



## Automatización de puestos de trabajo de accionamientos eléctricos

### *Electric drives laboratory automation*

Milagros Diez - Rodríguez  
Armando - López  
Hemanchan Vicash - Gokoel

Recibido: Octubre del 2008  
Aprobado: Diciembre del 2008

#### Resumen/ Abstract

En el presente trabajo se muestra como fueron automatizados dos sistemas productivos existentes en el laboratorio de accionamiento eléctrico de la universidad de Camagüey para que se convirtieran en puestos de laboratorios acordes a las necesidades de la industria moderna. Los sistemas productivos fueron acoplados eléctricamente a un PLC, con esto, se les puede regular la velocidad y el régimen de trabajo con ayuda de convertidores de frecuencia. Por último el trabajo presenta la posibilidad de interactuar con un SCADA que supervisa en tiempo real con ayuda de una computadora personal diferentes tareas de automatización que se corresponden con simulaciones de problemas técnicos reales. Además se desarrolló un manual que permite la utilización del sistema de laboratorio automatizado de manera semipresencial lo que garantiza la docencia presente y futura.

**Palabras claves:** accionamiento eléctrico, autómatas, convertidores de frecuencia, mecanismos industriales

*This work shows two automated production systems in the electric drives laboratory at the university of Camagüey, to become laboratories sets, geared to the needs of modern industry. Production systems were electrically coupled to a PLC, so you can regulate speed and working regime using frequency converters. Finally the paper presents the possibility to interact with a SCADA which monitors the system in real time using a personal computer automation of different tasks that correspond to simulations of real technical problems. In addition, we developed a manual that allows the use of automated laboratory system in a manner which ensures blended teaching present and future.*

**Keywords:** *electric, automation, frequency converters, industrial mechanics*

#### INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los accionamientos eléctricos ha estado íntimamente relacionado a la necesidad que ha tenido el hombre de mejorar sus condiciones de vida y aunque desde el punto de vista electromecánico estos han sufrido pocos cambios desde la última mitad del siglo pasado,

desde el punto de vista de mando y regulación han sido ampliamente impulsados por los avances alcanzados en ramas como la electrónica, las comunicaciones y la automatización.

Los sistemas automatizados, hoy día, involucran a disímiles sistemas de accionamiento eléctrico con diversos niveles de automatización, éstos se supervisan con ayuda de sistemas de adquisición y supervisión que operan en tiempo real, conocidos como SCADA, debido a sus siglas en inglés (Supervisory Control & Data Acquisition).

Los egresados de la carrera de Ingeniería Eléctrica que van a trabajar a las industrias deben estar familiarizados con los sistemas que en ellas se han implementado, en aras de aumentar la productividad, sin embargo las condiciones industriales no son fáciles de reproducir a nivel de laboratorio, debido fundamentalmente a la gran variedad de recursos necesarios para ello de ahí que cualquier esfuerzo dirigido en esta dirección es muy bien acogido por el personal encargado de la instrucción de los futuros ingenieros, de los profesores y de los alumnos.

En este trabajo se describen los pasos que se siguieron para la automatización los puestos de trabajo del laboratorio de Accionamiento Eléctrico de la universidad de Camagüey para controlarlos a partir de un PLC de producción nacional y un SCADA desarrollado por técnicos cubanos, ambos utilizados en la industria azucarera nacional.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Laboratorio de Accionamiento Eléctrico.

El laboratorio de accionamiento eléctrico de la universidad de Camagüey se ha caracterizado por mantener su equipamiento a partir del acondicionamiento de mecanismos industriales para fines de experimentación adecuándolos para la interacción de los estudiantes y profesores de acuerdo a los programas de estudio de pre y postgrado [1-2]. Por tanto, en el laboratorio se cuenta con órganos de trabajo que pueden accionarse utilizando diversas técnicas de regulación y control, para implementar ciclos de trabajo que satisfagan diferentes condiciones de operación.

Los procesos productivos que se automatizaron en el presente trabajo fueron un sistema hidráulico accionado con una bomba centrífuga conectada al eje de un motor trifásico de rotor en corto circuito y un transportador de cinta, accionado con un motor trifásico acoplado a un reductor mecánico. Ambos sistemas pueden trabajar conformando un proceso productivo que cumple con las exigencias de varios regímenes de explotación o pueden funcionar de manera independiente para lo cual nos auxiliamos

de una computadora personal, un autómata programable, un convertidor de frecuencia, un regulador automático de nivel y una serie de accesorios conectados en una pizarra eléctrica gobernada de acuerdo al programa implementado en el autómata y el software de supervisión.

## CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPAMIENTO

El autómata NOVA fue desarrollado especialmente para la automatización de procesos en la industria azucarera por el Instituto Cubano de Investigaciones Digitales (ICID) a partir de un procesador Z80 de 16 bits con un tiempo de ciclo de 100 ms.

El autómata NOVA está compuesto por un módulo inteligente que posee 16 entradas digitales y 24 analógicas así como 8 salidas digitales y 8 analógicas; posee una fuente de alimentación interna que, conectada a los 24V DC no regulados de la línea, brinda las tensiones necesarias para su funcionamiento. Además, puede ampliarse con hasta dos módulos de expansión que permiten aumentar la configuración de entradas/salidas digitales según la aplicación deseada. Su electrónica es altamente inmune al ruido y puede explotarse en condiciones adversas de temperatura y vibración. Posee en su parte posterior facilidades para su montaje directamente a un raíl DIN simétrico 35x15 mm, lo que posibilita un rápido montaje y desmontaje. La conexión de las señales del proceso se realiza a través de bloques terminales desmontables, lo que facilita la sustitución de los módulos. Este autómata puede operar perfectamente con datos de 16 bits en memoria, los convertidores A/D y D/A instalados sólo poseen 12 bits de representación, es decir, todo valor leído por este NOVA o escrito en sus salidas analógicas se mueve entre 0 y 4095 (2<sup>12</sup>-1) unidades de conversor.

La versión v6.4, con la que cuenta el laboratorio de Accionamiento Eléctrico, tiene además implementado el protocolo de comunicaciones MODBUS-ASCII. Sus características lo hacen adecuado para la automatización de la industria azucarera, la biotecnológica, la energética, la turística y en los edificios inteligentes. Mediante la interfaz de programación PGNW del NOVA, se realiza la instalación de los parámetros de operación del autómata, su mantenimiento, la supervisión y el control de la información del proceso. Además incluye facilidades para programar y poner a punto secuencias de control [3].

Las tareas más comunes que se pueden ejecutar con este autómata son:

- Secuencias de arranque y parada.
- Secuencias de supervisión.
- Secuencias de alarma.

- Secuencias de aviso.
- Lazos de control PID sencillo.
- Lazos de control PID de doble salida.

- Lazos de control simple.
- Lazos de control en cascada.

Los lazos de control PID'S, que posee el autómata, constituyen bloques funcionales que ejecutan reguladores digitales. Internamente poseen un algoritmo de control PID (Proporcional Integral Derivativo), que puede ser activado, por defecto esta desactivado. De aquí se derivan dos tipos de lazos de control.

Lazo activo: Funcionan en base al algoritmo de control PID del programa. Un lazo de control activo enlaza varios componentes, de estos los principales son la Entrada y la Salida analógica. De la "Entrada" recibe la variable del proceso (PV), calcula el error tomando en cuenta el ajuste o señal de referencia (SP) establecido y los parámetros de ajuste tales como la ganancia y las constantes de tiempo (Kp, Ti y Td), para luego enviar el resultado o variable de mando (MV) a la "Salida".

Lazo pasivo: No utilizan el algoritmo de control PID del programa, en su lugar el especialista puede usar estrategias de control definidas por él ó emplear los algoritmos residentes en los dispositivos del sistema de control (sistemas supervisores). Un lazo de control pasivo enlaza los mismos componentes que el activo, pero no ejecuta el algoritmo PID, en su lugar conmuta temporalmente la Salida al modo remoto y supervisa el funcionamiento del lazo.

El programa GRACIL (GeneRador de ApliCaciones IndustriaLes) [4], es un software destinado al control y supervisión de procesos en tiempo real. Este programa permite la adquisición de datos y control de procesos así como el registro de variables y acciones a nivel de laboratorio, planta piloto o industrial. Entre algunas de las posibilidades que ofrece están: Lazos de control PID, registro de variables, alarmas, control lógico secuencial, pantallas animadas e intercambio de datos y supervisión. Todas sus opciones son totalmente configurables y no son necesarios conocimientos de programación para crear las aplicaciones.

Como todo sistema de control y supervisión, GRACIL32 posee diferentes niveles de acceso, protegidos por contraseña que facilitan su explotación de forma confiable y segura.

La interfaz con el operador está diseñada de forma sencilla, para facilitar el acceso expedito. Estaciones automático/manual, mandos a distancia para válvulas y control de dos posiciones están representados en forma de instrumentos virtuales, para lograr una rápida aceptación del operador, acostumbrado a controladores y botoneras. La verdadera potencialidad de GRACIL32 está en la posibilidad que tiene el especialista de configurar, a través de las pantallas de mímicos o representaciones gráficas del proceso, una interfaz hombre-máquina apta para cualquier operador.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sistema automatizado de control y supervisión de velocidad del transportador.

El sistema de control y supervisión del transportador permite realizar el control de la velocidad del mismo, para lo que se cuenta con un convertidor de frecuencia de la firma OMRON y el autómata NOVA que actuará como regulador PID en un lazo de control digital, además este operará según la secuencia de trabajo programada.

También contamos con un conjunto de dispositivos electromecánicos (límites de fin de carrera, sensor para sentido de giro y contactor) que formarán parte del circuito de control y fuerza del sistema en cuestión. [5]

Desde el software de supervisión GRACIL32 se chequea el estado de funcionamiento del motor (ON - OFF). Para proceder con el mando para el arranque del mismo, se tiene un sensor que estará indicando al operario constantemente el sentido de giro del transportador. Los límites actúan cuando una supuesta carga los acciona provocando la parada del motor inmediatamente para así, mantener un régimen adecuado de trabajo. La regulación de velocidad estará condicionada por un lazo de control digital que se ajusta por el usuario de acuerdo al contenido explicado en clases. Mediante una sencilla interfaz (figura 1), se consigue rápidamente la acción sobre la variable controlada; la variable del proceso que recibe el lazo de control, será enviada del tacogenerador al autómata en señal de voltaje, las entradas de control por las que el convertidor de frecuencia recibe las señales de mando (en corriente) serán "Frequency Reference (FR) y Frequency Common (FC)", de acuerdo a los criterios dados por el fabricante y que se muestran explícitamente en la bibliografía que se encuentra al alcance de los estudiantes y profesores del centro. [6]

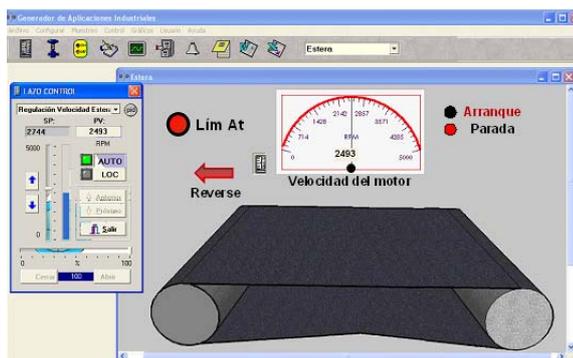


Fig. 1. Pantalla de trabajo de la aplicación del Transportador.

La secuencia elaborada para el Sistema Automatizado de Control y Supervisión de Velocidad del Transportador se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1. Secuencia elaborada para el Sistema Automatizado de Control y Supervisión de Velocidad del Transportador**

Etiqueta	Instrucción	Operando1	Operando2	Comentario
SEC0	LW	MWSY0	AO0	PREPARANDO C-RETRO DE SP
	LWPR	MW0	PR16	PREPARANDO C-RETRO SALIDA1
	LW	MWSY8	MW0	
	JP	SEC0		
SEC1	O	DI1	DI2	1 - SI ALGUN LÍMITE ACCIONA
	AN	DO0	M0	ORDEN DE ARRANCAR Y NO LÍMITES
	L	DO0	M0	ARRANCO SI ORDEN Y NO LIM ON
	JP	SEC1		

La figura 1 muestra la pantalla elaborada en GRACIL 32 para el Sistema Automatizado de Control y Supervisión de Velocidad del Transportador. En la parte superior se observan los botones de arranque/parada, la indicación del tacogenerador, el sentido de giro del mismo y la operación del límite de sentido reverso (LAT). Por otra parte se muestra el lazo PID configurado a través del cual se controla la velocidad con que se moverá este mecanismo. Cada elemento de la figura (mímicos), tiene asociada una variable que establece su operación, los señalizadores de límite, sentido de giro así como el propio transportador,

constituyen imágenes animadas que actuarán de acuerdo a como se hayan definido sus parámetros (véase que el límite de sentido normal (LAd) no se observa pues como el motor se mueve en uno de los dos sentidos de rotación, no tiene lógica alguna que ambos límites operen).

**SISTEMA AUTOMATIZADO DE CONTROL Y SUPERVISIÓN DE LA BOMBA**

Se tiene un sistema motor trifásico bomba centrífuga que succiona fluido de un reservorio situado a nivel del suelo hacia otro reservorio situado a 1,2 m de altura, en ambos depósitos se cuenta con electrodos (sensan nivel inferior y superior de cada tanque) que interactúan con el dispositivo electrónico (TURBIN). El motor es accionado desde el autómatas NOVA y la PC para controlar y supervisar el proceso a ejecutar.

El régimen de trabajo automático/manual que desde el software supervisión GRACIL32 actuará en dependencia de las condiciones establecidas, por ejemplo cuando arranque se efectúa bajo régimen manual el hombre decide sobre el proceso y los errores que puedan suceder dependen de este, si se opera de forma automática se cuenta con la protección del sistema pues a través de la información que envían los electrodos (sensores de nivel) se garantiza que no ocurra desbordamiento en los tanques o que el motor y la bomba trabajen bajo condiciones que acorten su vida útil. Consecuentemente el autómatas fue programado con una secuencia de temporización que permitirá el arranque del sistema a una hora específica del día.

La figura 2 muestra la pantalla elaborada en GRACIL 32 para el Sistema Automatizado de Control y Supervisión de la Bomba. Los electrodos son los detectores de nivel que indican cuando arrancar o parar el sistema de bombeo del agua. Según la secuencia dicho sistema puede funcionar manual o automático, lo cual se hace con la opción del botón Manual/Automático (representado en la pantalla).

Con el mando manual el operador controla y decide el comportamiento del sistema. Bajo el mando automático, los electrodos captan cuándo se tiene que arrancar o para el proceso, envían las señales al autómatas, cuyo programa interno hace los análisis y decide el régimen de trabajo indicado.

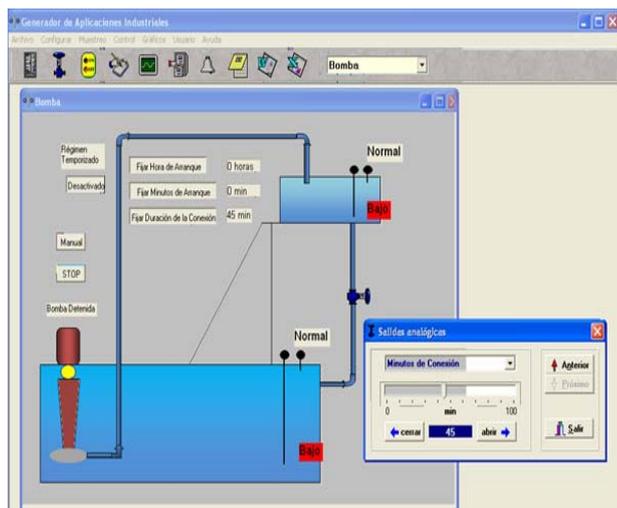


Fig. 2. Pantalla de trabajo de la aplicación de la bomba.

Hay dos modos de trabajar bajo el mando automático; Régimen Temporizado Activado y Régimen Temporizado Desactivado. Cuando no se especifica el Tiempo de Duración de la Conexión, el sistema funciona a Régimen Temporizador Desactivado. También se le puede fijar Hora de Arranque y fijar Minutos de Arranque para cuando se quiere arrancar el sistema a una hora fija del día. El botón Stop/Run indica cuando esté en funcionamiento el sistema, esto manualmente lo hace el operador y automáticamente se señala por sí mismo.

En la tabla 2 se muestra la secuencia que permite la automatización del sistema de bombeo, en la misma se destaca la secuencia que permite la actualización de la fecha del autómata, para a partir de ahí programar la hora y el día que se desee poner en marcha el proceso de llenado del tanque. Las secuencias programadas, permiten además evaluar el estado de los reservorios de succión y descarga e incluyen el trabajo con los temporizadores, lo que permite a los estudiantes explorar toda la potencialidad del autómata NOVA.

**INSTALACIONES DE LABORATORIO OBTENIDAS**

El sistema de accionamiento conformado por el motor trifásico y el transportador se mueve con ayuda de con convertidor de frecuencia de la firma OMRON, que se energiza con ayuda de un contactor accionado desde el autómata como se muestra en la figura 3. Al autómata llegan las señales de límites o finales de carrera, del sensor de sentido de giro y la señal del taco generador acoplado al eje del motor.

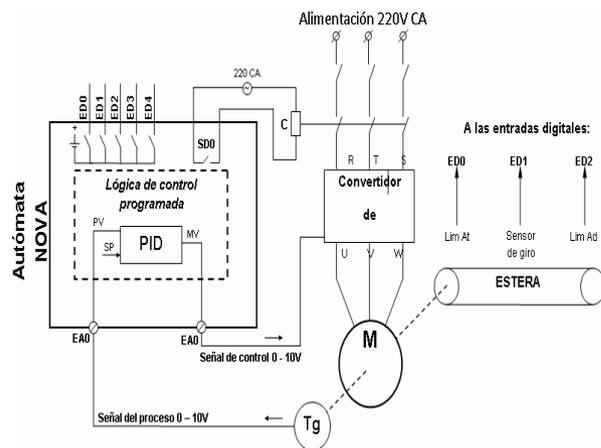


Fig. 3. Instalación obtenida al automatizar el sistema de accionamiento eléctrico del transportador.

En el sistema de accionamiento eléctrico conformado por el motor trifásico y el sistema hidráulico, figura 4, interviene el regulador de nivel diseñado y fabricado por el EDAI, comercializado en Cuba bajo la marca de TURBIN, el mismo está conformado por una fuente regulada de 12V de corriente directa, dos interruptores electrónicos que censan el nivel de líquido en cada recipiente por medio de electrodos de nivel mínimo y de nivel máximo colocados respectivamente en cada deposito, un relé auxiliar que alimenta al contactor principal y un panel frontal donde se encuentran un interruptor que permite seleccionar el modo de operación del dispositivo.

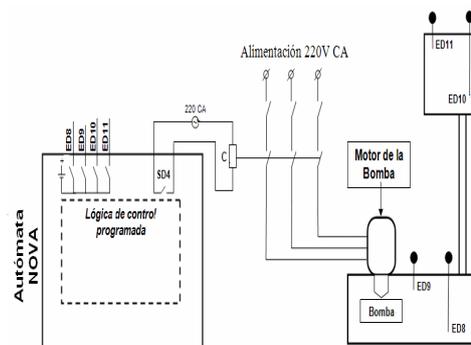


Fig. 4. Instalación obtenida al automatizar el sistema hidráulico.

La generalización de estos resultados resulta económicamente factible pues los componentes fundamentales empleados en la automatización de los puestos de trabajo del laboratorio de Accionamiento Eléctrico son de fabricación nacional y no necesariamente tiene que encontrarse en perfecto estado técnico para su explotación a nivel de laboratorio ya que solo se necesita hacer uso de sus funciones para la experimentación y no para mantener el flujo productivo de una industria. Por otra parte cualquier desperfecto que ocurra durante

la realización de la actividad práctica puede desarrollar habilidades adicionales en los estudiantes de ingeniería.

**Tabla 2. Secuencia elaborada para el Sistema Automatizado de Control y Supervisión de Velocidad de la Bomba**

Etiqueta	Instrucción	Operando1	Operando2	Comentario
SECO	LWPR	MW2	PR34	SEG
	LWPR	MW3	PR35	MIN
	LWPR	MW4	PR36	HORA
	LWPR	MW5	PR37	DIA
	LWPR	MW6	PR38	MES
	LWPR	MW7	PR39	AÑO (L)
	LWPR	MW8	PR40	AÑO (H)
	SUB	MW7	512	POR 3ER MILENIO (0-1ER,256-2DO)
	MUL	MW0	256	256 * Año#
	SUB	MW6	MW0	MES# = MES - (256 * Año#)
	LW	MW16	MW0	
	MUL	MW0	256	256 * MES#
	SUB	MW5	MW0	DIA# = DIA - (256 * MES#)
	LW	MW15	MW0	
	MUL	MW0	256	256 * DIA#
	SUB	MW4	MW0	HORA# = HORA - (256 * DIA#)
	LW	MW14	MW0	
	MUL	MW0	256	256 * HORA#
	SUB	MW3	MW0	MIN# = MIN - (256 * HORA#)
	LW	MW13	MW0	
	MUL	MW0	256	256 * MIN#
	SUB	MW2	MW0	SEG# = SEG - (256 * MIN#)
	LW	MW12	MW0	
	LW	MW9	MWSY9	HORA DE ARRANQUE
	LW	MW10	MWSY10	MINUTOS DE ARRANQUE
	LW	MW11	MWSY11	TIEMPO DE CONEXIÓN
	L	M18	DI8	0 - SEÑALIZA SECO TK1
	L	M19	DI9	1 - SEÑALIZA LLENO TK1
	L	M20	DI10	0 - SEÑALIZA SECO TK2
	L	M21	DI11	1 - SEÑALIZA LLENO TK2
	L	M2	DO2	1 - TEMPORIZADO (DESDE GRACIL)
	L	M3	DO3	1 - AUTO (DESDE GRACIL)
	LW	MW20	MW9	HORA DESCONEXIÓN = HORA ARRANQUE
	ADD	MW11	MW10	MINUTOS ARRANQUE + TIE

				MPO CONEXIÓN
	LW	MW21	MW0	MINUTOS DESCONEXIÓN
	CP>	MW21	59	SE PASA LA HORA?
	JPF	MO	MAIN	
	SUB	MW21	59	
	LW	MW21	MW0	
	INC	MW20		INCREMENTAR HORA DESCONEXIÓN
MAIN	JPF	M3	MAN	IR A MANUAL
	JPF	M2	NOTMP	AUTOMÁTICO NO TEMPORIZADO
	CP=	MW14	MW9	HORACLK = HORASET?
	L	M9	M0	
	CP=	MW13	MW10	MINCLK = MINSET
	L	M10	M0	
	A	M9	M10	HORA Y MIN DE CONEXIÓN
	S	M11		
	JPF	M0	NOTMP	
	SET	M4		ON POR TIEMPO
	CP=	MW14	MW20	HORACLK = HORAOFF?
	L	M12	M0	
	CP=	MW13	MW21	MINCLK = MIN OFF ?
	A	M12	M0	HORA OFF Y MIN OFF
	JPF	M0	NOTMP	
	RES	M4		OFF POR TIEMPO
	RES	M11		PASÓ HORA SET
NOTMP	ON	DI9	DI10	LLENO TK1 O SECO TK2
	L	M5	M0	
	ON	M4	M2	TIEMPO ON O NO TEMPORIZADO
	A	M5	M0	
	S	M6	M0	
	ON	DI11	DI8	LLENO TK2 Y SECO TK1
	L	M7	M0	
	LN	M2	M2	COMPLEMENTO "NO TEMPORIZADO"
	ON	M2	M4	
	A	M7	M0	
	R	M6	M0	
	JP	FIN		
MAN	L	M6	DO1	
FIN	L	DO4	M6	
	JP	SECO		

## CONCLUSIONES

Con estas aplicaciones se muestra como adecuar equipamiento de uso industrial para fortalecer las instalaciones de laboratorio, para cumplimentar con las nuevas exigencias de los planes y programas de estudio.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las diferentes instituciones que de una manera u otra coadyuvaron a que este trabajo llegase a su culminación y haya alcanzado el prestigio y el nivel de reconocimiento nacional e internacional que hoy posee, especialmente a TEICO, cuyos especialistas trabajan mancomunadamente con el Grupo de Automatización Industrial de la universidad de Camagüey, brindándonos todo su apoyo.

## REFERENCIAS

- [1] DIEZ, R. M. Y. O. Memorias FIE´04, En Convertidor de frecuencia industrial utilizado con fines docentes Universidad de Oriente,Cuba. 2004.
- [2] DIEZ, R. M. Y. L. C. M. Memorias FIE´06,. En: Sistema de bombeo eficiente,Universidad de Oriente.Cuba. 2006. .
- [3] R. SOSA, F. NOVA, Autómata Compacto Programable. publicado el: Manual del Usuario, ICID Fichero: A4501D\_MU\_01011614.doc, 2000. S. P.
- [4] TOLEDANO, S. P. Y. J. G. I. Manual del Usuario, ICINAZ. En: *GRACIL* 32. Quivi can, Cuba, 1998..
- [5] M. COSTA, A. Principios Fundamentales de Accionamiento Eléctrico. Editorial Pueblo y Educación. ed. Ciudad de la Habana, Cuba: : 1989.,.
- [6] L. APARICIO, J. Criterio de Diseño de Convertidores Estáticos para Accionamientos Regulados en Corriente Alterna con Motores de Inducción. Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo.,.

## AUTORES

### Milagros Diez Rodríguez

Ingeniera Eléctricista, Doctora en Ciencias Técnicas Profesora Titular.Especialista en Automática, Telemecánica y Comunicaciones para el Transporte Ferroviario, en el Instituto de Transporte de Moscú.

e-mail:: milagros.diez@reduc.edu.cu

### Armando López

Ingeniero en Automática, en la UCLV, Profesor Asistente, Adjunto de la Universidad de Camagüey. Especialista en informática y automatización, TEICO.

### Hemanchan Vicash Gokoel

Ingeniero Electricista, Adiestrado, Centro de trabajo: OBE, Camagüey.