

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERIA
Y AGRIMENSURA**

(F.C.E.I.A.)

TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

**Sistemas Difusos:
Controlador Borroso**

ALUMNOS:

CARRAZZONI, Renzo C-6092/5

RAMIREZ, Fernando R-3888/1

GRUPO: 8

AÑO: 2021

INDICE

Contenido

Introducción.....	1
Sistema a Controlar	1
Estrategia Implementada	2
Desarrollo.....	4
Implementación y Desempeño.....	6
Conclusiones:	8
Bibliografía:	8

Introducción

En el siguiente informe se aborda un problema de control donde se dispone del modelo riguroso de un sistema de Reactor de Tanque Agitado Continuo, o CSTR, brindado por la cátedra de Teoría de Control en donde se aplicaron distintas estrategias de diseño de controladores, entre ellas el modelo más simplificado: **Controlador Feedback tipo P**.

Sobre esta planta, se diseñará e implementará un nuevo tipo de controlador, pero esta vez determinado mediante las estrategias de lógica difusa, con la cual lograremos obtener un **Controlador Borroso** con el objetivo de contrastar prestaciones y en lo posible, obtener mejor una mejor performance para sustituir el clásico controlador ya calculado.

Sistema a Controlar

Sabiendo que se dispone del modelo riguroso del sistema “Producción de Biodiesel en un reactor agitado” mostrado en la Figura 1, se aplicó la estrategia de diseño de controladores Feedback con el fin de controlar la concentración de biodiesel del reactor.

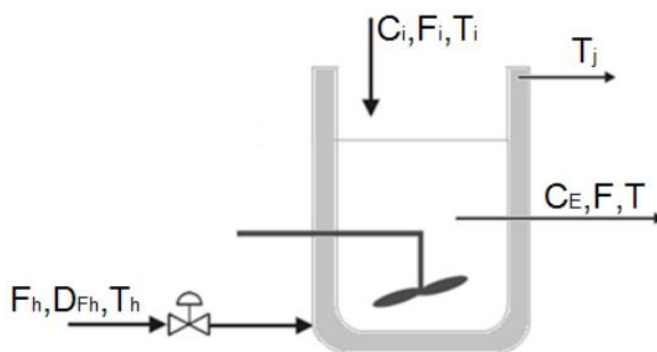


Figura 1. Reactor de Biodiesel

Entradas:

- F_h : Flujo de líquido de calentamiento (**variable manipulada, MV**)
- D_{Fh} : Perturbación del flujo de líquido de calentamiento (**perturbación no medible, DV**)
- T_h : Temperatura del líquido de calentamiento
- T_i : Temperatura del reactivo entrante
- C_i : Concentración del reactivo entrante
- F_i : Flujo de reactivo entrante (**perturbación medible, DV**)

Salidas:

- C_E : Concentración de biodiesel (**variable a controlar, CV**)
- T_j : Temperatura del líquido de calentamiento en la camisa
- F : Flujo de biodiesel
- T : Temperatura del biodiesel

El propósito de este reactor es que ingresen determinados reactivos (C_i , F_i y T_i) y se mezclen continuamente a una determinada temperatura para originar un producto que en esta incumbencia será el Biodiesel. Para este fin, el procedimiento de control que se realiza es el de mensurar la concentración C_E y compararla con su referencia, es decir, el valor deseado de Biodiesel ajustado o SetPoint. El error resultante entre las mediciones ingresará como información al controlador que de alguna manera definirá la señal que se entregará al actuador (válvula) para establecer lo que sería la variable manipulada F_h que corresponde al flujo de líquido caliente que interacciona con la camisa del reactor para definir la temperatura de la misma, que es la que indirectamente define, por teoría termodinámica, la mencionada concentración de Biodiesel.

De esta manera, quedan definidas las variables lingüísticas de entrada y salida, correspondientes.

Estrategia Implementada

Como es de nuestro conocimiento, la estructura más utilizada y difundida en la industria es la filosofía de control por realimentación o simplemente *Feedback*. Las ventajas más sustanciales de esta estrategia es la de brindar un funcionamiento simple y reducida en carga computacional. Este método consiste sencillamente en comparar el valor actual de la variable controlada con su valor deseado y, en función de esta comparación, modificar la variable manipulada, como muestra la Figura 2, donde FB es el bloque controlador propiamente dicho.

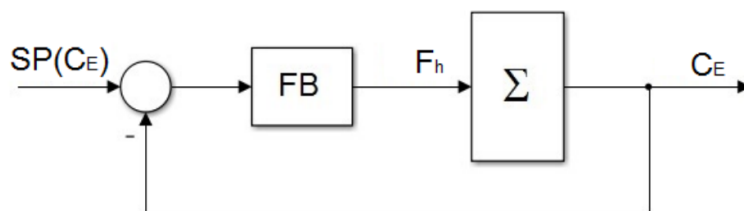


Figura 2. Esquema de control feedback

La primera solución más directa y tradicional ante un esquema de este tipo es la de proponer un controlador con ganancia proporcional, comúnmente definido como Controlador tipo P. Esta técnica nos aportará en la salida una evolución principalmente más rápida. Su limitación, luego, es la de encontrar dependiendo del valor de la ganancia K_p , una solución de compromiso entre una respuesta más o menos oscilante (SV y tiempo de respuesta) y un valor final mínimo de Offset. Además, se puede corroborar que la compensación del error en estado estacionario nunca podrá ser absoluta, ya que para este tipo de controladores, el error tiende a 0 sólo a medida que K_p tiende a infinito.

Teniendo en cuenta lo anterior, se aplicó una regla que responde a ciertos criterios de diseño para la evolución de nuestra salida: el método Cohen-Coon. Este es un procedimiento estandarizado que según el comportamiento de la salida de nuestro proceso, puede determinar los mejores valores de K_p para nuestro control. El valor obtenido en cuestión es de:

$$K_p = 24.7340$$

Asimismo, se comprobó empíricamente que el cálculo de la ganancia por Cohen-Coon sobresalía frente a otros métodos a la hora de realizar una comparación de índices de desempeño (IAE).

La respuesta del sistema que analizaremos a lo largo del informe es ante un cambio del 2% del SetPoint a los 100 segundos de iniciado el proceso, es decir, un clásico seguimiento de referencias conocido como **servo-comportamiento**. Se muestra en la siguiente figura, Figura 3, la respuesta con el controlador proporcional.

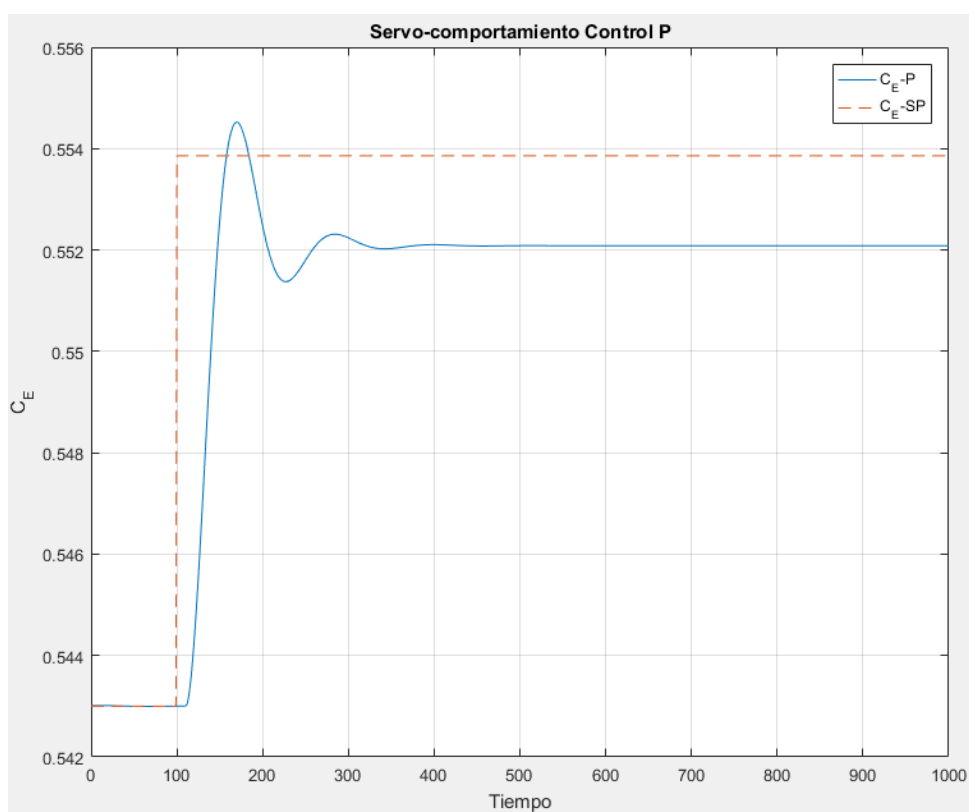


Figura 3: Respuesta de un servo-control tipo P

Es correcto deducir que nuestro proceso se comporta como un sistema de segundo orden, donde la respuesta en régimen permanente posee un valor de offset de 0.00176, que es aproximadamente 0.32% del valor requerido.

Desarrollo

Para comenzar con nuestra solución, con el objetivo de definir nuestros universos de discurso y sus conjuntos difusos asociados, se procedió a observar el comportamiento de las variables de entrada y salida del controlador. Se propuso utilizar **funciones de transferencia trapezoidal** con sus respectivas pertenencias máximas adyacentes y con un solapamiento de sus segmentos lineales. Partiendo de dichas funciones, se dividió el campo de discurso de la entrada en positivo y negativo, generando de esta forma tres conjuntos en cada semieje.

Por otra parte, se correlaciona una nula pertenencia para el valor nulo de la variable, mientras que los conjuntos de los extremos se definieron más allá del límite del dominio.

Para determinar los conjuntos se tomó como referencia las dimensiones de los picos que se presentan en el período transitorio observado.

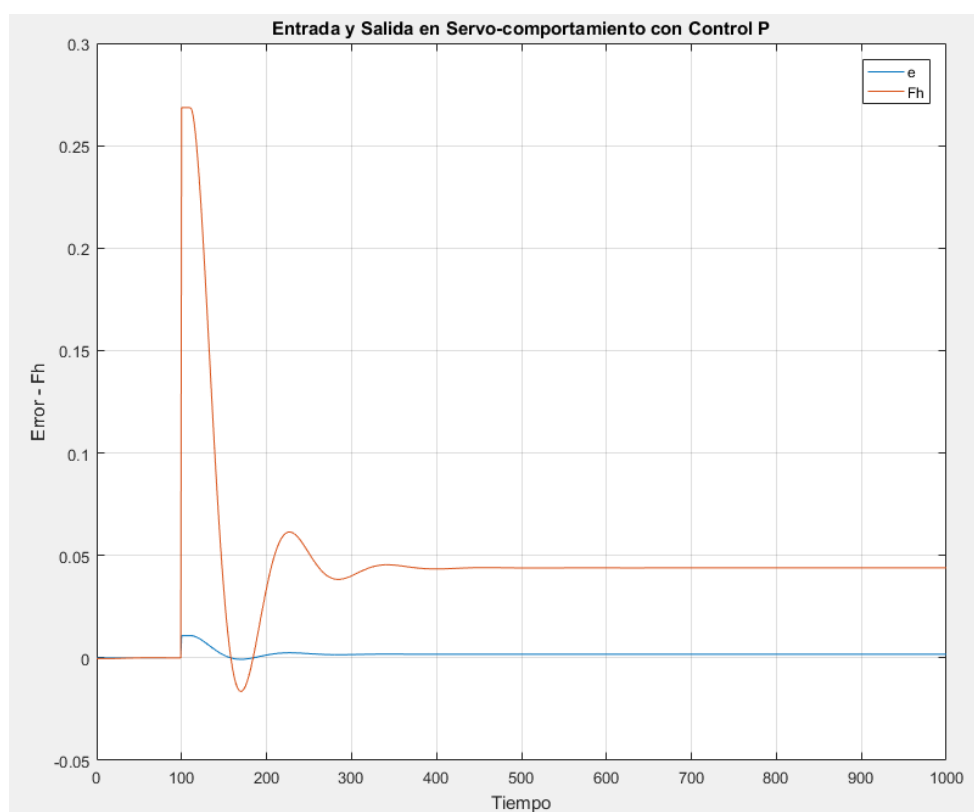


Figura 4: Evolución del error de la entrada y de la salida

Finalmente, basta con multiplicar al conjunto de entrada por el valor de la constante K_p del controlador para obtener el universo de discurso de la salida y sus conjuntos bajo el mismo razonamiento que las entradas.

En particular, nuestro bloque de controlador borroso diseñado e implementado bajo estos criterios nos arrojaron una respuesta en régimen estacionario muy favorable. Aun así nos topamos con un ligero inconveniente al observar que el comportamiento previo a la variación del escalón presentaba una evolución oscilante, un efecto que se produce cuando el valor de error a la entrada del bloque se acercaba al valor nulo.

Para mitigar este efecto, para realizar un ajuste más fino se modificaron los conjuntos en torno al cero, con el objetivo de lograr que evolucionen desde positivo a negativo y viceversa mediante un solapamiento.

Como referencia para la denominación de los conjuntos, se decidió optar por una nomenclatura siguiendo el ejemplo del controlador visto en clase, donde:

- Alto y negativo: AN
- Medio y negativo: MN
- Bajo y negativo: BN
- Bajo y positivo: BP
- Medio y positivo: MP
- Alto y positivo: AP

En cuanto a los conjuntos de salida, se decidió no implementar ninguna alteración ya que luego de unos testeos se determinó que esto se traduciría directamente en un incremento en el Offset.

A continuación, en las Figuras 5, se grafican las definiciones de las etiquetas de la variable de entrada.

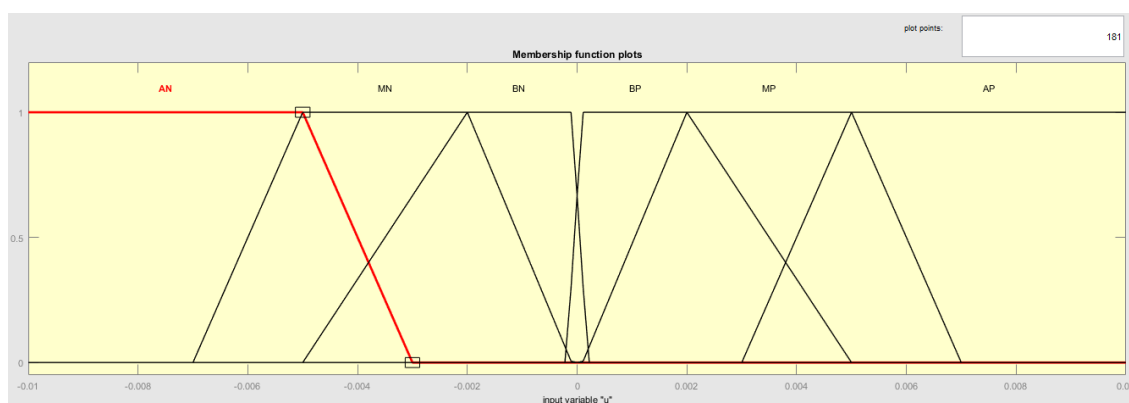


Figura 5: Conjuntos simétricos difusos de entrada

Mientras que las definiciones de la variable de salida quedan esbozadas de la siguiente manera:

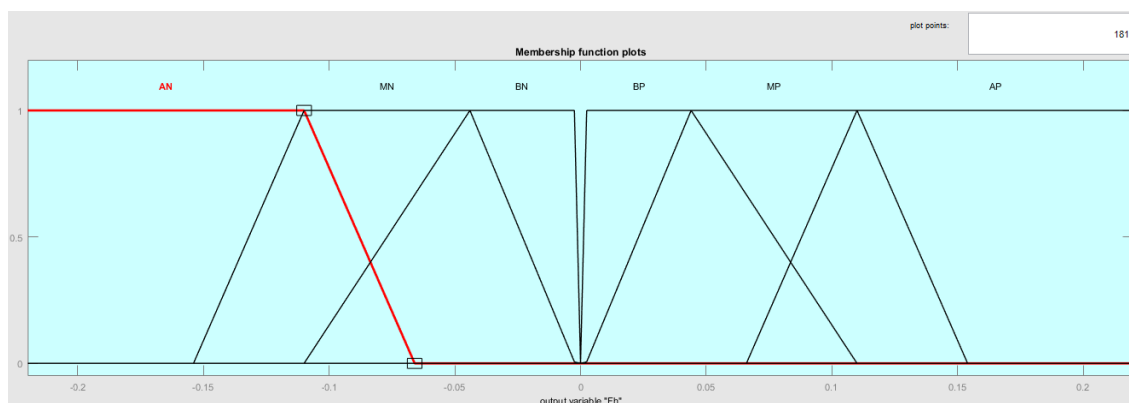


Figura 6: Conjuntos simétricos difusos de salida

Posteriormente, teniendo como referencia el controlador clásico, se definieron las reglas de la siguiente manera para que relacionen a las etiquetas en forma directa.

$$Si\ e = AN \rightarrow Fh = AN$$

$$Si\ e = MN \rightarrow Fh = MN$$

$$Si\ e = BN \rightarrow Fh = BN$$

$$Si\ e = AP \rightarrow Fh = AP$$

$$Si\ e = MP \rightarrow Fh = MP$$

$$Si\ e = BP \rightarrow Fh = BP$$

Para finalizar, teniendo en cuenta que es exigencia fundamental establecer un equilibrio en la respuesta, es necesario abordar toda la pertenencia final. Considerando lo anterior, se dispusieron ensayos con diferentes métodos de defuzzificación, para concluir finalmente que el único método que no presenta oscilaciones en el régimen estacionario es el **método del Centroide**.

Implementación y Desempeño

Para la utilización del controlador obtenido, bastó con sustituir en nuestro modelo de Simulink el bloque del controlador tipo P con el bloque tipo Fuzzy. Además, debido a las desviaciones características de estos bloques, es necesario adicionar los bloques que no me quiten al controlador del punto de operación.

Se presenta en la Figura 7 el modelo final en cuestión utilizado para obtener una comparación final de rendimientos.

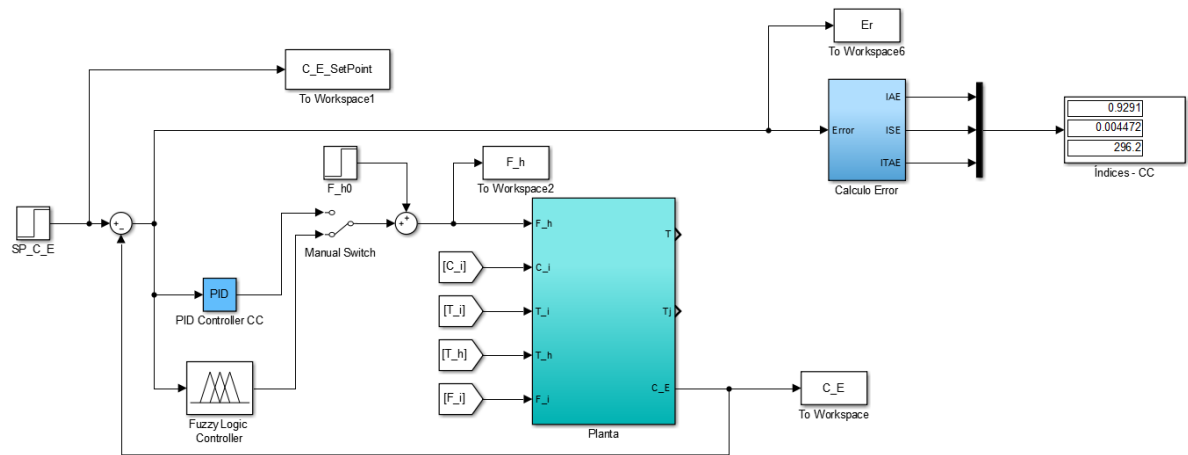


Figura 7: Modelo en Simulink del Controlador Diseñado + Planta

Para concluir, se grafica en la Figura 8 la comparativa de evolución de las respuestas tanto del controlador tipo P como del controlador borroso.

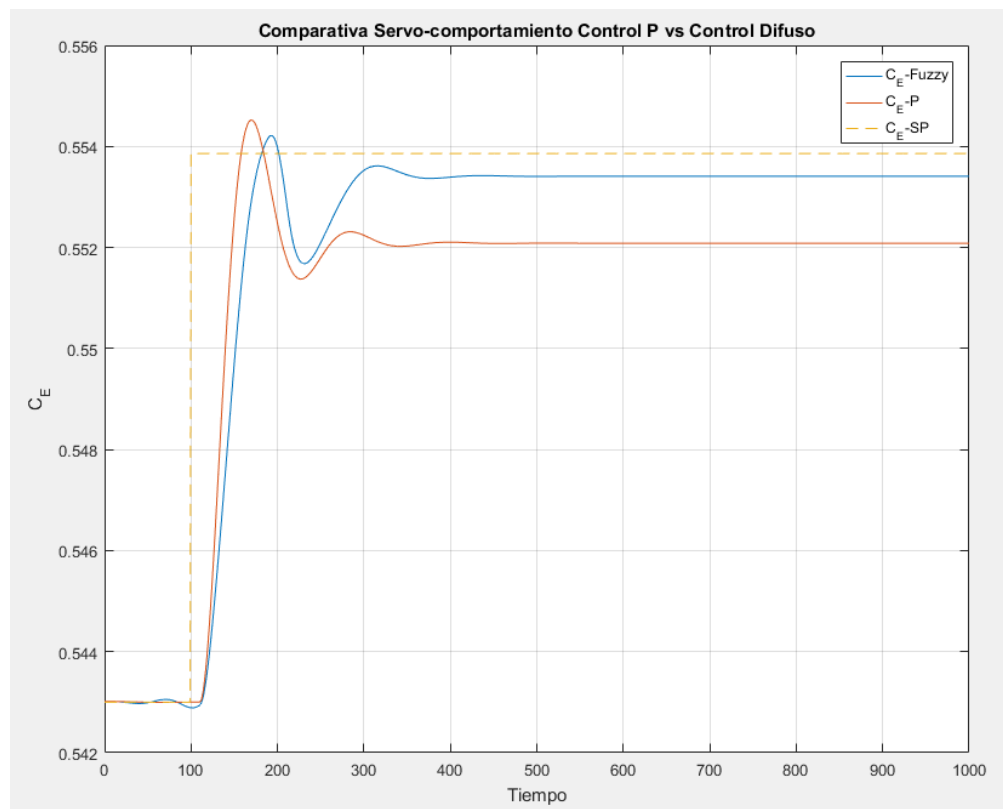


Figura 8: Respuesta Servo-control tipo P y tipo Fuzzy

Conclusiones:

Observando en detalle la Figura 8, es claramente visible que el comportamiento del controlador borroso diseñado supera altamente al desempeño ofrecido por el control proporcional tipo P. Si bien no se logra eliminar el offset completamente, las técnicas de lógica difusa ofrecen un valor de error estacionario mucho menor que el alcanzado por el modelado clásico.

Al mismo tiempo, esta ventaja se ve presente en el error global, donde calculando la integral del error absoluto, el índice IAE devuelto nos revela que frente a uno de 1,9319 retornado por el Control tipo P, el Controlador tipo Fuzzy se desenvuelve con un mérito de 0,9291; valor que resulta valiosamente mejor.

Sin embargo, y más allá del beneficio encontrado, hay que tener en cuenta la no-linealidad del funcionamiento de un sistema borroso, con lo cual su estabilidad ante cualquier condición no está garantizada. Por esto es recomendable siempre analizar el sistema total en un rango de funcionamiento esperado.

Bibliografía:

- Videoclase: Modulo 4 - Practica Sistemas difusos y Matlab Fuzzy Toolbox, cátedra T.I.A.
- Sistemas Borrosos o Difusos (Fuzzy Systems) – Slides Pilar Bulacio, Introducción a la I.A.
- Razonamiento Aproximado en la Inteligencia Artificial – Slides Ana Casali