



Editorial de la
Universidad Tecnológica Nacional

**La Universidad Tecnológica Nacional - U.T.N. -
en el Nordeste Argentino – N.E.A.
*Investigación y Desarrollo en la Facultad Regional Resistencia***

Compiladoras:

**Carola Sosa
Nidia Dalfaro**



ROBÓTICA

***Diseño y Construcción de una Herramienta Pedagógica utilizando
Dispositivos Genericos, Simulador y un Software de Control
Automático.***

Autores: Vázquez, Toledo, Cóceres, Mason y Canali



Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe

<http://www.edutecne.utn.edu.ar>

edutecne@utn.edu.ar

© [Copyright] La Editorial de la U.T.N. recuerda que las obras publicadas en su sitio web son de libre acceso para fines académicos y como un medio de difundir el conocimiento generado por autores universitarios, pero que los mismos y edUTecNe se reservan el derecho de autoría a todos los fines que correspondan.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA HERRAMIENTA PEDAGÓGICA UTILIZANDO DISPOSITIVOS GENERICOS, SIMULADOR Y UN SOFTWARE DE CONTROL AUTOMÁTICO

VÁZQUEZ¹, R*., TOLEDO¹, P., COCERES¹, M., MASON¹, L., CANALI², L.

*GUDA-Grupo Universitario de Automatización¹

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Resistencia

French 414. 3500 Resistencia-Chaco. República Argentina

Tel: +54 3722 432928. / Fax: +54 3722 432683/ e.mail: ray_vazquez_2005@hotmail.com

UTN Facultad Regional Cordoba².

Maestro M. Lopez esq, Cruz Roja Argentina, Ciudad Universitaria, 5016

Córdoba, Argentina.

garaguas@gmail.com

Resumen: Se emplea un dispositivo genérico combinado con el uso de un simulador y un software de control automático para proporcionar una herramienta de enseñanza al profesor y facilitar el aprendizaje de temas tecnológicos al alumno.

El procedimiento establece mecanismos que permiten ajustar las condiciones de trabajo de un sistema mediante el empleo de un software fácil de implementar. Una vez configurado el software y el sistema de control el simulador se desconecta del dispositivo genérico denominado Studen Full para trabajar en forma conjunta con una notebook y un multímetro.

El circuito electrónico denominado Studen Full es de uso libre pudiendo ser reproducido por el alumno en forma total o parcial. Es decir que el estudiante puede desarrollar un nuevo sistema de control automático de proceso a partir de un dispositivo electrónico existente.

El software utilizado es de código fuente abierto con ejemplos que permiten facilitar el desarrollo de algoritmos de control disminuyendo el tiempo y esfuerzo en el desarrollo.

El esquema de trabajo no necesita una plataforma específica como por ejemplo Windows o GNU/Linux.

En el siguiente trabajo se desarrolla un procedimiento que permite plantear una situación problemática real en un sector de la industria y trasladarlo al ambiente de clase.

Los recursos necesarios para desarrollar este tipo de experiencia son relativamente bajos y la mayoría de los dispositivos empleados son partes del laboratorio.

El esquema de trabajo es flexible, adaptable permitiendo realizar innovaciones y mejoras permanentes.

Palabras clave: simulador, dispositivo genérico, control automático.

INTRODUCCION

Los desarrollos electrónicos modernos permiten de forma simple, económica, rápida y segura, facilitar conceptos tecnológicos para el estudio de temas relacionados en el ambiente de ingeniería.

De esta manera, la creación de dispositivos de este tipo permite en la universidad que grupos de estudiantes pueden evaluar resultados, probar ideas e hipótesis.

En este sentido los dispositivos electrónicos generan recursos que facilitan actividades en el ámbito científico y tecnológico, demanda un trabajo más amplio, involucrando nuevas ideas e invenciones en el diseño de herramientas que abarcan diferentes campos de la ciencia y tecnología.

Los desarrollos electrónicos modernos permiten incluir innovaciones, sugerencias y actualizaciones en el diseño como por ejemplo en sistemas de comunicación entre dispositivos, instrumentos de medida y desarrollos de control programable. Mediante dichos avances tecnológicos los becarios tienen una vital participación aportando nuevas metas y desafíos.

También motiva a la imaginación e innovación, debido a que los temas conceptuales son desarrollados con otra perspectiva.

Cuando las actividades son realizadas en grupo las nuevas tecnologías desarrolladas en general proveen un buen clima de cooperación entre los compañeros de diferentes carreras, lo que propicia éxito en tareas de grupo interdisciplinarios inherente a la actividad de construir y controlar desarrollos tecnológicos a través del computador.

La electrónica proporciona una herramienta de aprendizaje para el alumno y mejora la calidad de enseñanza del profesor y surge de la necesidad de desarrollar dispositivos tecnológicos capaces de realizar tareas de control automático de procesos, mediciones de variables analógicas y en especial la incorporación de sistemas inalámbricos de comunicación para asegurar la compatibilidad entre equipos electrónicos garantizando una arquitectura, documentación técnica abierta y código de programación libre para el uso en la docencia.

En el presente trabajo se describe un procedimiento que articula diferentes desarrollos electrónicos de uso general, un simulador y un software de automatización para adecuarlos a la enseñanza e investigación en temas relacionados al control automático, medición de variable de estado y comunicación entre dispositivos.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

La teoría del control automático estudia la estabilidad de los sistemas y proporciona una metodología que permite definir criterios de estabilidad.

La figura 1 representa un modelo simplificado para controlar sistemas. Por ejemplo en el caso de controlar la velocidad de giro de un motor eléctrico definido como ω se debe colocar en el eje un sensor de velocidad angular que compare el valor obtenido con una constante de referencia denominada r . En el caso de obtener el valor deseado la suma $r-s$ es igual a cero. Si se realiza un frenado en el eje, la diferencia $r-s$ es ahora distinta de cero y el valor t se amplifica una cantidad k . Dicha amplificación genera un aumento de velocidad en el motor hasta conseguir el equilibrio del sistema.

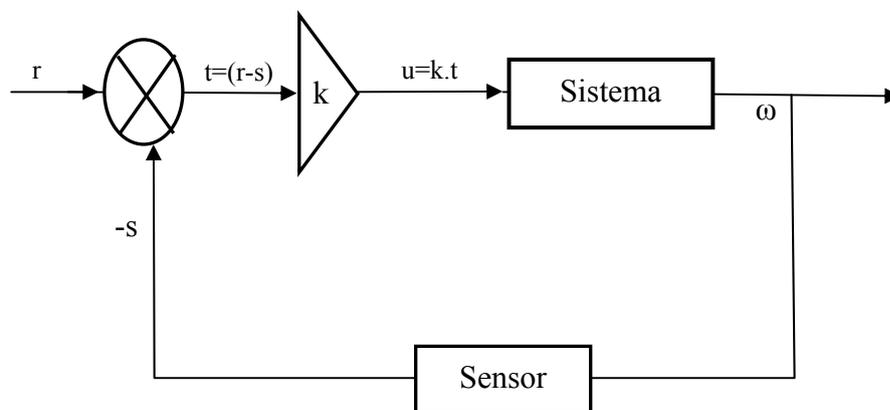


Figura 1.- Diagrama de control automático

El modelo de la Figura 1 se puede implementar mediante la articulación de un hardware y un software. Se destacan los dispositivos electrónicos de arquitectura abierta de uso general denominados genéricos. Son ampliamente utilizados para resolver situaciones de control dentro de la ingeniería en general. Son de bajo costo, fáciles de manejar y requiere poco conocimiento de programación y electrónica por parte del alumno.

El profesor recurre a la utilización de estos desarrollos como herramienta pedagógica para mejorar la calidad de enseñanza y facilitar el proceso de aprendizaje en temas tecnológicos

debido a su flexibilidad y alcance. Los dispositivos genéricos son herramientas indispensables para la mecatrónica y la robótica educativa.

DISPOSITIVO PEDAGÓGICO.

Una forma de representar el esquema de la figura 1 es mediante la utilización de una herramienta pedagógica denominada Studen Full.

El Studen Full es un desarrollo electrónico de uso general diseñado para facilitar el proceso de aprendizaje y mejorar la calidad de enseñanza del profesor en áreas tecnológicas como por ejemplo la programación, la simulación virtual, comunicación entre dispositivos electrónicos y medición de variables analógicas. Se lo visualiza en la figura 2 junto a un grabador de programas denominado pic kit 3 encargado de transferir algoritmos de acción y control a un microcontrolador (Angulo et al. 2006).



Figura 2: Studen Full y grabador pic kit 3

El núcleo del Studen Full es un microcontrolador y puede realizar tareas de control y mediciones empleando un programa escrito en lenguaje C (Gary J. 2006).

El lenguaje de programación mencionado es utilizado en el ambiente científico y los códigos necesarios para realizar las tareas de automatización y control en este trabajo son de uso libre.

La innovación en el empleo de estos dispositivos genéricos es la incorporación de simuladores permitiendo realizar las acciones de medición y control en tiempo real o virtual reduciendo el tiempo y esfuerzo en las tareas de programación.

DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

El Studen Full puede conectarse a diferentes dispositivos eléctricos y al mismo tiempo obtener variables analógicas para realizar comparaciones similares a las esquematizadas en la figura 1. Por ejemplo se puede establecer una situación problemática en la industria y representarla en ambiente de clase como se muestra en la figura 3.

En la industria son altamente utilizados mecanismos encargados de proteger los dispositivos electromecánicos comúnmente denominados guarda motores.

El principio de funcionamiento se basa en teorías eléctricas o electrónicas utilizando parámetros de calibración para el funcionamiento de los mismos.

Un ejemplo común puede ser la falla eléctrica en la línea de producción generando un calentamiento en el chasis del motor eléctrico.

La persistencia de dicha falla provoca elevación de temperatura comprometiendo al sistema eléctrico y a la línea de producción.

Es posible mediante un algoritmo adecuado detectar fallas eléctricas relacionadas al cortocircuito, sobrecalentamiento o ausencia de energía en una de las fases eléctricas.

En la figura 3 los alumnos representan una situación problemática en la industria simulada en un ambiente de clase.



Figura 3: Esquema de trabajo.

Se somete al motor de corriente alterna a un estado de carga transitoria que trae aparejado el aumento de temperatura del chasis del motor.

Mediante un sensor (Pallás A. 1994) se mide la variación de temperatura empleando un conversor analógico digital incorporado al Studen Full.

Un algoritmo desarrollado a partir de la figura 1 permite analizar el estado de carga y la situación de falla del motor.

Una de las ventajas en implementar un software relacionada a la situación problemática del sistema analizado es la disminución de la probabilidad de error en la acción de control para detectar fallas debido a que los valores analizados de los sensores se comparan con constantes ajustadas según las condiciones de trabajo real.

En un dispositivo de protección de uso general comúnmente denominados controladores integrales derivativos o PID la calibración se realiza según valores estadísticos utilizando el método de Ziegler-Nichols detallado en Ogata K. 2003.

La innovación en este tipo de trabajo es el empleo de simuladores que permiten relacionar dispositivos genéricos como el Studen Full, sensores con un software encargado de realizar la acción de control automático y una notebook en dicho proceso. Es decir el simulador elegido

interviene en tareas de ajuste y depuración en el algoritmo de control y una vez terminado el proceso de calibración el sistema funciona en forma independiente Vazquez R et al. 2009.

El simulador elegido se denomina MPLAB 8.50 es de uso libre, fue desarrollado por la empresa de Microchip y se visualiza en la figura 4.

El esquema de control del modelo de automatización en forma general se obtuvo a partir de Karl J et al. 2009 al igual que su algoritmo. El lenguaje de programación elegido en la experiencia de laboratorio fue el ANCI C cuyos códigos fuente se basaron en ejemplos propuestos por Angulo et al. 2006.

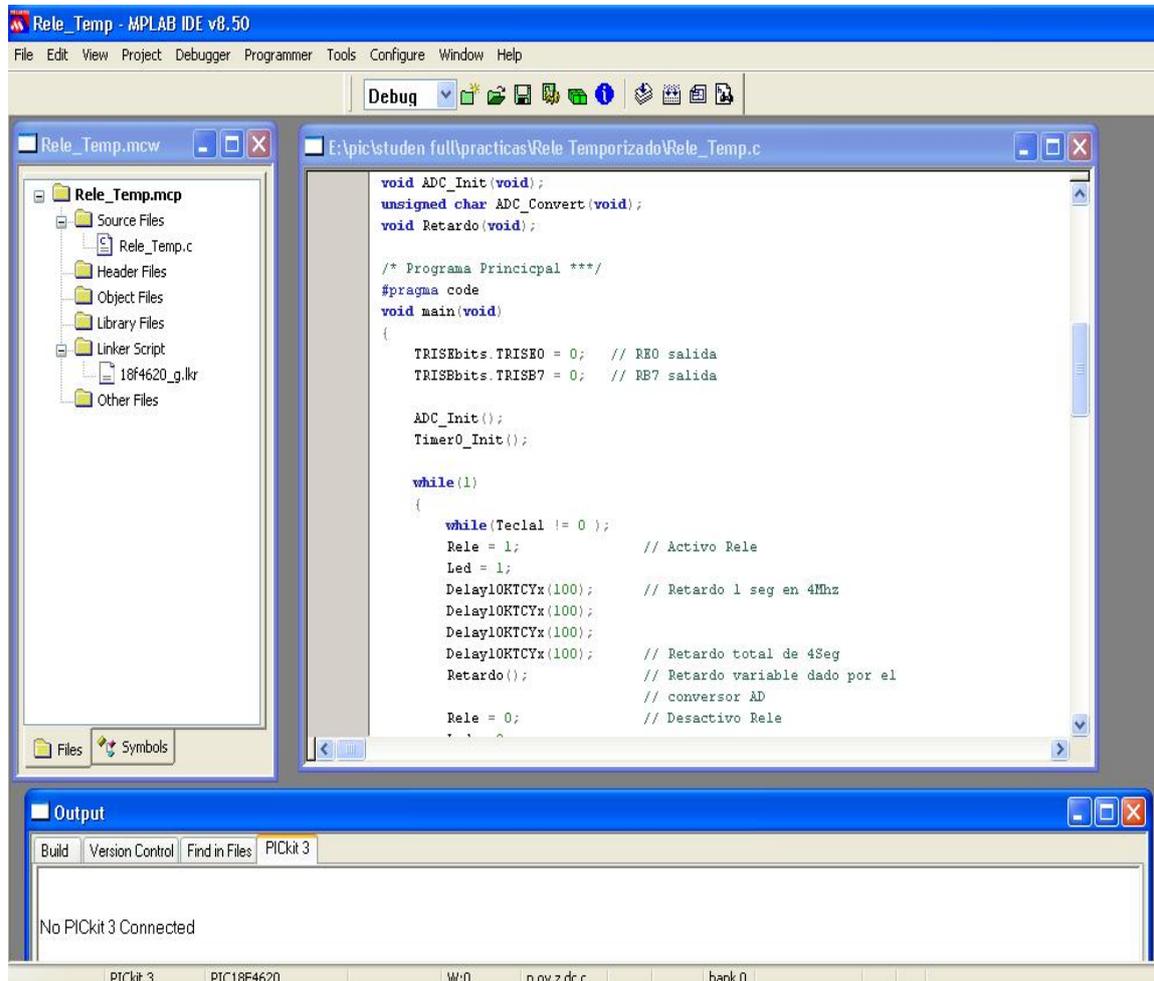


Figura 4: Simulador MPLAB 8.50.

La utilización de un software de simulación como por ejemplo el MPLAB 8.50 facilita implementar algoritmos de automatización en el sistema real de control.

El tiempo necesario para depurar y poner a punto el software se reduce en forma significativa debido a que el código fuente es reutilizable y la respuesta se realiza en tiempo real permitiendo ajustes y calibraciones en el sistema de control en forma eficiente.

En este sentido el docente encargado de transferir los conceptos necesarios para realizar trabajos de control lo hace en forma fluida al grupo de clase debido a que cada uno de los dispositivos que intervienen en la experiencia es representado como bloques semejantes a los visualizados en la figura 1.

La acción de control se obtiene mediante la comparación de los datos medidos por sensores en un software fácil de implementar conectado a un desarrollo electrónico genérico denominado Studen Full y multímetro.

FALLAS EN EL SISTEMA DE CONTROL

Se entiende por fallas en el sistema de control a los diferentes eventos no deseados que comprometan la funcionalidad del mismo como por ejemplo la falta de energía en una de las fases del motor, corriente eléctrica elevada en el tiempo y corrientes de cortocircuitos.

Falta de energía en una de las fases.

Detectar la falta de energía de una de las fases se realiza utilizando el dispositivo UNIT UT60E. Dicho instrumento proporciona una salida vía RS232 donde transfiere información de la corriente eléctrica al tablero a un programa denominado Control.

La experiencia comienza con el motor encendido y con carga en el eje mediante un freno denominado freno de corriente parásita. El multímetro debe medir en todo momento una corriente eléctrica superior a la de vacío.

Corrientes eléctricas elevadas.

Corrientes eléctricas elevadas a la nominal del motor en tiempos prolongado causa aumento de temperatura en el arrollamiento del bobinado disminuyendo la vida útil del motor. Para detectar los valores de temperatura se coloca en el chasis del motor un sensor de temperatura denominado LM35DZ y se lo conecta eléctricamente al conversor analógico digital del microcontrolador. Un algoritmo desactiva eléctricamente el motor cuando es superado un umbral prefijado, en ese caso, se tendría un controlador proporcional como lo describe Ogata K. 2003.

Este tipo de control muestra una región de histéresis que afecta el funcionamiento del sistema, vida útil de los contactores eléctricos y el motor. Se mejora la respuesta de este tipo de controlador si se contempla una condición temporal en el algoritmo.

Corriente de corto circuito.

La corriente de cortocircuito provoca un estado de falla que compromete la instalación eléctrica en el sistema. El freno utilizado denominado freno de corriente parásita (Viloria R. 1997) es el encargado de realizar la resistencia mecánica en el eje del motor, y de esta manera, la corriente consumida por el motor aumenta.

En el caso de corrientes elevadas el tiempo de desconexión debe ser corto por ese motivo la condición de corto circuito en la figura 5 (línea 130) esta primera en la lista de evaluación de las posibles fallas.

MATERIALES

Para realizar tareas de protección en un motor perteneciente a un sector de la línea de producción se utilizan los siguientes dispositivos:

Motor trifásico de 1 HP.

Sensor de temperatura LM 35DZ.

Simulador MPLAB 8.50 o superior.

Grabador PIC kit 2 o superior.

Dispositivo Studen FULL 2.0 o superior.

Microcontrolador 18f4620.

Cuatro relay de 10 amper.

Multímetro UNIT 60E o equivalente.

Alarma 12 voltios corriente continua.

Freno de corriente parásita.

Notebook.

ALGORITMO DE CONTROL

```
121
122     activa_relay_r_s_t();//función encargada de activar la fase r s t.
123     Delay10KTCYx(250);//función de espera
124     double temperatura=0.0;//variable de medición A/D
125     double corriente=0.0;//variable de medición A/D
126     while(1)
127     {
128         temperatura=leer_temperatura();//lee temperatura del sensor
129         corriente=leer_corriente();//lee información del multímetro UNIT 60E
130         if(k3>corriente)
131         {
132             //k3 representa un umbral de cortocircuito que teóricamente
133             //compromete a la instalación eléctrica, por precaución se debe
134             //apagar el motor y encender la alarma.
135             apagar_relay_r_s_t();
136             activar_alarma();
137         }
138         if(k1>temperatura)//k1 cosntante ajustable según
139         {
140             //el ensayo y se prefija a un valor de 80°C
141             Delay10KTCYx(250);//tiempo de espera
142             if((k1>temperatura)%%(k2>corriente))//es posible que el aumento de
143             //temperatura sea momentáneo
144             {
145                 //y el sistema regrese a valores permitidos
146                 //si pasado un tiempo los valores de corriente y temperatura superan
147                 //las cosntantes k1 y k2 se debe desconectar el motor.
148                 apagar_relay_r_s_t();//función encargada de desactivar la fase r s t.
149             }
150         }
151         if(k4=>corriente)
152         {
153             //la experiencia comienza con el motor encendido y con carga
154             //por lo tanto la corriente no puede ser menor a k4.
155             //k4 se estima a partir de la corriente de vacío dependiendo del motor elegido.
156             apagar_relay_r_s_t();
157             activar_alarma();
158         }
159     }
160     Delay10KTCYx(250);//rutina de espera.
161 }
```

Figura 5: Software encargado de realizar la acción de control automático.

El motor en el arranque esta sometido a una carga y por lo tanto la corriente no puede ser la de vacío, si el valor de corriente detectado por el multímetro es inferior a la constante k4 según se consulta en la línea 150 de la figura 5 debe existir alguna falla en el sistema y el algoritmo contempla el apagado del motor y el encendido de la alarma.

PROCEDIMIENTO

Se establecen los parámetros necesarios para utilizar el simulador MPLAB 8.50 con el microcontrolador 18f4620 como plantea Saravia et al. 2011.

Luego se configura los puertos analógicos del microcontrolador para medir los valores enviados por el sensor de temperatura como lo desarrolla Saravia et al. 2010.

Se utiliza un software desarrollado en el laboratorio denominado Control para trabajar en forma conjunta con diversos dispositivos y realizar tareas de acción y control mediante los elementos básicos con los que se construye un programa en C.

Es decir el software Control realiza tareas de control y visualización de las variables de estado en el sistema.

La corriente eléctrica se obtiene a partir de un multímetro serial denominado UT60E y los valores obtenidos se transfieren vía usb a un software Control que realiza tareas de control automático según los valores obtenidos por los periféricos conectados a la notebook.

Se utiliza procedimientos de clasificación de las fallas en el sistema empleando sentencias lógicas condicionales y funciones contenidas en un esqueleto de programa como lo desarrolla González et al. 2005

ESQUEMA ELÉCTRICO DE LA EXPERIENCIA

El esquema eléctrico de los dispositivos se muestra en la figura 6 y en la figura 7 se visualiza la configuración de los dispositivos mencionados en el laboratorio.

Los relay y la alarma son activados mediante un chip de potencia denominado ULN 2003 no especificado en el esquema de la figura 6.

El sensor de temperatura LM35DZ es del tipo lineal y la resolución del microcontrolador 18f4620 es de 10 bits. La comunicación entre el multímetro UNIT 60E y la Notebook se realiza utilizando el protocolo de comunicación RS-232.

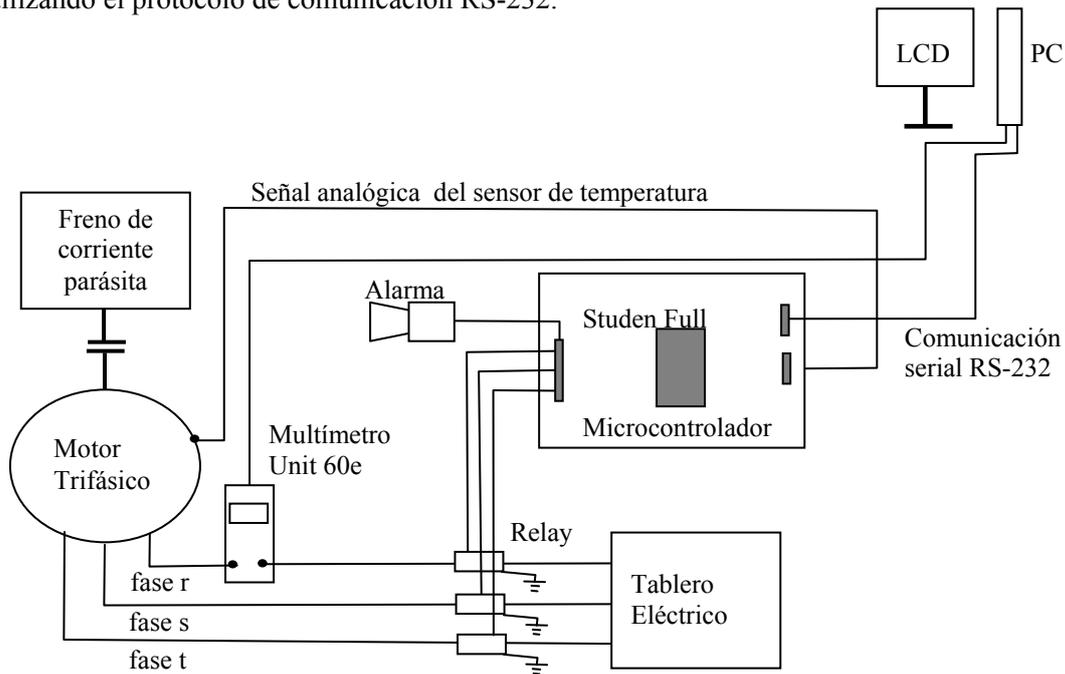


Figura 6: Esquema eléctrico de los dispositivos.

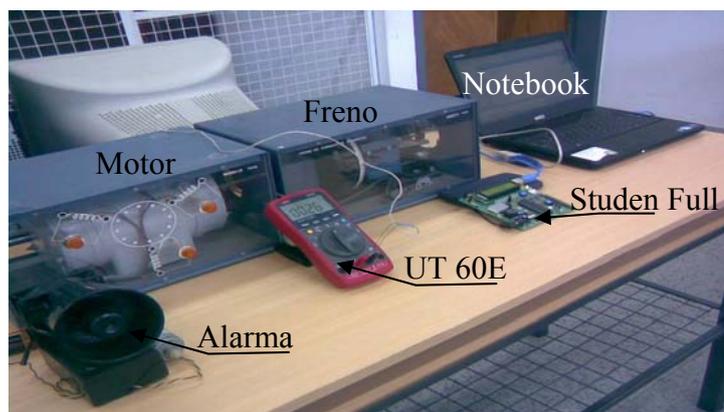


Figura 7: Esquema en el laboratorio.

En la figura 8 se muestra el programa denominado Control preparado para realizar tareas de comunicación con periféricos externos y analizar las variables de estado transmitidos por el multímetro y Studen Full y es utilizado como un tablero virtual eléctrico.

Contempla la posibilidad de incorporar nuevos botones, actualizar software e implementar nuevas funcionalidades.

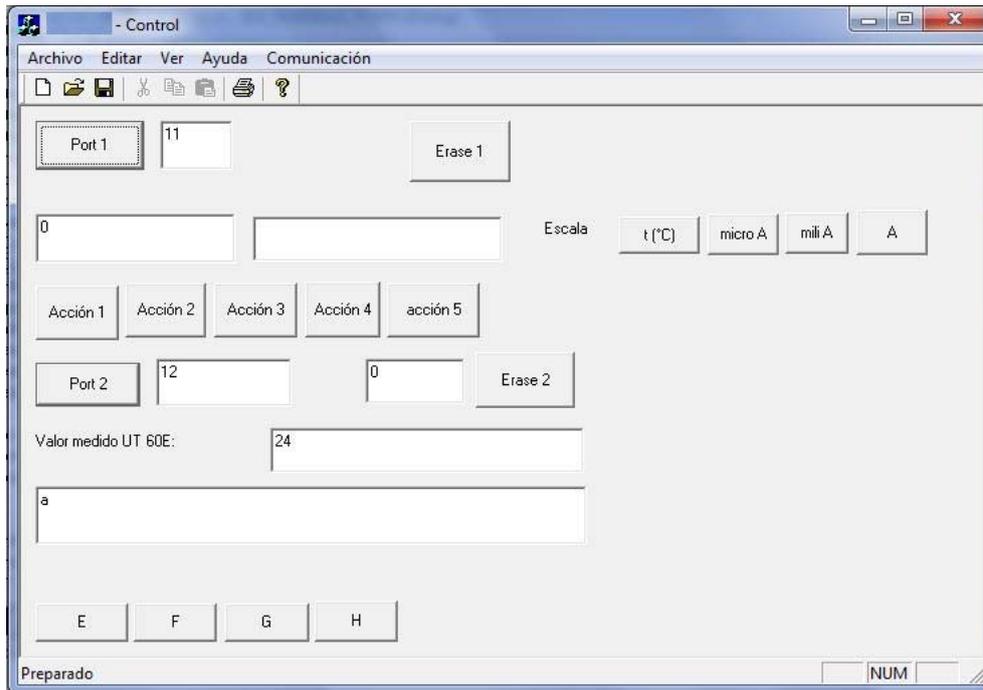


Figura 8: Tablero virtual.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los avances tecnológicos proporcionan a los dispositivos genéricos velocidad de procesamiento y capacidad de memoria. En ese sentido los módulos de hardware que involucra tareas de toma de datos, procesamiento de información y transferencia de datos vía inalámbrica o alámbrica son cada vez más abundantes y accesibles. Dichas herramientas son útiles para pruebas de algoritmos de control en ambiente reales. Dado que el microcontrolador mencionado en este trabajo cuenta con instrucciones para lógica difusa, propicia experimentar y validar algoritmos basados en lógica multivaluada. Adicionalmente, el dispositivo genérico denominado Studen Full cuenta con una librería software de redes neuronales que facilita la implementación de algoritmos de automatización basados en técnicas de inteligencia computacional.

El software utilizado por el alumno en las tareas de aprendizaje es de licencia libre y código fuente abierto permitiendo su utilización en ambientes educativos.

El módulo encargado de gestionar la comunicación entre los dispositivos genéricos facilitan las tareas de transferencia de datos al tablero virtual denominado Control visualizado en figura 8. El tablero de comando virtual posee un espacio de memoria donde se alojan algoritmos encargados de realizar tareas de control automático o semiautomático y el alumno puede establecer diferentes configuraciones ajustados a las necesidades requeridas. Por ejemplo la implementación de relay temporizados, fusibles, conectores, arrancadores estrellas triángulos, monitoreo de dispositivos y visualización de diferentes variables. Su costo es mínimo permitiendo cambios e innovaciones permanentes.

CONCLUSIONES

El software denominado Control permite experimentar en temas relacionados al control automático de proceso, mediciones de variables de estados y comunicación entre varios dispositivos, siendo una herramienta útil para prueba de algoritmos en ambientes reales. Dado que el lenguaje ANCI C cuenta con instrucciones en lógica condicional y librerías que permiten facilitar el proceso de programación.

Cada vez se incrementa la velocidad de procesamiento, la capacidad de memoria en los dispositivos genéricos y esta ventaja permiten incrementar el nivel de complejidad de las aplicaciones utilizando lenguajes de alto nivel donde potentes compiladores generan el lenguaje de máquinas y optimizan los recursos de los dispositivos sin requerir tanto esfuerzo por parte del alumno lo que permite ocupar más tiempo en el diseño de algoritmos y en como perfeccionar las aplicaciones a partir de un código bien escrito.

Los conceptos de modularidad que permiten articular los diferentes dispositivos con el software denominado Control basados en librerías primitivas o funciones independientes del hardware, permiten que el desarrollo evolucione desde una versión muy simple de componentes hasta poseer elementos más complejos, sin tener que modificar o reescribir el código generado anteriormente.

Los módulos genéricos implementados pueden ser tan complejos como: módulo para el manejo de una retina electrónica, un brazo mecánico, cámaras de visión y otros tipos de sensores. Igualmente, las librerías pueden actualizarse con nuevas funciones.

Los resultados obtenidos en el diseño, validación, depuración y puesta a punto de algoritmos básicos de control automáticos se lograron mediante el uso del simulador y la reutilización de software reduciendo tiempo y esfuerzo en tareas de programación.

Se puede destacar que el sistema implementado presenta un diseño fiable, económico, de fácil construcción y fácilmente programable, esto lo hace adecuado para tareas de enseñanza e investigación en áreas del control automático, especialmente en instituciones y grupos de investigación que cuentan con presupuesto reducido.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angulo M. Begoña G. Martínez I. Sáez J. Microcontroladores Avanzados dsPIC. Editorial Thomson 2006. Madrid España. Capítulo 22 p.387.
- Angulo M. Ruiz A. Martínez I. Parra I. dsPIC Diseño práctico de Aplicaciones. Editorial McGraw Hill 2006. Madrid España. Capítulo 6 p.243.
- Gary J. C++ para ingeniería y ciencia. Editorial Thomson 2006. Madrid España. Capítulo 1 p.4.
- González S. Cortés P. Vallinot C. Fundamento de programación. Editorial Ra-MA Alfaomega 2005. Madrid España. Capítulo 5 p.97.
- Kart J. Tore. H. Controlador PID Avanzado. Editorial Pearson Prentice Hall 2006. Madrid España. Capítulo 13 p.457.
- Ogata K. Ingeniería de Control Moderna. Cuarta edición. Editorial Pearson Prentice Hall 2003. Madrid España. Capítulo 10 p.685.
- Pallás Areny. Sensores y Acondicionadores de Señal. Editorial Marcombo 1994. Madrid España. Capítulo 3 p. 99.
- Saravia B. Coria J. Fiadino G. Aroldi A. MPLAB X y Técnicas de Programación con Librerías de Microchip. Editorial Mcelectronics 2011. Argentina Buenos Aires. Capítulo 1 p.12.
- Saravia B. Coria J. Fiadino G. Arquitectura y programación de microcontroladores PIC. Editorial Mcelectronics 2010. Argentina Buenos Aires. Capítulo 24 p.253.
- Vázquez R., Spotorno R., Pochettino J., Benítez F. (2009). Automatización y control de una planta piloto de climatización solar por adsorción-humidificación. Avances en energías renovables y medio ambiente. V13 08.89-96.
- Viloria J. Motores Eléctricos Automatismo de Control. Editorial Paraninfo 1997. Madrid España. Capítulo 10 p.149.