

Una primera aproximación al control de celdas termoelectricas mediante técnicas de control clásico y algoritmos evolutivos

J.F García-Mejía, C. Gutiérrez-Estrada, A. Pérez-Martínez
Universidad Autónoma del Estado de Mexico Centro Universitario UAEM Atlacomulco
Carretera Toluca-Atlacomulco Km60
fgarciam@uaemex.mx

Resumen—Los efectos Seebeck y Thompson explican fenómenos térmicos presentes en algunos materiales cuando circula en ellos una determinada corriente eléctrica. Una aplicación de estos se encuentran en algunas unidades de refrigeración portátiles que utilizan un dispositivo semiconductor denominado celda termoelectrica, la cual, de acuerdo a la literatura especializada es controlada por medio de técnicas de control inteligente o clásico, donde un típico exponente de este ultimo es el controlador PID, cuyos parámetros son calculados por medio del criterio de Nichols, una alternativa de obtención de las constantes proporcionales, integrales y derivativas es mediante la aplicación de algoritmos evolutivos. En este artículo se documenta el uso de dos de ellos: el enjambre de partículas y el algoritmo inmunológico clonal. Cabe destacar que la simulaciones realizadas en este trabajo se desarrollaron en LabView

Palabras clave: Celda termoelectrica, control proporcional integral derivativo, enjambre de partículas, algoritmo inmunológico clonal.

I. INTRODUCCIÓN

Una celda termoelectrica (TEC, por sus siglas en inglés) es un dispositivo semiconductor que tiene la capacidad de generar calor ó frio en función de la magnitud y polaridad, de una corriente eléctrica de alimentación. El sustento teórico de este comportamiento son los efectos Thompson y Seebeck, los cuales explican los procesos de generación de voltaje mediante diferencias de calor y viceversa.

Las aplicaciones de los TEC se encuentran en micro refrigeración, refrigeradores móviles, las ventajas de este tipo de tecnología son: (Tarter, 1993)

- Que respeten el medio ambiente - no clorofluorocarbonos o cualquier otro material que requiere la reposición periódica
- No hay partes móviles
- Tienen un funcionamiento de larga duración: 100.000 - 200.000 horas
- No tienen ninguna dependencia de la posición
- Pequeños

Una celda termoelectrica de manera típica se caracteriza por la función de transferencia descrita en la ecuación 1 (Song, 2010)

$$\tilde{T}_L(s) = G_1(s)\tilde{I}(s) + G_Q(s)\tilde{Q}_L(s) + G_a(s)\tilde{T}_a(s) \quad (2)$$

Donde

$\tilde{T}_L(s)$ representa la temperatura de la cara de enfriamiento
 $\tilde{I}(s)$ es la corriente de entrada
 $\tilde{T}_a(s)$ es la temperatura ambiente

Cabe destacar el modelo matemático se reduce a la expresión mostrada en la ecuación 2 dado que se considera a la temperatura ambiente como constante

$$\tilde{T}_L(s) = G_I(s)\tilde{I}(s) \quad (2)$$

Obteniéndose la siguiente función de transferencia (Ecuación 3)

$$G(s) = -6.4061 \frac{0.064s + 0.00854}{s^2 + 0.5964s + 0.00855} \quad (3)$$

Cuya respuesta a lazo abierto en función al tiempo con una corriente de 3 amperes se muestra en la figura 1. El eje x corresponde al tiempo mientras que y representa la temperatura de la celda. Puede observarse que el establecimiento se presenta a -19 grados centígrados en un tiempo aprox. 400 segundos.

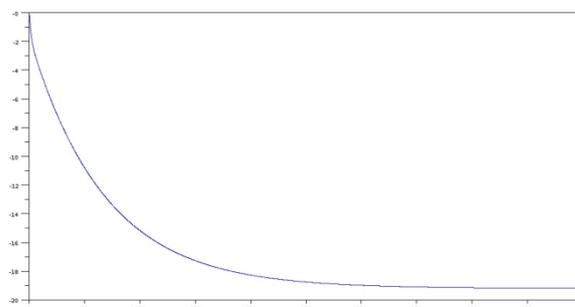


Figura 1. Respuesta a lazo abierto de una celda termoelectrica

La literatura especializada reporta algunos trabajos donde se utilizan técnicas de control inteligente con la finalidad de mejorar la respuesta representativa de la figura 1. En (Samsuddin, 2011) se utiliza un algoritmo Takagi-Sugeno de una entrada-una salida (SISO, por sus siglas en inglés) donde el tiempo de establecimiento es 35.91 segundos, con un establecimiento de -19.44. En (Zang, 2009) y (Li, 2010) se presenta un algoritmo de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO, por sus siglas en inglés)

En cuanto a las técnicas de control clásico que se utilizan para controlar el enfriamiento termoelectrico esta (Huang, 2000) donde se usa un control PI, en (Wey, 2006) se controla el calentamiento de una TEC, por medio de un

controlado PID mientras que el enfriamiento es tratado en (Ahtesham, 2012) con la misma técnica.

En (Huang, 2000), (Wey, 2006) y (Ahtesham, 2012) se calculan los coeficientes por medio de técnicas empíricas, por tal motivo en este artículo se presenta un enfoque basado en algoritmos evolutivos

II. ALGORITMOS EVOLUTIVOS

Los algoritmos evolutivos (EA, por sus siglas en inglés) son series de pasos definidos con aplicación en la optimización o de aprendizaje con la capacidad de evolucionar. Estos tienen tres características principales (Burger, 2007)

- Basado en la población. Un EA mantiene un conjunto de soluciones, llamada población, para optimizar o aprender el problema en forma paralela. Este es un principio básico del proceso evolutivo.
- Fitness-orientada. Todas las soluciones en una población se llama individuo, tiene una representación llamada código y la evaluación de desempeño se denomina aptitud (o fitness). Un EA privilegia a los individuos más aptos, que permitan la optimización y la convergencia de los algoritmos
- Variación de motor. Los individuos de una población que se someten a una serie de operaciones con la finalidad introducir variaciones en su código, esto es fundamental para buscar un espacio de soluciones

Dentro de la clasificación de los algoritmos evolutivos se encuentra el sistema inmunológico artificial (AIS) que se encuentra inspirado en los principios de funcionamiento del sistema defensivo de los mamíferos superiores ante enfermedades, esta idea fue propuesta por Doynne Farmer en 1986 tomando una importancia significativa a finales de la década de los 90 (Fang, 2008).

El sistema inmune ha servido como inspiración para solucionar problemas complejos de ingeniería y la ciencia con gran éxito, debido principalmente a que es un sistema de aprendizaje distribuido con interesantes características. Una de las principales tareas del sistema inmune es mantener al organismo sano. Así, debe ser capaz de reconocer y eliminar microorganismos que son patógenos para el sistema.

Esta respuesta defensiva del sistema inmune presenta interesantes características desde el punto de vista del procesamiento de información. Es por ello que se ha usado como inspiración para crear soluciones alternativas a problemas complejos de ingeniería y la ciencia. Esta es un área relativamente nueva a la cual se le llama sistema inmune artificial (Nunes, 2002).

El sistema inmune artificial es un modelo computacional del sistema inmune biológico que tiene la capacidad de realizar algunas tareas como el reconocimiento de patrones, aprendizaje, adquisición de memoria, generación de diversidad, tolerancia al ruido, generalización, detección distribuida y optimización. Están basados en los principios inmunológicos, que son nuevas técnicas computacionales desarrolladas no sólo para una

mejor comprensión del sistema mismo, sino también a los problemas de ingeniería (Cortes 2004).

Existen varios modelos del sistema inmune artificial, debido a que su campo de aplicación es muy amplio y a la gran complejidad del sistema inmune biológico. Los modelos pueden resumirse en cuatro grandes grupos:

1. Selección negativa
2. Células dendríticas
3. Teoría de Red inmune
4. Principio de selección clonal

La optimización por enjambre de partículas (PSO, por sus siglas en inglés) es otra técnica de los algoritmos evolutivos desarrollada por James Kennedy y Russ Eberhart en 1995, se basa en imitar el comportamiento de enjambres de aves que intenta buscar comida en un área desconocida. Tienen una estructura aritmética simple una alta velocidad de convergencia y habilidad para optimización globales (Tan 2011).

Esta técnica evolutiva se basa en la imitación del comportamiento de las sociedades poco complejas, compuestas por individuos poco sofisticados, ejemplos de esto se encuentra en los bancos de peces, las colonias de hormigas o las bandadas de pájaros, que se comportan como si fueran un único individuo. Este enfoque general se ha concretado en la optimización por colonias de hormigas y la optimización por enjambre de partículas (ACO y PSO respectivamente, por sus siglas en inglés). (Duarte, 2008)

El comportamiento de un enjambre se puede modelar con unas cuantas reglas sencillas. Los enjambres de peces (banco, cardumen) y de pájaros (bandadas, parvadas) se pueden modelar con tales modelos simples. Por ejemplo, aún si las reglas de comportamiento de cada individuo (agente) son simples, el comportamiento del enjambre puede ser complicado. En (Reynolds, 1987) se utilizó los siguientes tres vectores como reglas simples en sus investigaciones (Cruz 2009):

- Alejarse del agente más cercano.
- Ir hacia el destino.
- Ir hacia el centro del enjambre

III. DESARROLLO

El esquema propuesto para controlar la TEC se muestra en la figura 2, donde S/H es el retenedor de orden 0 y $\frac{num(s)}{den(s)}$ es la función de transferencia representada en la ecuación 1

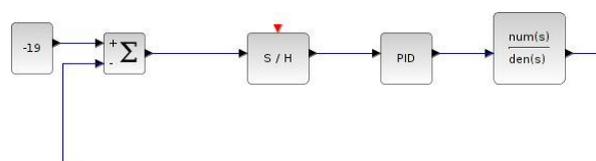


Figura 2 Esquema de control propuesto

El controlador que se propone en este documento es un controlador PID digital, cuya función de transferencia se describe en la ecuación 4, Esto permitirá en aplicaciones futuras una implementación basada en microcontroladores

$$C(z) = K_p + \frac{K_i T z + 1}{2} \frac{z + 1}{z - 1} + \frac{K_d}{T} \frac{z - 1}{z} \quad (4)$$

T es el tiempo de muestreo

K_p es la constante proporcional

K_i es la constante integral

K_d es la constante derivativa

Del esquema mostrado en la figura 2 es posible deducir la función objetivo que se emplea en este desarrollo, la cual se muestra en la siguiente expresión

$$f_{obj} = \frac{1}{1 + \sum |E(z)|} \quad (5)$$

El algoritmo desarrollado para resolver el problema sintonización de un PID para controlar una TEC mediante el algoritmo inmunológico clonal se muestra a continuación

1. Se genera la población inicial (linfocitos) de manera aleatoria, para los valores de K_p , K_i , K_d distribuidos a lo largo del espacio de búsqueda de manera uniforme.
2. Con esta población de controladores se evalúan la función objeto que se considera antígeno
3. Los resultados obtenidos después de evaluar la función objetivo, se ordenarán de mayor a menor, entendiéndose que el valor máximo es el mejor resultado.
4. De éstos valores ordenados se seleccionan n número de resultados para ser clonados (se toman las mejores muestras)
5. Realizar el proceso de mutación con los valores clonados, mediante la ecuación 6

$$x_i^{new} = ((1 - \beta) * x_i) + (\beta + x_{random}) \quad (6)$$

Donde

x_i^{new} es el nuevo elemento mutado.

β es valor aleatorio entre 0 y 1.

x_i es el valor clonado

x_{random} es un valor aleatorio de toda la población de controladores

6. Estos nuevos valores mutados sustituirán a las peores muestras de la población inicial P_i , generando una nueva población de controladores.
7. La población P_i , se evalúa nuevamente con las funciones objetivos.
8. Si los resultados no son óptimos, se vuelven a realizar todo el proceso desde el paso 3, hasta encontrar las mejores soluciones para el controlador.

El algoritmo desarrollado para resolver el problema sintonización de un PID para controlar una TEC mediante un enjambre de partículas se muestra a continuación

1. Se genera la población inicial de manera aleatoria, para los valores de K_p , K_i , K_d (posición de partículas) distribuidos a lo largo del espacio de búsqueda de manera uniforme.
2. Generar los vectores de velocidad correspondientes a K_p , K_i , K_d
3. Con esta población de controladores se evalúan la función objeto que se considera antígeno
4. Actualizar velocidad mediante la siguiente formula

$$v_i(k + 1) = \gamma v_i(k) + c_1 r_i (pbest - p_i(k)) + c_2 r_2 (gbest(k) - p_i(k)) \quad (7)$$

Donde

v_i es velocidad de partículas

γ es aceleración, que decae conforme se incrementan las generaciones

c_1 es constante [0,1]

r_i es constante [0,1]

$pbest$ es mejor local

p_i es posición actual de partícula

c_2 es constante [0,1]

r_2 es constante [0,1]

$gbest(k)$ es el mejor global

k generación

5. Actualizar posición de partícula

$$p_i(k + 1) = p_i + v_i(k + 1) \quad (6)$$

6. Obtener $pbest$ y $gbest(k)$
7. Verificar criterio de terminación, si no saltar a 3

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestra los comparativos que existen entre el ajuste de Nichols, (calculado mediante lo que se expresa en la literatura especializada) el Algoritmo Inmunológico clonal y el enjambre de partículas. Los atributos que se evalúan son el tiempo de establecimiento, el valor del sobreimpulso, el valor del error absoluto y las ganancias K_p , K_i , K_d . Cabe destacar que la convergencia del algoritmo esta determinada por

Las figuras 3,4, y 5 muestran de forma grafica la respuesta de la TEC a los PID cuyos coeficientes son documentados en la tabla 1

De la tabla 1 es posible destacar algunos elementos importantes, el primero de ellos es la reducción de tiempo de establecimiento que presentan los PID ajustados mediante algoritmos evolutivos. Estos últimos también reduce el valor absoluto de la sumatoria del error.

Es posible mejorar los índices de error si se utiliza el concepto de restricciones

Tabla 1 Resultados obtenidos

	Ajuste de Nichols	Algoritmo Inmunológico clonal	Enjambre de partículas
Tiempo de establecimiento	55s	40	38
Sobreimpulso	-21.2	-22	-22.8
Error $\sum E(z) $	40.8186	39.6644	38
$\begin{pmatrix} K_p \\ K_i \\ K_d \end{pmatrix}$	-2.77107, -0.971577 0.0430769	-2.62045 -1.08083 0.0724321	-2.48079 -1.293750. 0.0755456

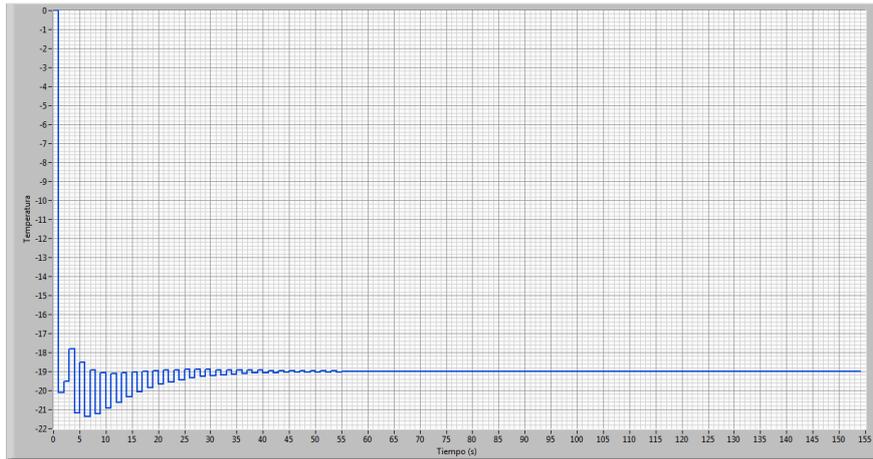


Figura 3 Respuesta PID con coeficientes ajustados mediante criterio de Nichols

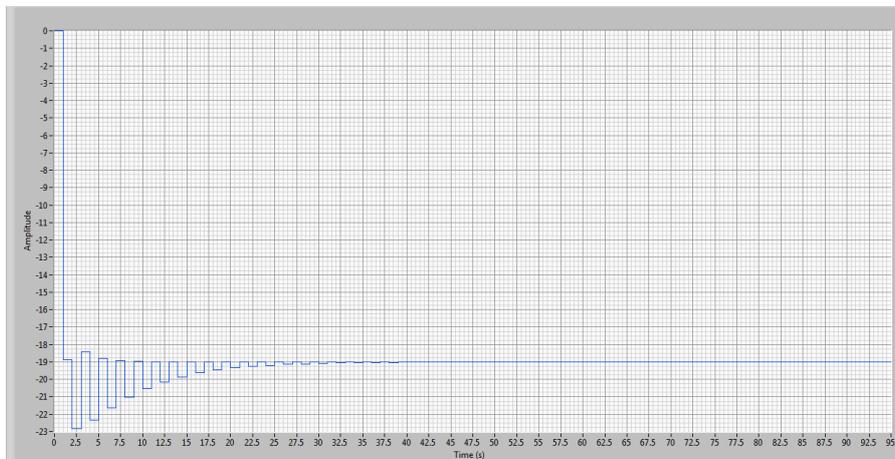


Figura 4 Respuesta PID con coeficientes ajustados mediante enjambre de partículas

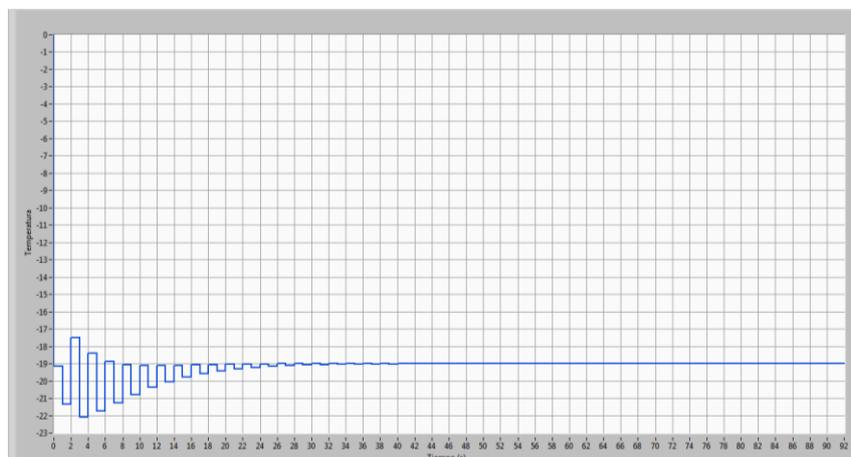


Figura 5 Respuesta PID con coeficientes ajustados mediante algoritmos inmunológicos

V. CONCLUSIONES

El ajuste de controladores por medio de algoritmos evolutivos constituye, de acuerdo a la sección de discusión una alternativa viable. Como puede observarse las ganancias obtenidas pueden ser implementadas con facilidad. Como parte de las restricciones que se planean implantar se propone estudiar la señal de control.

En base a los resultados que se obtuvieron se trabaja en pruebas con otras técnicas, así como la optimización del error de técnicas propias de control inteligente.

Cabe destacar que lo que se documento en este trabajo son los primeros resultados de un proyecto de investigación.

VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Secretaria de Investigación y Estudios Avanzados de la UAEMex la financiación para este desarrollo

REFERENCIAS

Ahtesham, 2012	Fpga-based control of thermoelectric coolers for laser diode temperature regulation International Journal of Engineering Science and Technology 2012
Burger, C. (2007).	Propeller performance analysis and multidisciplinary optimization using a genetic algorithm. Auburn University). ProQuest Dissertations and Theses
C. Reynolds. (1987)	“Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model”. Computer Graphics, 21:25-34.
Cortés Rivera.(2004)	“Un Sistema Inmune Artificial para resolver el problema del Job Shop Scheduling”. México, 2004
Cruz-Chávez Marco Antonio, J. Crispín Zavala-Díaz, (2009)	Aplicación de la Optimización por Enjambre de Partículas a un Problema Inverso de Conducción de Calor Congreso Internacional de Cómputo en Optimización y Software, Memorias del 7mo Congreso de Cómputo CICOS,
Duarte Muñoz, (2008)	A Metaheurísticas Librería-Editorial Dykinson,
Fang, G., Ming Kwok, N., Ha, Q. (2008).	Automatic Fuzzy Membership Function Tuning Using the Particle Swarm Optimization. IEEE Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application
Huang B.J (2000)	B.J Huang, C.L Duang System dynamic model and temperature control of a thermoelectric cooler. International Journal of refrigeration
Li Y.Z., Lee M.K., (2010)	Analysis and Control of Equivalent Physical Simulator for Nanosatellite Space Radiator IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS, VOL. 15, NO. 1
Nunes de Castro, Timmis John. (2002)	“An introduction to Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Paradigm”. Springer-Verlag, .
Samsuddin, N.I., Hasbullah, N.FFuzzy (2011)	Logic Based Temperature Control of Thermoelectric Cooler (TEC) for Photon Avalanche Diode (SPAD) 4th International Conference On Single Mechatronics
Song Shaojing (2010)	Temperature Control of Thermoelectric cooler Based on Adaptive NN-PID 2010 International Conference on Electrical and Control Engineering
Tan, Y., Shi, Y., Chai, Y., Wang, G. (2011).	Advances in Swarm Intelligence. Second International Conference, volumen 2, pp. 42
Tarter R., (1993)	Solid-state power conversion handbook. United State of America: John Wiley and Sons

Wey T. (2006)	Modeling of a Closed-Loop Pump Laser Temperature Control Unit, Including Nonlinear Electronics Controller, and Thermoelectric Cooler and Mechanical Assembly IEEE ISIE 2006
Zang H.Q., Li Qian (2009)	The Automatic Temperature System With Fuzzy Self-adaptive PID Control In Semiconductor Laser Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics