

# Desarrollo de un sistema basado en un DSP para un simulador de regulación de potencia en un reactor:

## 1ª etapa

**Benítez Read, Jorge Samuel y Pérez Clavel, Benjamín**

*Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares<sup>1</sup> & Instituto Tecnológico de Toluca*

<sup>1</sup>*Gerencia de Ciencias Aplicadas*

*Km. 36.5 Carretera México - Toluca*

*Municipio de Ocoyoacac, Estado de México, C.P. 52045*



MX0300198

### Resumen

*Se presenta la primera etapa del desarrollo de un sistema digital basado en un DSP que forma parte de un simulador híbrido para la regulación de potencia en un modelo de la cinética puntual de un reactor tipo TRIGA. El DSP realiza la regulación usando un algoritmo de control difuso tipo Mamdani. En el algoritmo se discretiza el universo de la variable de salida para realizar en una sola etapa las funciones de agregación y desdifusificación.*

### Introducción

**L**os procesadores digitales de señales (DSP por sus siglas en inglés) han expandido su campo de aplicación hacia problemas de control de procesos y en la regulación de parámetros críticos en sistemas cuya respuesta transitoria es rápida y en donde se requieren acciones de control adecuadas en tiempo real. Por otro lado, el auge de la lógica difusa en aplicaciones de control se debe en gran parte a la versatilidad que presenta esta lógica para incorporar conocimiento basado en la experiencia de operadores o extraído de modelos empíricos. El propósito de este proyecto es desarrollar un controlador basado en un DSP, implantando en dicho sistema un algoritmo basado en la lógica difusa cuyo objetivo sea la regulación de potencia en un simulador que contenga el modelo de la cinética puntual de un reactor tipo TRIGA modelado Mark III [Benítez-Read 1998].

### Desarrollo

En los reactores de investigación tipo TRIGA Mark III [DeGroot 1968], las variables comúnmente utilizadas para el control del mismo son la desviación de la potencia instantánea con respecto a la potencia base demandada (error en potencia) y el período del reactor. La señal de control representa la reactividad que se debe insertar en

el núcleo del reactor para incrementar o reducir la intensidad del flujo neutrónico. Como primera parte del proyecto se definen: (a) Las variables de entrada al sistema de control, (b) la señal de control entregada al modelo del reactor, (c) el algoritmo de control difuso, y (d) la forma de implantar el algoritmo en el sistema DSP. Para simular el comportamiento del sistema en lazo cerrado, se propone incorporar el modelo que describe la cinética puntual de un reactor tipo TRIGA, el cual consiste de un sistema de ecuaciones dinámicas no lineales, en una PC [Benítez Read 1993], enviando su estado y recibiendo la señal de control del sistema basado en un DSP. Por su versatilidad y velocidad se ha seleccionado al DSP TMS320C50 de Texas Instruments [TI 1999]. El algoritmo de control es básicamente un controlador difuso tipo Mamdani. En las siguientes secciones se describe lo siguiente: La transferencia de datos entre la PC y el DSP, las distintas etapas del algoritmo de control para la regulación de potencia y su implantación en el DSP.

### **Transferencia de datos entre la planta (PC) y el controlador (DSP)**

El puerto paralelo de una PC IBM y compatibles es manejado por medio de tres registros, dos de entrada y uno de salida en el modo SPP, y éstos son utilizados para el envío y recepción de los datos entre el DSP y la PC. El envío de datos hacia el DSP se realiza utilizando las inte-

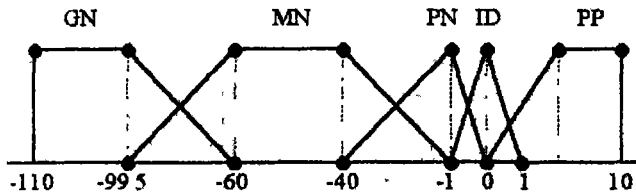


Figura 1.- Conjuntos para la variable  $ne$ .

rupciones externas con las que cuenta el DSP. Cuando se requiere el envío de datos se hace una petición de interrupción al DSP para que tome el dato del puerto paralelo y lo almacene. Por cada dato que se envíe se hace una petición de interrupción. Como el DSP recibe más de un dato, entonces da servicio a varias interrupciones. Por otro lado, como se manejarán datos con punto flotante, cada variable se expresa en 32 bits (signo (1), exponente (16) y mantisa (15)). Esto implica que cada variable necesita de cuatro interrupciones debido a que el puerto paralelo de la PC en el modo SPP tiene únicamente 8 bits de salida; de esta forma, la variable a enviar debe segmentarse en 4 partes y posteriormente enviarse al DSP; el programa del DSP reagrupa dichos segmentos y los guarda en alguna localidad de memoria. Para manejar aritmética de punto flotante en el DSP utilizado, los operandos deben ser convertidos a punto fijo y después de su procesamiento, nuevamente deben ser convertidos a números de punto flotante. La conversión a la notación de punto flotante se realiza mediante la operación de normalización de datos. La recepción de datos provenientes del DSP se hace por medio de muestreos periódicos al puerto paralelo; en el modo SPP el puerto paralelo tiene 5 bits de entrada, por lo que el DSP necesita segmentar los datos que se enviarán a la PC; como el tamaño de los datos es de 32 bits, éstos se segmentan en 8 nibbles. La PC debe reagrupar los nibbles recibidos para poder utilizarlos en las ecuaciones de la planta. Se utiliza también una interrupción para indicar al DSP que ya puede enviar otro dato a la PC.

### Algoritmo de control e implantación en el DSP.

El DSP permite el manejo de números con punto flotante, obteniéndose así una mayor precisión en los cálculos matemáticos que se realizan. Sabemos que un algoritmo de control difuso tiene, en general, las siguientes cuatro etapas: (a) Difusificación, (b) Evaluación de reglas, (c) Agregación, y (d) Desdifusificación.

Estas etapas utilizan un gran número de comparaciones, además de operaciones aritméticas. El algoritmo recibe dos variables de entrada (período  $T$  y error de potencia en porcentaje  $ne$ ) y entrega una señal de salida (pendiente de la reactividad externa  $m_{p\_ext}$ ). Los valores

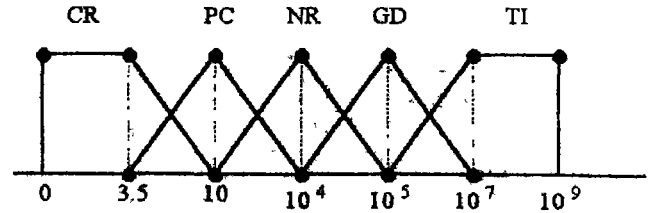


Figura 2.- Conjuntos para la variable  $T$ .

lingüísticos asociados a la variable de entrada  $ne$  son: GN (Grande Negativo), MN (Mediano Negativo), PN (Pequeño Negativo), ID (Ideal), y PP (Pequeño Positivo). Los valores lingüísticos asociados a la variable de entrada  $T$  son: CR (Crítico), PC (Poco Crítico), NR (Normal), GD (Grande), y TI (Tiende a Infinito). Los conjuntos difusos para las variables  $ne$  y  $T$  se muestran en las figuras 1 y 2.

Para la variable de salida, sus valores lingüísticos asociados son: NP (Negativo Pequeño), CE (Cero), PQ (Pequeño Positivo), y PG (Positivo Grande). Los conjuntos difusos para la variable  $m_{p\_ext}$  se muestran en la figura 3.

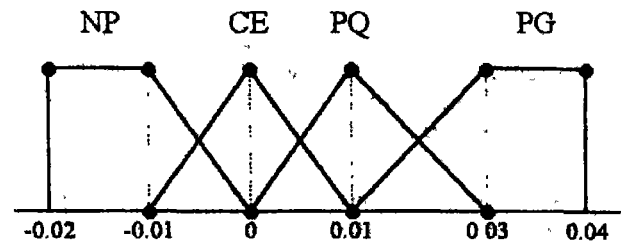


Figura 3.- Conjuntos para  $m_{p\_ext}$

Por cada recta que forma parte de un conjunto difuso se definen cuatro parámetros: inicio, fin, pendiente y término independiente. Estos parámetros se almacenan como constantes ya que son necesarios en cada una de las etapas.

Además de la descripción de los conjuntos, se reserva espacio en la memoria del DSP para los niveles de activación de cada conjunto difuso de la salida generados en la etapa de evaluación de reglas. La descripción de la forma en que se implementan en el DSP las distintas etapas del algoritmo de control se describen en los siguientes puntos.

### Difusificación

Esta etapa consiste en determinar los grados de membresía en los conjuntos difusos, de acuerdo a las figuras 1 y 2, para los valores de las variables de entrada que recibe el DSP. Estos grados de membresía se determinan por medio de los siguientes pasos:

$ne$	GN	MN	PN	ID	PP	
CR	CE	CE	CE	CE	NP	$m_{pext}$
PC	PQ	PQ	PQ	CE	NP	
NR	PG	PG	PQ	CE	NP	
GD	PG	PG	PQ	CE	NP	
TI	PQ	PG	PQ	CE	NP	

Figura 4. Tabla de evaluación de reglas.

1. Determinar el intervalo en el cual se encuentra la variable de entrada.
2. Una vez determinado dicho intervalo, se obtiene el o los grados de membresía de los conjuntos difusos mediante las ecuaciones de las rectas que se encuentren entre dichos intervalos.
3. Se guardan los valores de membresía para utilizarlos en la siguiente etapa del algoritmo

Para la programación del DSP se tienen que realizar ciclos de comparación. Debido a que el lenguaje de programación es Ensamblador, los ciclos se estructuran por medio de sumas o restas.

Para determinar el intervalo en el cual se encuentra la variable de entrada, se realiza el siguiente procedimiento:

1. Cargar al acumulador el valor de la variable de entrada.
2. Comenzando por el primer conjunto de la izquierda, tomar el límite superior del intervalo de éste y restárselo al acumulador. Si el resultado es negativo significará que no estamos en el intervalo correcto. En este caso, el valor de la variable de entrada es nuevamente cargado y se le resta el límite superior del siguiente conjunto difuso. Esto se realiza hasta que el resultado de la resta sea un valor positivo.
3. Una vez encontrado el intervalo, se transfiere el control del programa a la rutina de operaciones correspondiente.

Para determinar el grado de membresía se utiliza la ecuación de la recta correspondiente. En el DSP se dispone de instrucciones de suma, resta y multiplicación para realizar las operaciones pertinentes; la división se hace por medio de restas sucesivas. Finalmente, los valores de membresía obtenidos son guardados en los espacios de memoria destinados especialmente para ello.

### Evaluación de reglas.

La etapa de evaluación de reglas determina los grados de activación o cortes de cada uno de los conjuntos difusos asociados a la variable de salida ( $m_{ext}$ ). En la figura 4 se observa que cada cuadro es la intersección de dos conjuntos de entrada y en cada cuadro existe un conjunto de la variable de salida.

Para determinar el grado de activación de cada conjunto de salida se sigue el procedimiento siguiente.

1. Para cada posición de los conjuntos de la variable de salida (ver figura 4), se toma como su grado de activación el valor más pequeño de los grados de membresía de los conjuntos de las variables de entrada que forman dicha intersección.
2. Una vez que se tienen los grados de activación de todas las intersecciones posibles que correspondan a un solo conjunto difuso de salida, se toma el máximo valor de ellos como el grado de activación de la variable de salida de ese conjunto difuso en particular.
3. Estos pasos se realizan para cada conjunto difuso de la variable de salida.

Una vez realizadas estas operaciones, los valores de los grados de activación obtenidos para cada conjunto de la variable de salida, se almacenan en localidades de memoria predeterminadas.

### Agregación y desdifusificación.

La agregación y desdifusificación se han combinado para formar la tercera etapa del algoritmo de control. La desdifusificación se lleva a cabo con el método del centro de gravedad (*cog*). Como resultado de la agregación y desdifusificación conjuntas se obtiene el valor de la pendiente que debe tener la señal de reactividad externa aplicada al reactor como señal de control. Un ejemplo de un conjunto agregado de salida arbitrario se muestra en la figura 5.

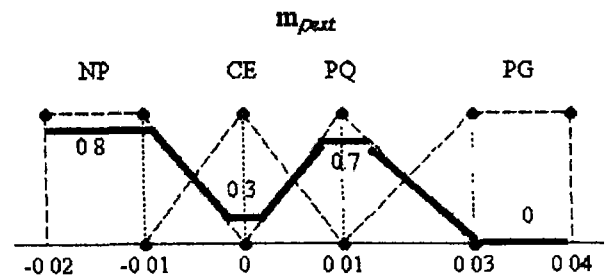


Figura 5.- Ejemplo de conjunto agregado.

El universo de la variable de salida es discretizado con un número de muestras seleccionado de tal forma que se obtenga una buena aproximación al valor exacto del centro de gravedad. El valor del *cog* de este algoritmo se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$cog = \frac{\sum_{i=-0.02}^{0.04} m_{pexti} \times \mu_A(m_{pexti})}{\sum_{i=-0.02}^{0.04} \mu_A(m_{pexti})}$$

en donde  $m_{pexti}$  representa el  $i$ -ésimo valor de la señal de salida y  $\mu_A$  el grado de activación en el conjunto agregado para ese valor de la señal de salida.

Al igual que en la difusificación, se toman intervalos para determinar la ecuación de la recta que debe tomarse en cuenta. Los intervalos pueden verse en la figura 5. De lo anterior se pueden presentar dos casos: uno en el que en un intervalo existe una sola recta de un conjunto (como en el caso de los conjuntos de los extremos) y otro en el que en el intervalo hay dos rectas pertenecientes a dos conjuntos de la variable de salida (conjuntos intermedios)

En el DSP existen instrucciones de repetición de bloques para poder realizar el ciclo requerido para cada  $i$ -ésimo valor de la señal de salida. Las operaciones aritméticas son similares a las realizadas en etapas anteriores.

### Resultados y conclusiones

Entre los resultados dentro de la primera etapa se tiene ya la comunicación entre la PC a través del puerto paralelo. El puerto paralelo de la PC es de 16 bits de salida y 5 bits de entrada mientras que el puerto paralelo del DSP es de 16 bits de entrada/salida; esto hizo necesario el diseño de un protocolo de comunicación debido a la incompatibilidad de tamaño de puertos que se tienen entre ambos dispositivos. También se han diseñado, construido y probado las interfaces de comunicación entre ambos dispositivos. Dichas interfaces utilizan latches para el flujo de

datos así como de optoacopladores para la protección de ambos puertos.

Independientemente de que el DSP se creó para procesamiento digital de señales, la velocidad en la ejecución de las operaciones requeridas es una característica muy importante para la implementación en tiempo real de controladores difusos como el que se propone en este proyecto.

### Agradecimientos

Este proyecto fue realizado con el financiamiento parcial del CONACYT 33797 y del COSNET 463.01-P.

### Referencias

- [1] Benítez Read J.S. y Pérez Carvajal V., "Diseño y simulación de un control no lineal para un reactor de investigación". *Memorias del IV Congreso Anual de la Sociedad Nuclear Mexicana, A.C.*. Zacatecas, Zac.. 22 al 26 de noviembre de 1993. Vol. 1, pp. 81-84 (1993).
- [2] Benítez-Read J.S. and Vélez-Díaz D., "Comparative study of fuzzy control algorithms for a nuclear reactor". *Robotic and Manufacturing Systems: Recent results in research, development, and applications, TSI Press Series. USA. ISBN: 1-889335-08-8; Vol. 7, pp. 73-78 (1998).*
- [3] DeGroot M.N., "TRIGA Mark III Reactor, Instrumentation, Maintenance Manual", Document No. GA-8585; Gulf General Atomic, Inc. 1968.
- [4] Motorola, "Fuzzy Logic Education Program", Motorola, Inc. 1992.
- [5] TI, "TMS320C5x DSP Starter Kit User's Guide", Texas Instruments, Inc., 1996.
- [6] Vázquez López Héctor, "Diseño y Construcción de un Sistema de Control de Posición y/o velocidad de Motores Basados en Lógica Difusa"; Tesis de Licenciatura, Nov. 1998.