador de deslizamiento

En la fig. 2.3 se representa el esquema convencional de un controlador de deslizamiento para un motor de inducción, utilizado en variadores de velocidad sin gran exigencia de prestaciones. Tradicionalmente, el error de velocidad ( $\omega_e$ ) es la entrada del regulador PI, que establece la frecuencia de deslizamiento del motor ( $\omega_r$ ).

La frecuencia estática es resultado de la adición de la frecuencia de deslizamiento a la velocidad del rotor ( $\omega$ ). La tensión del estator ( $U_s$ ) es establecida de acuerdo con una ley predefinida ( $U_s/\omega_s$  aproximadamente constante), de forma que el flujo del motor sea mantenido en su valor nominal. La frecuencia de deslizamiento es limitada, estableciendo (indirectamente) un límite para el par máximo disponible en el motor y para la corriente del estator.



### **Variadores para motores de CA.**

Los variadores de frecuencia ( AFD, *Adjustable Frequency Drive*; o bien VFD *Variable Frequency Drive*) permiten controlar la velocidad tanto de motores de inducción (asíncronos de jaula de ardilla o de rotor devanado), como de los motores síncronos mediante el ajuste de la frecuencia de alimentación al motor.

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

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{P} \quad (5)$$

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

$$N_m = \frac{120 \cdot f \cdot (1 - s)}{P} \quad (6)$$

Donde:

$N_s$  = velocidad síncrona (rpm)

$N_m$  = velocidad mecánica (rpm)

$f$  = frecuencia de alimentación (Hz)

$s$  = deslizamiento (adimensional)

$P$  = número de polos.

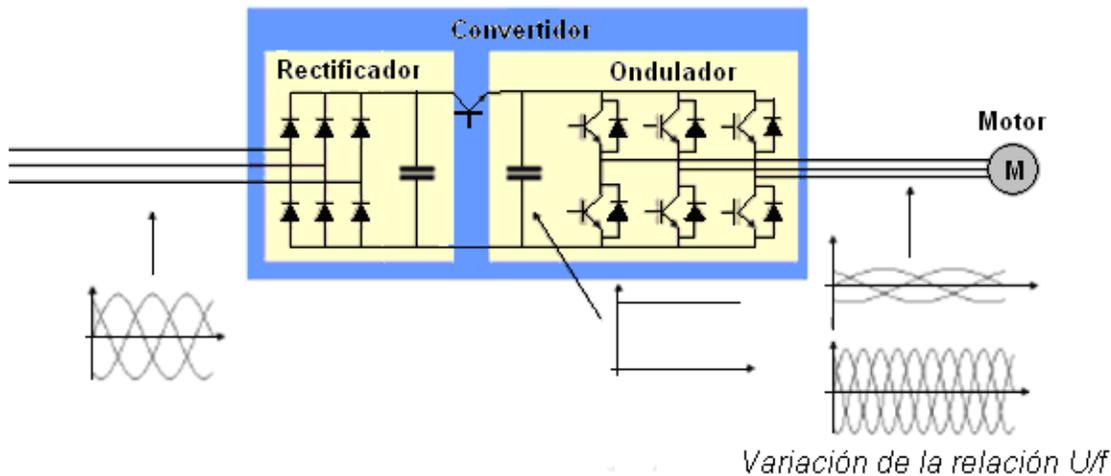
Como puede verse en las expresiones de velocidad antes expresadas, la frecuencia y la velocidad son directamente proporcionales, de tal manera que al aumentar la frecuencia de alimentación al motor, se incrementará la velocidad de la flecha (velocidad del rotor), y al reducir el valor de la frecuencia disminuirá la velocidad del eje. Por ello es que este tipo de variadores manipula la frecuencia de alimentación al motor a fin de obtener el control de la velocidad de la máquina.

Estos variadores mantienen la razón Voltaje/ Frecuencia (V/Hz) constante entre los valores mínimo y máximos de la frecuencia de operación, con la finalidad de evitar la saturación magnética del núcleo del motor y además porque el hecho de operar el motor a un voltaje constante por encima de una frecuencia dada (reduciendo la relación V/Hz) disminuye el par del motor y la capacidad del mismo para proporcionar potencia constante de salida.



## Trabajo de diploma

Los convertidores de frecuencia también llamados variadores de frecuencia (VDF) o Variadores de Velocidad han venido a resolver el problema de poder usar los motores a velocidades variables sin disminuir la eficiencia.



**Fig. 2.4** Esquema de un convertidor de frecuencia.

Estos dispositivos entregan voltaje y frecuencia variable conforme a la necesidad del motor y la carga a él conectada. Para tal efecto toma la alimentación eléctrica de la red la cual tiene voltaje y frecuencia fija la transforma en un voltaje continuo y luego lo transforma en un voltaje alterno trifásico de magnitud y frecuencia variable por medio de un inversor.

La forma de onda del voltaje de salida no es una senoide perfecta, toda vez que se entrega una señal de pulso modulada a partir de la frecuencia de conmutación de los dispositivos electrónicos de potencia. Los equipos actuales trabajan a frecuencias de conmutación del orden de los 50 kHz, donde los contenidos de armónicos son bastante bajos por lo que se agregan filtros pasivos.

La relación voltaje frecuencia es configurada por el usuario según la aplicación, siendo las más usuales una relación lineal, la cual produce un torque constante en todo el rango de velocidades, o una relación cuadrática en donde el torque disminuye a medida que baja la velocidad.



---

**Descripción del Variador ALTIVAR 71**



**Fig.2.5** Variador de velocidad ALTIVAR 71

El variador Altivar 71 integra de forma estándar los protocolos de comunicación Modbus y CANopen así como numerosas funciones. Estas funciones pueden ampliarse por medio de tarjetas opcionales de comunicación, entradas/salidas e interfase de codificador.

Toda la gama cumple con las normas internacionales IEC-EN 61800-5-1, IEC-EN 61800-2, IEC-EN 61800-3, está certificada conforme a CE, UL, CSA, DNV, C-Tick, NOM 117, GOST y ha sido desarrollada para responder a las directivas sobre la protección del entorno (RoHS, WEEE, etc.).

El variador Altivar 71 se inserta en la cadena de seguridad de las instalaciones. Integra la función de seguridad "Power Removal" que prohíbe el arranque intempestivo del motor. Esta función cumple con la norma sobre máquinas EN 954-1 categoría 3, con la norma sobre instalaciones eléctricas IEC-EN 61508 SIL2 y con el proyecto de norma de accionamiento de potencia IEC-EN 61800-5-2.

La gama de variadores de velocidad Altivar 71 cubre las potencias de motor comprendidas entre 0,37 kW y 500 kW con tres tipos de alimentación:



### **Gama de Altivar 71 dependiendo de la potencia del motor.**

- 200...240 V monofásica, de 0,37 kW a 5,5 kW.
- ▮ 200...240 V trifásica, de 0,37 kW a 75 kW.
- ▮ 380...480 V trifásica, de 0,75 kW a 500 kW.

### **Macroconfiguración**

El variador Altivar 71 ofrece una programación rápida y sencilla por macroconfiguración que corresponde a aplicaciones o usuarios diferentes: marcha/paro, mantenimiento, elevación, uso general, conexión a redes de comunicación, regulador PID, maestro/esclavo. Cada una de las configuraciones sigue siendo totalmente modificable.

### **Menú “Arranque rápido”**

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.

### **Servicios del Variador ATV71.**

El variador Altivar 71 integra numerosas funciones de mantenimiento, de supervisión y de diagnóstico:

1. Funciones de test de variadores integradas con pantalla de diagnóstico en el terminal gráfico extraíble.
2. Imagen de las entradas/salidas.
3. Imagen de la comunicación en los diversos puertos.
4. Función de osciloscopio visualizable con el software de programación PowerSuite.
5. Gestión del parque del variador gracias a los microprocesadores flasheables.
6. Uso de estas funciones a distancia mediante la conexión del variador a un módem a través de la toma Modbus.
7. Identificación de los elementos que constituyen el variador así como de las versiones de



software.

8. Históricos de los fallos con el valor de 16 variables cuando aparece el fallo.
9. Flasheado de los idiomas del terminal.
10. Se puede memorizar un mensaje de 5 líneas de 24 caracteres en el variador

### **Opciones del Variador ATV71.**

El variador Altivar 71 puede integrar hasta tres tarjetas opcionales simultáneamente:

1. Dos entre las tarjetas siguientes(1):
  - a. Tarjetas de extensión de entradas/salidas.
  - b. Tarjetas de comunicación (Ethernet TCP/IP, Modbus/Uni-Telway, Fipio, Modbus Plus, Profibus DP, DeviceNet, INTERBUS,...).
  - c. Tarjeta programable "Controller Inside". Permite adaptar el variador a las aplicaciones específicas de forma rápida y evolutiva, mediante la descentralización de las funciones de automatismo (programación en lenguajes conforme a la norma IEC 61131-3).
2. Una entre las tarjetas de interface de codificador (con salidas diferenciales compatibles RS 422, colector abierto o salidas push-pull).

➤ Al variador Altivar 71 pueden asociarse opciones externas como son:

- ✓ Módulos y resistencias de frenado (estándar o dedicado a la elevación).
- ✓ Unidades de frenado a la red.
- ✓ Inductancias de línea, inductancias CC y filtros pasivos, para la reducción de las corrientes armónicas.
- ✓ Inductancias de motor y filtros senoidales para las grandes longitudes de cables para suprimir los blindajes.
- ✓ Filtros CEM adicionales de entrada.



## *Trabajo de diploma*

La gama de variadores de velocidad Altivar 71 permite satisfacer las mayores exigencias gracias a los diferentes tipos de control motor y las numerosas funcionalidades integradas caracterizadas por distintos parámetros como son.

- | Tiempo de reacción muy corto con una orden de control: 2 ms ( $\pm 0,5$  ms).
- | Consigna por tren de impulsos o por entrada analógica diferencial.
- | Control por las principales redes de comunicación.
- | Posicionamiento por interruptores de final de carrera con optimización del tiempo a baja velocidad.
- | Multiparametrage por conmutación de juegos de parámetros.

Debido a que presenta características como estas el ALTIVAR 71 está adaptado a los accionamientos más exigentes:

- | Par y precisión de velocidad a velocidad muy baja, dinámica elevada con control vectorial de flujo con o sin captador.
- Gama de frecuencia ampliada para los motores de alta velocidad.
- Puesta en paralelo de motores y accionamientos especiales gracias a la ley de tensión/frecuencia.
- Precisión de velocidad estática y ahorro energético para los motores síncronos de lazo abierto.
- Flexibilidad sin sacudidas para las máquinas excéntricas con el ENA System (Energy Adaptation System).

El software de programación PowerSuite permite la configuración, el ajuste y la puesta en marcha 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 un módem o con una conexión inalámbrica Bluetooth.



## Trabajo de diploma

### Regulación en lazo abierto.

Para citar como ejemplo una situación de la vida cotidiana podemos estudiar el proceso de la lavadora de ropas de la vivienda. Al pasar un determinado tiempo después de haber echado la ropa en el equipo, la sacamos y determinamos la limpieza utilizando el ojo humano como sensor. Para que el sistema dejase de funcionar en lazo abierto, sería necesario medir la limpieza del agua y compararla con otra de consigna o de referencia, considerada agua limpia.

Si la limpieza medida es igual que la de consigna, entonces se indicará que el proceso ha terminado de forma eficaz.

Hay diversas formas de predecir la respuesta de un proceso, siendo la más exacta (y más difícil) la que se basa en su modelo matemático, pero la realidad es tan compleja que difícilmente se puede tener en cuenta todos los factores como son los desgastes, rozamientos, calentamientos, etc. La otra forma es utilizar un regulador que pueda ajustarse al proceso concreto que deberá controlar y su ajuste se conoce como sintonía de parámetros.

Dicha sintonía es experimental y existen técnicas que van desde la prueba y error hasta el análisis matemático basado en datos extraídos experimentalmente del proceso.

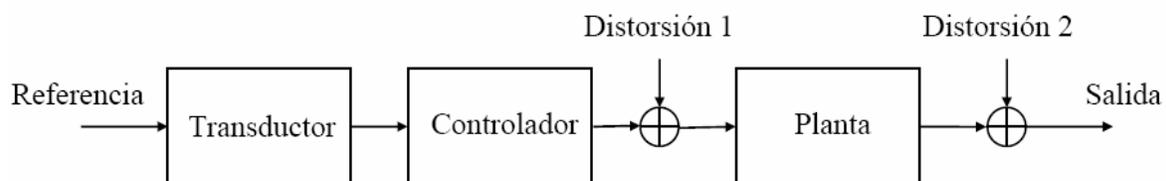


Fig. 2.7 Diagrama en bloque de un regulador lazo abierto

La Fig. 2.7 contiene un ejemplo con los que experimentar una regulación en lazo abierto. Lo importante es que se comprenda la problemática de la regulación en general y porqué es tan importante el proceso y las variaciones que experimenta.

- Sistemas de control extraordinariamente sencillos.
- Necesita una perfecta calibración de la planta.
- No puede compensar posibles distorsiones en el sistema.



### **Regulación en lazo cerrado.**

Además de la dificultad de regulación en lazo abierto, el control en lazo cerrado es imprescindible cuando se da alguna de las siguientes circunstancias:

- Vigilar un proceso es especialmente duro en algunos casos y requiere una atención que el hombre puede perder fácilmente por cansancio o despiste, con los consiguientes riesgos que ello pueda ocasionar al trabajador y al proceso.
- A veces la regulación manual requiere mucha experiencia y esta es difícil de sustituir.
- Una producción a gran escala exige grandes instalaciones que el hombre no puede manejar. Cualquier desviación produce grandes pérdidas tanto por exceso de consumo de materias primas o energía como por disminución de la calidad del producto.
- Algunos procesos solo se pueden llevar a cabo por control automático, etc., y en general, todo proceso que no sea autorregulable.

El primer paso para poder regular es poder medir, por eso la evolución del control ha exigido el desarrollo de sensores y de las técnicas de medida y tratamiento de la señal. Actualmente se tiende a incluir dentro del propio sensor toda la electrónica que realiza el tratamiento de la señal.

En este sistema la señal de salida se toma como referencia, mediante el empleo de uno o varios sensores, e influye en la acción tomada por el sistema de control.

La señal de error actuante, que es la diferencia entre la señal de entrada y la de retroalimentación (que puede ser la señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas), entra al controlador para reducir el error y llevar la salida a un valor deseado.

Esta retroalimentación se logra a través de la acción de un operador (control manual) o por medio de instrumentos (control automático). Los sistemas de control de lazo cerrado se llaman comúnmente sistemas de control por retroalimentación.

Generalmente se dice que existe retroalimentación en un sistema cuando existe una secuencia cerrada de relaciones de causa y efecto ente las variables del sistema.

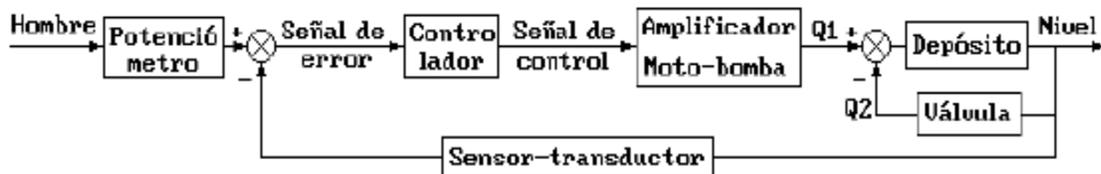


### **Características de la retroalimentación:**

- Aumento de la exactitud.
- Reducción de la sensibilidad de la salida, correspondiente a una determinada entrada, ante variaciones en las condiciones del sistema.
- Efectos reducidos de la no linealidad y de la distorsión.
- Tendencia a la oscilación o a la inestabilidad.

### **Ventajas sobre el control en lazo abierto:**

- Corrección de las perturbaciones.
- Permite estabilizar procesos inestables.
- Tolerancia a variaciones en los parámetros.
- Buen comportamiento, en aquellos casos en que la estructura del modelo no representa perfectamente la realidad del proceso o los parámetros del modelo no se pueden medir con absoluta precisión.



**Fig. 2.8** Diagrama en bloque de un regulador en lazo cerrado.

Los diagramas de bloques se utilizan para representar gráficamente la relación que existe entre los componentes de un sistema, lo que veremos con un ejemplo de regulación de nivel en lazo cerrado. En el siguiente esquema, un comparador se encarga de hacer la diferencia entre la consigna del potenciómetro y la señal de realimentación o medida del sensor. Esta diferencia se denomina señal de error y es la única información que utiliza el controlador para regular el proceso. La ley de regulación más simple es la que iguala la salida del controlador (señal de control) con la señal de error, o bien un valor proporcional a la señal de error. El amplificador o variador, junto con el motor y bomba, convierten la señal de control en un caudal  $Q_1$  que es proporcional a dicha señal. A medida que el nivel aumenta crece el caudal de salida  $Q_2$  y la diferencia entre caudales disminuye. Al aumentar el nivel, medido por un

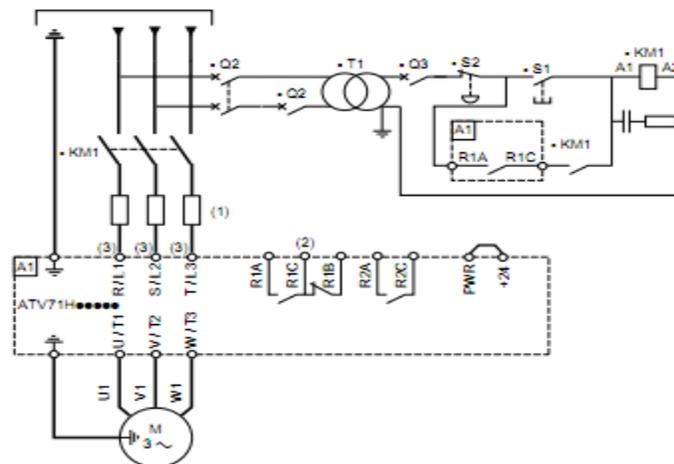


## Trabajo de diploma

sensor, hace que aumente la señal de realimentación y la señal de error disminuye. Cuando la medida y la consigna llegan a ser iguales, el error es 0 y el controlador transmite una señal de control que también será 0.

Esta ley de regulación proporcional al error tiene un defecto, el equilibrio se alcanza cuando Q1 y Q2 son iguales. Como estos caudales no son 0, el error tampoco será 0 en ningún momento, ya que tiene una relación directa con Q1 (son proporcionales). Por lo tanto, existe una falta de precisión que no se resuelve con una ley proporcional. La ley de regulación debe permitir que el error se anule (se necesita precisión), debe anticiparse a los tiempos muertos que existan en el sistema, los cuales son la principal causa de inestabilidades (oscilaciones en torno al punto de equilibrio), debe hacer que el sistema alcance el punto de consigna en el menor tiempo posible, debe contrarrestar las perturbaciones que afecten a la regulación, debe seguir fielmente a la señal de consigna aunque ésta sea variable.

### 2.3 Esquema de potencia y circuito del mando del ALTV 71.



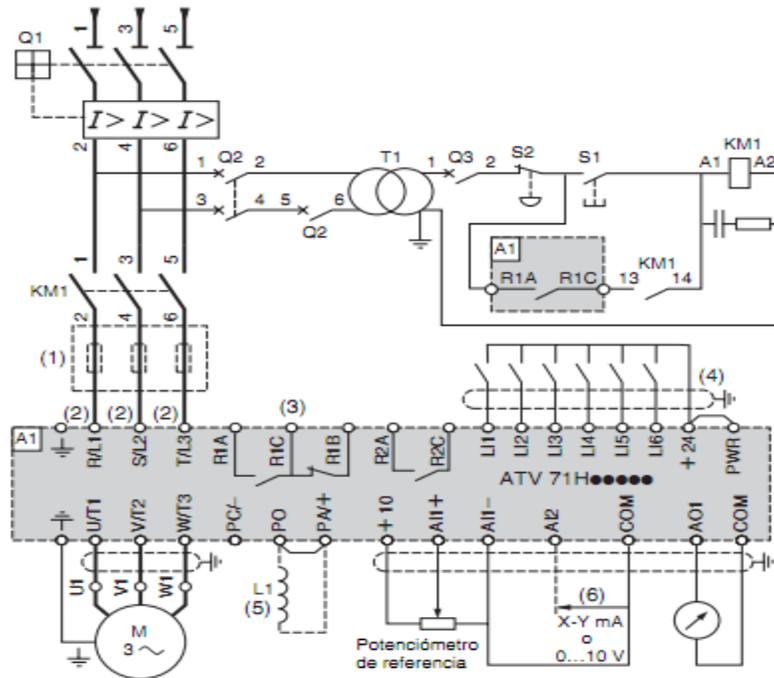
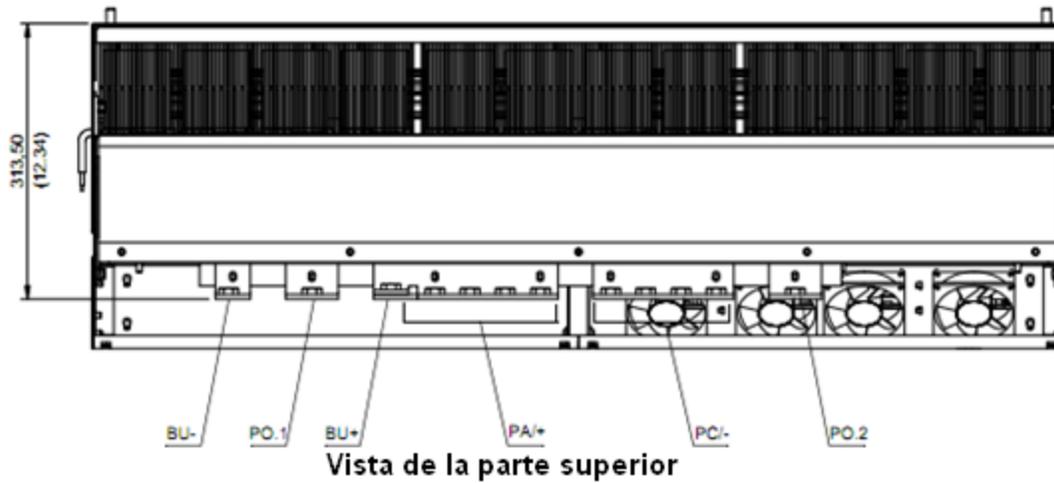


Fig.2.9 Esquemas de potencia del ATV71 (Esquema con contactor de línea)

**Bornes de potencia (Esquema físico) para la conexión del ALTV 71.**



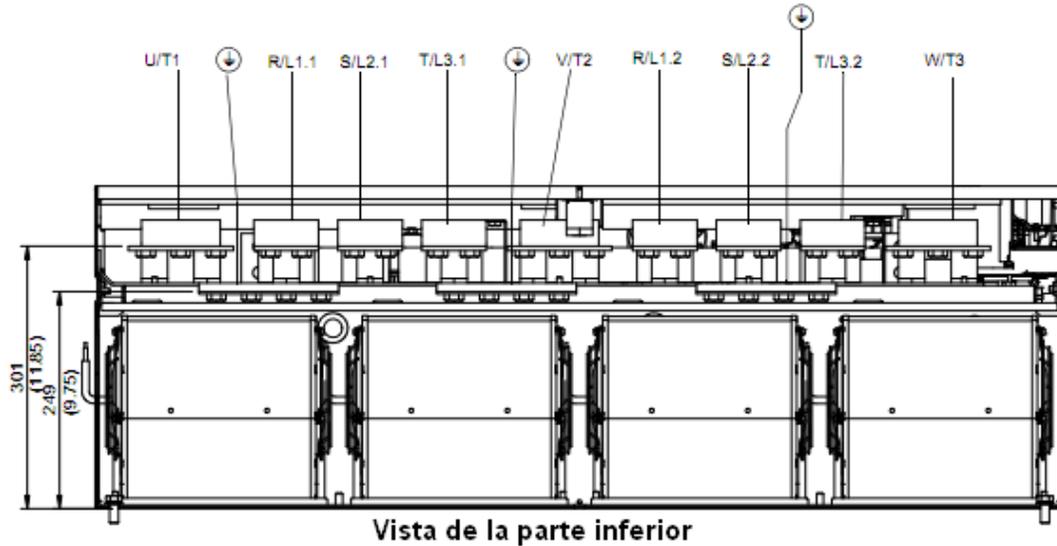


Fig. 2.6 Vistas de los bornes de potencia para la conexión del variador

Bornes	Funciones	Alivar
3 x ⚡	Bornes de conexión a tierra de protección	Todos los calibres
R/L1, S/L2, T/L3 (1)	Alimentación de potencia	Todos los calibres
PA/+	Polaridad + del bus de CC	Todos los calibres
PC/-	Polaridad - del bus de CC	Todos los calibres
PA	Salida hacia la resistencia de frenado	ATV71H C11Y a C16Y (2)
PB	Salida hacia la resistencia de frenado	
U/T1, V/T2, W/T3	Salida hacia el motor	Todos los calibres
RO, SO, TO	Alimentación separada de la ventilación cuando el variador sólo recibe alimentación mediante el bus de CC.	ATV71H C11Y a C63Y
BU+, BU-	Polaridades + y - que deben conectarse al módulo de frenado	ATV71H C20Y a C63Y Consulte la guía de explotación del módulo de frenado.
X20, X92, X3	Conexión del cable de control del módulo de frenado	

Tabla 2.1: Características y funcionamiento de los bornes de potencia

**Nota:**

- Los variadores ATV71H C40Y a C63Y están provistos de dos puentes de entrada. La conexión de la alimentación de potencia se realiza en los bornes R/L1.1 - R/L1.2, S/L2.1 - S/L2.2 y T/L3.1 - T/L3.2.
- A partir del ATV71HC20Y, no hay bornes de conexión de la resistencia de frenado en el variador puesto que el módulo de frenado es opcional. La resistencia de frenado se conecta en el módulo de frenado.



### **Metodología para el cálculo del convertidor.**

Los convertidores de frecuencia (**Fig.2.4**) son dispositivos que se alimentan de la red de suministro eléctrico y generan corriente alterna de cualquier frecuencia, normalmente para accionar motores de inducción a velocidad variable, actualmente casi todos son electrónicos, pero también se fabrican algunos convertidores electromecánicos. Estos últimos son más caros, más grandes y necesitan más cuidados, pero a cambio suministran una CA más sinusoidal, suelen utilizarse a frecuencia fija, para alimentar motores especiales y aparatos que han sido diseñados para alimentarse con frecuencias de 60 a 400 Hz.

La energía eléctrica procedente de la red en forma de corriente alterna monofásica o trifásica, normalmente de 60 Hz, llega a un rectificador que suministra corriente continua a una etapa intermedia más o menos compleja, le sigue un inversor que genera la corriente alterna trifásica de salida y alimenta el motor. Para controlar todos estos elementos se necesitan varios circuitos analógicos y digitales con sus correspondientes fuentes de alimentación y también algún sistema de programación, que permita introducir los parámetros de funcionamiento e indicar la consigna de velocidad o el par mecánico que se desea.

El procedimiento más sencillo para elegir un convertidor, consiste simplemente en conocida la potencia del motor, buscar en el catalogo y de acuerdo con esa potencia, elegir el convertidor que la admita. De esta forma no hay seguridad de que esta selección se haya realizado correctamente y de que el convertidor permita el funcionamiento del motor. Por tanto para una correcta selección del convertidor se debe calcular los siguientes parámetros.

Intensidad nominal del motor.

$$I_N = \frac{P_N}{\sqrt{3} * U_N * \cos\phi * \eta} \quad (7)$$

Intensidad del variador.

$$I_V \geq 1,05 * I_N \quad (8)$$



## Trabajo de diploma

El factor 1,05 se debe a que la corriente de salida del convertidor no es perfectamente senoidal, es decir que presenta unos armónicos que no producen par útil, sino calor en los arrollamientos del estator.

Si se tratara de accionar varios motores y estos pudieran entrar en otros en funcionamiento entonces  $I_V$  sería:

$$I_V \geq \left( 1,05 * \sum I_{\max} + 2 \sum I_{arr} \right) * \frac{1}{1,5} \quad (9)$$

Dónde:

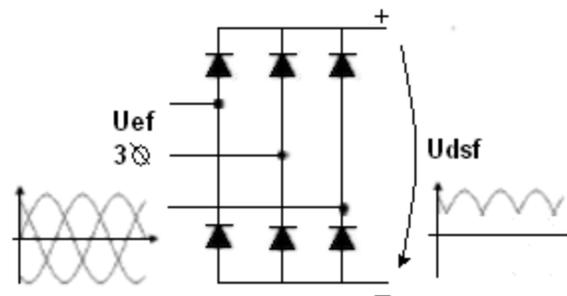
$\sum I_{arr}$  : Sumatoria de las corrientes de los motores que arrancan.

$\sum I_{\max}$  : Sumatoria de las corrientes de los motores que están funcionando.

El convertidor admite una sobrecarga de 110%, pero abra que tener en cuenta que esta sobrecarga afecta la vida del convertidor

### Rectificador.

La función del rectificador es convertir la señal de voltaje de alimentación de CA a CD y controlar el voltaje al chopper.



**Fig. 2.10** Rectificador de CA a CC.

El rectificador convierte la tensión eficaz de entrada a un valor de corriente continua constante por medio de diodos y filtros. De esta forma se elimina la frecuencia, se debe de tratar el mejor filtrado posible y el menor factor de rizado en la medida que aumenta el



## Trabajo de diploma

número de fases o de pulsos a rectificar, el valor de la tensión de salida es mayor y la componente ondulatoria superpuesta es menor.

El valor medio rectificado es:

$$V_{ef_s} = \frac{U_d}{3\sqrt{2} * \cos \varphi} \quad (10)$$

$$V_{dsf} = 2,34 * V_{ef} \quad (11)$$

Dónde:

$V_{ef}$ : Tensión eficaz de fase

$V_{dsf}$ : Tensión de directa

La selección de los diodos se realiza teniendo en cuenta el valor máximo de corriente ( $I_{mT}$ ) y el valor de la tensión inversa de tensión ( $V_{inv}$ ).

$$I_{mT} = \frac{1}{3} I_{car} \quad (12)$$

$$V_{inv} = \sqrt{6} * V_{ef} \quad (13)$$

### **Chopper.**

El regulador de corriente continua (CC) en corriente continua, troceador o chopper toma la señal de corriente continua plana proveniente del rectificador y la convierte en trozos a la salida donde el valor es el medio de las barras dependiendo de la frecuencia de conmutación y del tiempo de conducción del transistor. Esta tensión es nuevamente filtrada para ser entregada al inversor de forma constante. Variando la frecuencia o el tiempo de conducción de la válvula se puede variar la tensión de salida, es decir la entrada del inversor por medio de la expresión siguiente:



$$V_s = V_d * \frac{t_{on}}{T} \quad (14)$$

La fig. 2.11 se muestra el esquema de un convertidor directo o (forward converter), con sus respectivos filtros de entrada y salida. Para mantener constante la relación U/f el cicloconvertidor regula ambas magnitudes por el chopper y por el inversor respectivamente, de esta manera el flujo y por tanto el momento permanece constante.

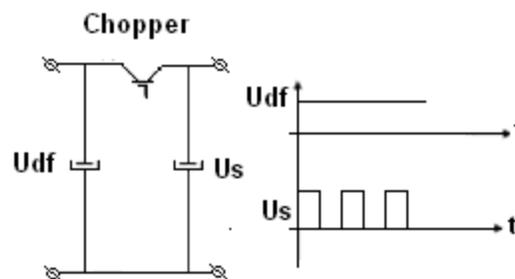


Fig. 2.11 CHOPPER.

### Inversor.

El inversor utiliza dispositivos de potencia de estado sólido que son controlados por microprocesador para conmutar el voltaje de CD y producir una señal de CA de frecuencia ajustable que alimenta al motor. El mando en este tipo de convertidor se realiza por técnicas de modulación por ancho de pulso (PWM). Esto permite obtener a la salida una tensión de salida conformada por un ruido, se superpone a una senoide casi perfecto como muestra la fig. 2.13. Actualmente la conformación de esta onda tan mejorada es obtenida a una frecuencia a 117 kHz por los principales fabricantes, a tal excelencia que se manipula el término ondulator en vez de inversor.

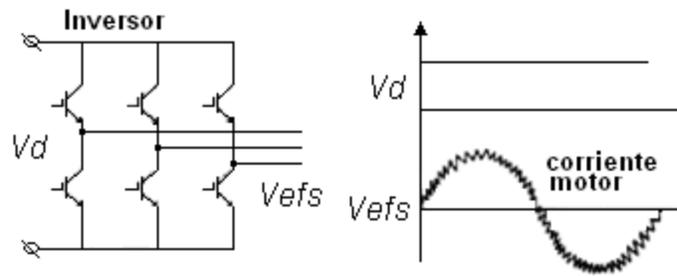


Fig. 2.12. Esquema electrónico del inversor.

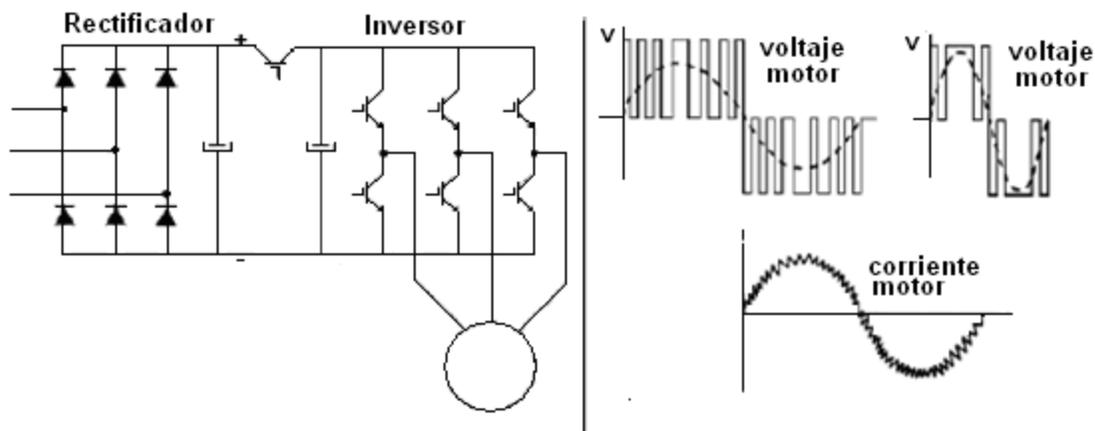


Fig. 2.13 Convertidor para la regulación de velocidad por frecuencia.

El inversor consiste de seis IGBT's que se encienden y apagan en una secuencia tal que producen un voltaje en forma de pulsos cuadrados que alimentan al motor. Para variar la frecuencia del motor, el número de pulsos y su ancho se ajustan resultando en un tiempo de ciclo mayor para bajar la velocidad o tiempo de ciclo menor para subir la velocidad. Para cada frecuencia específica hay un número óptimo de pulsos y anchos que producen la menor distorsión armónica en la corriente que se aproxime a la señal sinusoidal.

El cambio de voltaje requerido para mantener la relación  $U/f$  constante conforme varía la frecuencia, se realiza por medio del microprocesador de propósito dedicado que controla el ancho de los pulsos y los demás parámetros para conseguir un adecuado funcionamiento.

$$E \approx 4,44 * \phi * f * n * k_{dev} \quad (15)$$



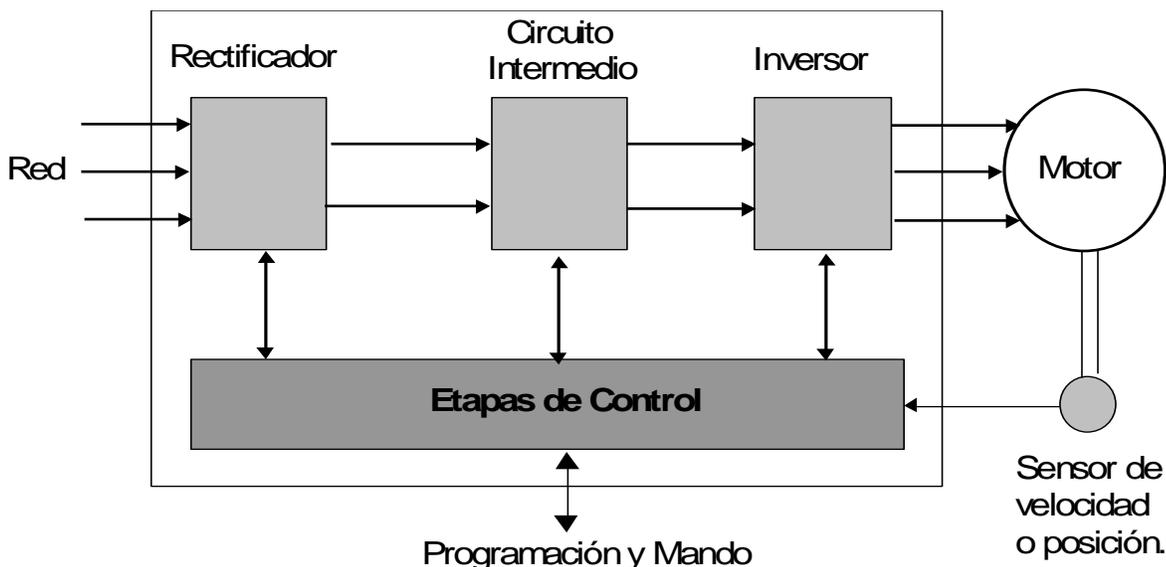
Si se desajusta el flujo entonces:

$$\phi = \frac{E}{4,44 * f * n * k_{dev}} \quad (16)$$

Las ecuaciones anteriores expresan claramente cómo debe variar la relación U/f de forma constante para que el flujo permanezca constante, como muestra la ecuación 15.

### **Distintas clases de convertidores.**

Los convertidores electrónicos pueden ser directos e indirectos. Los primeros, también llamados cicloconvertidores, producen una tensión alterna uniendo fragmentos de senoide procedentes de las distintas fases del suministro. Tienen la ventaja de que pueden utilizar los tiristores de mayor potencia, relativamente lentos trabajando en conmutación natural. Pero sólo consiguen frecuencias muy inferiores a la de la red, además, se trata de dispositivos muy complicados que pueden necesitar 18, 36 o más tiristores para conectar las entradas a las salidas de todas las formas posibles. Por lo tanto, sólo se utilizan con potencias muy elevadas y motores lentos. Los convertidores más habituales (los únicos a los que se hará referencia a partir de ahora) son los indirectos.



**Fig.2.14** Diagrama del Convertidor Indirecto

➤ Los convertidores indirectos se dividen en:



## *Trabajo de diploma*

---

- Convertidores de fuente de voltaje (Voltage Source Inverter o VSI).
  - Convertidores de fuente de corriente (Current Source Inverter o CSI).
- Los convertidores de voltaje se dividen según la modulación utilizada en el inversor:
- Modulación por el valor de amplitud del pulso (Pulse Amplitude Modulation o PAM).
  - Modulación por ancho de pulso (Pulse Width Modulation o PWM).

### **Modulación por ancho de pulso.**

La tensión, como se justifica en la **Fig.2.15** es constante a la entrada del inversor esto significa que tanto la tensión como la frecuencia deben ser variados en el inversor porque el motor así lo requiere. El circuito de control y regulación controla los tiristores o transistores del inversor y la tensión de la fase pasa a ser como se muestra en la figura, la tensión se controla aplicando una tensión máxima al motor durante períodos más o menos largos. La frecuencia se controla con pulsos positivos durante medio período e impulsos negativos durante el siguiente medio período. El circuito de control establece los tiempos de activación y desactivación de los tiristores en los puntos de intersección entre la tensión sinusoidal (onda moduladora) y la tensión triangular (onda portadora).

La frecuencia de la tensión sinusoidal debe ser igual a la frecuencia que se desea obtener de convertidor de frecuencia y, por tanto, se controla por medio de la señal de entrada del circuito de control. La relación entre la amplitud de la tensión sinusoidal y la amplitud de la tensión triangular determina la anchura de los impulsos de tensión que se aplican al motor y por ende el valor de voltaje.

Las formas de ondas no sinusoidales se analizan aplicando el desarrollo en series de Fourier. Cuando la onda es periódica, se puede componer en la suma de una componente continua, una componente fundamental sinusoidal de la misma frecuencia y una serie de armónicos, también sinusoidales, cuya frecuencia es el doble, el triple, etc., de la que tiene la onda de partida. Si todo esto se refiere a un motor de corriente alterna, es posible que algunos armónicos contribuyan a que el rotor gire en el sentido correcto, otros crean un campo en sentido contrario y la mayoría simplemente lo calientan.

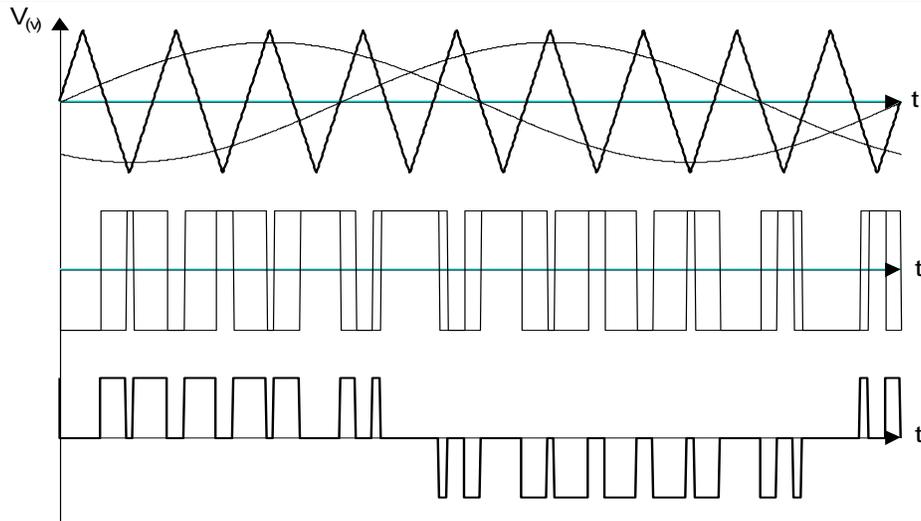


Fig.2.15 Modulación sinusoidal de varios impulsos ( $n = 9$ ).



## **2.4 Protocolos de comunicaciones del ALTIVAR 71.**

La comunicación del variador de velocidad ALTIVAR 71 con los distintos software como el CITECT están determinado, en nuestro trabajo por la conexión del variador con la PC mediante el toma combinado Modbus, que está destinado al control rápido y preciso de los movimientos, la configuración, el ajuste y la supervisión del variador.

### **Características de los puertos de comunicación.**

#### **Protocolo Modbus**

Tipo de conexión	Toma terminal Modbus RJ45	Toma de red Modbus RJ45
Interface físico RS485 2 hilos	RS485 2 hilos	
Modo de transmisión RTU	RTU	
Velocidad de transmisión	Configurable con el terminal o el software de programación PowerSuite: 9.600 bits/s o 19.200 bits/s	Configurable con el terminal o el software de programación PowerSuite: 4.800 bits/s, 9.600 bits/s, 19.200 bits/s o 38,4 kbits/s
Dirección	1 a 247, configurable con el terminal o el software de programación PowerSuite Se pueden configurar 3 direcciones que permiten acceder respectivamente a los datos del variador, de la tarjeta programable "Controller Inside" y de la tarjeta de comunicación	



## Trabajo de diploma

---

### Protocolo CANopen

Conector	Conector de tipo SUB-D macho 9 contactos en adaptador CANopen. Este último se conecta a la toma de red Modbus RJ45
Velocidad de transmisión	20 kbits/s, 50 kbits/s, 125 kbits/s, 250 kbits/s, 500 kbits/s o 1 Mbits/s
Dirección (Node ID)	1 a 127, configurable con el terminal o el software de programación PowerSuite

### Herramientas de diálogo

El variador Altivar 71 se suministra con 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.
- Las funciones avanzadas de la visualización permiten acceder fácilmente a las funciones más complejas.
- Las pantallas de visualización, los menús y los parámetros pueden personalizarse para el cliente o la máquina.
- Ofrece pantallas de ayuda en línea.
- Se pueden memorizar y descargar configuraciones, son memorizables cuatro ficheros de configuración.
- Puede conectarse en enlace multipunto a diversos variadores.
- Puede instalarse a la puerta de armario con un montaje de grado de protección IP54 o IP65.
- Se suministra con 6 idiomas instalados de base (español, alemán, inglés, chino, francés e italiano). Se pueden cargar otros idiomas mediante flasheado.

Cada variador de velocidad está provisto de targetas (Dispositivos E/S) para poder lograr la comunicación (interface) con programas de supervisión y control como el CTECT. Con el objetivo de implementar la interface entre el programa y el accionamiento, el variador está provisto de un mapa de memoria, que determina el reconocimiento y adquisición de los



## Trabajo de diploma

parámetros eléctricos del accionamiento en el programa. Cada uno de los variadores, sin exepctuar el ALTV 71 constan de un mapa de memoria como se muestra en las tablas 1 y 2. Utilizando para la interface ese mapeo de memoria en el protocolo de comunicación (MODNET), podremos definir las variables a controlar en el proceso de ensallo de laboratorio del accionamiento con motor de inducción.

Address	Description	Default value	Address	Description	Default value
40 001	Value of output variable 1	Value of the control word (CMd)	40 017	Value of read register 1	Value of the status word (EtA)
40 002	Value of output variable 2	Value of the speed setpoint (LFrd)	40 018	Value of read register 2	Value of the output speed (rFrd)
40 003	Value of output variable 3		40 019	Value of input variable 3	
40 004	Value of output variable 4		40 020	Value of input variable 4	
40 005	Value of output variable 5		40 021	Value of input variable 5	
40 006	Value of output variable 6		40 022	Value of input variable 6	
40 007	Value of output variable 7		40 023	Value of input variable 7	
40 008	Value of output variable 8		40 024	Value of input variable 8	
40 009	Value of output variable 9		40 025	Value of input variable 9	
40 010	Value of output variable 10		40 026	Value of input variable 10	

Tabla 2.2: Mapas de memorias y descripción de los parámetros a supervisar. (ALTIVAR 71)

Address	Description	Default value	Address	Description	Default value
50 001	Logic address of output variable 1	Address of the control word (CMd) = 8501	50 017	Logic address of input variable 1	Address of the status word (EtA) = 3201
50 002	Logic address of output variable 2	Address of the speed setpoint (LFrd) = 8602	50 018	Logic address of input variable 2	Address of the output speed (rFrd) = 8604
50 003	Logic address of output variable 3	0	50 019	Logic address of input variable 3	0
50 004	Logic address of output variable 4	0	50 020	Logic address of input variable 4	0
50 005	Logic address of output variable 5	0	50 021	Logic address of input variable 5	0
50 006	Logic address of output variable 6	0	50 022	Logic address of input variable 6	0
50 007	Logic address of output variable 7	0	50 023	Logic address of input variable 7	0
50 008	Logic address of output variable 8	0	50 024	Logic address of input variable 8	0
50 009	Logic address of output variable 9	0	50 025	Logic address of input variable 9	0
50 010	Logic address of output variable 10	0	50 026	Logic address of input variable 10	0

Tablas 2.3: Mapas de memorias y descripción de los parámetros a supervisar. (ALTIVAR 71)



### **Integración en los automatismos.**

El variador Altivar 71 integra una toma combinada Modbus o CANopen para el control rápido y preciso de los movimientos, la configuración, el ajuste y la supervisión. Este tipo de toma (Modbus), debemos de declararlo en la función de comunicación del CITECT para lograr mediante el protocolo de comunicación (MODNET) la interface del accionamiento con el programa.

Una segunda toma permite la conexión de un terminal de tipo Magelis para el diálogo con la máquina. Se puede conectar a otras redes de comunicación mediante el uso de las tarjetas de comunicación.

La posibilidad de alimentar por separado el control permite mantener la comunicación (control, diagnóstico) incluso si no existe alimentación de potencia. La tarjeta programable “Controller Inside” transforma el variador en una unidad de automatización:

- La tarjeta integra sus propias entradas/salidas; también puede gestionar las del variador y las de una tarjeta de extensión de entradas/salidas.
- Incorpora programas de aplicación concebidos según los lenguajes conforme a la norma IEC 61131-3 que reducen el tiempo de respuesta del automatismo.
- Permite, gracias a su puerto CANopen maestro, controlar otros variadores y dialogar con módulos de entradas/salidas y captadores.

## **2.5 Aplicaciones en acciones de velocidad ajustable**

### **Funcionamiento con velocidad variable.**

Los motores con rotor devanado se utilizaron mucho en una época; pero, en la actualidad, se acostumbra utilizar velocidad variable, como una transmisión magnética o un acoplamiento hidráulico en el accionamiento. Como opción, se puede utilizar un control de frecuencia y voltaje variables para el motor que ofrece la gran ventaja de mantener una eficiencia casi constante en el motor sin que importe su velocidad de funcionamiento. Pero un régimen de velocidad variable con el acoplamiento hidráulico tiene pérdidas por deslizamiento, por lo cual su eficiencia se reduce directamente por la relación entre la velocidad de salida y la



## *Trabajo de diploma*

velocidad de entrada. El funcionamiento con velocidad variable tiene otra ventaja: permite que el motor funcione por arriba o por abajo de la velocidad sincrónica. El funcionamiento con velocidad variable permite lograr las condiciones requeridas en el servicio sin estrangulación, porque reduce la velocidad de funcionamiento de los motores. Los propulsores de velocidad variable, en especial los de entrada de frecuencia variable se utilizan cada vez más. No es muy tarde para obtener ahorros de energía en algunas instalaciones si se las convierte para funcionamiento de velocidad variable. Para decidir si se hace o no esa modificación, es necesario trazar la curva real de carga del sistema, a fin de calcular la velocidad requerida con diversas capacidades entre los límites de funcionamiento y determinar la potencia de salida del motor entre esos límites e incluir las pérdidas sufridas, en el propulsor de velocidad variable. La diferencia entre esta potencia y la potencia al freno de los motores a velocidad constante, representa ahorros potenciales de energía con estas capacidades. Después, es necesario asignar un número predicho de horas de funcionamiento con diversas capacidades y calcular los ahorros potenciales anuales en hp-h o en kW/h. Estos ahorros son en los costos y se pueden utilizar para determinar si se justifica o no el costo del cambio con velocidad variable.

### **Principales funciones de los variadores de velocidad electrónicos.**

#### ➤ **Aceleración controlada**

La aceleración del motor se controla mediante una rampa de aceleración lineal o en «S». Generalmente, esta rampa es controlable y permite por tanto elegir el tiempo de aceleración adecuado para la aplicación.

#### ➤ **Variación de velocidad**

Un variador de velocidad no puede ser al mismo tiempo un regulador. En este caso, es un sistema, rudimentario, que posee un mando controlado mediante las magnitudes eléctricas del motor con amplificación de potencia, pero sin bucle de realimentación: es lo que se llama «en bucle abierto». La velocidad del motor se define mediante un valor de entrada (tensión o corriente) llamado consigna o referencia. Para un valor dado de la consigna, esta velocidad puede variar en función de las



## Trabajo de diploma

perturbaciones (variaciones de la tensión de alimentación, de la carga, de la temperatura). El margen de velocidad se expresa en función de la velocidad nominal.

### ➤ Regulación de la velocidad

Un regulador de velocidad es un dispositivo controlado. Posee un sistema de mando con amplificación de potencia y un bucle de alimentación: se denomina, «bucle abierto».

La velocidad del motor se define mediante una consigna o referencia.

El valor de la consigna se compara permanentemente con la señal de alimentación, imagen de la velocidad del motor. Esta señal la suministra un generador tacométrico o un generador de impulsos colocado en un extremo del eje del motor.

Si se detecta una desviación como consecuencia de una variación de velocidad, las magnitudes aplicadas al motor (tensión y/o frecuencia) se corrigen automáticamente para volver a llevar la velocidad a su valor inicial.

Gracias a la regulación, la velocidad es prácticamente insensible a las perturbaciones.

La precisión de un regulador se expresa generalmente en % del valor nominal de la magnitud a regular.

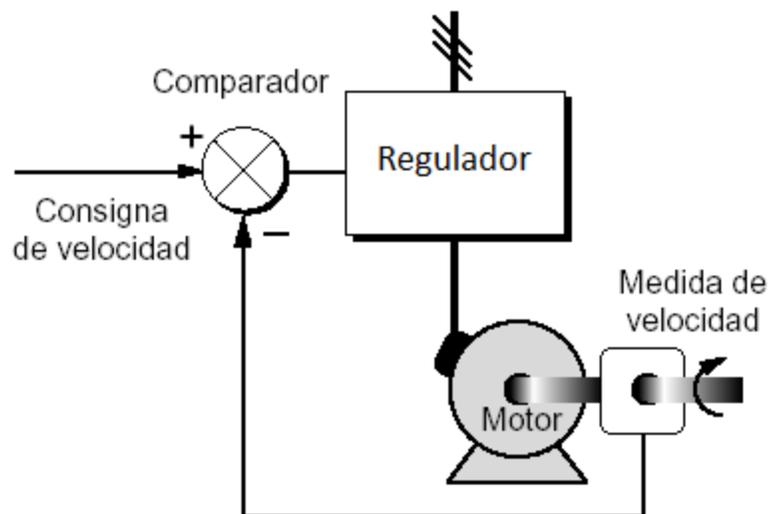


Fig. 2.16 Diagrama en bloque de la regulación de la velocidad



### ➤ **Desaceleración controlada**

Cuando se desconecta un motor, su deceleración se debe únicamente al par resistente de la máquina (deceleración natural). Los arrancadores y variadores electrónicos permiten controlar la deceleración mediante una rampa lineal o en «S», generalmente independiente de la rampa de aceleración.

Esta rampa puede ajustarse de manera que se consiga un tiempo para pasar de la velocidad de régimen fijada a una velocidad intermedia o nula:

- Si la deceleración deseada es más rápida que la natural, el motor debe desarrollar un par resistente que se debe sumar al par resistente de la máquina; se habla entonces de frenado eléctrico, que puede efectuarse reenviando energía a la red de alimentación, o disipándola en una resistencia de frenado.
- Si la deceleración deseada es más lenta que la natural, el motor debe desarrollar un par motor superior al par resistente de la máquina y continuar arrastrando la carga hasta su parada.

### ➤ **Inversión del sentido de marcha**

La mayoría de los variadores actuales tienen implementada esta función. La inversión de la secuencia de fases de alimentación del motor se realiza automáticamente o por inversión de la consigna de entrada, o por una orden lógica en un borne, o por la información transmitida a mediante una red.

### ➤ **Frenado**

Este frenado consiste en parar un motor pero sin controlar la rampa de desaceleración. Con los arrancadores y variadores de velocidad para motores asíncronos, esta función se realiza de forma económica inyectando una corriente continua en el motor, haciendo funcionar de forma especial la etapa de potencia. Toda la energía mecánica se disipa en el rotor de la máquina y, por tanto, este frenado sólo puede ser intermitente. En el caso de un variador para motor de corriente continua, esta función se realiza conectando una resistencia en bornes del inducido.

### ➤ **Protección integrada**

Los variadores modernos aseguran tanto la protección térmica de los motores como su propia protección. A partir de la medida de la corriente y de una información sobre la velocidad (si la ventilación del motor depende de su velocidad de rotación), un microprocesador calcula la elevación



## *Trabajo de diploma*

de temperatura de un motor y suministra una señal de alarma o de desconexión en caso de calentamiento excesivo.

Además, los variadores, y especialmente los convertidores de frecuencia, están dotados de protecciones contra:

- Los cortocircuitos entre fases y entre fase y tierra.
- Las sobretensiones y las caídas de tensión.
- Los desequilibrios de fases.
- El funcionamiento en monofásico.

### **Aplicaciones de los variadores de frecuencia.**

Los variadores de frecuencia tienen sus principales aplicaciones en los siguientes tipos de máquinas:

- **Transportadoras.** Controlan y sincronizan la velocidad de producción de acuerdo al tipo de producto que se transporta, para dosificar, para evitar ruidos y golpes en transporte de botellas y envases, para arrancar suavemente y evitar la caída del producto que se transporta, etc.
- **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.
- **Ascensores y elevadores.** Para arranque y parada suaves manteniendo la cupla del motor constante, y diferentes velocidades para aplicaciones distintas.
- **Extrusoras.** Se obtiene una gran variación de velocidades y control total de de la cupla del motor.
- **Centrífugas.** Se consigue un arranque suave evitando picos de corriente y velocidades de resonancia.



## *Trabajo de diploma*

- **Prensas mecánicas y balancines.** Se consiguen arranques suaves y mediante velocidades bajas en el inicio de la tarea, se evitan los desperdicios de materiales.
- **Máquinas textiles.** Para distintos tipos de materiales, inclusive para telas que no tienen un tejido simétrico se pueden obtener velocidades del tipo random para conseguir telas especiales.
- **Compresores de aire.** Se obtienen arranques suaves con máxima cupla y menor consumo de energía en el arranque.
- **Pozos petrolíferos.** Se usan para bombas de extracción con velocidades de acuerdo a las necesidades del pozo.

### ➤ Problemas que surgen en el arranque de motores asíncronos.

- El pico de corriente en el arranque puede perturbar el funcionamiento de otros aparatos conectados a la red,
- Las sacudidas mecánicas que se producen durante los arranques y las paradas pueden ser inaceptables para la máquina así como para la seguridad y comodidad de los usuarios,
- Funcionamiento a velocidad constante.

Los arrancadores y variadores de velocidad electrónicos eliminan estos inconvenientes. Adecuados para motores de corriente tanto alterna como continua, garantizan la aceleración y deceleración progresivas y permiten adaptar la velocidad a las condiciones de explotación de forma muy precisa. Según la clase del motor, se emplean variados de tipo rectificador controlado, convertidor de frecuencia o regulador de tensión.



### *Conclusiones parciales*

Los motores eléctricos son de suma importancia en la actualidad, debido a las diferentes aplicaciones industriales a los que son sometidos. Es por ellos, que se deben tomar en cuenta todas las fallas que se presentan para el correcto funcionamiento de los mismos, determinando cuando es necesario la utilización de variadores de velocidad para su control. Determinando, por el proveedor y las características de la máquina la clase de variador a usar. Con el fin del buen funcionamiento de los motores eléctrico, se caracterizó en este capítulo al variador de velocidad ALTIVAR 7, definiendo principalmente los protocolos de comunicación del mismo, para su empleo en una interface (HMI) de forma segura.



# *Capítulo III*

## *Fundamentos de adquisición de datos usando CITECT*



### **3.1 Introducción**

El inicio, desarrollo y evolución del Control Automatizado, ha estado determinado por la interface hombre – máquina. Definida como la comunicación que debe existir entre el hombre y la máquina para lograr los principios básicos de la automatización de sistemas y procesos, ésta interface hombre – máquina forma una parte importante e integral de los procesos modernos industriales.

La interfaz es un parámetro fundamental en la adquisición de datos en la interrelación existentes programa-variador (CITEC-ALTV71) en los procesos de automatización y control de sistemas. Citect (**Ci Technologies**) es el sistema en tiempo real que garantiza una respuesta de altas prestaciones y la integridad de los datos. Es importante para establecer una comunicación fiable 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. Logrando así la ejecución de procesos perfeccionados.



---

## **3.2 Toolbox de adquisición de datos de CITEC**

### **Adquisición de Datos**

El objetivo principal de un sistema de monitorización es la captación y el almacenamiento de datos, ya sea para mantener un registro histórico o para su análisis. Citect permite registrar información de tipos diversos, sin restringir, ni el tipo ni la localización física de los dispositivos a los que se envía. Esto garantiza la obtención de los datos necesarios en el formato deseado.

La mayoría de los sistemas de adquisición de datos involucra el almacenamiento de datos analógicos y digitales de la planta de producción o del proceso. Logrando desde Citect que no se restrinja el tipo de datos que se pueden almacenar, y facilita el que pueda hacerse en función de diversos eventos:

- Los sucesos de plantas o fábricas pueden registrarse a medida que acontecen. Por ejemplo: alarmas, etapas de secuencia, o indicación de nivel alto.
- Se puede registrar las acciones ejecutadas por los operadores, como el arranque manual de un proceso, una parada de emergencia, o el cambio de un punto de consigna.
- Se registran los errores o incidencias que ocurren en el sistema de control registrando alarmas de hardware, comportamiento de las comunicaciones, o errores de red.

Los datos pueden almacenarse en diversos tipos de dispositivos, incluyendo archivos de bases de datos, fuentes ODBC, archivos de texto (incluyendo CSV y RTF), e impresoras. Todos estos tipos están listos para utilizarse, sin ninguna configuración especial. Cuando se registra una incidencia puede ir acompañada con la hora y fecha, y campos o texto definidos por el usuario.

### **Dispositivo de E/S**

Son los encargados del control o supervisión mediante puertos de comunicación o autopista de datos, estos pueden ser del tipo Controles lógicos programables (PLC), controles de bucle, lectores de códigos de barras, analizadores científicos, unidades de terminal remoto (RTU) o sistemas distribuidos de control (DCS).



### 3.2.1 Características de un sistema SCADA

Los sistemas SCADA, en su función de sistemas de control, dan una nueva característica de automatización que realmente pocos sistemas ofrecen.

**Supervisión.** Es bueno aclarar que existe una diferencia entre monitorización y supervisión, un sistema de monitoreo es aquel en el que se muestra toda la información del proceso pero no ofrece la posibilidad de efectuar acción sobre el mismo, mientras que un sistema de supervisión si es capaz de efectuar acciones sobre el proceso en cuestión.

**Supervisar** se puede definir como ejercer la inspección superior en determinados casos, ver con atención o cuidado y someter una cosa o proceso a un nuevo examen para corregirla o repararla permitiendo una acción sobre la cosa supervisada.

Sistemas de control hay muchos y muy variados y todos, bien aplicados, ofrecen soluciones óptimas en entornos industriales. Lo que hace de los sistemas SCADA una herramienta diferenciada es la característica de **control supervisado**.

**Control supervisado:** Definido como la parte de control viene supeditada, por el proceso a controlar, y en última instancia, por el hardware e instrumental de control (PLCs, controladores lógicos, armarios de control...) o los algoritmos lógicos de control aplicados sobre la planta los cuales pueden existir previamente a la implantación del sistema SCADA, el cual se instalará sobre y en función de estos sistemas de control. Podemos actuar y variar las variables de control en tiempo real, algo que pocos sistemas permiten con la facilidad intuitiva que dan los sistemas SCADA.

➤ Función de supervisión que pueden realizar los sistemas SCADA a través del HMI (*Human Machine Interface* ó *Interface Humano- Máquina*).

- **Adquisición y almacenado de datos**, para recoger, procesar y almacenar la información recibida, en forma continua y confiable.



## *Trabajo de diploma*

- **Representación gráfica** y animada de variables de proceso y monitorización de éstas por medio de alarmas
  - **Acciones de control**, para modificar la evolución del proceso, actuando bien sobre los reguladores autónomos básicos (consignas, alarmas, menús, etc.) bien directamente sobre el proceso mediante las salidas conectadas.
  - **Arquitectura abierta y flexible** con capacidad de ampliación y adaptación
  - **Conectividad** con otras aplicaciones y bases de datos, locales o distribuidas en redes de comunicación
  - Supervisión, para observar desde un monitor la evolución de las variables de control.
  - **Transmisión**, de información con dispositivos de campo y otros PC.
  - **Base de datos**, gestión de datos con bajos tiempos de acceso. Suele utilizar ODBC.
  - **Presentación**, representación gráfica de los datos. Interfaz del Operador o HMI (*Human Machine Interface*).
  - **Explotación** de los datos adquiridos para gestión de la calidad, control estadístico, gestión de la producción y gestión administrativa y financiera.
  - Alertar al operador de cambios detectados en la planta, tanto aquellos que no se consideren normales (alarmas) como cambios que se produzcan en la operación diaria de la planta (eventos). Estos cambios son almacenados en el sistema para su posterior análisis.
- **Prestaciones que ofrecen los sistemas SCADA a través del HMI (*Human Machine Interface*).**
- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del ordenador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
  - Generación de históricos de señal de planta, que pueden ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
  - Creación de informes, avisos y documentación en general.
  - Ejecución de programas, que modifican la ley de control, o incluso el programa total sobre el autómatas (bajo ciertas condiciones).



## Trabajo de diploma

- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador, y no sobre la del autómatas, menos especializado, etc.

Todas estas prestaciones están presente en el software CTECT, permitiendo la fácil manipulación de accionamientos supervisados desde el. Con la aplicación de todas estas prestaciones en un mismo sistema SCADA, se pueden desarrollar aplicaciones basadas en el PC, con captura de datos, análisis de señales, presentaciones en pantalla, envío de resultados a disco o impresora, control de actuadores, etc.

### ➤ Componentes de Hardware.

Un sistema SCADA, como aplicación de software industrial específica, necesita ciertos componentes inherentes de hardware en su sistema, para poder tratar y gestionar la información captada.

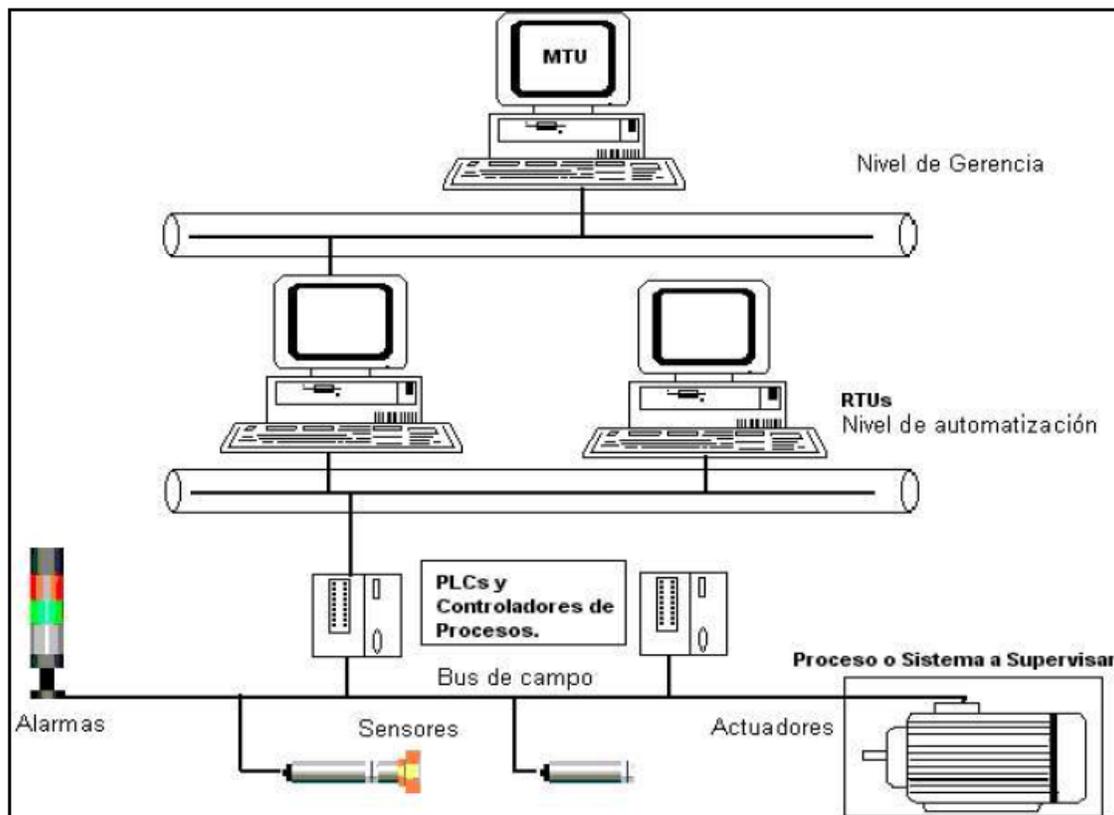


Fig. 3.1 Estructura Básica de un sistema SCADA a nivel hardware



### 3.2.2 Software SCADA y Principales Productos Comerciales.

Para obtener las características y prestaciones propias de un sistema SCADA, su software debe presentar las siguientes funciones:

- Manejo del soporte o canal de comunicación.
- Manejo de uno o varios protocolos de comunicación (Driver)
- Manejo y actualización de una Base de Datos
- Administración de alarmas (Eventos)
- Generación de archivos históricos.
- Interfases con el operador (HMI - *Human Machine Inteface*)
- Capacidad de programación (Visual Basic, C)
- Transferencia dinámica de datos (DDE)
- Conexión a redes
- Debe tener capacidad para comunicarse con múltiples redes de instrumentos, aun siendo de distinta procedencia y fabricantes.

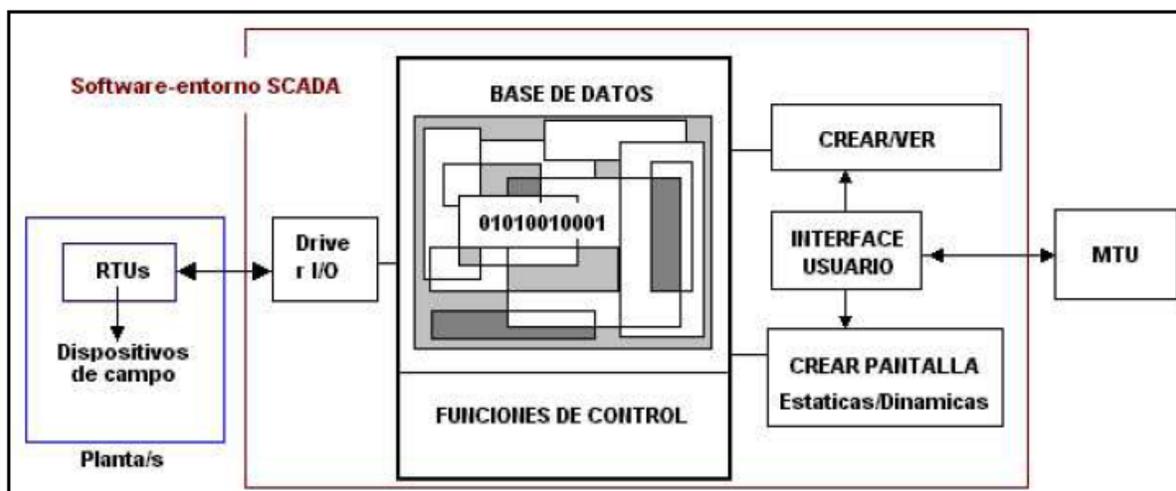


Fig. 3.2 Entorno de un Software SCADA.



### 3.3 Interface de comunicación en ambiente GUI .

#### Interfaces de Comunicación.

Las Interfaces de Comunicación son las que permiten al PC MTU (**Master Terminal Unit**) acceder a los dispositivos, a través de los RTU (**Remote Terminal Unit**). Así, la interfaz de comunicación enlazará el MTU con los distintos RTUs del sistema.

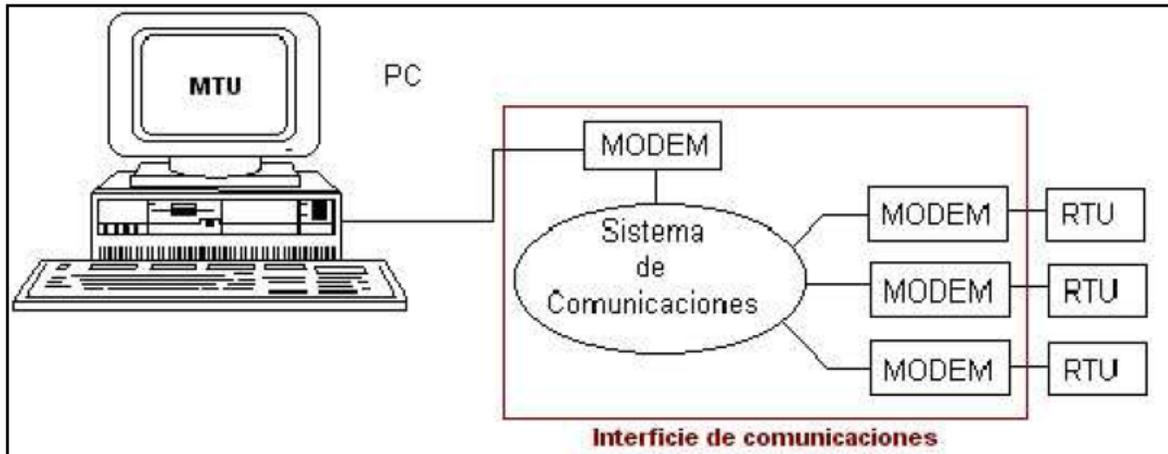


Fig.3.3 Diagrama de Conexión informático de un sistema SCADA

La interfaz de comunicación consta de distintos elementos:

- Los Modems que conectan físicamente los RTUs y el MTU al BUS.
- El módulo de comunicaciones contiene los *drivers* de conexión con el resto de elementos digitales conectados, entendiendo el driver como un programa (software) que se encarga de la iniciación del enlace, aplicación de los formatos, ordenación de las transferencias, etc., en definitiva, de la gestión del protocolo de comunicación. Estos protocolos pueden ser abiertos (ModBus, FieldBus, Map, etc.), o propios de fabricante.

Estos drivers, propios del software SCADA, deben comunicarse con otros paquetes de software por medio de DDE (Dynamic Data Exchange) DLL (Dynamic Link Libraries) como canal de comunicación, implementados por el sistema operativo, que permite que diversos paquetes de software envíen y reciban datos comunes. Por ejemplo se puede relacionar una celda de una hoja de cálculo con una variable del sistema y así variar puntos de consignas del proceso, o bien comunicación directa con los drivers de E/S de los dispositivos de campo.



Desde Citect se puede lograr la interface para sostener la comunicación con cualquier dispositivo de E/S de control o supervisión que tenga un puerto de comunicación o autopista de datos, incluidos los Controles lógicos programables (PLC), controles de bucle, lectores de códigos de barras, analizadores científicos, unidades de terminal remoto (RTU) y sistemas distribuidos de control (DCS).

Los dispositivos de E/S pueden clasificarse fácilmente en dos categorías distintas, según el método de conexión de comunicación con Citect: - Local o remoto.

- Los dispositivos de E/S locales se conectan directamente con un servidor de E/S Citect.
- Los dispositivos de E/S remotos se conectan con Citect a través de un medio de comunicación intermedio (enlace por radio, módem y línea telefónica, etc.).

Ambos tipos pueden configurarse para que sean permanentes, periódicos o bajo petición.

### **Tipos de comunicación**

Citect admite cuatro tipos de comunicación con dispositivos de E/S:

- Comunicación en serie
- Tarjeta de interfaz (PLC, Variador)
- Tarjeta de adquisición de datos
- Servidor DDE

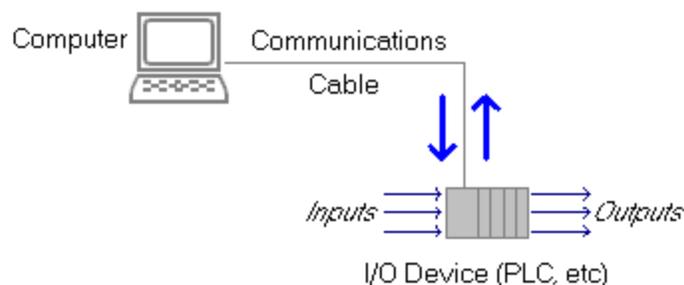


## Trabajo de diploma

El método de comunicación con dispositivos de E/S (locales y remotos) más habitual y que se utiliza en el presente trabajo es a través de una sencilla conexión en serie. Las comunicaciones en serie habituales siguen, en mayor o menor grado, uno de los tres estándares en serie más comunes: RS-232, RS-422 y RS-485. Utilizando para lograr la interfaz un cable conectado con conector tipo RS-485.

Citect ofrece varias opciones de comunicación con dispositivos de E/S: a través del puerto COM de la computadora Citect, mediante una tarjeta serie de alta velocidad, o a través de una tarjeta de comunicaciones especial proporcionada por el fabricante del dispositivo de E/S. En cualquier caso, la configuración de Citect para establecer las comunicaciones con dispositivos de E/S debería ser muy sencilla, gracias al uso del Asistente para la configuración rápida de dispositivo de E/S.

Cada combinación de dispositivo de E/S y protocolo necesita una configuración única de las tarjetas, puertos y formularios de dispositivos de E/S. En el trabajo estas configuraciones están determinadas por las direcciones dadas en el mapa de memoria del Variador de Velocidad (ALTV 71) en estudio. Logrando así proporcionar toda la información necesaria para configurar y adquirir todos los datos del accionamiento desde CITECT para cada uno de los dispositivos de E/S.



**Fig. 3.4** Interface Computadora- Dispositivo de E/S



### ➤ **Funciones principales de la interfaz de usuario.**

Sus principales funciones son los siguientes:

- Puesta en marcha y apagado.
- Control de las funciones manipulables del equipo.
- Manipulación de archivos y directorios.
- Herramientas de desarrollo de aplicaciones.
- Comunicación con otros sistemas.
- Información de estado.
- Configuración de la propia interfaz y entorno.
- Intercambio de datos entre aplicaciones.
- Control de acceso.
- Sistema de ayuda interactivo.

### ➤ **Tipos de interfaces de usuario.**

Atendiendo a como el usuario puede interactuar con una interfaz, se tienen varios tipos de interfaces de Usuario:

- ✓ Interfaces alfanuméricas (intérpretes de mandatos) que solo presentan texto.
- ✓ Interfaces gráficas de usuario (GUI, *Graphics User Interfaces*), las que permiten comunicarse con el ordenador de una forma muy rápida e intuitiva representando gráficamente los elementos de control y medida.
- ✓ Interfaces táctiles, que representan gráficamente un "panel de control" en una pantalla sensible que permite interaccionar con el dedo de forma similar a si se accionara un control físico.

En este trabajo se implementa la Interfaces gráficas de usuario (GUI) para la adquisición y visualización de parámetros, la cual es posible declarando el mapa de memoria del variador en el protocolo de comunicación (MODNET) del CITECT.

### **Según su construcción:**

Pueden ser de hardware o de software:

- ✓ Interfaces hardware: Se trata de un conjunto de controles o dispositivos



## Trabajo de diploma

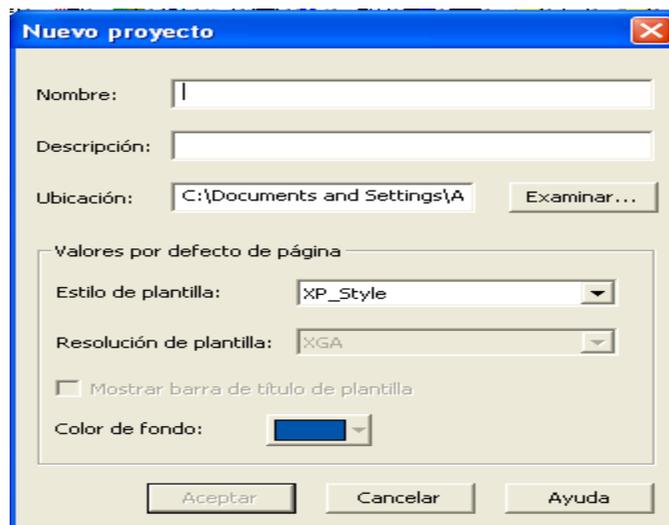
que permiten la interacción hombre-máquina, de modo que permiten introducir o leer datos del equipo, mediante pulsadores, reguladores e instrumentos.

- ✓ Interfaces software: Son programas o parte de ellos, que permiten expresar nuestros deseos al ordenador o visualizar su respuesta.

En este trabajo se utilizó la Interfaces hardware que permite leer y almacenar los datos del variador en el ensayo de laboratorio.

### 3.4 Descripción de la interfaz CITECT—Variador

Para la edición o creación de un proyecto para la adquisición de datos de un variador (ALTV 71) en condiciones de ensayo de laboratorio es necesario la creación de un nuevo proyecto, función que queda descrita en el siguiente cuadro de dialogo. Creando un programa nuevo que queda disponible en la lista de proyectos del CITECT.(Ver Anexo 1)



**Fig. 3.5** Cuadro de dialogo para la creació de un nuevo proyecto en CITECT

Una vez ejecutado el proyecto, debemos definir mediante la opción de Comunicación del Editor de proyectos los puntos que definen la interface entre el programa y el variador como son:

- Declarar dentro del Asistente de Comunicación Rápida el tipo de servidor a usar (IO Server).
- Crear un dispositivo E/S dentro del servidor seleccionado.



## Trabajo de diploma

- Definir el Modbus/TCP (Ethernet) como protocolo de comunicación del CITECT declarando el IP del servidor seleccionado.
- Seleccionar en la opción de Comunicación del Editor de Proyecto al MODNET como protocolo de comunicación del Dispositivo E/S.
- Determinar la cantidad de parámetros eléctricos a adquirir que dependen del mapa de memoria del variador (ALTV 71) (Tabla 1 y 2). por medio de la configuración del puerto asignado para la interface programa- variador.



**Fig.3.6** Cuadro de diálogo para la configuración de los protocolos de comunicación del CITECT

Los parámetros eléctricos que se deseen adquirir en la interface serán declarados en la opción Tags de Variables del Editor de proyecto. La cantidad de variables a medir estarán determinadas por el mapa de memoria del ALTV 71 definidos en la configuración del puerto. (Ver Anexo 2)



### *Conclusiones parciales*

Mediante la comunicación realizada por medio de la interface creada para la adquisición y acondicionamiento de las señales de un accionamiento eléctrico con variador de velocidad y motor de inducción trifásico jaula de ardilla con carga variable y la comunicación directa del Citect con los dispositivos de E/S de la planta o fábrica, en este capítulo se logró:

- Elaborar una interface informática para adquirir parámetros eléctricos del variador desde CITECT.
- Describir el esquema de la interface para las condiciones de carga variable del accionamiento con motor de inducción.
- Implementar el sistema de adquisición de datos del accionamiento asistida por CITECT.



# *Capítulo IV*

*INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS  
OBTENIDOS CON SU VALORACIÓN ECONÓMICA.*



#### **4.1 Introducción**

La aplicación y el empleo de técnicas de ensayo de laboratorio en los accionamientos de instalaciones industriales contribuyen a mejorar la eficiencia, el ahorro y el entorno de trabajo en estos sistemas. 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, logrando así la humanización del trabajo y un ahorro considerable a la economía del país.



### **4.2 Valoración técnica.**

La implementación de los variadores de velocidad ha permitido en gran medida disminuir los valores de corriente de los motores en los momentos del arranque comparados con los métodos tradicionales de arranque de máquinas sobretodo el arranque directo, bien conocido el rango de corriente de 3 a 7 veces la corriente nominal durante el arranque. Con la implementación de una interface informática para la adquisición de datos de variadores, se puede lograr a corto plazo, el ahorro considerable de energía el mejoramiento en el rendimiento de las máquinas eléctricas.

#### **Corriente mínima de arranque del motor.**

$$I_{arr_{min}} = 3 * I_N$$

#### **Corriente máxima de arranque del motor.**

$$I_{arr_{max}} = 7 * I_N$$

Durante el arranque directo las corrientes pueden oscilar entre ese rango, rango que es reducido con la implementación de variadores de velocidad (ATV 71) logrando disminuir las pérdidas y proteger la máquina.

### **4.3 Valoración económica.**

Desde el punto de vista económico la implementación de estos sistemas de ensayo de laboratorio asegura desde un inicio el desempeño óptimo de los accionamientos en estudio, de tal manera que montaje de una estación con todos los equipos vinculados con el software (CITECT) encargado de la adquisición de datos, de principio resultará una inversión fuerte, por los costos del equipamiento. Costo que se amortizará con la prevención de accidentes de alto índice de costo en los accionamientos eléctricos. Costos que pueden ser amortizados con el ahorro de energía con respecto al tiempo de explotación de las máquinas en estudio. A pesar de ser mucho más caras las prestaciones técnicas como el número de aplicaciones justifican la inversión de forma directa atendiendo a factores como el ahorro de energía, la factibilidad, la protección de los motores en condiciones de ensayos de laboratorio.



## Trabajo de diploma

En la siguiente tabla se muestran los precios de los componentes usados para la realización de la interface para el análisis del accionamiento eléctrico con motor de inducción trifásico jaula de ardilla con alta variabilidad en la corriente del circuito de carga.

<b>Costo de los elementos de ensayo de laboratorio.</b>			
<b>Elementos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor Total (USD)</b>
<b>Bibliografía</b>	16	-	610.00
Instalación de ensayo	1	100.00	100.00
Software	1	800.00	800.00
Motor de inducción 10 kW, 220 V	1	-	350.00
Variador de frecuencia Telemecanique ATV71, 22KW, 440, 60Hz, ref. ATV71HD22N4	1	3120,15	3120,15
Servidor de red (PC)	1	1 500.00	1 500.00
Gasto de energía eléctrica	kW.h	-	1 hora mensual (\$5.76)

### **4.4 Valoración social.**

Desde el punto de vista social el montaje de un laboratorio de ensayo desde CITECT para variadores técnicamente humaniza el trabajo del hombre pues al poder variar la velocidad de los accionamientos de forma remota, se puede lograr el control de equipos como por ejemplo una electroválvula permitiendo un trabajo automático en lazo cerrado, declarando dispensable la presencia del personal humano, logrando así proteger y sustituye al hombre en su trabajo manual en la regulación de la válvula. De esta manera se pueden operar, con ayuda de los variadores, disímiles accionamientos de entorno industrial.



*Conclusiones parciales*

El montaje de un laboratorio de ensayo desde CITECT para variadores técnicamente humaniza el trabajo del hombre pues con la ventaja de poder variar la velocidad de los accionamientos de forma remota. Implementación de una interface informática para la adquisición de datos de variadores, se puede lograr a corto plazo, el ahorro considerable de energía el mejoramiento en el rendimiento de las máquinas eléctricas.



## *Conclusiones Generales*

Explotando los recursos del CITECT se logró realizar una interface que permite la comunicación entre el PC y un variador para lograr la adquisición y supervisión de datos de un accionamiento con variabilidad en la corriente del circuito de carga. Después de haber caracterizado el variador y declarar su estado desde CITECT mediante su mapa de memorias se pudo implementar el sistema de adquisición de datos del accionamiento asistida por este software.



## *Recomendaciones*

1. Configurar la toma de conexión CANopen del variador para lograr el control rápido y la configuración, el ajuste y la supervisión del Telemecanique.



### Bibliografía

AG. (2007). *Catalogo y Software*. New York.

*Catálogo de Altivar*. (2010).

*Catálogo de Citect*. (2011).

Chacon, D. &. (2001-2002). *Supervisión y control de proseso, Dzung Phan Quoc, Ann Control System DC Motor*. HVMC University.

Chacon, Dijort, & Castillo, J. (s.f.). *Supervisión y control de proseso*.

*Gía de instalacion del Altivar71*. (2010).

*Gía de programacion del Altivar 71*. (2010).

Gimenez, G. (2002). *Placas de adquisición de datos y control para PC*.

*Handbook of DSP*. (2000). IEEE.

Mohan, N., & Undeland, T. (200). *Power Electronic Applications, converters and desing*.

Muhammad H, R. (2004). *Power Electronic*. New York: Prentice Hall.

Protocolo de comunicacion del Altivar 71. (2011).

Pupo Bacallao, L. G. (2010). *INTERFACE PARA ECONTROL INTELIGENTE DE INSTRUMENTOS EN SISTEMAS SCADA DE ACCIONAMIENTOS INDUSTRIALES*. Moa: Isntituto Superior Minero Metalúrgico.

Robbings, W. (2003). *Prentice Hall*. New York.

Technology. (2009). 20.

[www.altivar.com](http://www.altivar.com). (s.f.). Recuperado el 12 de marzo de 2011

[www.citect.com](http://www.citect.com). (s.f.). Recuperado el 20 de Mayo de 2011



## Anexo.

**Anexo 1:** Cuadros de dialogo de la creación de un proyecto en CITECT para logra la interface.



**Anexo 2:** Cuadros de dialogo de la configuración del CITECT para logra la interface.





## Trabajo de diploma





## Trabajo de diploma

**Anexo 3:** Cuadro de dialogo para definir los parámetros a visualizar y la cantidad dependiendo del mapa de memoria.

The screenshot shows a Windows-style dialog box titled "Tags de Variable [ CSV\_Example ]". It contains the following fields and controls:

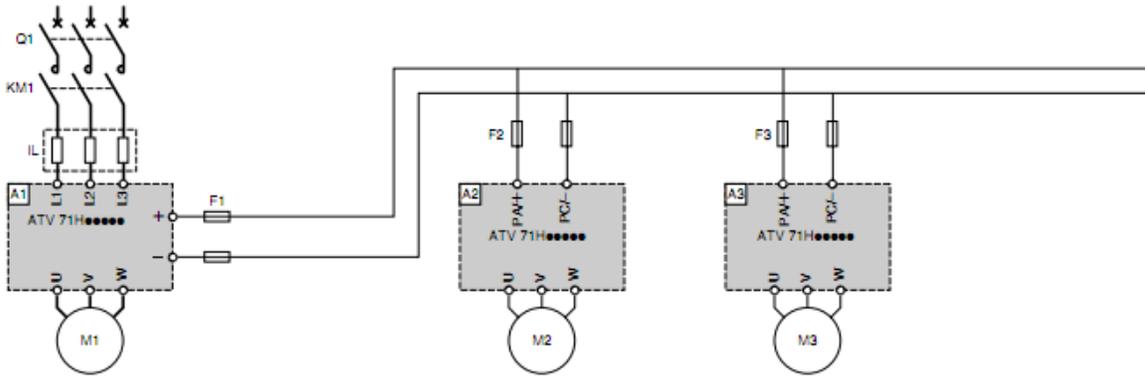
- Nombre de la Etiqueta Variable: Tensión
- Nombre del Grupo: [Empty]
- Dirección: D1
- Cero de la escala sin procesar: [Empty]
- Cero de la Escala: [Empty]
- Unidades procesadas: Volts
- Banda muerta: [Empty]
- Comentario: Alarm bit 1
- Nombre de dispositivo de E/S: IODev
- Tipo de Dato: REAL
- Máximo de la escala sin procesar: [Empty]
- Máximo de la Escala: [Empty]
- Formato: [Empty]

Buttons: Agregar, Reemplazar, Eliminar, Ayuda

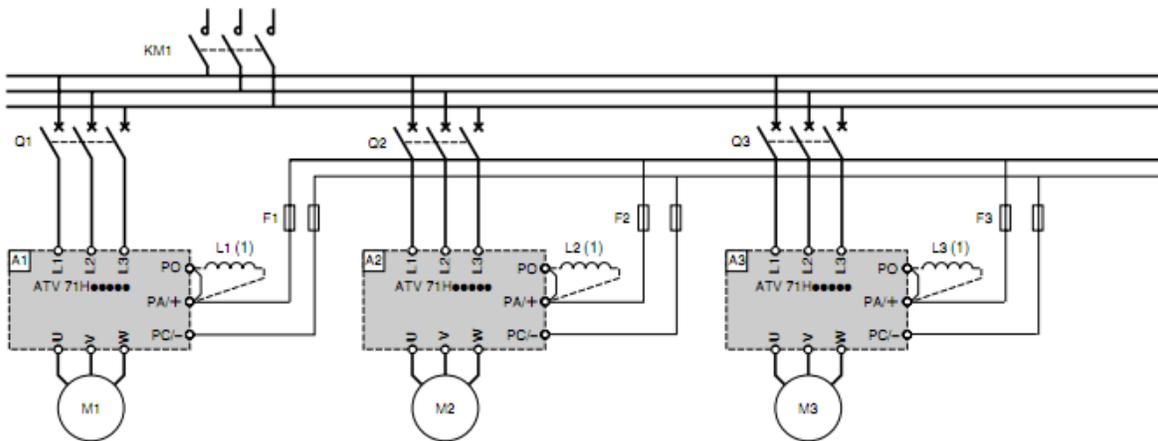
Estado: Campo: 225, Vinculado: No



**Anexo 4:** Esquema de conexión de varios variadores en paralelo en el mismo bus continuo



(Variadores de calibres diferentes)

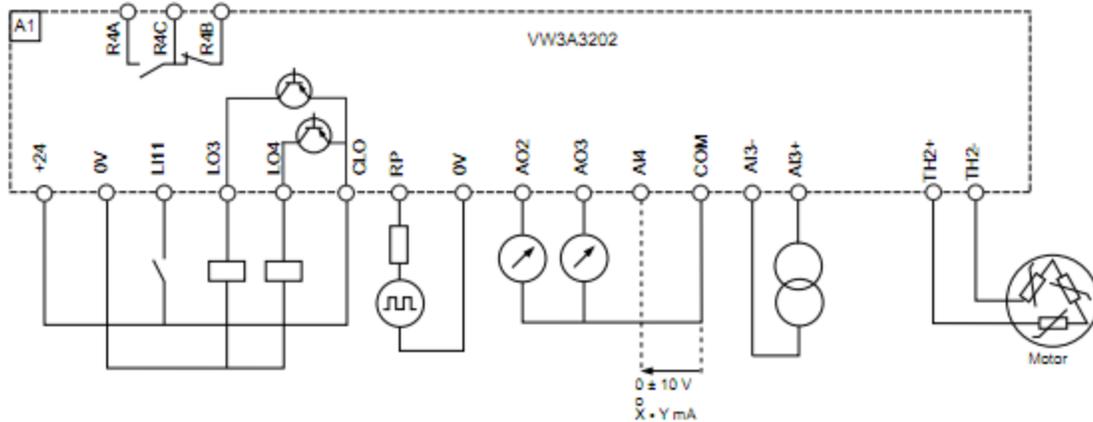


(Variadores de calibres equivalentes)

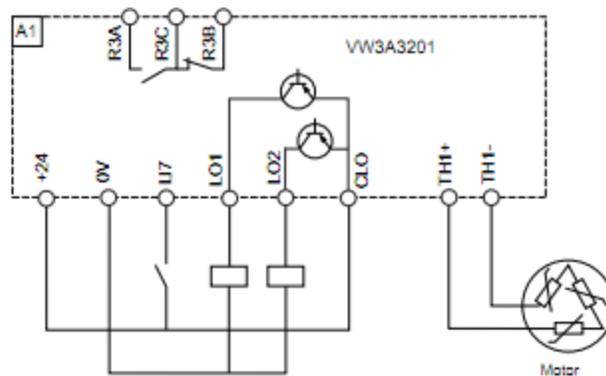


## Trabajo de diploma

**Anexo 5:** Esquema de conexión de tarjeta opcional de entradas-salidas extendidas (VW3A3202) en el ALTV 71



Esquema de conexión de tarjeta opcional de entradas-salidas lógicas (VW3A3201) en el ALTV 71





## Trabajo de diploma

### Anexo 6: Parámetros de la tarjeta (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] ( <i>IPC -</i> )	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] ( <i>IPM -</i> )	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] ( <i>IPG -</i> )	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] ( <i>bdr</i> )	R	= 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	