

Estudio de Diferentes Estrategias de Control para un Tanque de Mezclado: PID, Control de Matriz Dinámica (DMC) y Lógica Difusa (FLC).

Study of Different Control Possibilities for a Mixing Tank: PID, Dynamic Matrix Control (DMC) and fuzzy logic controller (FLC).

Argemiro Palencia Diaz¹

1. Ingeniero Mecánico, Profesor tiempo completo, Universidad Autónoma del Caribe.
Grupo GIIMA. apalencia@uac.edu.co

Recibido 5/04/2010, Aceptado 5/06/2010

RESUMEN

En los procesos industriales siempre existe la necesidad de una identificación del comportamiento del sistema como medio para realizar modificaciones orientadas a la optimización y al control de las variables relevantes. Esta investigación tiene como objetivo principal evaluar el comportamiento de tres estrategias de control aplicadas a un tanque mezclador. En el desarrollo del estudio fue necesario elaborar el modelo dinámico del proceso para luego simularlo mediante software de modelado matemático, lo cual permitió la implementación de las estrategias de control objeto de estudio. En los resultados se aprecia claramente que las estrategias de control descentralizado (DMC) son una alternativa atractiva para realizar el control de procesos debido a que tienen un desempeño similar y en algunos casos superior al mostrado cuando se utilizan PID y controladores de lógica difusa (FLC), teniendo estos últimos un comportamiento también adecuado sumado a las ventajas propias del uso de este tipo de control.

Palabras Clave: Estrategias de Control / PID / Matriz de Control Dinámico / DMC / Lógica Difusa / FLC.

ABSTRACT

Industrial processes always need to identify system's behavior as a means to make changes for relevant variables optimization and control. This research has the goal to evaluate the behavior of three control strategies applied to a mixing tank. In the study was necessary to obtain the process's dynamic model to perform the simulation using a mathematical modeling software. Model allowed to implement the control strategies under consideration. Results show that decentralized strategies (DMC) have similar performance and some cases superior that when using PID. Fuzzy logic controller showed appropriate behavior added to inherent advantages of using this type of control.

Key words: Control strategies, / PID / Dynamic Matrix Control / DMC / Fuzzy Logic / FLC

Introducción

Las industrias utilizan normalmente en sus procesos estrategias de control basadas en controladores PID los cuales tienen un comportamiento adecuado para una gran cantidad de aplicaciones. No obstante existen otras alternativas que pueden suplir las necesidades del sector industrial y además proporcionan la posibilidad de manejar varios lazos de control mediante un sistema único, en el cual se encuentra implementado un dispositivo multivariado que entra a formar parte de todos los lazos de control del proceso. Por otra parte existen técnicas de inteligencia artificial que permiten utilizar los conocimientos del proceso para facilitar su control mediante algoritmos que convierten la experiencia en órdenes de control a través de reglas.

El objetivo del estudio es evaluar el desempeño de tres estrategias de control:

- i) Estrategia básica mediante controlador PID,
- ii) Estrategia avanzada mediante matriz de control dinámico
- iii) Estrategia avanzada utilizando lógica difusa.

Para lograr el objetivo se plantea la obtención del modelo dinámico, su representación mediante software matemático, posteriormente se implementa cada una de las estrategias propuestas y se realizan corridas bajo distintas condiciones para observar el comportamiento dinámico de la variable controlada, que en este caso es la temperatura a la salida de un tanque de mezclado. Las estrategias de control estudiadas han sido investigadas por muchos autores y su comportamiento para distintos sistemas se ha mostrado, Aufderheide B. et al [1] en su investigación observan el comportamiento de un DMC bajo distintos regímenes de operación utilizando modelos múltiples de control predictivo, comentan que estas estrategias tienen gran potencial para manejar sistemas con alta variabilidad en donde las posibilidades de obtener modelos basados en principios básicos es difícil o cuando múltiples perturbaciones están presentes. Bentes F. et al [2] presentaron un análisis comparativo entre el control PI clásico y estrategias de MPC (model predictive control) en un proceso de secado, encontraron que para este tipo de procesos el control mediante DMC presenta un comportamiento satisfactorio incluso para el caso de las mayores perturbaciones.

Fischer M. et al [3] por su parte analizaron una estrategia de control predictivo basada en lógica difusa y compararon sus resultados con los obtenidos en un control mediante DMC, comentan que las dos estrategias mostraron gran efectividad en mantener la estabilidad cuando se usaron en un intercambiador de calor a escala industrial.

Benhidjeb A. et al [4] establecieron comparaciones entre un control por lógica difusa y un control lineal cuadrático gaussiano (LQG), examinaron los resultados para una gran cantidad de perturbaciones, en sus resultados resaltan la gran ventaja de poder implementar el controlador por lógica difusa sin utilizar un modelo matemático.

Demircan M. et al [5] usaron modelos de lógica difusa para implementar un controlador DMC, en sus resultados comentan que el comportamiento del sistema es bueno en la mayor parte de la zona de operación. Vasconcelos L. et al. [6] desarrollaron una estrategia de control para el secado utilizando matriz dinámica como medio para obtener mejores resultados en la producción, en sus resultados mostraron que la estrategia tiene un comportamiento satisfactorio frente a variaciones en el punto de control y a perturbaciones.

Cutler C [7] en su investigación propone establecer criterios de evaluación del desempeño que permitan observar el comportamiento de las estrategias de DMC y PID en ambientes similares. Ruihua W. and Lihong X. [8] por su parte implementaron una estrategia en la cual un controlador DMC y un PID clásico trabajaban en paralelo en un proceso, en sus resultados establecen que este tipo de estrategia conjugada también presenta buenos resultados en términos de variaciones en los parámetros y frente a perturbaciones. Hristu D. et al [9] realizaron análisis en el control sobre una mano robótica cuando se usa un PID y para una estrategia de lógica difusa, muestran en sus resultados las comparaciones en el desempeño de los dos métodos y comentan las implicaciones de cada sistemas. Coleman C. et al [10] desarrollaron un análisis comparativo para demostrar la robustez de estrategias que utilizan lógica difusa, en sus conclusiones comentan sobre el gran campo de aplicación y la significativa capacidad de control de las estrategias mediante lógica difusa frente a perturbaciones. Serra M. et al [11] analizan distintas posibilidades de control para una columna de separación, comentan sobre la capacidad de controladores DMC para manejar perturbaciones y cambios en el punto de control frente a el control clásico.

Como se comento se han realizado varias investigaciones para comparar estrategias de control, sin embargo cada día existen modificaciones y nuevas técnicas que permiten analizar en más detalle el desempeño de las estrategias frente a diferentes sistemas, en las secciones siguientes se describe un proceso de mezclado en un tanque, se muestra los resultados de la implementación del sistema junto a las estrategias de control estudiadas en un software matemático y posteriormente se establecen conclusiones.

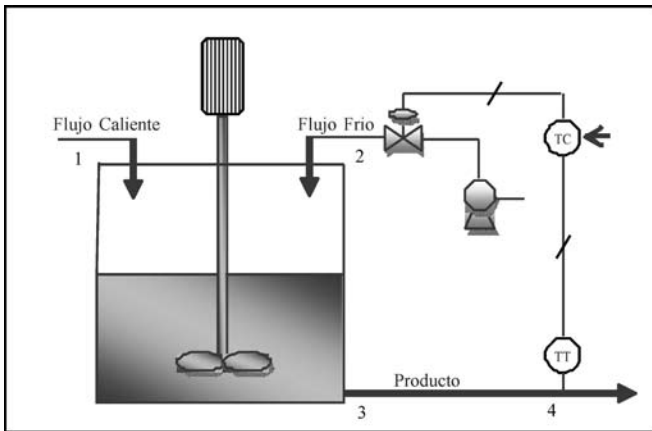
2. Metodología

2.1. Modelado Dinámico del Sistema

2.1.1 Descripción del Proceso

El proceso consta de un tanque al que se vierten dos fluidos, uno se encuentra a alta temperatura (flujo caliente f_1) mientras el otro está a una temperatura baja (flujo frío f_2), las principales perturbaciones para el sistema son la temperatura (T_1) y el flujo de la línea de alta temperatura. Se asume que las distintas propiedades de los fluidos en el tanque son uniformes, la variable a controlar es la temperatura de salida del producto (T_3) y se tiene como variable manipulada el flujo de agua fría que ingresa al tanque, esta última se convierte en el medio para establecer las distintas estrategias de control. El segmento de tubería que va del tanque hasta el sensor de temperatura es el único tramo considerado relevante para el proceso y por tanto el único que genera retrasos por transporte en las propiedades del fluido. La figura 1 muestra un esquema de la situación.

Figura 1. Tanque de Mezclado



2.1.2. Modelo Dinámico

Para el modelado dinámico se desarrollan las ecuaciones correspondientes a los balances de energía y masa en el tanque de mezclado:

Balance de Masa:

$$f_{1(t)} + f_{2(t)} - f_{3(t)} = 0 \quad [1]$$

Balance de energía

$$f_{1(t)}c_pT_{1(t)} + f_{2(t)}c_pT_{2(t)} - f_{3(t)}c_pT_{3(t)} = Vc_v\rho \frac{d}{dt}T_{3(t)} \quad [2]$$

Ahora se tienen las ecuaciones para el retraso por transporte:

$$T_{4(t)} = T_3'(t - t_{0(t)}) \quad [3]$$

$$t_{0(t)} = \frac{L A \rho}{f_{3(t)}} \quad [4]$$

El sistema formado por las ecuaciones 1 a 4 es suficiente para representar la dinámica del proceso, en la tabla 1 se presenta los valores correspondientes a las distintas variables conocidas.

Tabla 1. Información del Sistema

Tanque		
Entrada Estado Estable		
f_1	250	lbm/min
f_2	191.17	lbm/min
T_1	250	°F
T_2	50	°F

Tubería		
V	15	ft ³
L	125	ft
A	0.2	ft ²

Corrientes		
C_p	0.8	BTU/lbm °F
C_v	0.9	BTU/lbm °F
ρ	60	lb/ft ³

Para obtener el valor de estado estable de la temperatura de salida del producto se iguala a cero la derivada presente en las ecuaciones y se resuelve el sistema. El valor obtenido se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Estado estable temperatura de Producto

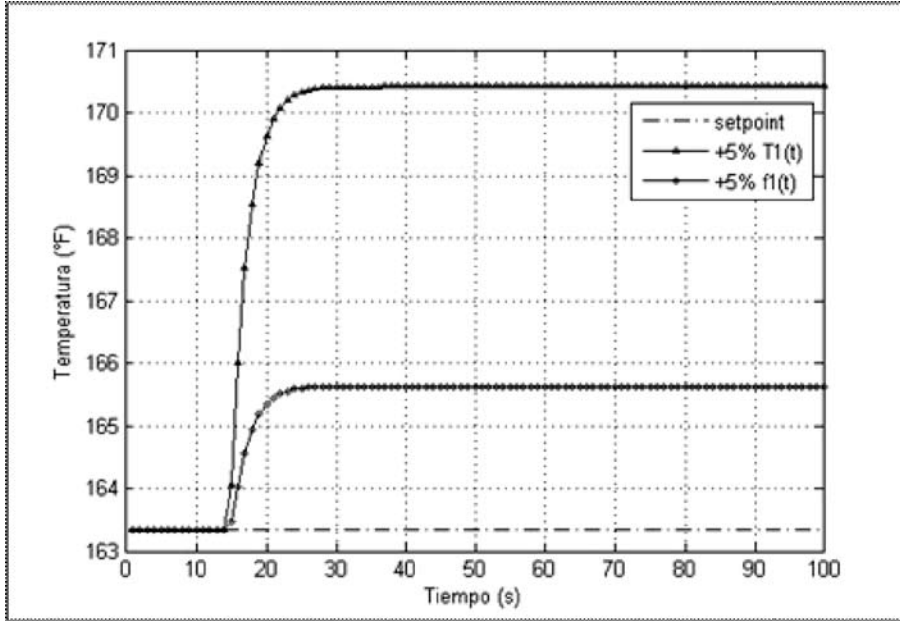
Estado estable salida		
T_3	163.335	°F

Finalmente se introducen las ecuaciones dentro del software de modelado matemático y se observa el desempeño de las variables en estado estable. La figura 2 muestra el comportamiento de la temperatura frente a perturbaciones en la temperatura y flujo de la corriente caliente. El comportamiento de la temperatura de salida es el espe-

rado, aumenta cuando se incrementa la temperatura o el flujo de la corriente de alimentación f_1 , ahora se procede

a evaluar el comportamiento frente a las distintas estrategias propuestas.

Figura 2. Respuesta de la temperatura ante variaciones en la entrada.



3. Resultados

3.1. Control Por Retroalimentación (PID)

La primera estrategia a implementar es el control por retroalimentación utilizando un controlador PID que resulta adecuado debido a que la variable controlada (temperatura) no presenta ruido y además no tolera offset. Con el objetivo de establecer los parámetros del controlador se realiza una prueba para caracterizar el proceso variando el flujo de agua fría (f_2) de su estado estable a un 5% por encima de este. Los resultados permitieron ajustar un modelo de primer orden más tiempo muerto del proceso mediante el método FIT 3 propuesto por Smith C. and Corripio A. [12], las variables del modelo se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Modelo de primer orden

Fit 3	
K	-0,983
τ	2,369
t_0	4,074

Utilizando este modelo se aplica el método de Sintonizando por síntesis de Dhalin para controladores PID y se ob-

tienen los valores para la ganancia, el tiempo integral y el tiempo derivativo que aparecen en la tabla 4.

Tabla 4. Parámetros Controlador

PID	
t_i	2,369
τ_D	2,037
Kc	-0,493

Se observa que el controlador es de acción directa, si aumenta la temperatura $T_3(t)$ aumenta la señal del sensor y es necesario aumentar el flujo de agua fría $f_2(t)$, al usar una válvula falla cerrada se requiere aumentar la señal del controlador. Las figura 3 y 4 muestran el comportamiento de la estrategia de control por retroalimentación del proceso.

3.2. Control Mediante Matriz Dinámica (DMC)

Esta tecnología funciona basándose en el principio de superposición, si se conoce la respuesta del sistema frente a cambios en la variable manipulada o frente a una perturbación medible, y se conoce cuál es el comportamiento adecuado de la variable del proceso, es posible encontrar la señal del controlador que mantenga el sistema dentro de esos márgenes de funcionamiento.

Figura 3. Comportamientos frente a un cambio de +5% en perturbaciones (PID)

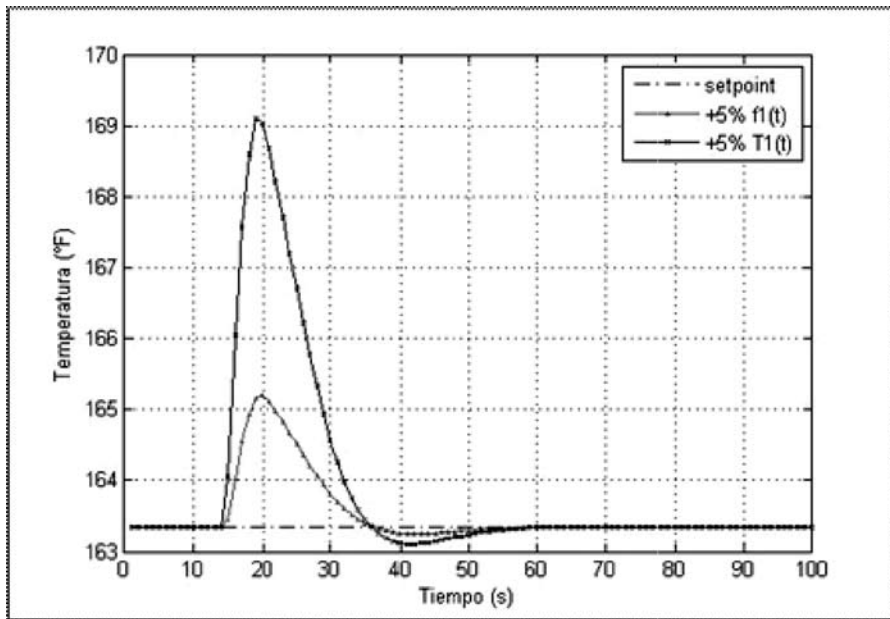
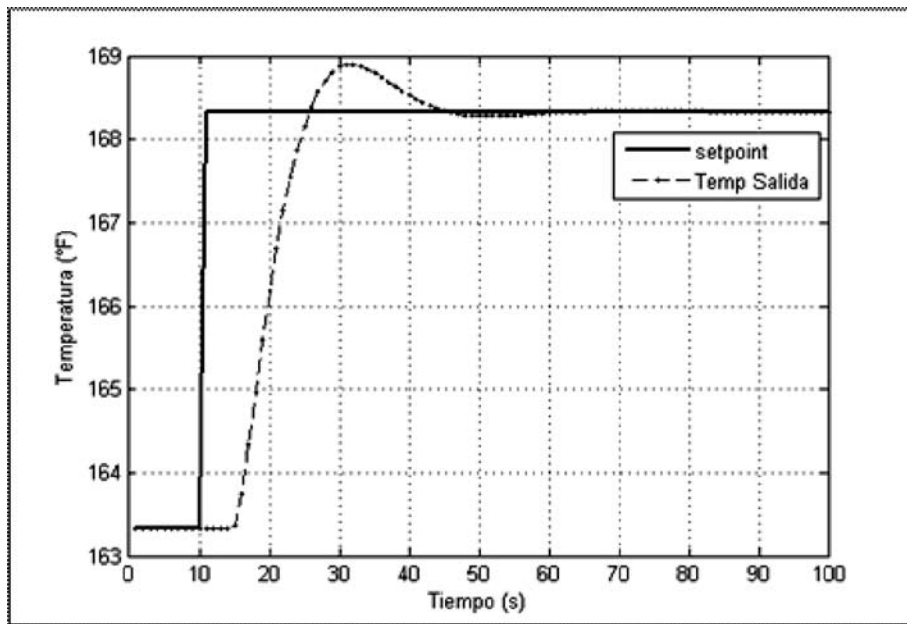


Figura 4. Comportamiento Frente a Cambio de Setpoint (PID)



Para implementar esta estrategia lo primero es establecer el horizonte de control, el cual se toma como definido, lo que permite tener la curva de respuesta del proceso frente a cambios en el controlador, luego se determina el tiempo de muestreo y el tamaño de la muestra, se obtiene entonces el tamaño del vector de salida del controlador que se

desea predecir, se construye la matriz de representación del sistema frente a cambios en la señal del controlador, luego implementamos el algoritmo DMC mediante el método de mínimos cuadrados. Las figuras 5 y 6 muestran el comportamiento de la estrategia.

Figura 5. Comportamientos frente a un cambio de +5% en perturbaciones (DMC)

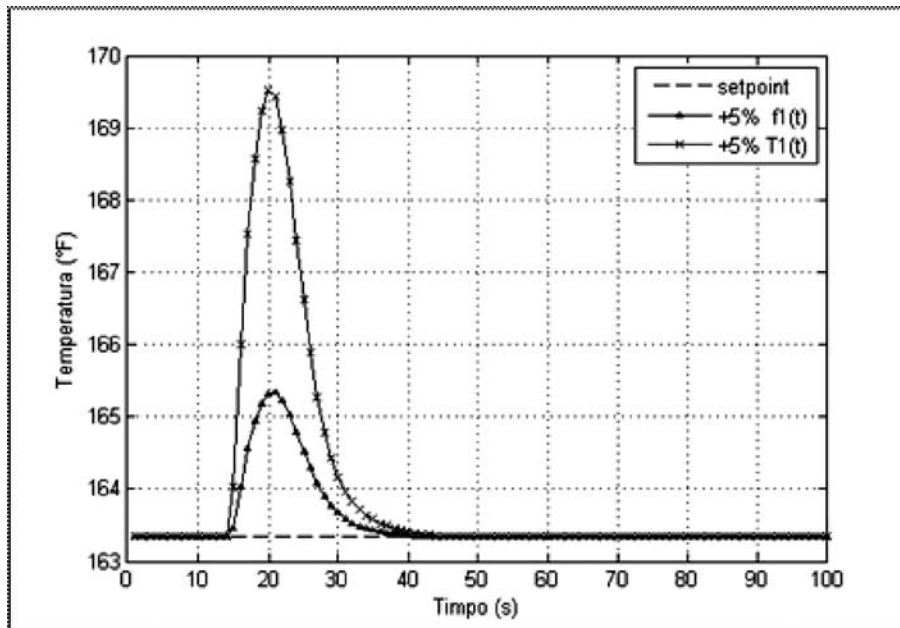
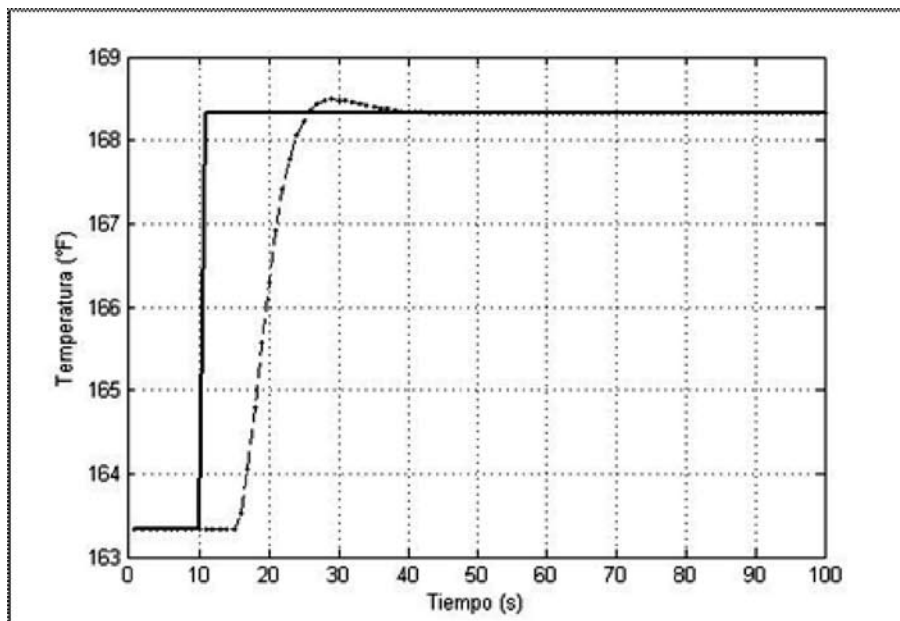


Figura 6. Comportamiento Frente a Cambio de Setpoint (DMC)



3.3. Control Mediante Lógica Difusa (FLC)

Esta estrategia pertenece al grupo de los basados en técnicas de inteligencia artificial y junto a las redes neuronales constituye una de las alternativas más utilizadas en aplicaciones al control de procesos. La lógica difusa permite

implementar reglas para toma de decisiones y además presenta una interface lingüística de equivalencia.

Su implementación requiere establecer cómo se comporta el error en términos de su valor absoluto y tasa de cambio. Las figuras 7 y 8 muestran las reglas y el comportamiento de la lógica utilizada, Las figuras 9 y 10 muestran la respuesta del sistema frente a la estrategia.

Figura 7. Diagrama de reglas implementadas

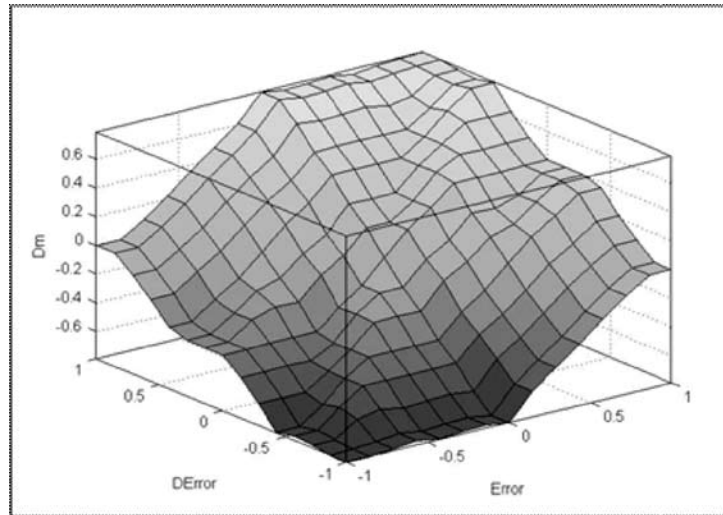


Figura 8. Reglas Utilizadas en la implementación del FLC

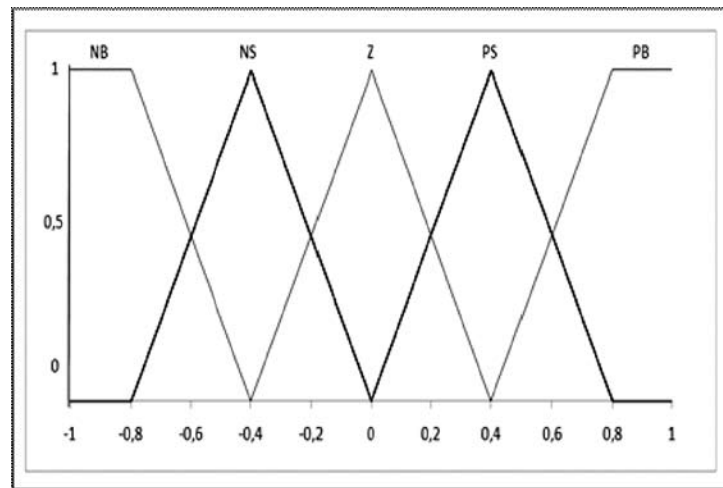


Figura 9. Comportamientos frente a un cambio de +5% en perturbaciones (FLC)

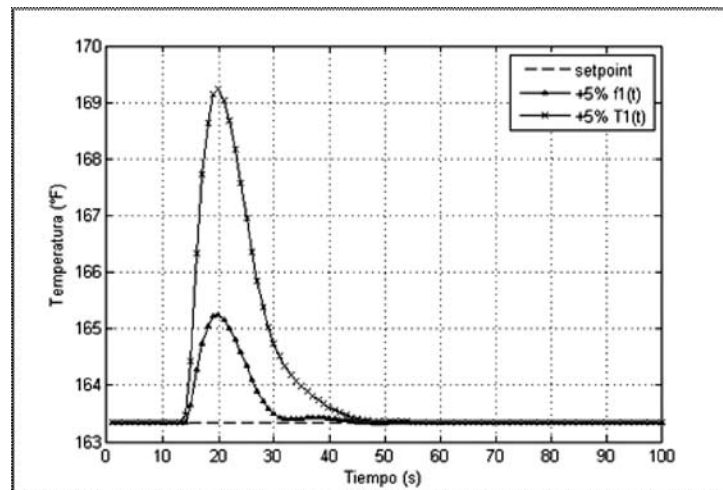
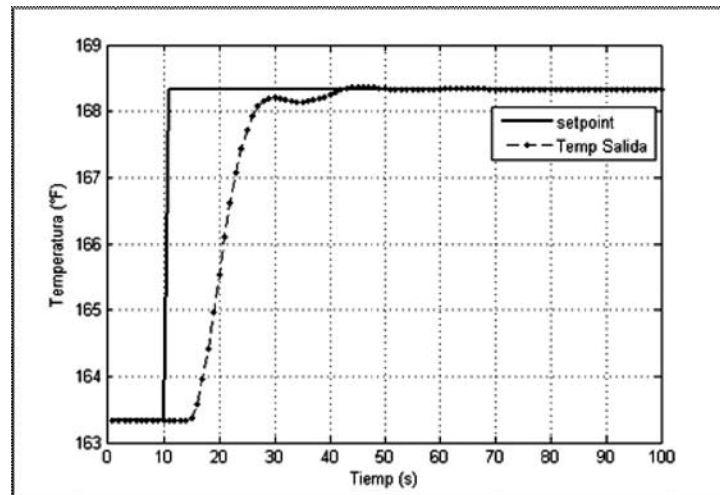


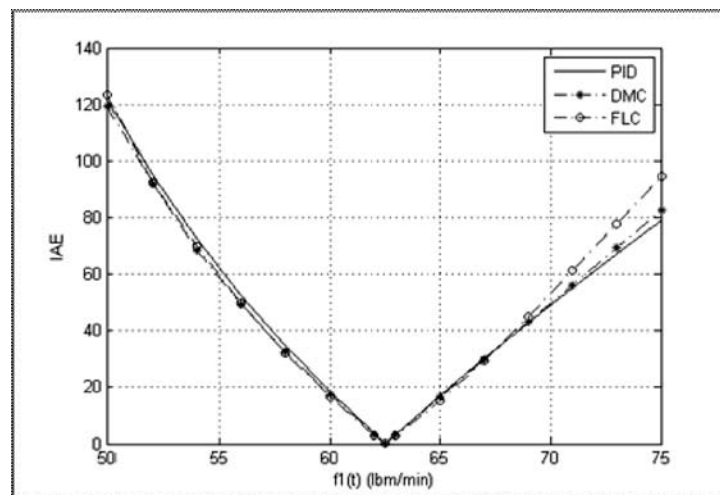
Figura 10. Comportamiento Frente a Cambio de Setpoint FLC.



Las representaciones del comportamiento de las tres estrategias muestran un comportamiento muy similar cuando se presentan perturbaciones, sin embargo frente a cambios en el setpoint las estrategias DMC y FLC presentaron un comportamiento ligeramente mejor, la figura 11 muestra una grafica comparativa de las tres estrategias desde el punto de vista de la integral absoluta del error, en esta se aprecia que para la gran mayoría del rango estudiado las

estrategias de control avanzadas tienen valores inferiores en este indicador, sin embargo las diferencias no son alarmantes lo cual demuestra que el uso del PID como medio para controlar sistemas es válido, aunque las estrategias avanzadas presentan otras ventajas como el control de varios parámetros utilizando un solo dispositivo y en el caso de la lógica difusa la facilidad de utilizar el conocimiento del proceso para implementar la estrategia.

Figura 11. Integral absoluta del error para distintas perturbaciones.



4. Conclusiones

- Esta investigación está dirigida a comparar varias estrategias de control para lo cual se utilizó como medio la representación dinámica de un reactor de mezclado, como principal observación podemos esta-

blecer que las estrategia de control avanzado, control por matriz dinámica y lógica difusa particularmente, son una alternativa viable como medio para reemplazar el control clásico que utiliza controladores PID, teniendo ventajas como la posibilidad de utilizar para el caso de FLC el conocimiento del sistema para esta-

blecer reglas de control y en el caso del control por DMC la ventaja de controlar distintas variables desde un solo dispositivo.

- Lo anterior convierte a las estrategias DMC y FLC en una alternativa atractiva frente al control de sistemas sin embargo en muchos casos se deben crear nuevos indicadores de comparación como medio para establecer diferencias, ventajas y desventajas entre cada uno, y tener herramientas a la hora de escoger una estrategia para su aplicación en un sistema.

5. Referencias

- [1] Aufderheide B, Wayne B., Extension of dynamic matrix control to multiple models, *Computers and Chemical Engineering*, 27, 1079-1096, 2003.
- [2] Bentes F., Aparecido N.; Guimares R., and Teixeira J., Comparison among PI, DMC, QDMC, and GPC Algorithms In The Control Of The Spouted Bed Dryer, *Chemical Engineering Communications*, 193, 24-37, 2006.
- [3] Fischer M., Nelles O. and Isermann R., Predictive control based on local linear fuzzy models, *International Journal of Systems Science*, 29 (7), 679-697, 1998.
- [4] Benhidjeb A. and Gissing G., Fuzzy control of an over-read crane performance comparison with classic control, *Control engineering Practice*, 3 (12), 1687-1696, 1995.
- [5] Demircan M., Amurdan C. and Postlethwaite E., On-Line Learning Fuzzy Relational Model Based Dynamic Matrix Control of an Open loop Unstable Process, *Trans IChemE*, 77, 421-428, 1999.
- [6] Vasconcelos L. and Maciel R., Development of a Supervisory Control Strategy For The Optimal Operation Of Grain Dryers, *Drying Technology*, 16 (9&10), 2017-2031, 1998.
- [7] Cutler C. and Johnston C., Comparison of the Quality Criterion for PID and Predictive Controllers, *American Control Conference*, 214 – 219, 1985.
- [8] Ruihua W. and Lihong X., Adaptive Paralleled DMC-PID Controller Design on System with Uncertainties, *2009 Ninth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*, 720-724, 2009.
- [9] Hristu D., Babb J., Singh H. and Gottschlich S., Position and Force Control of a Multifingered Hand: A Comparison of Fuzzy Logic to Traditional PID Control. *Advanced Robotic Systems and the Real World, International Conference*, 2, 1391 – 1398, 1994.
- [10] Coleman C. and Godbole D, A Comparison of Robustness: Fuzzy Logic, PID, & Sliding Mode Control, *IEEE World Congress on Computational Intelligence*, 3, 1654 – 1659, 1994.
- [11] Serra M., Perrier M., Espuña A. and Puigjaner L., *Computers and Chemical Engineering*, 25, 859–866, 2001.
- [12] Smith C. and Corripio A., *Principles and Practice of Automatic Process Control*, John Wiley & Sons Inc., USA, 1997.