

TECNOCULTURA

Investigación · Ciencia · Tecnología · Cultura

Publicación cuatrimestral del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Año 7, No.18, enero-abril del 2008



Diseño con dsPIC de la Familia 30F para el Control de un Sistema Mecatrónico usando Matlab-Simulink

El Impacto de las Tecnologías de la Información en la Formación del Entorno Tecnológico

Análisis de un Controlador PID para Temperatura de una Incubadora Avícola

El Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec cuenta con un Sistema de Gestión de Calidad Certificado bajo la Norma ISO 9001:2000 en sus procesos de inscripción, reinscripción y titulación, con reconocimiento ante EMA, UKAS y ANAB.

Información para los autores

La revista TECNOCULTURA es un órgano de difusión del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (TESE); su publicación es cuatrimestral, el objetivo principal es la divulgación del pensamiento y los avances científicos, tecnológicos y humanísticos, ya sea que se generen en las diferentes áreas académicas del TESE o de origen externo, pero que puedan ser de interés general.

La información podrá presentarse en forma de artículo, ensayo, reportaje, reseña, traducción o monografía, incluyendo trabajos de divulgación. Los artículos deben ser producto de investigaciones de elevado nivel académico, contribuir al conocimiento en su materia y ser inéditos en español. Igualmente, las conferencias o presentaciones deberán adaptarse para su edición escrita. En todos los casos, se buscará que su contenido sea ameno y novedoso.

Se recomienda una extensión máxima de 10 cuartillas a doble espacio, incluyendo cuadros, notas y bibliografía. Deberá entregarse un archivo electrónico y una copia impresa, en tamaño carta, en letra Times New Roman de 12 puntos, con márgenes de 2.5 cm. por lado. De preferencia utilizar Microsoft Word, guardando el documento con la extensión .doc. Los materiales serán evaluados por el Consejo Editorial de la revista.

El lenguaje debe ser accesible a estudiantes de licenciatura, sin perjuicio de la información científica o académica contenida en el artículo. Cuando sea necesario el uso de tecnicismos, deberá explicarse su significado con la amplitud necesaria. Se recomienda la inclusión de recuadros que aclaren el significado de conceptos de difícil comprensión.

Dentro de lo posible, se evitará el uso de fórmulas y ecuaciones. Los artículos pueden tener subtítulos o incisos y un resumen introductorio, no mayor de cinco líneas, que atraiga el interés del lector.

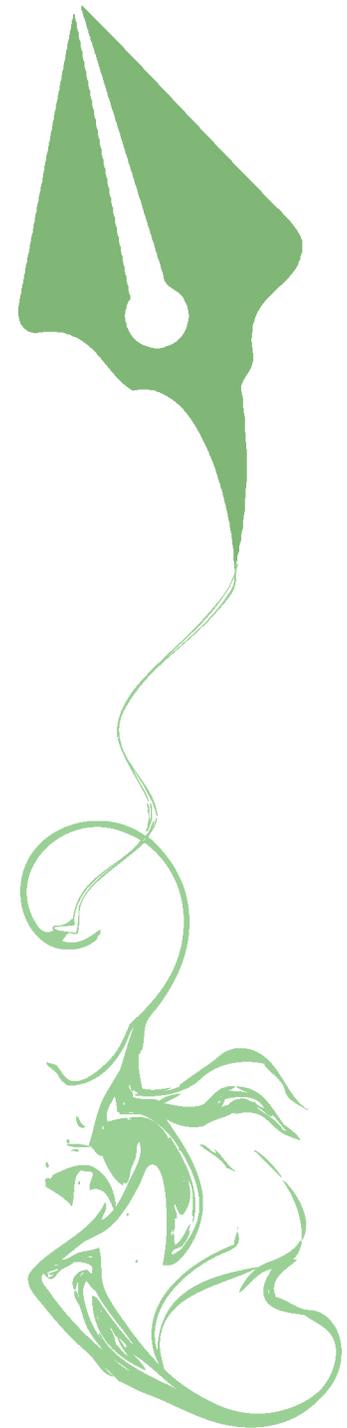
Para las citas o referencias bibliográficas que aparezcan en el texto, se utilizará el sistema Harvard; deben ir entre paréntesis, indicando el apellido del autor, fecha de publicación y número de página(s). Ejemplo: (Sánchez Vázquez, 1991: 114-122). Dichas referencias bibliográficas se mencionarán completas al final del documento. Se debe revisar cuidadosamente que no existan omisiones ni inconsistencias entre las obras citadas y la bibliografía. Las obras de un mismo autor, se enlistarán en orden descendente por fecha de publicación (2004, 1999, 1987, etcétera). No deben integrarse notas o citas mediante alguna instrucción del procesador de palabras que las incorpore automáticamente al pie de texto o al final de la página.

Deberán incluirse por separado los archivos correspondientes a las ilustraciones o fotografías que acompañen el artículo, indicando debidamente el lugar donde habrán de insertarse. El formato será TIFF o JPG con una resolución de 300 ppp. Las gráficas, esquemas, figuras, cuadros y similares se deben elaborar en computadora a línea, sin pantallas, o dibujos en tinta china sobre papel albanene, con buena calidad (no fotocopias). Los autores recibirán las pruebas de planas de sus artículos, con la debida anticipación para su visto bueno.

Para fines de registro, se solicita anexar una hoja que contenga datos del autor como nombre, grado académico, institución de procedencia, domicilio, teléfono, dirección electrónica y fax.

Los trabajos que se propongan para ser publicados en TECNOCULTURA deben enviarse a:

Editor TECNOCULTURA
Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec
Unidad de Relaciones Públicas y Difusión
Av. Tecnológico s/n, esq. Av. Carlos Hank González (Av. Central)
Col. Valle de Anáhuac, Ecatepec de Morelos,
Estado de México, C.P. 55210
Tel. 50 00 23 14
correo electrónico: difusion@tese.edu.mx



GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR Y SUPERIOR

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ECATEPEC

CONSEJO EDITORIAL

URIEL GALICIA HERNÁNDEZ
ALFONSO MARTÍNEZ REYES
ÁLVARO GÓMEZ CARMONA
FCO. ALFONSO DE JESÚS CASTAÑEDA SILES
JORGE ROJAS SÁNCHEZ

REVISTA TECNOCULTURA

DIRECTOR
URIEL GALICIA HERNÁNDEZ

EDITOR
MARÍA ISABEL ARROYO PÉREZ

CORRECCIÓN DE ESTILO
RAFAEL ORTIZ HERNÁNDEZ

DISEÑO Y FORMACIÓN
JOSÉ FRANCISCO DÍAZ PANTALEÓN



GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN
SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR Y SUPERIOR
TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ECATEPEC



En portada



Ingeniería Mecatrónica.
Diseño: José Francisco Díaz Pantaleón

Tecnocultura, revista de divulgación del conocimiento científico, tecnológico y humanístico del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Año 7, No.18, enero - abril de 2008. Número de autorización del Consejo Editorial de la Administración Pública Estatal CE:205/5/60/07. Edita y distribuye la Unidad de Relaciones Públicas y Difusión, domicilio: Av. Tecnológico (antes Valle del Mayo) s/n, Col. Valle de Anáhuac, C.P. 55210, Ecatepec, Estado de México. Teléfono 50 00 23 14. Correo electrónico: difusion@tese.edu.mx. Impreso en noviembre de 2007. Imprenta: Impresores Nasaka, S.A. de C.V., domicilio: Paseo Tollocan No. 802, Col. Residencial Colón, Toluca, Estado de México. C.P. 50120. Tel.: 017222142014

Número de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor de la Secretaría de Educación Pública: 04-2006-090109555900-102, ISSN: 1870-7157. Certificados de Título y de Contenido en trámite. Se imprimen 1000 ejemplares. Se autoriza la reproducción total o parcial del material publicado en *Tecnocultura*, siempre y cuando cite la fuente. Los artículos son responsabilidad de los autores.

eeditorial



En los últimos años, se ha planteado la necesidad imperiosa de llevar las nuevas tecnologías a los salones de clase, hecho que nadie con un mínimo de sensatez le pondría a discusión como una prioridad; no obstante, el asunto debe ser abordado con sus debidas reservas y a partir de un análisis que incluya la evaluación profunda de los actuales sistemas de enseñanza escolarizada, así como la disponibilidad, viabilidad y nivel de obsolescencia de los equipos que pudieran adoptarse para el mejoramiento del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Incorporar elementos como pizarrones interactivos, equipos de cómputo, videoproyectores digitales, etcétera, implica, independientemente del monto de la inversión, un replanteamiento de las técnicas tradicionales aplicadas en la impartición de cátedras, un nuevo esquema de participación y evaluación del alumno, una revisión de los contenidos teóricos y prácticos de las asignaturas, además de un nuevo esquema respecto al rol del profesor como guía y transmisor del conocimiento.

Pero no es sólo a través de la tecnificación de las aulas como se puede llevar la educación hacia un horizonte más congruente con los avances científicos y tecnológicos, sino que también se logra con el establecimiento de bibliotecas virtuales, la impartición de clases y cursos vía Internet, y mediante programas interactivos para aplicaciones en lap top o teléfonos celulares con capacidad para conectarse a la red, aspectos que incluso pudieran hacer factible la desaparición del modelo presencial o escolarizado de la enseñanza.

El tema, como puede apreciarse, requiere de la participación de expertos en cada rubro, así como del consenso de las instituciones de educación, en sus diferentes grados, a fin de establecer los parámetros que habrán de regir en la educación durante los próximos años.

Y ya que hablamos de nuevas tecnologías, en este número el lector encontrará un artículo vinculado con la mecatrónica, referente al diseño y aplicación simulada de un microcontrolador digital de señal (dsPIC), el cual tiene amplio potencial de uso en el campo del procesamiento de señales digitales analógicas, cuya cualidad es el bajo costo y capacidad de 16 bits de velocidad. En este trabajo se ejemplifica su uso como controlador de audio y para la regulación de velocidad de un motor de corriente continua.

De igual forma, se incluye un trabajo de investigación acerca del impacto que han tenido las tecnologías de la información en el desarrollo del entorno tecnológico que actualmente vivimos, y que el autor atribuye esta evolución gracias a los avances en tres ramas fundamentales: los dispositivos semiconductores, los sistemas de cómputo y los protocolos de comunicaciones, respecto a los cuales realiza un resumen histórico desde su origen hasta nuestros días.

Finalmente, en esta edición se da a conocer el resultado de un estudio en el que se analizó la aplicación de un controlador PID para el manejo de la temperatura de una incubadora avícola. El trabajo incluyó la realización del diseño, modelado y análisis de los parámetros fundamentales del controlador; sobre el cual se muestra el desarrollo y fundamentación matemática, así como el modelo experimental de incubadora.

Contenido

4



Diseño con dsPIC de la familia 30F para el control de un sistema mecatrónico usando Matlab-Simulink

Rogelio Francisco Antonio

Jorge Cruz Mancilla

Martín Salazar Pereyra

Alejandro Medina Santiago

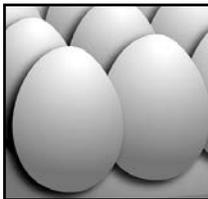
17

El impacto de las tecnologías de la información en la formación del entorno tecnológico

M. en C. Abraham Jorge Jiménez Alfaro



29



Análisis de un controlador PID para temperatura de una incubadora avícola

Rogelio Francisco Antonio

Martín Salazar Pereyra

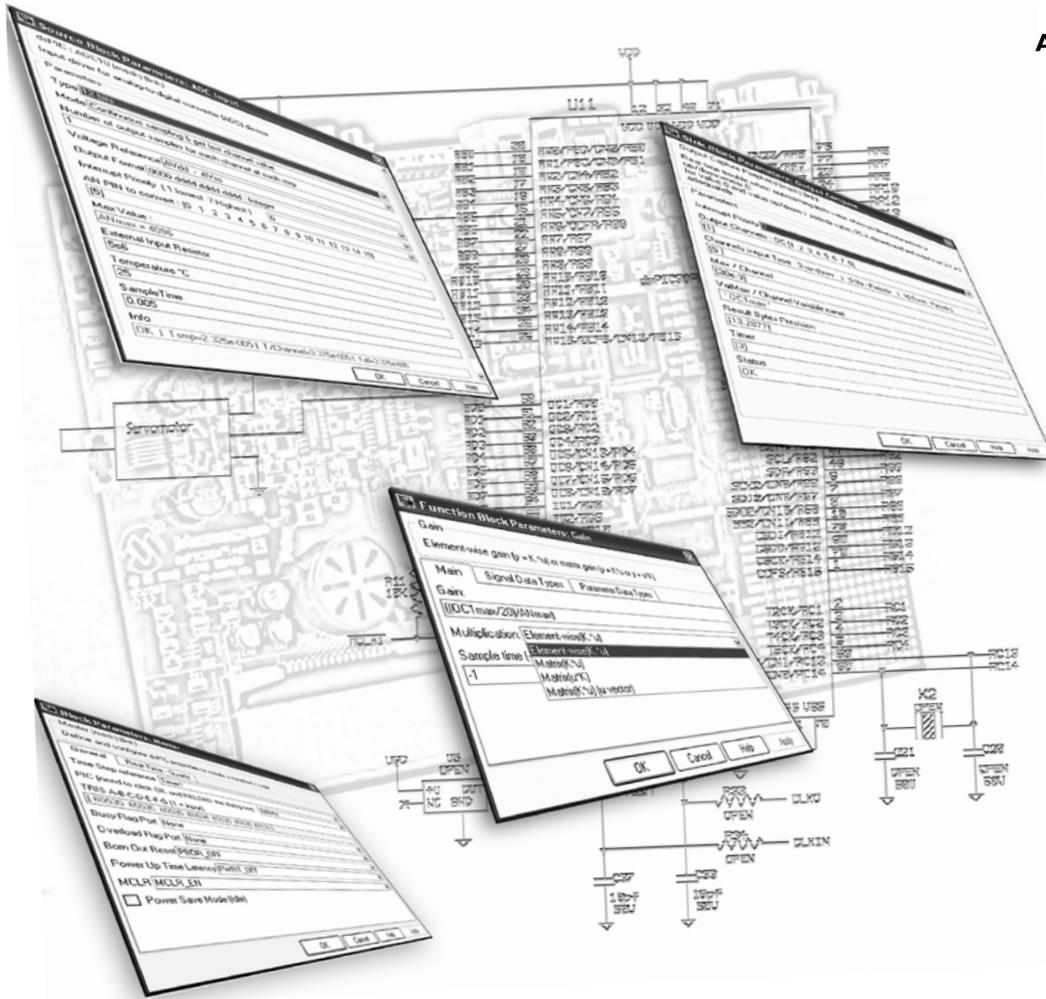
Ángel David Gómez

Tecnohumor



Diseño con dsPIC de la familia 30F para el control de un sistema mecatrónico usando Matlab-Simulink

Rogelio Francisco Antonio*
Jorge Cruz Mancilla*
Martín Salazar Pereyra
Alejandro Medina Santiago



Resumen

En este trabajo se diseña y simula un sistema de control que se implementa sobre un dsPIC de Microchip (dsPIC 30f6014a). Simulink compila el diseño creando un archivo en lenguaje ensamblador, que automáticamente lo integra y produce un archivo hexadecimal, el cual es grabado en el dsPIC a través del puerto ICSP.

Palabras clave: dsPIC, control, Simulink, PWM.

Introducción

En este artículo se presentan los logros alcanzados para el diseño y simulación de sistemas de control embebidos en el entorno de Simulink, así como su implantación sobre la arquitectura dsPIC de la familia 30f.

El conjunto básico de bloques de función de la biblioteca dsPIC permiten configurar el tipo de dsPIC, periféricos de entrada/salida, comunicación serial, entradas/salidas digitales, etc. La compilación y ensamblado de cada diseño la ejecuta el equipo MPLAB C30 y se graba en el archivo hexadecimal generado en la memoria de programa del dsPIC, mediante el programador PIC-PROG USB por el puerto ICSP.

Los objetivos son diseñar, simular e implementar sistemas de control desarrollados en Simulink y programados en la arquitectura dsPIC (dsPIC 30F6014A), que permitirá monitorear los datos en tiempo real de las variables de entrada al dsPIC por medio de su Interface gráfica con Matlab. Pasa ello se emplea un dsPIC 30F6014A que se encuentra en la tarjeta de desarrollo dsPICDEM I.1. PLUS de Microchip.

La aplicación se lleva a cabo con la tarjeta de desarrollo dsPICDEM I.1 PLUS. El modelo se crea en el entorno de Simulink, y aquí se lleva a cabo la

configuración de los parámetros de cada bloque, el dsPIC que se utiliza, así como la forma de visualizar los datos de entrada y salida con las interfaces que se tienen en las librerías hacia la PC.

El propósito es controlar la posición manual de un servomotor por medio de un potenciómetro conectado a una entrada del convertidor analógico.

I. Descripción del sistema

En el siguiente diagrama a bloques, se describe el sistema planteado en este trabajo:

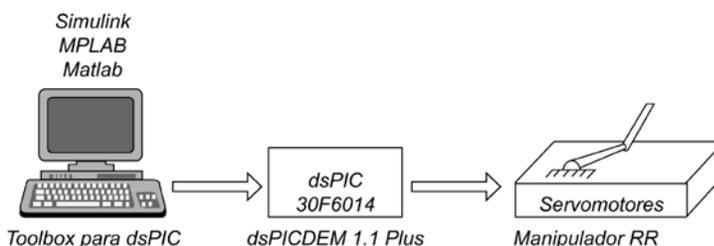


Figura I Descripción del sistema.

I.1 Compilador MPLAB C30

MPLAB C30 es un compilador optimizado que incluye extensiones del lenguaje para aplicaciones de control embebido para los dsPIC. Compila archivos C y produce archivos en lenguaje ensamblador, que al ser ensamblados producen el código hexadecimal, el cual es grabado en el dsPIC con el del programador PIC-PROG USB a través del puerto ICSP.

1.2 Controlador digital de señal dsPIC

Los dsPIC nacen después de que los DSP habían sido desarrollados durante años por otras empresas. En su creación participaron expertos y especialistas de diversas áreas, aprovechando la experiencia acumulada por otros fabricantes.

Microchip, fabricante de los dsPIC, los ha bautizado con el nombre de DSC (Digital Signal Controller), que puede ser traducido como controlador digital de señal.

Un dsPIC, es un potente microcontrolador de 16 bits al que se le han añadido las principales capacidades de los DSP. Es decir, los dsPIC poseen todos los recursos de los mejores microcontroladores embebidos de 16 bits, conjuntamente con las principales características de los DSP, permitiendo su aplicación en el extraordinario campo del procesamiento de las señales analógicas y digitalizadas.

El dsPIC30F ofrece todo lo que se espera de un DSP de su clase:

- Acumuladores de 40-bit duales.
- MAC 16 x16 de un solo ciclo.
- Registro de desplazamiento de 40-bit para el escalado.
- Bloques de registro de trabajo.
- Emulación en tiempo real.
- Optimizados para programación en lenguaje C.
- Perro guardián.

El dsPIC30F ejecuta la mayor parte de sus instrucciones en un solo ciclo (33ns a 30MIPS). Combinando este alto rendimiento con auténticas capacidades de DSP como *zero overhead looping* y la multiplicación de 16-bit en un único ciclo, se consigue tener el MCU de 16-bit más poderoso del momento.

1.3 Tarjeta de desarrollo dsPICDEM I.1 PLUS

La placa dsPICDEM I.1 PLUS, proporciona un sistema de desarrollo de aplicaciones a bajo costo, mediante el cual es muy fácil familiarizarse con la arquitectura de 16 bits de los microcontroladores de señal dsPIC.

La Figura 2 muestra una fotografía de la misma, en donde aparecen números que indican dónde se encuentra situado cada dispositivo de entrada/salida.

El número 6 indica la base para colocar el dsPIC 30F6014 o 30F6014A. Ambos dsPIC son compatibles para esta tarjeta. La única diferencia es la velocidad de procesamiento y compatibilidad con los programadores actuales.

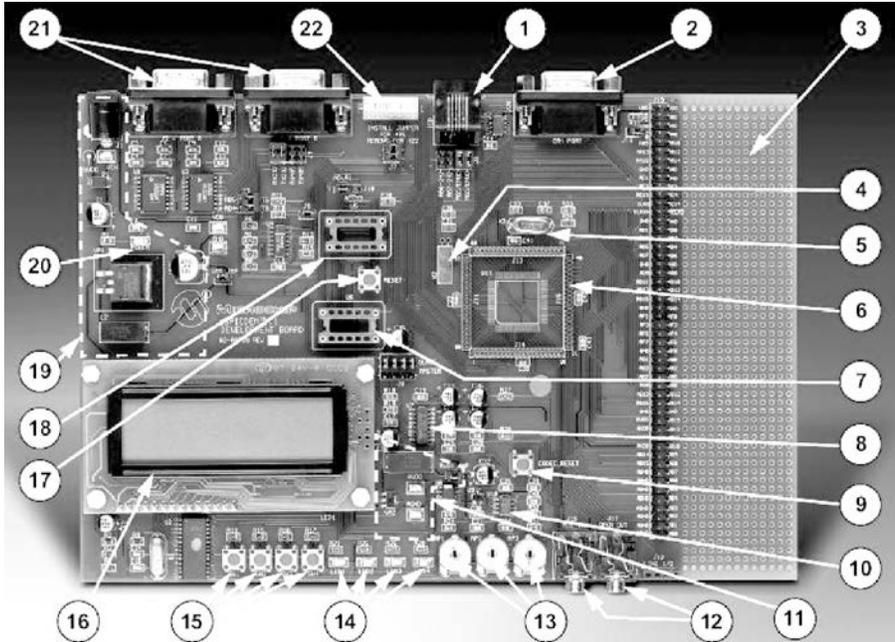


Figura 2. Tarjeta de desarrollo dsPICDEM I.I PLUS de Microchip.

La descripción de los números de la Figura 2, es la siguiente:

No	Descripción	No	Descripción
1	Conector ICD.	12	Entrada y salida de audio.
2	Puerto CAN.	13	Potenciómetros o resistencias variables analógicas.
3	Área para prototipos.	14	Diodos emisores de luz Leds.
4	Oscilador X1.	15	Interruptores de botón.
5	Oscilador X2.	16	Display grafico de 16 líneas.
6	Base para el dsPIC30f6014a.	17	Switch de reinicio.
7	Base para reloj externo para el SI3000.	18	Base para oscilador de cristal.
8	Códec SI3000.	19	Regulador de voltaje de la tarjeta.
9	Switch de reinicio de códec SI3000.	20	Indicador de luz de encendido
10	Sensor de temperatura.	21	Puerto serial RS-232
11	Regulador de voltaje AVDD.	22	Puerto RS-485/ RS-422

Una descripción mediante un diagrama a bloques de la tarjeta dsPICDEM I.1 PLUS, nos muestra cómo se comunican los diferentes dispositivos con el dsPIC 30F6014A instalado. En la Figura 3 se puede observar que se tienen dispositivos de entrada, como el controlador de audio Si3000 por el canal de comunicación DCI; además de contar con un canal para conversión de analógico a digital de 12 bits (ADC), en donde tres potenciómetros están conectados a las entradas AN4, AN5, AN6, sin olvidar que el sensor de temperatura está conectado a AN8. Los dispositivos de salida son los cuatro diodos emisores de luz (Leds), conectados al puerto de salida RD0 a RD3 y por último el canal SPI, conectado al controlador para el display gráfico.

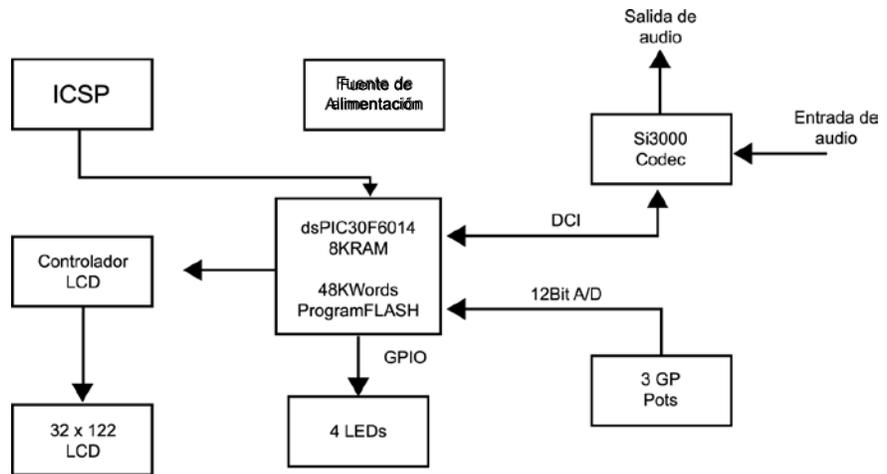


Figura 3. Diagrama a bloques interno de la tarjeta dsPICDEM I.1 de Microchip.

El elemento más importante de esta placa es el Codec Si3000, el cual permite la captura y digitalización de señales de voz de la entrada de micrófono y la conversión de señales digitales a analógicas para excitar unos altavoces. Todas las actividades planteadas para el estudio de la implementación de sistemas digitales se incluyen en el Codec, ya que este elemento es el que permite introducir una señal del exterior del sistema y generar una señal analógica como salida del sistema, siendo implementado el algoritmo de procesamiento de señal en el dsPIC, en el punto intermedio entre la entrada y la salida del Codec.

1.4 DESCRIPCIÓN DEL MODELO DEL PROTOTIPO

La figura muestra el esquema de control de velocidad de un motor de corriente continua utilizando un dsPIC. El dsPIC controla el convertidor (transistores de potencia) que alimenta al motor a través de una salida PWM. La señal de velocidad proporcionada por un dinamo taco métrico o por medio de un encoder acoplada al motor, es realimentada a través de un convertidor A/D al dsPIC.

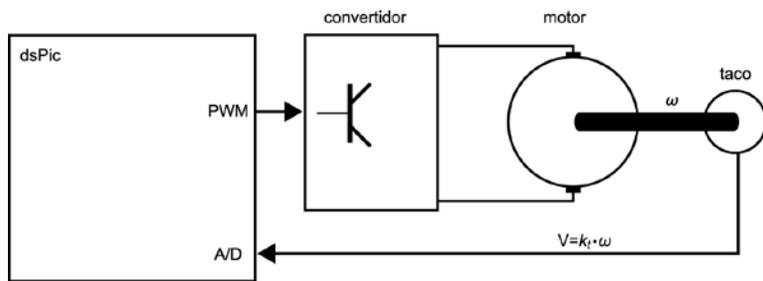


Figura 4. Sistema de control retroalimentado con dsPIC.

El diagrama a bloques del control está representado en la Figura 5.

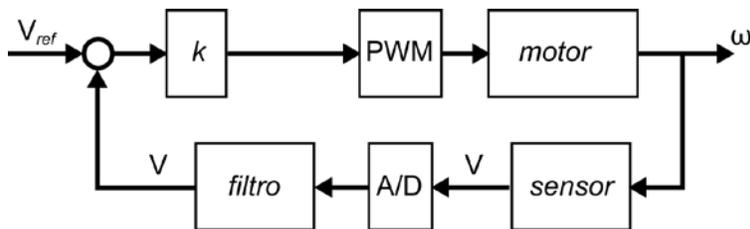


Figura 5. Diagrama a bloques del control de un sistema retroalimentado.

El sistema macatrónico que se va a implementar es un manipulador de dos grados de libertad con servomotores, para que trabajen en forma automática y se puedan manipular y monitorear desde Matlab y Simulink.

2. Descripción del desarrollo

El proceso inicia con Matlab-Simulink, donde se crea un nuevo modelo y ejecutando los siguientes pasos:

1. Abrir el conjunto básico de bloques de función de la biblioteca dsPIC.
2. Agregue el bloque MASTER al modelo.
3. En el menú del modelo que se está realizando, dé un clic en Simulation, y elija configuration Parameters.
4. Seleccione Real Time Workshop, y en el campo System target file busque el archivo dsPIC.tlc.
5. Configure el campo Make command: make_rtw y Template makefile: dsPIC_pic30_gcc.tmf.

Configure el tipo de dsPIC dando doble click en MASTER.

1. En la ventana General elegir el campo PIC y buscar el pic, en este caso es el 30F6014A.
2. En el campo MCLR: MCLR_EN
3. En la pestaña Real Time-Quart, asignamos al campo Number Instructions Per Second: 4000000, y al campo Oscillator mode: XT_PLL4.

Este es el paso más importante para la configuración correcta del modelo. Una vez terminado lo anterior, se desarrolla el diseño como cualquier otro, cuidando los formatos de datos de entrada y salida de cada bloque, ya que existen boolean, double, single, int8, uint8, int16, uint16, int32, uint32.

2.1 Diagrama a bloques en Simulink

A continuación se describe el diagrama a bloques realizado en Simulink.

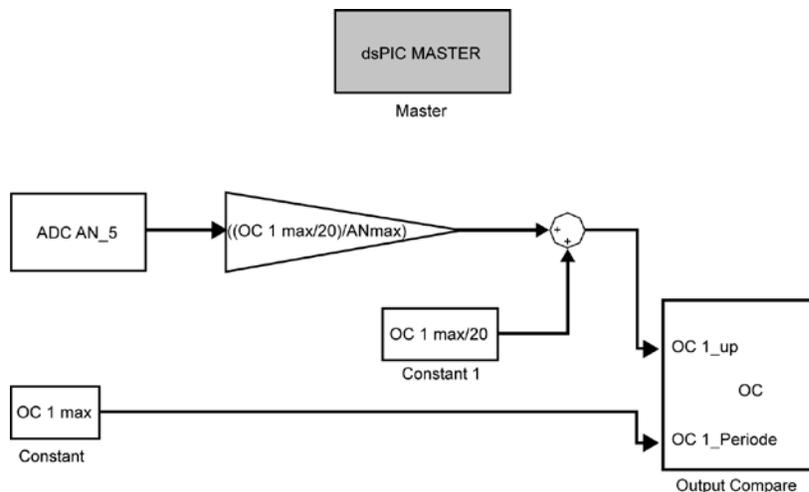


Figura 6. Diagrama a bloques en Simulink del sistema de posición manual.

La construcción del modelo se lleva a cabo con los siguientes datos:

1. ANmax= 0 a 4096, valores obtenidos con la resolución del convertidor analógico digital de 12 bits. Es decir $2^{12}=4096$.
2. OC1max interno en el dsPIC=10000.
3. Constant1 = $OC1max/20 = 500$.
4. Ganancia= $(OC1max/20)/ANmax = 500 / (0 a 4096)$.
5. El valor de entrada para OC1_Up es desde 1000 y baja a 500.
6. El valor del periodo de entrada a OC1_Periode= 10000.
7. El bloque de comparación presenta dos estados:
 - Cero (0): cuando el valor Up/down supera el valor del periodo
 - Uno (1): cuando el valor Up/down es inferior al valor del periodo.

De esta forma, se genera la señal PWM, que es aplicada al control del servo motor. En el circuito eléctrico del sistema, el valor de entrada al convertidor digital analógico es por ADN_AN5, que es la entrada analógica número 5 del dsPIC 30F6014A (Pin número 15). La salida PWM es por el canal de comparación 1 del puerto RD0, pin número 58 del dsPIC 30F6014A.

2.2 Bloque dsPIC Master

La Figura 7 muestra la configuración más importante en la construcción de un modelo de un sistema de posición manual usando las librerías dsPIC.

En la pestaña general seleccione:

- El dsPIC que va a usar (en este caso el dsPIC 30F6014)
- El timer uno como base de tiempo en el modelo. Definido previamente en la configuración de Simulink como 5ms.
- Habilite MCRL=MCRL_ENABLE

En la pestaña Real time-Quartz seleccione:

- Indique el numero de instrucciones por segundo = 4000000 para el dsPIC 30F6014.
- El tipo de oscilador es XT_PLL4.
- La configuración de los timer es por default -1

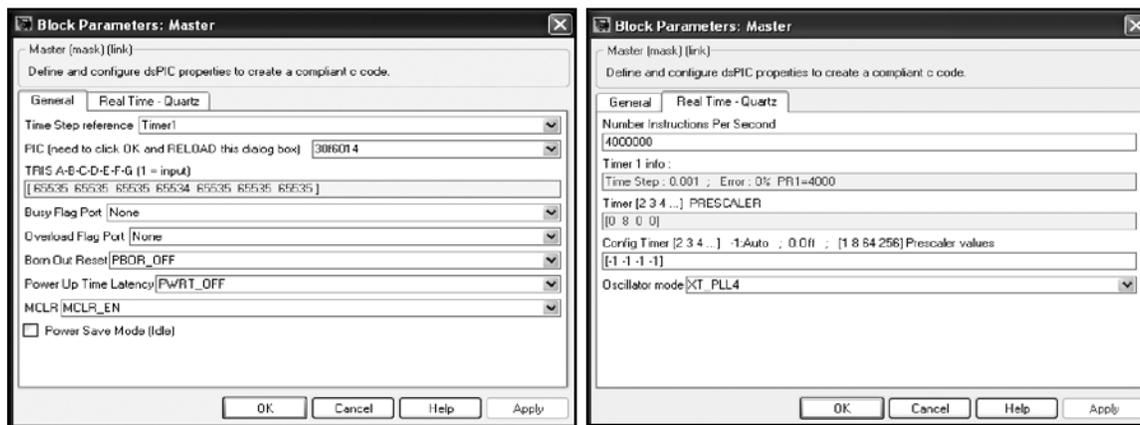


Figura 7. Configuración del bloque dsPIC MASTER para el dsPIC30F6014.

2.3 Bloque ADC_Input

El bloque ADC_Input lee una o más entradas seleccionadas. Para cada canal puedes leer una muestra (resultado escalar) o más muestras (resultado vectorial) en un solo escalón de tiempo. El resultado está en formato con signo o sin signo y además fraccionario o entero. El voltaje de referencia en el pin de entrada es configurable con 12 bits y esta depende del dsPIC que utilice. La Figura 8 muestra los parámetros del bloque ADC_Input.

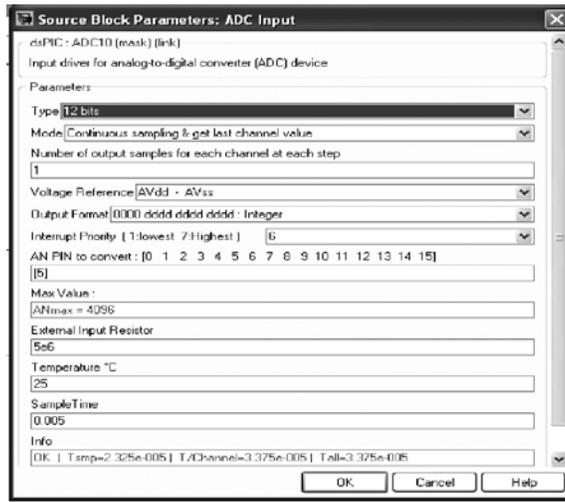


Figura 8. Configuración del bloque ADC_Input.

La configuración de este bloque permite introducir datos al dsPIC, por medio del convertidor analógico digital.

Type: muestra la resolución del ADC y que depende del dsPIC que se utilice. En nuestro trabajo se usa el dsPIC 30f6014a con 12 bits; con esto los valores de conversión van desde 0 hasta 4096 valores binarios diferentes.

Mode: seleccionamos *continuous sampling and get last channel value*, que significa muestras continuas y último valor del canal usado. Escogemos este método porque da el mínimo tiempo de retraso entre el fin de la conversión y los cálculos usando estos valores.

Voltage Reference: elegimos AVdd – AVss por las características de la tarjeta de desarrollo dsPICDEM1.1 Plus.

AN PIN to converter: terminal de entrada del convertidor analógico digital del dsPIC. En nuestro caso escogemos AN_5.Pin número 15 del dsPIC.

2.4 Bloque Output Compare

El bloque comparación de salida permite generar impulsos PWM. Para cada canal de captura se escoge un timer automáticamente y se coloca en la máxima resolución. La configuración del timer es puesta para generar la frecuencia con un máximo de pulso de duración que uno asigne. La Figura 9 muestra el bloque con los parámetros del bloque de comparación de salida.

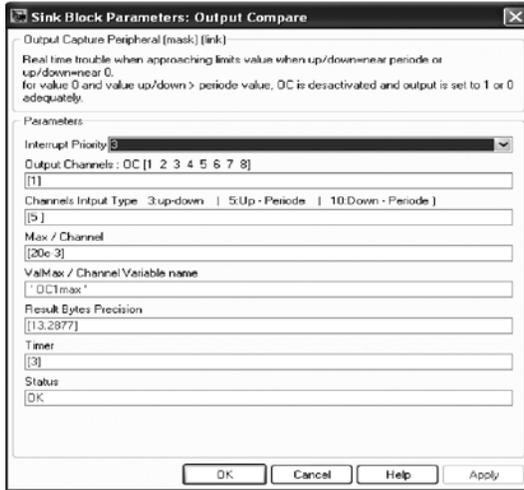


Figura 9. Bloque de parámetros del comparador de salida.

Los parámetros que se configuraron en este bloque son los siguientes:

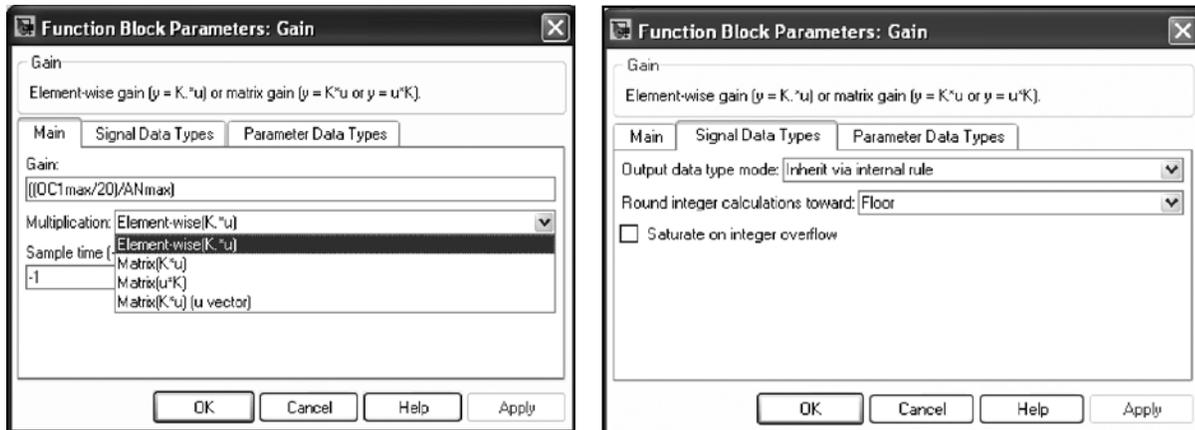
Interrupt Priority: 3, se selecciona este valor para interrumpir y capturar cada tres veces.

Output Channel= 1, canal de comparación de salida 1, del puerto RD0 pin 58 del dsPIC 30F6014A.

Channel Input type: 5, tipo de canal de entrada, para este caso es el tipo de datos que vamos a extraer: 5 significa pulso de duración y periodo.

2.5 Bloque de ganancia

Para este bloque, lo más importante es saber que el valor de entrada al convertidor analógico digital se multiplica por la ganancia y que ésta debe tener los campos configurados como se muestra en la Figura 10.



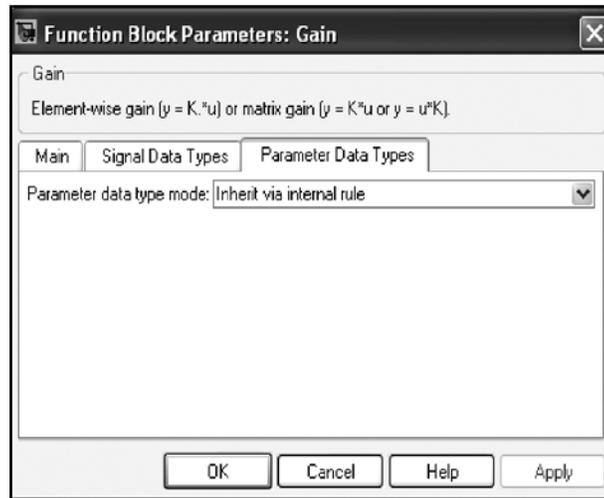


Figura 10. Configuración de los parámetros de gain.

3. Resultados

La compilación del proyecto Servo_ADCPRUEBA1, genera los siguientes archivos de la Figura 11.

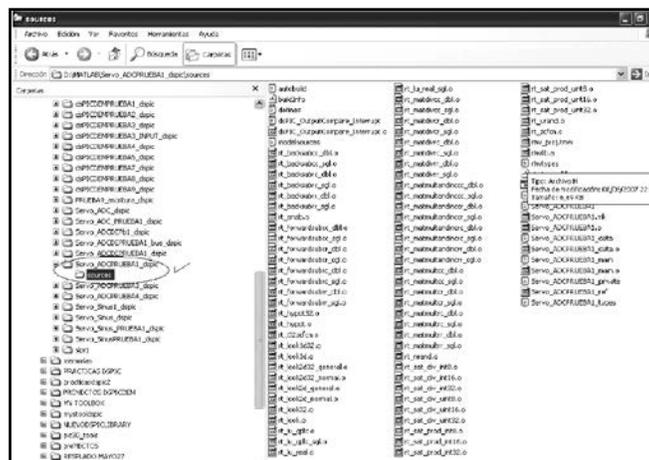


Figura 11. Archivos generados en la compilación del proyecto Servo_ADCPRUEBA1

PRUEBA1

Se genera a través del ensamblador que contiene MPLAB C30, el archivo hexadecimal (.hex) que se graba en el dsPIC 30f6014a, además del archivo .cof, estos archivos del proyecto Servo_ADCPRUEBA1 los podemos ver en la Figura 12.

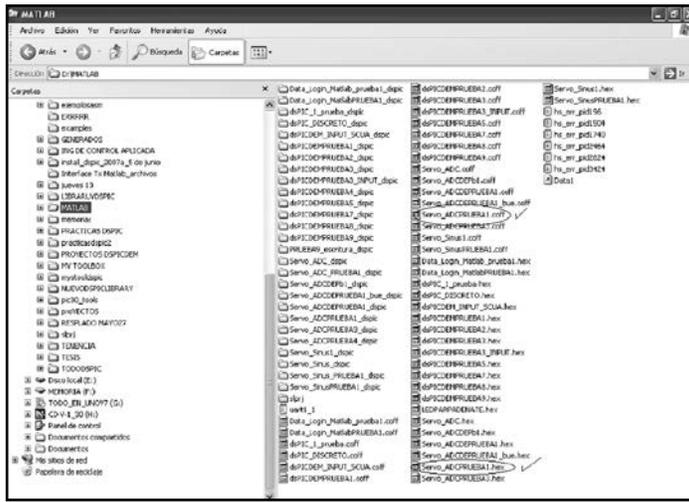


Figura 12. Archivos .hex y .cof generados después de la compilación.

La grabación del archivo hexadecimal como parte final del proyecto, es a través del programador PIC-PROG USB, mediante programación serial por medio del puerto ICSP del programador.

El programa para hacer la interface entre la PC y el programador, es llamado PIC-PROG USB EDUTRONICA REV 1.9. La Figura 13 muestra el tipo de dispositivo detectado por el programador.

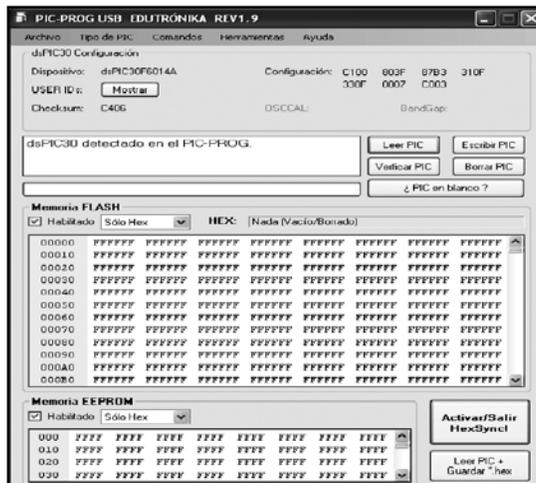
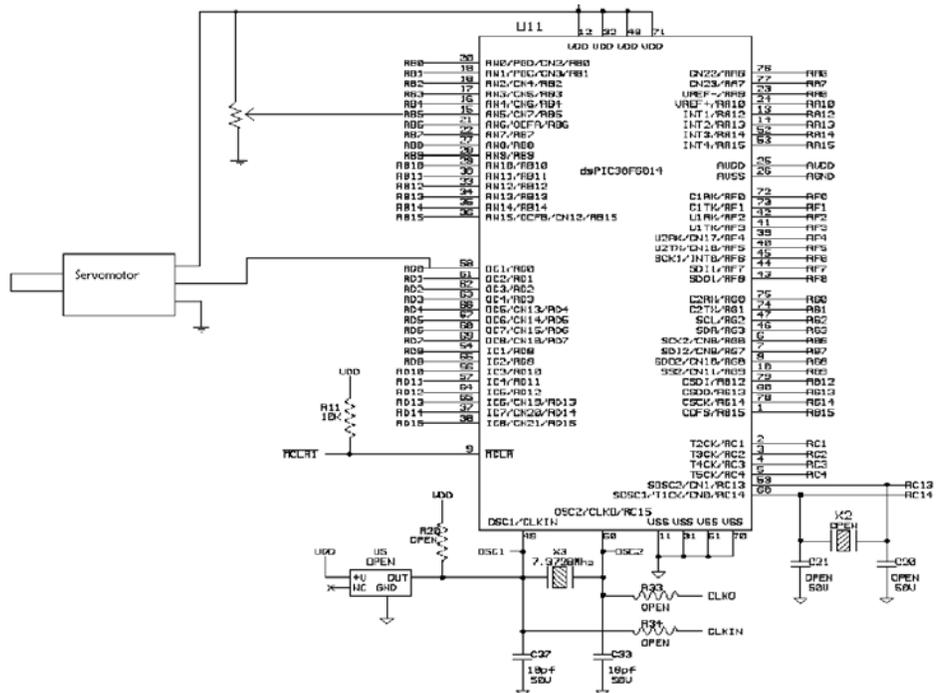


Figura 13. Vista general del programador PIC-PROG-USB.

Una vez que se llega a esta etapa de la programación, se busca el archivo hexadecimal generado en la etapa de compilación y ensamblado, se escribe en el dsPIC 30F6014A y listo, el controlador digital de señal opera de forma automática la aplicación que se le grabó en su memoria flash. Como último paso, se debe conectar el servomotor al dsPIC 30F6014A de la tarjeta de desarrollo dsPICDEMI. I Plus, como se observa en la Figura 14.



Referencias...

Angulo Usategui, J. M. 2006. Microcontroladores avanzados dspic. Controladores digitales de señales. Arquitectura, programación y aplicaciones, Madrid:Thomson.

Microcontroladores dsPIC, Diseño práctico de aplicaciones, Madrid: Mc Graw Hill.

Ogata, K. 1998. Ingeniería de Control Moderno, 3a.ed. Madrid: Prentice-Hall,

Chen, C.T. 1999. Linear System Theory and Design. 3a. ed. New York: Oxford University Press.

Hocking, L.M. 1997. Optimal Control, An Introduction to the Theory with Applications, 2a. ed. Oxford: Clarenton Press.

Figura 14. Diagrama final del control de posición manual de un servomotor implementado en Matlab y Simulink.

Conclusiones

Los resultados obtenidos se pueden resumir en tres etapas: la primera es la instalación de la biblioteca dsPIC para sistemas embebidos en el Toolbox de Simulink; la segunda, es la configuración adecuada de los parámetros de la tarjeta de evaluación dsPICDEM I.1 PLUS que contiene al dsPIC30F6014A y la tercera, es la construcción, configuración y compilación adecuada de modelos desarrollados en Simulink con los bloques de función de la biblioteca dsPIC.

Por lo tanto, el trabajo realizado hasta ahora permite vislumbrar avances importantes en el diseño de sistemas embebidos con arquitectura dsPIC.

El impacto de las tecnologías de la información en la formación del entorno tecnológico

M. en C. Abraham Jorge Jiménez Alfaro*



Resumen

La disponibilidad de información con bajo costo relativo, en cualquier momento y en cualquier lugar, ha propiciado que se identifique a la nuestra como la “sociedad de la información”, la cual está evolucionando hacia la “sociedad del conocimiento”. Diversos estudios indican que la dinámica de la innovación tecnológica ha crecido en forma exponencial durante los últimos cincuenta años, impulsada aparentemente por los avances sustanciales y continuos en las tecnologías de la información (TI). Este es y será, tal vez, uno de los fenómenos más importantes y de mayor impacto en las décadas por venir. La prospectiva indica que en algunas décadas se dará la convergencia absoluta de las TI. De esta manera, parece muy probable que el continuo avance de tres tecnologías fundamentales: los dispositivos semiconductores (S), los sistemas de cómputo (C) y de los protocolos de comunicaciones (P), con sus diferentes impactos, transformará definitivamente la vida del ser humano, sus organizaciones y sus sociedades. El fenómeno plantea la problemática y la necesidad de generar un sistema de adaptación individual y colectiva que sea capaz de responder adecuadamente ante la dinámica de los cambios.

Acerca del autor...

* Doctor del Centro Interdisciplinario de Posgrados Investigación y Consultoría, CIP. Profesor del Posgrado en Ingeniería en Sistemas Computacionales, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.

Introducción

El cambio tecnológico ha sido el propulsor de la situación que hoy día guarda el sistema socioeconómico y político mundial, y se le atribuyen los diversos impactos que se perciben en las organizaciones y los individuos. En sus trabajos sobre los ciclos económicos, Modelski (2001) señala que la onda núm. 19 de Kondratieff, dio inicio con la aparición de Internet a finales de los setenta y que llegará hasta el año 2020, cubriendo el promedio de cincuenta años que toman los ciclos de innovación. A todas luces, parece que mientras perdure este ciclo económico, el desarrollo tecnológico de las comunicaciones será impresionante, dando lugar a sistemas muy sofisticados, los cuales serán generados con la aparente intención de mejorar el nivel de vida de los individuos, pero dando lugar, también, a una gran acumulación de capital que aumentará los niveles de pobreza.

Esta contradicción es muy clara, Dubois (1998) considera que en el desarrollo de la economía global intervienen tanto las tecnologías como las ideologías, por lo que en un nuevo mundo global será necesario eliminar la marginación del hombre y respetar la naturaleza. El problema es que las innovaciones que no respeten estos principios, no darán paso a una revolución, sino a una involución.

La era de la información se reconoce como tal a partir del descubrimiento del transistor por los laboratorios Bell en 1951, ya que durante las décadas siguientes, las diversas tecnologías relacionadas con el uso de los dispositivos semiconductores para el manejo de las comunicaciones sufrieron una evolución extraordinaria y constante. En un principio, la ola de innovación se dio en el

hardware de los sistemas, lográndose sistemas muy poderosos y eficientes a partir de la integración de los procesadores, las memorias y los periféricos. Aunado a esto, se creó el software para un sistema operativo de alta eficiencia y confiabilidad, el cual estuvo disponible en diversas versiones a finales del siglo XX. Por otra parte, el incremento en el negocio de las empresas que ofrecían el servicio de transporte de señales telefónicas, *carriers*, propició la generación de software especializado en comunicaciones.

Las diferentes versiones de este software, son conocidas como “protocolos de comunicación”. Los protocolos permitieron el establecimiento de redes de computadoras usadas inicialmente con fines bélicos y posteriormente para facilitar y mejorar el manejo de datos, imágenes y audio a través de los multimedios, empleando redes de comunicación satelital con medios de transmisión de fibra óptica de banda ancha. Este nuevo esquema disminuyó los costos de las comunicaciones y mejoró la calidad del servicio.

La evolución de los dispositivos electrónicos

El transistor y los circuitos de alta escala de integración

La primera versión del bulbo o válvula electrónica de vacío, fue patentada en 1904 por Fleming. Dos años más tarde, fue mejorado y patentado por Lee de Forrest, en su versión de triodo. Este dispositivo fue aplicado en una gran diversidad de aparatos, destacando los grandes sistemas de conmutación telefónica y los de radar, tan exitosos en la

Segunda Guerra Mundial. El transistor, a su vez, fue el resultado de un proyecto de investigación y desarrollo que buscaba un sustituto para las distintas versiones de bulbos.

El propósito de la investigación fue obtener dispositivos que requirieran menor consumo de potencia en su operación, ya que los sistemas de conmutación telefónica de la época demandaban grandes cantidades de kilowatts, lo que hacía muy costosa su operación. En menos de diez años, los transistores de silicio y de germanio habían reemplazado a los bulbos en casi todas sus aplicaciones.

En la década de los cincuenta, se presentó un problema muy serio en la manufactura de circuitos electrónicos que usaban transistores para diversas aplicaciones: su alambrado e interconexión. Este problema se convirtió en un factor básico que afectaba el costo y la confiabilidad de los equipos. Así fue como se hizo necesario el desarrollo de un circuito integrado monolítico.

Sorprendentemente, llevar a la práctica la idea de integrar varios transistores en un solo semiconductor tomó trece años. El circuito integrado fue inventado independientemente y en paralelo por Jack Kilby, de Texas Instruments, y por Robert Noyce, de Fairchild, en 1958 (Smith y Antoniadis, 1990).

Los fabricantes de semiconductores evaluaron rápidamente la potencialidad de la invención, por lo que en 1964, Gordon Moore, quien fue uno de los fundadores de Intel en 1968, predijo que la densidad de integración de circuitos se duplicaría cada año. Esta predicción resultó ser muy exacta, por lo que después sería considerada como la Ley de Moore.

A partir de entonces, se establecieron fábricas de semiconductores basados en el silicio. Para finales de los años sesenta, estaban listos los circuitos de “gran escala de integración” (Large Scale Integration, LSI).

A finales de los setenta, los fabricantes ya contaban con circuitos de “escala de integración muy grande”, (Very Large Scale Integration, VLSI), y a finales de los ochenta, con dispositivos de la llamada ultra alta escala de integración (Ultra-Large Scale Integration, ULSI, por sus siglas en inglés). Los chips ULSI son hoy día los módulos de construcción básica de todos los dispositivos electrónicos modernos, tales como radios, televisores, sistemas de telefonía, radares, computadoras, y en general, productos electrónicos caseros e industriales.

El objetivo central del avance tecnológico en semiconductores, era disminuir los requerimientos de potencia en las nuevas aplicaciones, lo cual se cumplió a plenitud, además de que se ahorró espacio y disminuyeron los costos de fabricación. En la Figura 1 se muestra la evolución de los procesadores en términos de la capacidad de transistores que tiene cada oblea semiconductora o chip.

A finales de los años ochenta y principios de los noventa, el problema de espacio y consumo ya se había resuelto, pero las empresas buscaron nuevas formas de optimización de los dispositivos electrónicos. La naturaleza del proceso del desarrollo de semiconductores cambió de manera sustancial. Recientemente, se han elaborado dispositivos que aprovechan el “efecto cuántico” basados en nuevas aleaciones de Arseniuro de Galio (AsGa), tales como el MODFET y el PRESTFET (Smith & Antoniadis, 1990).

Evolución de la memoria de acceso aleatorio (RAM)

Los computadores no hubieran podido progresar contando únicamente con la tecnología de los nuevos procesadores, también fue necesaria la evolución de los chips de memoria, por lo que los fabricantes de semiconductores participaron activamente en su creación. Un grupo de compañías japonesas, encabezadas por Hitachi, NEC y Toshiba, obtuvieron gran ventaja en el desarrollo de nuevas tecnologías de producción e invirtieron en tecnologías de integración y nuevas capacidades de manufactura. Según Iansiti (1997), un grupo de científicos e ingenieros coreanos, educados en los Estados Unidos de América, regresaron a sus países con lo último en conocimientos sobre litografía y diseño de transistores, por lo que construyeron la base tecnológica y científica que ayudó a compañías como Samsung de Corea, a ser líder en el mercado de memorias dinámicas (DRAM) a principios de los años noventa.

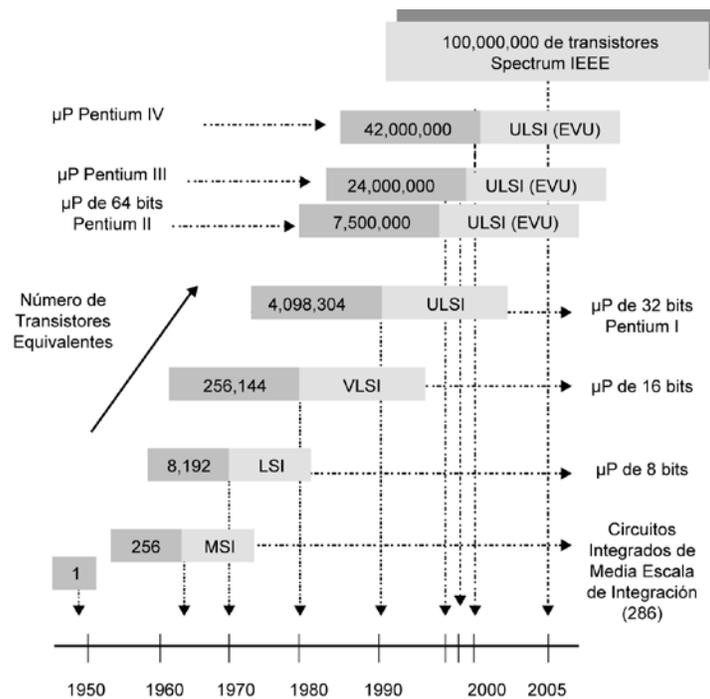


Figura 1. Evolución en el tiempo de las escalas de integración de los semiconductores.

En la Figura 2 se muestra cómo la actividad del mercado impulsó el crecimiento en la capacidad de las memorias RAM con menos de 1 MB por chip en 1988, a chips de RAM dinámica con capacidad de 32 y 64 MB en menos de una década. El costo por una instalación de tamaño mínimo para la fabricación de chips de memoria, se incrementó de 4 millones de dólares en 1971, a más de 1,200 millones en 1996, y aumentó a más de 4,000 millones en el 2001.

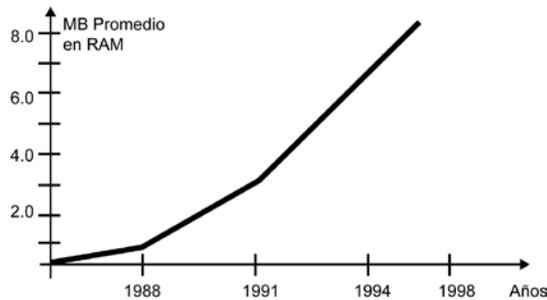


Figura 2. Crecimiento promedio del tamaño de las memorias RAM.

Evolución de la computadora

La computadora mainframe

La computadora electrónica ENIAC fue desarrollada en 1950 por la Universidad de Pensilvania, EUA. Ideada para realizar cálculos matemáticos sofisticados, en algunas décadas se convertiría en un dispositivo de cálculo de aplicación universal. Los fabricantes visualizaron un gran potencial en el mercado empresarial y pronto orientaron el hardware y software de los computadores a la ejecución de programas para aplicaciones administrativas, contables, de control de personal, control de la producción e inventarios, que requerían el manejo de grandes volúmenes de información.

Una de las primeras aplicaciones de los chips VLSI en las computadoras electrónicas, fue el desarrollo de sistemas de procesamiento de datos de tarjetas múltiples o Unidades de Procesamiento Central (CPU). Esto dio origen a la aparición en el mercado de equipos grandes y poderosos, conocidos como computadores *mainframe* de gran escala. Estos equipos en sus primeras etapas se aplicaron a la solución de tareas administrativas, sin descuidar su empleo para la investigación en las universidades e institutos. La computadora *mainframe* logró un tremendo éxito de mercado, lo que hizo a IBM una de las corporaciones internacionales más ricas y poderosas entre 1960 y 1980.

En esa época, las primeras versiones de los programas de aplicación consistían en miles de líneas de instrucciones, desarrolladas en programas poco eficientes; entonces para que los fabricantes de computadoras se mantuvieran competitivos, fue esencial desarrollar computadoras más veloces en cuanto al procesamiento de las instrucciones de sus programas.

Así inició la carrera de la velocidad de procesamiento, donde varias corporaciones se disputaban el liderazgo en esta guerra mercantil. Texas Instruments patentó en 1970 el primer microprocesador de silicio. Este dispositivo era un procesador de datos monolítico embebido en una sola oblea semiconductor, el cual sería aplicado a los sistemas de cómputo de la empresa.

El manejo de información masiva planteaba otro problema: ¿dónde y cómo almacenar los datos que se procesaban?; es decir, el asunto de la memoria temporal y fija. Las primeras memorias utilizadas en computadores híbridos fueron de ferrita magnética de baja velocidad y alto consumo de potencia. En 1969, Intel introdujo el primer chip de memoria con capacidad de almacenamiento de 1024 bits. La tecnología de semiconductores ya estaba en el mercado; sin embargo, los fabricantes de equipos de cómputo integrados tardaron un promedio de entre cinco y 10 años para asimilar las tecnologías de microprocesadores y memorias. Fue hasta mediados de los años setenta y principios de los ochenta que lograron la optimización de los primeros computadores electrónicos. Los microprocesadores usados en esas computadoras sustituyeron las tecnologías mecánicas de válvulas de vacío, de transistores e híbrida, usadas previamente.

Hacia finales de los setenta, al difundirse la aplicación de circuitos integrados de alta escala de integración, aparecieron los primeros computadores electrónicos dedicados, los cuales estaban destinados a realizar una aplicación específica. Los sistemas de telefonía de esa época son un buen ejemplo, ya que prácticamente eran computadoras digitales especializadas. Lo mismo sucedió con los sistemas de instrumentación y control, los sistemas para transmisión de radio y TV de la época, los sistemas aplicados a la medicina, la manufactura y el entretenimiento, entre muchos otros.

A principios de los ochenta, las líneas telefónicas enlazaban computadoras. Las industrias del cómputo y telefonía empezaban a entrelazarse.

La computadora personal

IBM dejó de ser el líder tecnológico en los noventa, dado que los directivos fallaron en sus pronósticos. Ellos consideraron que el futuro de la computación a escala mundial estaba en los grandes sistemas de cómputo *mainframe* de usuarios múltiples y no en las computadoras individuales. Sus pronósticos se sustentaban en la percepción del mercado que dominaban y no en un monitoreo que ayudara a predecir el futuro de las tecnologías fundamentales de los computadores. Esto es sorprendente, pues para 1975, los fabricantes de semiconductores ya habían colocado en el mercado los famosos procesadores de la serie 286.

Tomando como referencia la velocidad de los microprocesadores monolíticos de 1970, para el año 1978, la investigación y desarrollo de las empresas fabricantes de semiconductores monolíticos había logrado velocidades muy superiores. Ejemplo de esto puede verse en la velocidad del microprocesador Pentium I, que Intel puso a la venta en 1994, el cual era 12 veces mayor que la de su primer antecesor. Las computadoras personales (PC) aparecieron a finales de los años setenta, aunque inicialmente su aceptación y difusión entre las empresas y usuarios particulares fue lenta. La primera versión popular de PC, fue la basada en el procesador 286. En ella se podían correr las primeras versiones de procesadores de palabras y hojas de cálculo para aplicaciones de oficina.



Durante los ochenta, se implementaron versiones 386, 386SX, 386DX, 486S, 486DX, 486DX2. A mediados de los noventa se lanzaron al mercado internacional las primeras versiones de procesador Pentium y 586. Prácticamente cada empresa contaba ya con una PC. Hoy día existen diferentes versiones Pentium IV que trabajan a diferentes velocidades y estamos en la víspera de la aparición de equipos más poderosos.

Nicholas Negroponte (1992) pronosticaba que la tendencia para cada hogar en el futuro sería la existencia de al menos una PC y un sin número de computadoras dedicadas a controlar todas las tareas caseras, como la temperatura y el inventario del refrigerador, la optimización de consumo de combustible, entre muchas otras aplicaciones. Actualmente se están desarrollando máquinas con sentido del tacto y existe el sueño entre los investigadores que las mismas lleguen a tener sentido común y entendimiento.

Cabe señalar que la velocidad de la Unidad de Punto Flotante (FPU, Floating Point Unit) se obtiene por cálculos en los que se consideran los millones de instrucciones de punto flotante por segundo (MIPS) que pueden ser intercambiadas en las unidades de procesamiento y de memoria de una PC. Su utilidad puede verse al notar que la velocidad FPU de los procesadores 486DX2 de AMD, CYRIX e INTEL, es diferente, mientras que la de su CPU es igual en todos los casos.

Supercomputadoras aceleradas y computadoras cuánticas

El 26 de junio del 2000 la agencia de noticias Reuters, confirmó el lanzamiento al mercado de la computadora más rápida que existe hoy en el mundo, desarrollada por iniciativa del Departamento de Energía de los Estados Unidos de América. (Department of Energy's Accelerated Strategic Computing Initiative, ASCI). Esta computadora cuenta con una capacidad de 12.3 Teraflops y es utilizada para simular pruebas de armas nucleares. Una de sus características singulares es que usa *clusters* que agrupan 8,192 microprocesadores de cobre.

Esta tecnología es extraordinaria, ya que los microprocesadores comerciales conocidos, usualmente se han fabricado de aleaciones de silicio, galio y otros semiconductores. Así pues, parece que las opiniones de los expertos se han quedado cortas, porque no sólo los semiconductores impulsaron el desarrollo de supercomputadores con velocidades y capacidades insospechadas, sino también las tecnologías de microprocesadores con base en conductores. Esto concuerda con el reporte hecho por Foner y Orlando (1987), desde finales de los ochenta, sobre las investigaciones en superconductores aplicables a computadoras hiperrápidas.

Continuando con esta carrera ascendente, Batelle, en el reporte R&D Funding Forecast de enero del año 2000, indicó que IBM en Yorktown Heights NY, asignó un financiamiento de 100 millones de dólares hasta el año 2004, para la obtención de una supercomputadora paralela basada en un conjunto de procesadores con capacidad de un PetaFLOP, es decir, 100×10^{12} operaciones de punto flotante por segundo, lo que equivale a 100 teraflops.

Por otra parte, con el advenimiento de la electrónica óptica, cada vez parece más probable que en un futuro mediato se convierta en realidad lo reportado por Zeilinger, al inicio del 2000, en el sentido de que la tecnología sea conocida como “teleportación cuántica”, la cual ya ha sido probada con fotones y tendrá su mayor aplicación en los sistemas de cómputo. De hecho, en la actualidad ya existen las computadoras cuánticas experimentales.

Evolución de los sistemas operativos

Paralelamente a la evolución del *hardware* de procesamiento y memoria, que han permitido hoy día tener sistemas con capacidad de millones de operaciones de punto flotante por segundo (Mflops y Teraflops), se han dedicado miles de horas-hombre a la elaboración y optimización de los sistemas operativos y del software de aplicación. Los costos de investigación, desarrollo, equipamiento y operación han sido extremadamente elevados. Aunque las inversiones para el avance de sistemas computacionales son de alto riesgo, éste ha sido uno de los mejores negocios de los últimos tiempos. El punto fundamental que las promueve, es que las aplicaciones se pueden volver universales con una buena estrategia de mercado (García y Fernández, 2003).

La digitalización de las comunicaciones

Desde los orígenes del hombre, una de sus necesidades primordiales y de su sociedad ha sido la comunicación. Para que ésta exista, se requiere la conjunción de una serie de tecnologías, por lo que se trata de tecnologías integradas. La imprenta de tipo móvil, inventada por Gutenberg en el año 1450, fue el principal medio de comunicación por más de 450 años. Con el tiempo, se hizo necesario utilizar alguna tecnología por medio de la cual se pudieran enviar y recibir señales a través del espacio abierto.

El telégrafo, inventado por Samuel Morse en 1844, fue el primer dispositivo que usó electricidad para enviar y recibir señales, pero estaba limitado a los códigos de combinaciones de puntos y guiones. Su principal limitación consistía en la necesidad de instalar pares de alambres entre el emisor y el receptor (Volti, 1992).

La primer aplicación de las comunicaciones que aprovechó el principio de la propagación de las ondas electromagnéticas, cuya teoría fue desarrollada por James Clerk Maxwell en 1860, fue la transmisión del telégrafo inalámbrico de Guillermo Marconi en 1896.

Así también, la primera transmisión de voz por radio fue hecha por Fessenden en 1900, quien patentó su invento en 1905 y lo llamó transmisor heterodino. En 1918, Armstrong aplicó el bulbo triodo al receptor de radio y lo patentó con el nombre de superheterodino. La televisión experimental apareció en 1920. En 1936, la BBC de Londres hizo la primera transmisión de TV de “alta definición” usando un sistema llamado iconoscopio. Las primeras transmisiones de TV a color se hicieron en los Estados Unidos de América en 1954. El primer radio transistorizado estuvo disponible al público en 1955.

En nuestros días, se entiende de forma coloquial que las *comunicaciones* son el proceso de señales para la transmisión de información a distancia. En este sentido, los primeros sistemas de comunicación como el radio, la televisión, el teléfono y el video se basaban en circuitos de procesamiento de electrónica analógica, esto es, trataban a la señal de una manera análoga a su forma física. Posteriormente, la proliferación de los circuitos digitales permitió un manejo diferente para las señales de comunicaciones. La transmisión pudo realizarse a través del muestreo y codificación de la información y datos en forma de bits. Los trenes de bits codificados, según un protocolo preestablecido, se conocen como señales digitales de alta resolución. En poco tiempo, la electrónica de consumo y la industria del entretenimiento, se unieron al fenómeno de convergencia de las computadoras y las comunicaciones.

Los protocolos de comunicaciones: catalizadores de la convergencia

En los años ochenta, con la tecnología de ultra escala de integración (ULSI), aparecieron en el mercado los procesadores inteligentes o microprocesadores. La disponibilidad de este hardware era insuficiente para lograr sistemas integrales de comunicación, dado que la diversidad de fabricantes, sistemas y aplicaciones, dio origen a una diversidad enorme de protocolos propietarios.

De esta forma, los fabricantes de sistemas de manufactura, administrativos, de control, automatización y comunicaciones, disponían de sus propios protocolos en forma cerrada, lo que originó una gran lucha por el control de los mercados. Esto generó más problemas de los que resolvió, pues los usuarios tenían que navegar en una diversidad muy compleja de sistemas, que muchas veces no eran compatibles.

El concepto que resolvió el conflicto fue la normalización y estandarización de protocolos. Esto funcionó como catalizador, incentivando la innovación y finalmente dando origen a las redes de comunicación integradas. El primer resultado de los protocolos de alto impacto, fue la red internacional Internet (International Network), que es la denominación de una red de computadoras en el ámbito mundial, las cuales tienen en común el protocolo TCP/IP.

En 1964, surgió como una necesidad del gobierno de los Estados Unidos a manera de estrategia militar durante la *guerra fría*, encontrar los medios tecnológicos que permitieran establecer comunicación entre puntos geográficos distantes en época de guerra.

Para diciembre de 1969, existían cuatro nodos en la red ARPANET, desarrollada por la agencia del Pentágono ARPA (Advanced Research Project Agency). En 1972 contaban con 37 nodos, con líneas de transmisión de alta velocidad. La ventaja de la red ARPANET era que no importaba el tamaño ni el tipo de máquinas que estuvieran interconectadas, mientras cumplieran con el protocolo NCP (Network Control Protocol), que fue establecido originalmente. En esa época, diferentes fabricantes establecieron sus propios protocolos para sus redes de comunicación.

Así nacieron los estándares Ethernet, FDDI y X.25 entre muchos otros. Durante 1974, se cambió el NCP por un nuevo protocolo estándar más sofisticado, llamado TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol), cuyos inventores fueron Vint Cerf y Bob Kahn. La ventaja del mismo, era que convertiría los mensajes en cadenas de paquetes en el nodo de origen y los volvería a ensamblar en el nodo destino. El TCP/IP además podría rutear paquetes de mensajes en redes que trabajaban con protocolos diferentes.

Fue en 1989, cuando México ingresó a Internet a través de NSFNET y la red BITNET que permitían acceso a recursos de información existente en México y en el mundo. En 1992 se fundó ISOC (Internet Society) para coordinar el uso de las tecnologías existentes en beneficio de todos los usuarios. Es así como se desarrolló el World Wide Web (WWW), que permitió un acercamiento más fácil a través del hipertexto a todos los recursos de Internet, dando también una muestra de la transmisión de audio y video en tiempo real mediante la red.

El crecimiento de la red se volvió exponencial con el uso de los exploradores, que son programas especialmente diseñados para navegar en forma óptima. El primero de ellos que aprovechó la gran capacidad del WWW, fue denominado Mosaic, desarrollado por la Universidad de Illinois Urban-Champagne.

En 1995, los sistemas de servicios vía modem ofrecidos por compañías como CompuServe, Prodigy y Genie comenzaron a ofrecer servicios por Internet. A finales de los noventa, el navegador de Netscape obtuvo el mayor índice de ganancias jamás obtenido en Wall Street. Hoy día, el Internet Explorer de Microsoft controla casi en su totalidad el mercado, cuyo dominio monopólico mundial se ha convertido en una amenaza para los sistemas de oficina.

Tal vez una de las aplicaciones hasta ahora más sobresalientes del Internet es el correo electrónico (e-mail), el cual permite a la gente y a las organizaciones enviar y recibir mensajes, usando su computadora personal, un módem y una línea telefónica.

El correo electrónico está basado en el concepto de dirección e-mail, la cual provee toda la información específica para comunicarse en cualquier parte del mundo.

La era de la información multimedia

Un resultado espectacular del proceso continuo de digitalización, que trabaja en conjunto con la disponibilidad de Internet, es la explosión multimedia en nuestros días. La tecnología digital traduce información de virtualmente cualquier medio a código binario, permitiendo que sea transmitida a través de protocolos y códigos comunes y procesada por computadoras.

Los servicios por Internet, junto con la electrónica de consumo, se han transformado en dos áreas de inmenso potencial para las empresas de la industria mundial electrónica. Las empresas norteamericanas se mantienen al frente, desarrollando y suministrando nuevas herramientas para impulsar la productividad en el trabajo,

simplificar los procesos de negocios, modificar los patrones de educación y establecer nuevos sistemas de salud.

La convergencia se ha extendido a otros campos, el del entretenimiento, debido al enlace comercial de las empresas proveedoras de servicios telefónicos y las compañías de televisión por cable. Algunos de los factores técnicos que han contribuido en este proceso, han sido los siguientes:

- Las redes digitales se han convertido en manejadoras de software en forma acendente, lo cual ha impulsado a las empresas a adquirir y desarrollar más capacidad de software bajo contrato.
- El costo de las memorias ha disminuido constantemente. Los requerimientos de ellas para el manejo masivo de videos y películas son elevados, por lo que sólo disponiendo de costos accesibles se posibilitará el producto *películas sobre demanda*.
- El costo de las transmisiones disminuye paulatinamente. El equipo de multiplexaje ha mejorado continuamente desde que apareció la fibra óptica, hace aproximadamente unos veinte años, logrando cada vez mayores anchos de banda. La capacidad de transmisión en la actualidad se ve como un *commodity* o producto de alto consumo.
- Las capacidades de las redes inalámbricas se han expandido tremendamente.

Un ejemplo espectacular de estas tecnologías multimedia convergentes, apareció en el mercado a principios del año 2000 y es el teléfono celular con capacidad de acceso a Internet. Este es un Sistema de Comunicación Personal (PCS) que hace uso de la supercarretera de la información, aprovechando las capacidades de alta velocidad, potencia, ancho de banda y confiabilidad de las redes de comunicación satelital. Microsoft está trabajando en software para interfase de teléfonos con diversos dispositivos de oficina, que tengan capacidad de acceso a servicios avanzados de redes. AT&T ha introducido nuevos sistemas de mensajería integrada, por lo que en el futuro, los mensajes de oficina tendrán más contenido multimedia: se enviará y recibirá voz, texto y video. De hecho, esto ya se hace frecuentemente, utilizando las capacidades de Internet a través del software para redes internas corporativas Intranet. Otra área de exitoso crecimiento, ha sido la aplicación de los microprocesadores en los Asistentes Digitales Personales (PDA), tales como agendas, comunicadores personales y la computadora tipo pluma.

Conclusiones

A partir de lo expuesto en los diferentes apartados, en los que se ha revisado brevemente cuál ha sido la evolución tecnológica de las TI, y tomando como ejes impulsores de la innovación tecnológica los dispositivos semiconductores, procesadores y memorias (S); las computadoras, sus sistemas operativos y los protocolos de comunicaciones (P), es posible construir la Figura 3, la cual muestra la clara posibilidad de que en un par de décadas, la tendencia de la dinámica de las variables nos lleve a la convergencia total de la tecnologías de la información.

Bibliografía...

Esposito, E. y Mastroiani, M. 1998. Technological Evolution of Personal Computers and Market Implications. *Technological Forecasting and Social Change* 59: p.p. 235-254.

Fiap. 1998. La alternativa social: la sociedad global del conocimiento. *Revista digital DesenReda*, num. 2, Año 2.

Foner S. y Orlando T.P. 1987. Super Conductors, the Long Road Ahead. *Technology Review*, february-march: pp. 36-47.

García L., Peralta L. y Fernández S. 2003. "Sistemas Operativos. Un paseo por la historia", <http://www.comsto.org/so/linux.htm>.

Iansiti M. y West J. 1997. Technology Integration: Turning Great Research into Great Products. *Harvard Business Review*, may-june.

Modelski G. 2001. What causes K-waves? *Technological Forecasting & Social Change*, vol. 68: pp. 75-80. Elsevier Science Inc.

Negroponte N. 1992. Machine Dreams. *Technology Review*, january: pp. 33-39.

Rivers T.J. 2002. Progress and Technology: their Interdependency. *Technology in Society*, vol. 24: pp. 503-522.

Saito F. 1997. Managing Technology Development at NEC Corporation. *International Journal of Technology Management*, vol. 14, No 2/3/4: pp. 196-207.

Smith H. y Antoniadis D. 1990. Seeking a Radically New Electronics. *Technology Review*, april: pp. 26-49.

Volti R. 1992. *Society and Technological Change*. 2nd. ed. St. Martin Press, NY.

Vega G.L.R., Avilés F. y Montalvo T.M. 2003. Evolución y evaluación tecnológica de los protocolos de comunicaciones en *Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología*, vol. 4, núm. 2, abril-junio: pp. 71-81.

Zeilinger A. 2000. *Quantum Teleportation en Scientific American*, vol. 282, núm. 4, april: pp. 32-42.

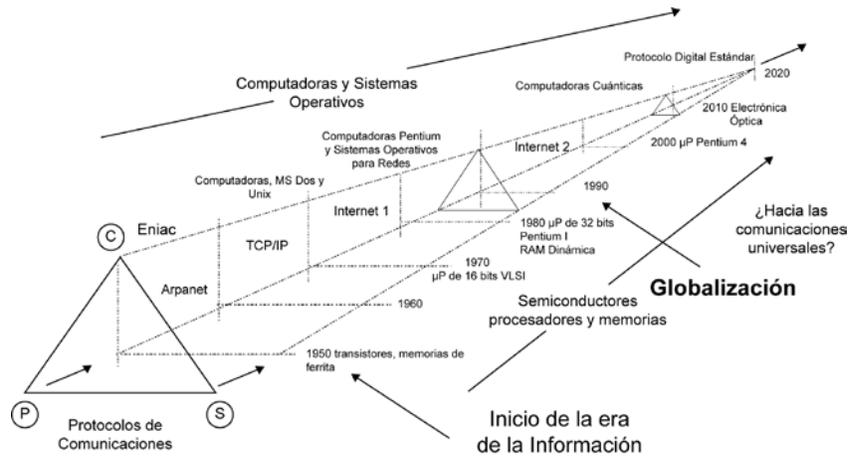


Figura 3. La convergencia total de las tecnologías de la información.

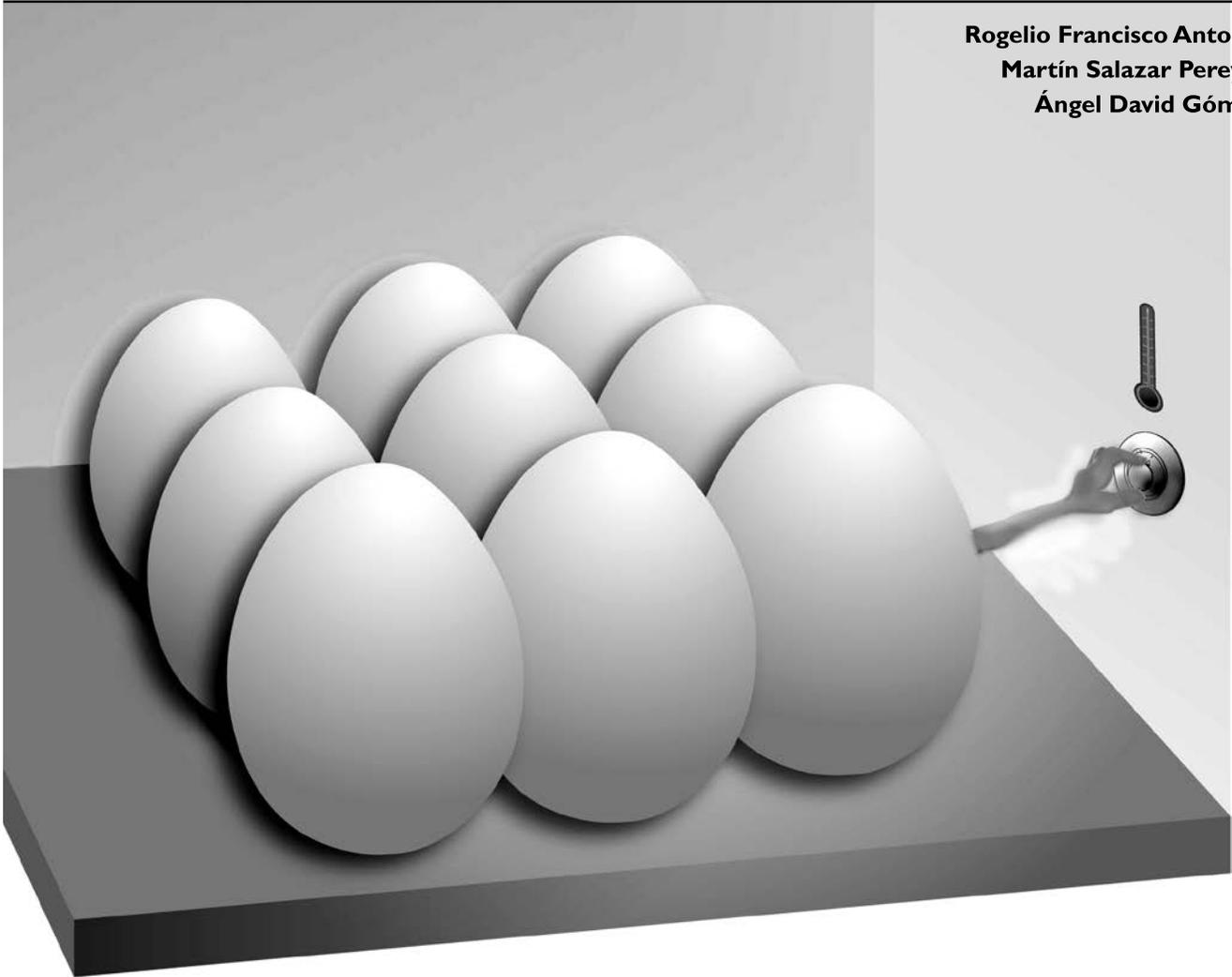
Analizando la figura, es evidente que con la integración de las tecnologías de la información disponibles para la década de los noventa del siglo pasado, en el sentido descrito por Iansiti (1997), se sentaron las bases para la globalización. A partir de entonces, la humanidad ha dispuesto de tecnología de comunicación de voz, datos e imágenes con alta calidad de servicio entre puntos distantes geográficamente de la tierra.

La convergencia C&C pronosticada en los años setenta, no sólo fue cumplida a plenitud, sino rebasada en cuanto a sus alcances. Para el futuro, se considera que los sistemas de protocolos estandarizados prevalecerán, generando sistemas abiertos de comunicación absoluta. Esto podría favorecer el paso a los sistemas de teletransportación cuántica. Hoy día, los sistemas computacionales tienen enormes capacidades de procesamiento y memoria y se están desarrollando por medio de la electrónica óptica. Los nuevos protocolos de comunicación IP/WDM están buscando la transmisión de información sobre medios ópticos con miras a usar el ancho de banda infinito de la luz.

Todo avance tecnológico tiene impactos. Las tecnologías de la información integradas en sistemas de comunicaciones abiertos absolutos seguramente impactarán a la sociedad y al género humano. Consecuentemente, se impulsarán todos los campos de las ciencias, como es el caso de la bioingeniería, en el que las supercomputadoras ayudarán a la finalización de extensiones del proyecto Genoma Humano y a la explotación de la información que de ahí se derive. Se desarrollarán nuevos dispositivos militares de defensa y ataque. También se promoverá el desarrollo de nuevos vehículos y estaciones espaciales. En el ámbito casero, la mayor parte de los dispositivos ostentarán inteligencia y, tal como lo predijo Negroponte una década atrás, todo apunta a que la computadora será un dispositivo omnipresente.

Análisis de un controlador PID para temperatura de una incubadora avícola

Rogelio Francisco Antonio*
Martín Salazar Pereyra*
Ángel David Gómez*



RESUMEN

En el presente trabajo se realiza el diseño, modelado y análisis de los parámetros fundamentales del controlador PID de temperatura de una incubadora para aves; es importante mencionar que esta etapa es crucial para su posterior implementación en un sistema real. Se muestran, además, los resultados de simulación para diferentes entradas de control.

Acerca de los autores...

* División de Ingeniería Mecatrónica e Industrial,
Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.

Palabras clave: Simulación, control, retroalimentación, actuador, función de transferencia, PID, error.

Introducción

En la actualidad, las tendencias de la automatización de procesos son cada vez más exigentes, por lo que se requiere mayor destreza y habilidad para el diseño e implementación de procesos reales donde esté presente el control. El diseño de un controlador involucra primeramente un desarrollo matemático del sistema físico a manejar, analizando los modelos para conocer sus características dinámicas y obtener la respuesta mostrada desde una perspectiva matemática.

La finalidad en el desarrollo de este trabajo, es proponer los parámetros de un controlador del tipo PID, implementado a una incubadora para uso avícola. La planta a controlar tiene dinámicas de tipo no lineal, causada por el aire de un ventilador. En esencia, la temperatura es conocida por la señal eléctrica de un sensor (LM35) encargado de cerrar el lazo de control, como se representa en la Figura 1.

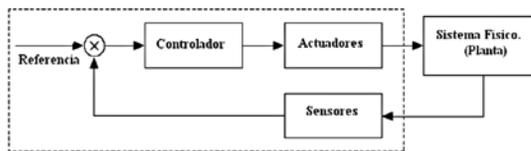


Figura 1. Sistema de control.

El control monitorea la salida de la planta y ajusta su entrada para obtener una respuesta lo más próxima a la señal de referencia.

En este caso, se debe tener una temperatura interior de 37°C. El sensor lee la temperatura interior y con base en la señal de referencia, el controlador, a través del actuador, trata de llevarla a la temperatura especificada.

El proceso de control se realiza mediante la variación de la intensidad de los elementos calefactores, que en este caso son dos focos de 40Watts cada uno, es decir, la radiación del sistema se regula.

El proceso de diseñar un controlador basado en el modelo matemático, involucra el esquema de la planta, diseñar y sintetizar el controlador, simular el sistema y desarrollar el controlador.

1. Descripción del sistema

La implementación del controlador se realiza en un ambiente experimental, como se muestra en la Figura 2.

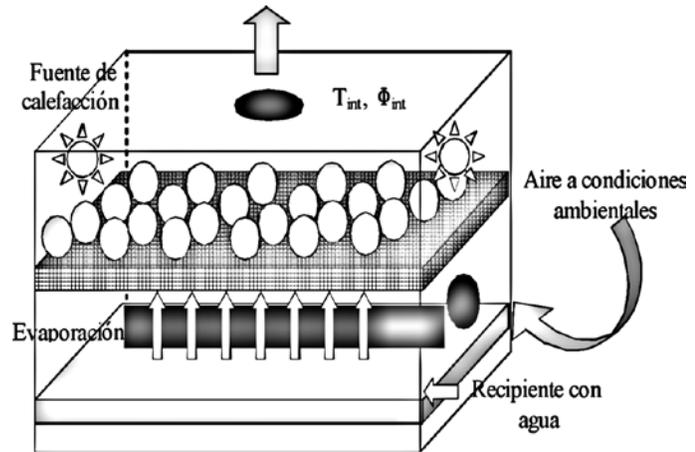


Figura 2. La incubadora.

La incubadora está construida con madera, debido a que es un buen aislante térmico. En las paredes cuenta con una placa de poliuretano de cinco centímetros de espesor; en su parte inferior, tiene suficiente espacio para la colocación de recipientes con agua para humidificar el medio. En la parte superior se coloca una placa de acrílico transparente que permite observar el interior.

1.1 Modelo matemático

El modelo de la incubadora consta de dos secciones: la primera corresponde a la parte térmica del interior y la segunda a la humedad, este último no será tratado en el presente escrito. Con respecto a la parte térmica, los intercambios energéticos en la incubadora son dados por conducción-convección y radiación.

Para el cálculo de estos intercambios de calor, supondremos que la temperatura en el interior de la incubadora es mayor que la exterior ($T_i > T_0$), y se busca expresar la cantidad de calor que pasa de dentro hacia afuera, en función de la diferencia de temperatura: $T_i - T_0$ en los intercambios energéticos de conducción-convección.

Intercambios de calor entre el aire interior y la cara interior de la incubadora

$$Q_{ce} = h_e (T_{pe} - T_e) \quad (1)$$

Intercambios de calor entre la cara exterior y el aire exterior

$$Q_{ii} = h_i (T_{int} - T_{pi}) \quad (2)$$

Intercambios de calor a nivel de la cubierta:

$$Q_{ci} = \frac{\lambda}{e} (T_{pi} - T_{pe}) \quad (3)$$

Intercambios en el interior por radiación térmica:

$$Q_{rad} = \varepsilon A \sigma (T_{foco}^4 - T_{int}^4) \quad (4)$$

En la ecuación (4) se involucra una constante dependiente del material, llamada emisividad; esta propiedad determina cuán bien el cuerpo es propenso a emitir una radiación, tomando en cuenta a otro cuerpo ideal (cuerpo negro). Ésta posee un valor que oscila entre 0–1; reservándose la unidad para el cuerpo negro. En ocasiones, es conveniente expresar la anterior ecuación de la siguiente forma:

$$Q_{rad} = h_r A (T_{foco} - T_{int}) \quad (5)$$

Donde:

$$h_r = \varepsilon \sigma (T_{foco} + T_{int}) (T_{foco}^2 + T_{int}^2) \quad (6)$$

Debido a que la temperatura del cuerpo radiante (foco) es superior a la temperatura del interior (36°), es aceptable la siguiente aproximación.

$$h_r = \sigma \varepsilon T_{int}^3 \quad (7)$$

Finalmente,

$$Q_{rad} = \sigma \varepsilon T_{int}^3 A (T_{foco} - T_{int}) \quad (8)$$

1.2 Temperatura interna

La temperatura interna depende de los siguientes factores:

- La calefacción
- La ventilación
- La humedad

El sistema de calefacción tiene una gran importancia en la determinación de la temperatura interna. En este sistema, la calefacción es proporcionada por dos focos incandescentes, los cuales ofrecen una potencia eléctrica de 40 Watts; la energía entregada por estos dispositivos a la incubadora se encuentra relacionada por la Ley de Kepler de la iluminación.

Conociendo la iluminación proporcionada, es posible conocer la energía suministrada al sistema Q_{cal} [Wm^{-2}].

Una de las consecuencias de la ventilación, es la reducción de la temperatura. Depende de la diferencia de temperatura que hay dentro y fuera de la incubadora. Su efecto se puede calcular por la siguiente ecuación:

$$Q_{vent} = k_v \Phi_{vent} (T_{int} - T_{ext}) \quad (9)$$

El flujo causado por la ventilación se calcula a partir de la velocidad del aire, y de la apertura de la puerta (ocasionalmente). Este flujo depende principalmente del grado de apertura de la puerta A.

$$\Phi_{vent} = A \left(\frac{a_1 U_{ls}}{1+a_2 U_{ls}} + a_3 + a_4 U_{ws} \right) W \quad (10)$$

Con los parámetros definidos anteriormente y aplicando un balance energético, se obtiene la ecuación diferencial que modela al sistema:

$$\frac{dT_i}{dt} = \frac{1}{c_{cap}} (Q_{cal} - Q_{vent}) \quad (11)$$

1.3 Variables de estado

El sistema puede ser cambiado a variables de estado, únicamente para conocer las propiedades del sistema.

Se definen los estados de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} x &= T_{int} - T_{ext} \\ u &= I \\ y &= x \end{aligned} \quad (12)$$

De acuerdo con las dimensiones de la incubadora y las condiciones del medio, es posible tener los datos numéricos siguientes:

$$\begin{aligned} Q_{cal} &= \frac{I}{2250} \\ Q_{vent} &= (1,253)(T_i - T_0) \\ Q_{rad} &= 3146.31 \end{aligned} \quad (13)$$

La transformación de la ecuación diferencial con respecto a la definición de los estados, es la siguiente:

$$\dot{x} = \frac{1}{c_{cap}} \left(\frac{u}{2250} - 1.253x + 3146.31 \right) \quad (14)$$

$$\dot{x} = \frac{u}{2250c_{cap}} - \frac{1.253x}{c_{cap}} + \frac{3146.31}{c_{cap}} \quad (15)$$

Una nueva definición de variables de estado sería considerar a T_0 constante, es decir, cuando la temperatura exterior no varía bruscamente en un tiempo corto, entonces:

$$(16)$$

$$x = T_i$$

$$u = I$$

$$y = x$$

Al redefinir las ecuaciones en términos de estas variables, se tienen las siguientes fórmulas:

$$\dot{x} = \frac{1}{c_{cap}} \left(\frac{u}{2250} - 1.253x + 1.253T_0 + 3146.31 \right) \quad (17)$$

$$x = \frac{u}{2250c_{cap}} - \frac{1.253x}{c_{cap}} + f(t) \quad (18)$$

Donde:

$$f(t) = \frac{1}{c_{cap}} (1.253T_0 + 3146.31) \quad (19)$$

Para las simulaciones, se toma esta última transformación con la condición de T_0 constante:

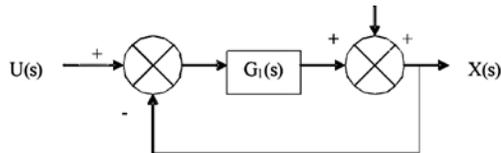


Figura 3. Diagrama del sistema (temperatura).

La descripción del sistema en un diagrama de bloques, empleando únicamente la variable de estado asignada a la temperatura, puede ser representada mediante la Figura 3, donde se muestra la descripción del sistema, considerando una señal de entrada y otra de salida, retroalimentado con un lazo unitario ideal, al igual que un término perturbador, que tiene gran influencia en el análisis del sistema, debido a que generalmente es el causante de inestabilidad.

Igualmente sería la descripción de las posibles señales de control presentes dentro de los sistemas físicos, como lo son la función Delta de Dirac, Escalón y Rampa:

$$U(s) = 1 \quad \Rightarrow \quad U(t) = \delta(t)$$

$$U(s) = \frac{1}{s} \quad \Rightarrow \quad U(t) = u(t - a) \quad (20)$$

$$U(s) = \frac{1}{s^2} \quad \Rightarrow \quad U(t) = mt + c$$

Al realizar un análisis al sistema de bloques anterior, obtenemos los siguientes resultados:

$$G_1(s) = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{b}{s + a} \quad (21)$$

Donde b y a son constantes ya definidas.

Considerando únicamente la función de transferencia descrita por la perturbación, implica $U(s) = 0$. Y de la misma forma, su no contribución ($f(s) = 0$), para de esta manera obtener la contribución total del sistema en función de transferencia:

$$X(s) = \frac{1}{1 + G_1(s)} (f(s) + G_1(s)U(s)) \quad (22)$$

Realizando un análisis al error producido por la perturbación, se tiene:

$$E(s) = -\frac{f(s)}{1 + G_1(s)} \quad (23)$$

Con el error generado por la perturbación, es factible considerar la contribución hacia el error en condición estable (e_{ss}) hacia el sistema. Esto se realiza para conocer los efectos sobre la planta y analizar el posible desvío ocurrido al momento de seguir a la señal de referencia:

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) \quad (24)$$

Por lo tanto, se tiene que:

$$e_{ss} = -\frac{aC}{A} \quad (25)$$

donde,

$$A = a + b$$

Este análisis se realiza para una entrada escalón, pues el punto de operación se debe mantener estable en todo momento. Ello significa que mientras mayor sea la señal de referencia, mayor será el error en estado estable generado por la perturbación; en cambio, el error del sistema sin la perturbación es de cero; se puede observar la influencia que posee este último término. Para corregir esta singularidad, se propone emplear un controlador proporcional de ganancia K_p .

$$e_{ss} = -\frac{Ca}{K_p A} \quad (24)$$

Aunque el controlador proporcional logra disminuir el error, debido a las constantes intrínsecas del modelo para obtener un resultado satisfactorio, es necesario emplear una alta ganancia para este controlador, por lo que no es una buena solución poder implementarlo. Si se prueba un controlador del tipo PD, el diagrama del flujo es como se muestra en la Figura 4.

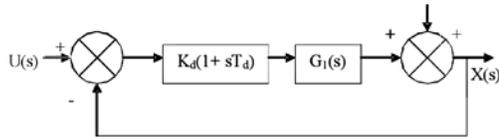


Figura 4. Controlador PD.

En el caso anterior, se considera una entrada escalón y el error en estado estable:

$$e_{ss} = \frac{-aC}{a + b(K_d)} \quad (25)$$

Sin embargo, nuevamente el error se mantiene, debido a que la ganancia derivativa para el controlador no logra disminuir al error, con respecto a una entrada escalón.

Como propuesta de implementación de controlador, se tienen los que se muestran en las Figuras 5 y 6. En el siguiente paso, se analiza la respuesta a un controlador integral, donde al analizar el error se espera que tienda a cero.

El error para el controlador integral esta dado por la siguiente expresión:

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{-sC}{s + K_d G_1(s)} \quad (26)$$

Al realizar el límite de la ecuación. (26), se tiene que el error tiende a cero.

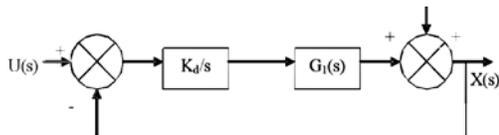


Figura 5. Controlador integral.

De igual manera ocurre cuando se analiza un control proporcional integral.

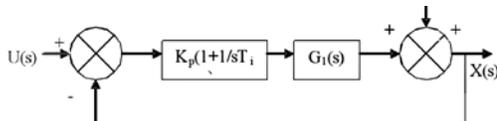


Figura 6. Controlador PI.

Al realizar el límite de la ecuación (27), se tiene el error.

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{-sC}{s(1 + K_p G_1(s)(1 + \frac{1}{sT_i}))} \quad (27)$$

Para el control integral y el controlador proporcional integral, el error tiende a cero.

Así llegamos a las posibles opciones para implementar cualquiera de los siguientes controladores:

- Integral
- Proporcional integral
- Proporcional integral derivativo

2. Simulación del sistema

Con la ecuación diferencial obtenida anteriormente, es posible simular el sistema con ayuda del software MatLab, en específico la parte de Simulink. El diagrama a bloques utilizado para obtener la respuesta, es presentado en la Figura 7(a), y en la 7(b) la respuesta obtenida.

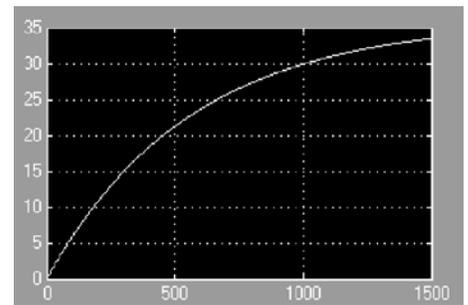
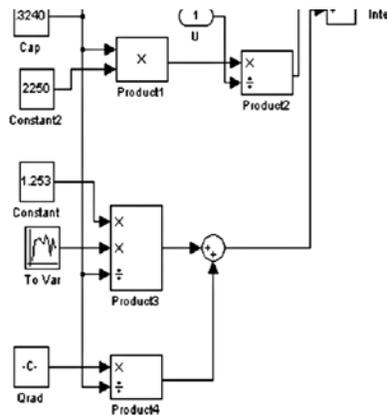


Figura 7(a). Simulación del sistema.

Figura 7(b). Respuesta del sistema.

En la Figura 7(b) se muestra que el sistema es de primer orden y por consiguiente, obtiene una respuesta de tipo exponencial. Una de las propiedades más significativas de este tipo de sistemas, es su respuesta del error en estado estacionario, el cual puede ser obtenido dependiendo de la señal de entrada aplicada a su función de transferencia.

3. SIMULACIONES

La simulación se presenta en dos partes: la primera, donde la temperatura exterior se encuentra en un intervalo de 18°C a 22°C de forma aleatoria, mientras que en la otra parte de la simulación, la temperatura exterior es constante o al menos no tiene cambios bruscos dentro de un intervalo de tiempo corto; tal como se ha manejado. En las Figuras 7 y 8 se observa que el comportamiento del sistema es de primer orden, pero como era de esperarse, los cambios abruptos en la temperatura exterior pueden modificar el comportamiento del sistema.

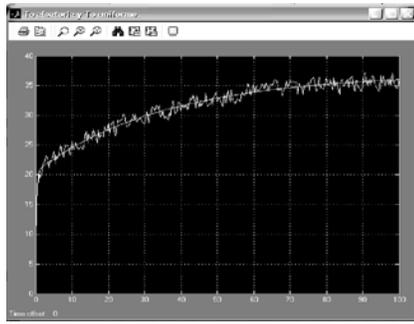


Figura 8. Temperatura exterior uniforme y aleatoria.

El principal aspecto sobre el control ON-OFF es su fácil implementación, debido a que sólo se dispone de una franja de histéresis, la cual está dada por los límites superior e inferior de cualquier señal de control en un sistema determinado. La simulación de este tipo de control dispone como límite inferior 36°C y superior a 38°C . Dicho control no se encuentra retroalimentado, es decir, no tiene presente una señal de error que pueda controlar al sistema, lo único que posee es una banda de histéresis, por lo que este control no entra en la categoría de los controladores tipo *feedback*.

En la Figura 9(a) se observa el comportamiento del sistema ante una señal variante en el tiempo, generando pulsos, cuya amplitud oscila entre 38 y 0 a una frecuencia de 0.2 Hz, mostrando un comportamiento errático producto del control On-Off.

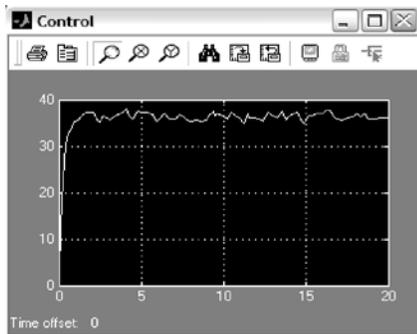


Figura 9(a). Señal de salida.

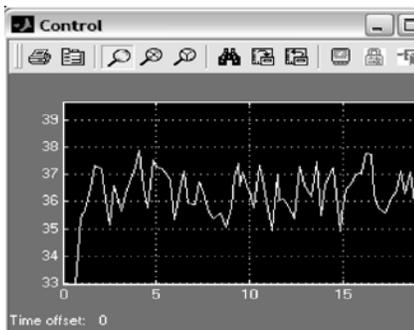


Figura 9(b). Ampliación de la señal de salida.

En la Figura 10 se muestra la salida de la señal amplificada, donde se puede ver la variación alrededor de la señal de referencia, esto es, a 37°C. Aquí se muestra el control proporcional con una ganancia de 10 y a una señal de referencia de 37°C, donde se aprecia que la salida no alcanza a la referencia, por lo que la ganancia del proporcional no es la adecuada. Además, se observa el comportamiento del error producido, que se mantiene constante a 16.47°C, lo cual no es deseable; y la salida se muestra invariante a 20.06°C.

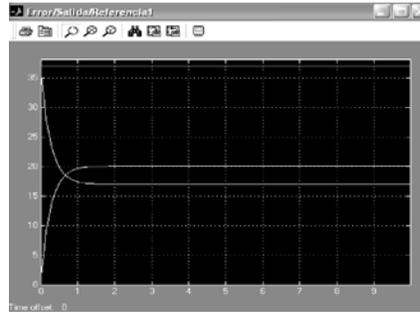


Figura 10. Señal de referencia 37°C, Proporcional = 10.

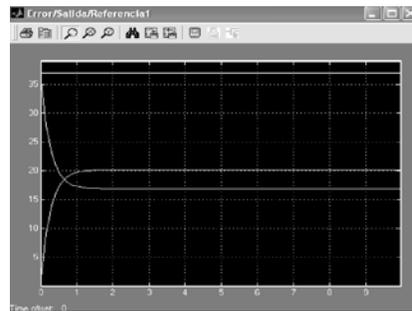


Figura 11. Señal de referencia 37°C, Proporcional = 20.

En la Figura 11 se presenta la respuesta del sistema al incrementar la ganancia del controlador proporcional hasta 20 unidades.

Aunque el aumento de la ganancia del controlador proporcional disminuye el error en comparación con el resultado de la Figura 9, la salida se encuentra alejada de la referencia, estos es, la ganancia de 10 hacia el control proporcional llega a un error de 16.94, en tanto para una ganancia del doble, se obtiene un error de 16.88, permitiendo una semejanza entre la Figura 9 y 10.

En la Figura 12, se implementa un controlador PI, con las ganancias especificadas. La salida alcanza a la referencia dentro de 900 unidades de tiempo (segundos), además el error tiende asintóticamente a cero. Es claro que mientras mayores sean las ganancias, el error tenderá más rápido a cero y viceversa; una característica importante es la parte integral, la cual disminuye al error sin que la ganancia proporcional sea elevada.

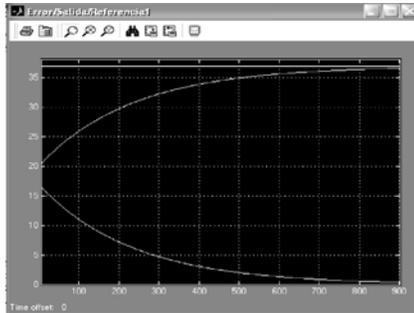


Figura 12. $P = 6$ e $I = 12$.

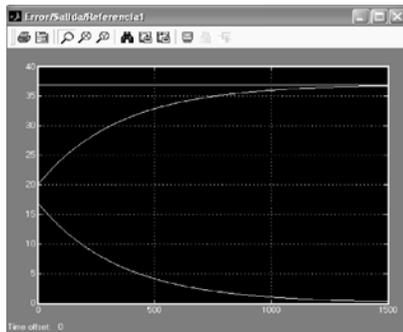


Figura 13. $P=4$; $D = 2$; $I = 8$.

En la Figura 11 se mostraron los parámetros de un PID, manteniendo constantes las ganancias proporcional e integral de los casos previos; pero al momento de agregar la ganancia derivativa, la convergencia hacia la señal de referencia es alcanzada unos segundos antes, como se observa en la Figura 13 implicando que la convergencia del error es más rápida. Pero este parámetro extra (ganancia derivativa), no entrega una respuesta significativamente diferente al simple PI.

Aunque los resultados anteriores presentan un buen desempeño del controlador, en la práctica su implementación a grandes ganancias no es recomendable, por lo que se recomienda una implementación con ganancias conservadoras $I=10$, $D=5$ y $P=5$. Los resultados, de acuerdo con la simulación, se observan en la Figura 14 y aunque el error llega a posicionarse en 0.083, casi durante 25 minutos, estas ganancias pueden considerarse como adecuadas para esta implementación.

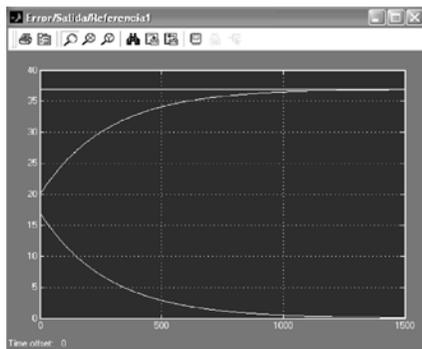


Figura 14. $P = D = 5$ e $I = 10$.

De acuerdo con las simulaciones realizadas en las diferentes técnicas de control, se tiene que la implementación de un controlador para el medio estructurado de la incubadora avícola no requiere un control PID completo, es decir, el objetivo de control es alcanzado con la implementación de un PI, el cual es satisfactorio con las ganancias $I=10$, $D=5$ y $P=5$.

En cambio, si se pretende una implementación con una parte proporcional, la señal de control es incapaz de alcanzar a la de referencia, ocurriendo el mismo caso para PD. Sin embargo aunque el control de tipo On – Off es comúnmente empleado, y tiene resultados medianamente satisfactorios, las oscilaciones alrededor de la señal de referencia son elevadas, produciendo un error de $\pm 1^\circ\text{C}$ en todo momento, debido a la falta de retroalimentación.

Referencias...

- K.Ogata, *Ingeniería de control moderno*, 3a. ed., Prentice-Hall, 1998.
- C.T., *Linear System Theory and Design*. 3rd ed., New York: Oxford University Press, 1999.
- Rugh, J.W., *Linear System Theory*, 2nd ed., Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1996.
- Khalil, H.K., *Nonlinear Systems*. 3rd ed., Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1996.
- Sastry, S., *Nonlinear Systems: Analysis, Stability and Control*. New York, NJ: Springer-Verlag, 1999.
- Sage, A.P., White, C.C., *Optimum Systems Control*. 2nd Ed., New Jersey: Prentice-Hall, 1977.
- Kirk, D.E., *Optimal Control Theory: an Introduction*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1970.
- Hocking, L.M., *Optimal Control, an Introduction to the Theory with Applications*. 2nd ed., Oxford: Clarenton Press, 1997.

Nomenclatura...

h_i	Coefficiente superficial de convección [$\text{Wm}^{-2}\text{C}^{-1}$]	$a_1, a_2,$	Constantes [-]
T_{int}	Temperatura interna [C]	$a_3, a_4,$	Constantes [-]
T_{pi}	Temperatura de la cara interior de la incubadora [C]	U_{ws}, U_{ls}	Grados de apertura [%]
h_e	Coefficiente de convección exterior [$\text{Wm}^{-2}\text{C}^{-1}$]	W	Velocidad del aire [ms^{-1}]
T_{ext}	Temperatura exterior [C]	A_1	Área de apertura [%]
T_{pe}	Temperatura de la cara exterior de la incubadora [C]	C_{cap}	Capacidad térmica del aire [$\text{Wm}^{-2}\text{C}^{-1}$]
T_0	Temperatura inicial [C]	Q_{cal}	Energía del sistema de calefacción [Wm^{-2}]
Λ	Conductividad térmica [$\text{Wm}^{-2}\text{C}^{-1}$]	Q_{vent}	Energía perdida por la ventilación [Wm^{-2}]
e	Espesor de la cubierta [m]	Q_{rad}	Energía radiante [Wm^{-2}]
A	Área de la superficie [m]	I	Intensidad del cuerpo luminoso [Candela]
Σ	Constante de Stefan Boltzmann [$\text{Wm}^{-2}\text{C}^{-1}$]	S	Variable de Laplace
T_{foco}	Temperatura del cuerpo radiante (foco) [C]	$E(S)$	Variable de error en dominio frecuencial
ϵ	Emisividad del objeto [-]	r	Distancia del cuerpo luminoso al iluminado[m]
h_r	Coefficiente de calor radiante [$\text{Wm}^{-2}\text{C}^{-1}$]	$f(S)$	Señal de perturbación del sistema
k_v	Capacidad calorífica del aire [$\text{Wm}^{-2}\text{C}^{-1}$]	$G(S)$	Función de transferencia
Φ_{vent}	Flujo de aire [-]	e_{ss}	Error en estado estable

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ECATEPEC

Organismo Público Descentralizado del Estado de México



**NUEVE
CARRERAS**

INGENIERÍAS:

- Electrónica y Telemática
- Mecatrónica
- Mecánica
- Industrial
- Sistemas Computacionales
- Química
- Bioquímica
- Cursos de Educación Continua
- Diplomados
- Centro de Idiomas (inglés y francés)

LICENCIATURAS:

- Informática
- Contaduría y Administración

POSGRADOS (Maestrías):

- Ingeniería Química
- Ingeniería Bioquímica
- Ingeniería en Sistemas Computacionales
- Ingeniería Mecatrónica

Informes:

Av. Tecnológico s/n. Esq. Av. Carlos Hank González (Av. Central), Col. Valle de Anáhuac, Ecatepec de Morelos, Estado de México, C.P. 55210
Teléfonos 50 00 23 42 y 50 00 23 43

www.tese.edu.mx



GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO

