

Diseño de un controlador inteligente para un sistema de calefacción residencial Design of an intelligent controller for a residential heating system

Ismael Elías Erazo-Velasco
ismael.erazo@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-7647-4611>
Universidad Técnica Luis Vargas Torres de
Esmeraldas, Ecuador

David Ricardo Macas-Mendoza
david.macas.mendoza@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-2913-5956>
Universidad Técnica Luis Vargas Torres de
Esmeraldas, Ecuador

Nayzer Frank Mina-González
nayzer.mina@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1344-0369>
Universidad Técnica Luis Vargas Torres
de Esmeraldas, Ecuador

Yilmar Jonathan Estupiñán-Estupiñán
yilmar.estupinan@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-4036-5042>
Estudiante de la Carrera de Electricidad en la
Facultad de Ingenierías de la Universidad Técnica
Luis Vargas Torres de Esmeraldas-Ecuador

Katherin Nicole Barre-Cedeño
katherin.barre@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0004-4556-7163>
Estudiante de la Carrera de Electricidad en la
Facultad de Ingenierías de la Universidad Técnica
Luis Vargas Torres de Esmeraldas-Ecuador.

RESUMEN

Introducción: El proceso de diseño de un sistema de control incluye una serie de pasos que permiten determinar las especificaciones deseadas del sistema controlado, los elementos apropiados requeridos para construir el sistema de control y finalmente diseñar el controlador apropiado. **Objetivo:** Desarrollar un controlador inteligente para el sistema de calefacción, que tomará decisiones para regular la temperatura automáticamente, manteniendo una temperatura agradable en la oficina, edificios, hogar, etc., a través de la medición de la temperatura externa y por cambiar el valor de la temperatura a la que debe funcionar la caldera. **Metodología:** La metodología aplicada es tipo experimental donde se utilizó la herramienta informático MATLAB/Simulink junto que el Toolbox Fuzzy Logic, el mismo que se encargó de realizar el análisis y modelado del control inteligente, la cual se desarrolló de dos formas, usando la teoría de control clásica para y para el segundo usando lógica difusa. **Resultados:** Mirando los dos métodos, podemos usar un controlador PID, pero necesitamos conocer el modelo matemático para configurar lo correctamente, que en la mayoría de los casos es imposible encontrarlo, esto es una desventaja, mientras que con el segundo método no necesitas conocer el modelo matemático, pero su mayor desventaja es que necesitas conocer las reglas semánticas que rigen el sistema, y la desventaja es que la acción de control es un poco más lenta que usar un PID y conocer un modelo matemático. **Conclusión:** Siempre es mejor usar un controlador PID cuando se conoce un modelo matemático, en caso de que no se sepa nada sobre las ecuaciones que rigen nuestro sistema, es mucho mejor usar un controlador difuso.

Palabras claves: Caldera, Modelamiento Matemático, Lógica Difusa, Controlador PID.

ABSTRACT

Introduction: The process of designing a control system includes a series of steps that allow determining the desired specifications of the controlled system, the appropriate elements required to build the control system and finally designing the appropriate controller. **Objective:** to develop an intelligent controller for the heating system, which will make decisions to regulate the temperature automatically, maintaining a comfortable temperature in the office, buildings, home, etc., through the measurement of the external temperature and by changing the value the temperature at which the boiler should operate. **Methodology:** The methodology applied is an experimental type where the MATLAB/Simulink computer tool was used together with the Fuzzy Logic Toolbox, the same one that was in charge of carrying out the analysis and modeling of the intelligent control, which was developed in two ways, using the theory classical control for and for the second using fuzzy logic. **Results:** Looking at the two methods, we can use a PID controller, but we need to know the mathematical model to set it up correctly, which in most cases is impossible to find, this is a disadvantage, while with the second method you don't need to know the PID controller. mathematical model, but its biggest disadvantage is that you need to know the semantic rules that govern the system, and the disadvantage is that the control action is a bit slower than using a PID and knowing a mathematical model. **Conclusion:** It is always better to use a PID controller when a mathematical model is known, in case nothing is known about the equations that govern our system, it is much better to use a fuzzy controller.

Keywords: Boiler, Mathematical Modeling, Fuzzy Logic, PID.

INTRODUCCIÓN

La climatización consiste en dar a un espacio cerrado las condiciones de temperatura, humedad del aire y a veces de presión necesarias para la salud o la comodidad de quienes lo ocupan. Todos los edificios e industrias pertenecientes a la ciudad de Moscú temporada de invierno es indispensable que tengan una instalaciones de climatización, principalmente de calefacción, que sirven para mejorar el bienestar y las condiciones de trabajo las personas que laboran en estas empresas e industrias en la ciudad

Actualmente, podemos definir un controlador como un componente de software que permite que el sistema operativo y el dispositivo se comuniquen entre sí. La aplicación llama a las funciones implementadas por el sistema operativo y el sistema operativo llama a las funciones implementadas por el controlador. Los controladores escritos por la misma empresa que diseñó y fabricó el dispositivo saben cómo comunicarse con el hardware del dispositivo para obtener datos.

Después de que el controlador recibe los datos del dispositivo, los devuelve al sistema operativo, que a su vez los devuelve a la aplicación. Existen en la actualidad algunos controladores como el modelo PID, pueden participar convirtiendo solicitudes de un formato a otro o viceversa. Estos controladores no se comunican directamente con el dispositivo, simplemente procesan las solicitudes y las envían al controlador (Balmat, 2015).

Aspectos conceptuales

La caldera era un horno de fundición cuyas paredes eran dobles, y el agua circulaba entre las dos capas, que se calentaba hasta la evaporación, en vapor; más tarde a temperaturas por debajo del punto de ebullición. El refrigerante circulaba por las tuberías con un termosifón o calado térmico, por lo que era conveniente que la caldera (James A, 2008).

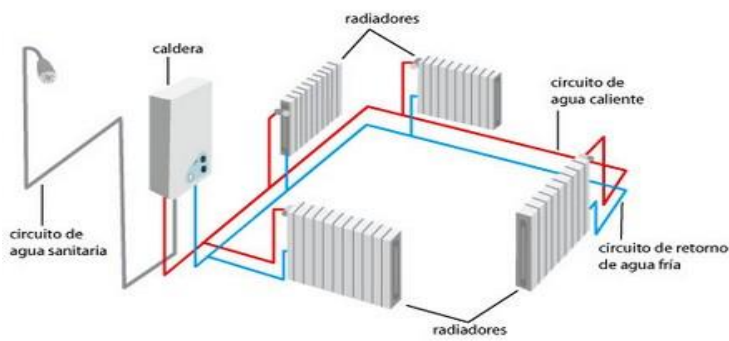


Figura 1. Circuito de calefacción.

Actualmente, los sistemas de calefacción constan de las siguientes partes:

- Caldera
- Radiadores
- Copa de expansión abierta

Resolveremos el problema de un controlador inteligente para un sistema de calefacción de dos maneras, la primera será a través de un controlador PID para el cual es extremadamente importante obtener un modelo matemático del sistema, con el fin de calcular la función de transmisión del sistema y tener capacidad de calibración del controlador, el controlador PID tiene 3 partes proporcionales, integrales y derivadas (Balmat, 2015).

La parte proporcional consiste en el producto entre la señal de error y la constante proporcional para hacer que el error estacionario se acerque más a cero, lo que en la mayoría de los casos es imposible, causando fluctuaciones bruscas en nuestro proceso cuando la ganancia es muy alta (O, 2017).

La acción integral está diseñada para reducir y eliminar el error en el estado estacionario causado por perturbaciones externas que no pueden ser corregidas por el control proporcional. El control integral actúa cuando hay una desviación entre una variable y un punto dado, integrando esta desviación en un tiempo y añadiéndola a la acción proporcional.

Una acción derivada se manifiesta cuando hay un cambio en el valor absoluto del error; (si el error es constante, solo se aplican los modos proporcional e integral).

Un error es una desviación existente entre un punto de cota y un valor especificado o Set Point (Constante Martínez, 2018).

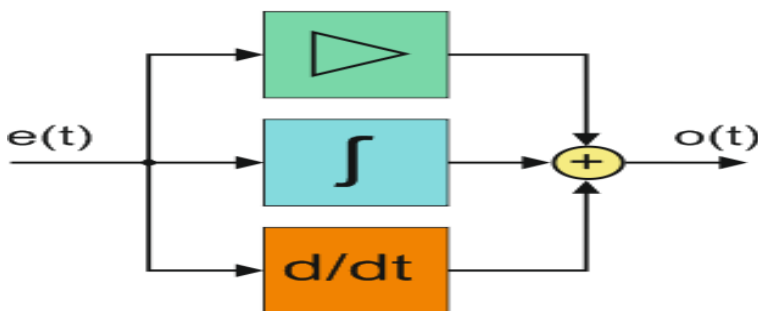


Figura 2. Control PID.

La segunda forma será a través del uso de la lógica difusa, para lo cual no es necesario conocer el modelo matemático del sistema, pero será muy necesario conocer las reglas que rigen el sistema, esta información puede Obtenga un especialista que conozca los problemas del sistema y sus soluciones Los controladores difusos se basan en los principios (Calderon, 2016).

1. Fuzzificación.
2. Base de reglas de software difuso.
3. Salida difusa.

4. Defuzzificación

Fuzzificación

La fusión tiene como objetivo transformar valores reales en valores difusos, los grados de pertenencia se asignan a cada una de las variables de entrada en relación con conjuntos difusos previamente definidos utilizando funciones de pertenencia asociadas con conjuntos difusos.

Base de reglas difusas

La base de conocimiento contiene conocimientos relacionados con el alcance y los objetivos del control. En esta etapa, se deben definir reglas de control lingüístico que tomarán decisiones que decidan cómo debe funcionar el sistema.

Salida difusa: Enlaza conjuntos de entrada y salida difusas para representar las reglas que definirán el sistema, el resultado utiliza información de la base de datos de conocimiento para crear reglas utilizando una condición.

Defuzzificación: El proceso de adaptar valores a valores difusos generados en la salida en valores, que posteriormente se utilizarán en el proceso de control.

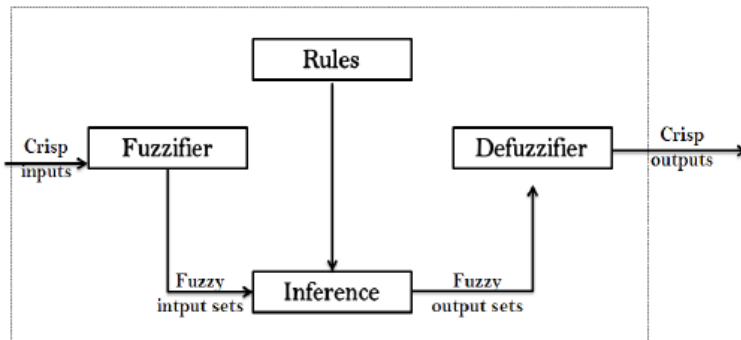


Figura 3. Diagrama de bloques de un control difuso.

Sistema de calefacción

El sistema de calefacción central consiste principalmente en una caldera, radiadores y un tubo de conexión, en cuanto al funcionamiento de la calefacción central, la caldera calienta agua o gas, que luego ingresa a la bomba de circulación, que se transporta a través de tuberías y radiadores, y luego regresa a la caldera, hay algunos elementos que componen un sistema de calefacción central en una casa con radiadores. Aquí te explicamos de qué están hechos para que puedas tomar la mejor decisión a la hora de decidir cómo calentar tu hogar (Constante Martínez, L. J. 2018).

Radiadores

Estos dispositivos, que se instalan en una variedad de ambientes domésticos, son los elementos a través de los cuales pasa el agua caliente o el gas y crean convección natural, ya que por diseño el aire frío entra a través del elemento y sale caliente desde arriba. Recientemente, modelos de radiadores con nuevos diseños y funciones se han asegurado de que este equipo no viole la armonía, la decoración y el estilo de la casa, en un sistema de calefacción central, los radiadores se presentan como partes clave, cabe señalar que están diseñados para optimizar la distribución del calor.

Termostato

Este pequeño equipo es algo así como un "cerebro del sistema de calefacción central". Por lo tanto, mide la temperatura dentro de la estructura y, si difiere de la temperatura programada, da la orden de encender la caldera para la producción.

Calor actualmente, existen termostatos programables que permiten que la caldera mantenga una temperatura más baja durante las horas en las que no está en la casa, o en un día en que la temperatura exterior es más alta para reducir el consumo energético y mejorar el confort.



Figura 4. Termostato.

Caldera

Estos son dispositivos que parecen un pequeño calentador, pero difieren en el funcionamiento a altas temperaturas y tienen una copa de expansión y una bomba para recircular el agua.

Cuando se enciende, la caldera del sistema de calefacción central suministra agua caliente p gas a los radiadores, por lo que, si la caldera está en la sala de máquinas externa, no habrá consumo de oxígeno dentro de la casa, solo circulará agua o gas, y por lo tanto se consideran sistemas limpios, seguros y confiables (Balmat, 2015).

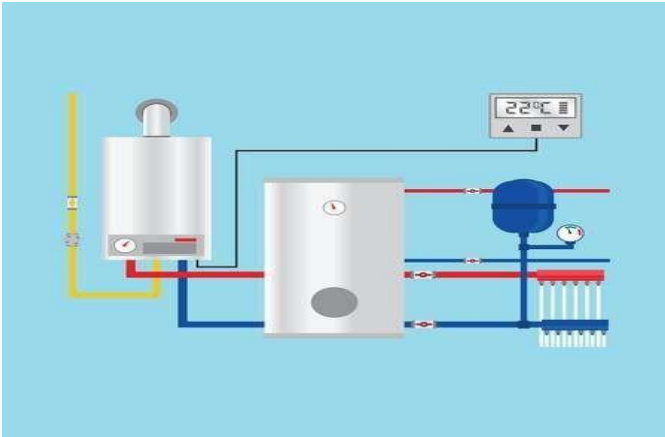


Figura 5. Caldera.

METODOLOGÍA

Modelo matemático del sistema de calefacción

Para poder simular nuestro controlador, necesitamos conocer el modelo matemático del sistema, para este caso tenemos que tomar las ecuaciones dadas por la termodinámica para ser más específicos en la rama de la calorimetría y el equilibrio térmico, se transfiere del cuerpo caliente al cuerpo frío, en este intercambio la cantidad de calor pertenece a la constante. La ley de conservación del intercambio de calor establece que la cantidad de calor que un cuerpo absorbe es igual a la cantidad que otro pierde hasta que alcanza la opresión del equilibrio térmico (Balmat, 2015).

Es decir:

Calor perdido = calor adquirido

Matemáticamente hablando, podemos expresarlo de la siguiente manera

$$-\Delta Q_2 = \Delta Q_1 \quad (1)$$

Si miramos, nos damos cuenta de que uno es negativo porque pierde calor y el otro es positivo porque recibe calor

$$-M_2 C_2 (T_2 - T_1) = M_1 C_1 (T_2 - T_1) \quad (2)$$

Si queremos saber la tasa de calor ganado o perdido de un cuerpo, las ecuaciones que describen este proceso son las siguientes:

$$\frac{dQ_1}{dt} = \frac{d[M_1 C_1 (T_1 - T_2)]}{dt} \quad (3)$$

$$\frac{dM_1}{dt} = m_1 = \text{Constante} \quad (4)$$

Esta ecuación nos explica que el frío rápido el cuerpo recibe calor térmico, debe indicarse que, para nuestro ejemplo, esta tasa de cambio de constante a equilibrio térmico

Esta ecuación nos dice qué tan rápido un cuerpo caliente pierde o da paso a la energía térmica.

$$\frac{dQ_2}{dt} = \frac{T_2 - T_1}{R} \quad (5)$$

Esta expresión es la resistencia térmica del cuerpo, que es inversamente proporcional a su región.

$$R = \frac{D}{k A} \quad (6)$$

Y la esta última ecuación nos dice cómo la temperatura cambia rápidamente con el tiempo

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{m_0 c_0} \left(\frac{dQ_1}{dt} - \frac{dQ_2}{dt} \right) \quad (7)$$

Tabla 1. Variables de nuestro sistema.

Variables	Descripción	Unidades
P1	Energía térmica transmitida	Julio
P2	Calor perdido	Julio
m1	Velocidad constante de la masa de aire que pasa a través del calentador, que, tomando para nuestro ejemplo y de acuerdo con los datos fabricante, será 3600 kg / h	Kg/h
Mo	La masa de aire en interiores o interiores debe ser de 1470 kg/h para construir nuestro modelo	Kg/h
C1=C2	Capacidad de aire específica para nuestro ejemplo según tablas internacionales corresponde a un valor de 1005.4	Joule / Kg *
T1	Temperatura del aire del calentador, su constante será de 50 grados su límite	Grados
T2	Temperatura exterior	Grados
R	Resistencia térmica R_paredes = 1.599 e-6, R_ventanas = 5.935 e-7 R_eq = (R_paredes * R_ventana) / (R_paredes + R_ventanas) = 4.329 e-7	Tiempo * Grados / Joule
Un	Área de superficie de pared o ventana a través del calor se pierde de nuestro sistema	Metros cuadrados
K	Conductividad térmica; La propiedad material para la implementación de transferencia de calor para nuestro caso usaremos el siguiente valor, dado por las tablas internacionales valor correspondiente para gas k_fiberglass = 136,8, k_glass = 2808	Julio / Medidor . Hora · Grado
T	Será la temperatura en la oficina o edificio.	Grados

Para nuestro modelo, necesitamos valores promedio de temperatura invernal en la ciudad de Moscú, para lo cual, con la ayuda de la meteorología y los pronósticos de expertos, tenemos la siguiente curva de temperatura dependiendo de la probabilidad de ocurrencia.

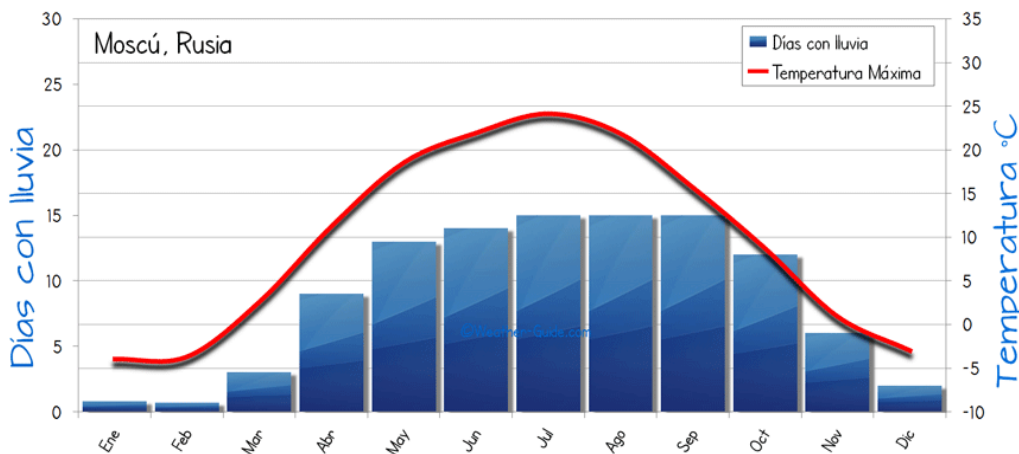


Figura 5. Temperatura en Moscú

Primer método: Para ejecutar nuestro primer método, necesitamos usar un modelo matemático y las ecuaciones que describen el sistema tomarán todos los datos que se hicieron en la Tabla 1, y luego simularemos todas las ecuaciones en MATLAB/Simulink.

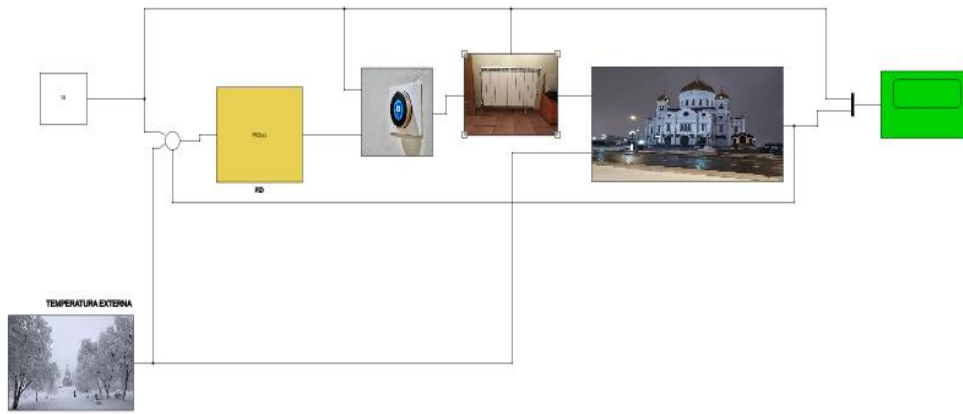


Figura 6. Esquema de controlador para sistema de calefacción.

Datos:

$M = 3600 \text{ kg / tiempo};$

$C = 1005.4 \text{ J/ kg } * ^\circ \text{C}$

$T1 = 50 ^\circ \text{C};$

$m_1 = 3600 \text{ kg / tiempo}$

$m_o = 1470 \text{ kg / tiempo};$

$R = 4.329e-7 \text{ tiempo} * \text{C } ^\circ / \text{julio}$

Diseño de nuestro controlador

Termostato

Tiene como variables de entrada la temperatura deseada a la que se quiere llegar, y la señal de error del sensor de temperatura de la oficina o edificio, y como la función de salida es encender o apagar la caldera, utilizamos la función de relé, que está calibrada para recibir señales de entrada y número de marcación 1, si es necesario encender la caldera, o 0, si es necesario apagar la caldera. Ajustamos el termostato en el rango de 2 grados centígrados a menos 2°C entre este rango de termostatos serán válidos.

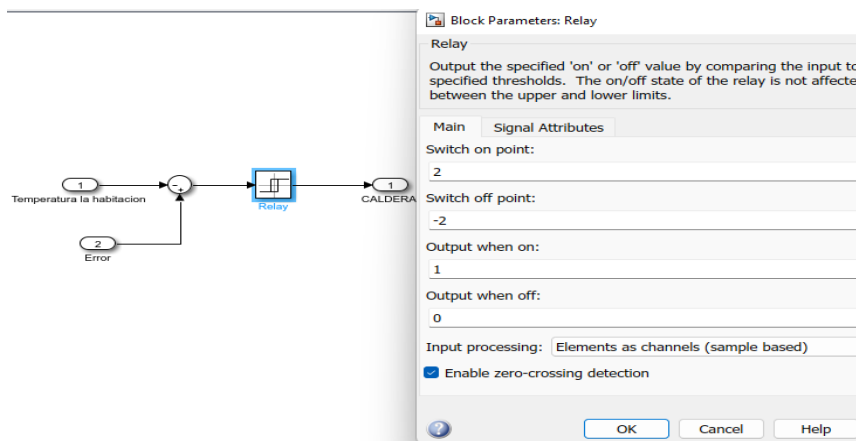


Figura 7. Termostato.

Caldera

Las variables de entrada de nuestra caldera serán la señal del termostato y la siguiente ecuación diferencial que iremos modelando.

$$\frac{dQ_1}{dt} = m_1C (T - T_1)$$

Esta ecuación representa la tasa de cambio en la transferencia de calor de la caldera a nuestro sistema.

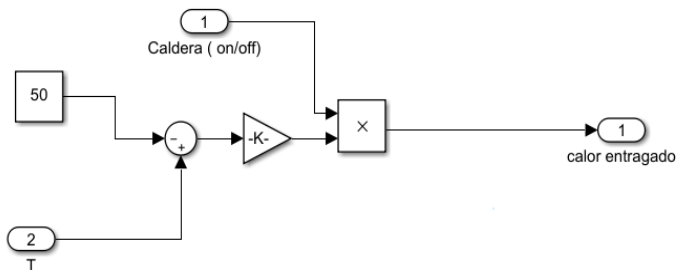


Figura 8. Caldera.

Temperatura en la Habitación o edificio

Para este caso, debemos que las variables de entrada sean las siguientes ecuaciones diferenciales:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{m_0 c_0} \left(\frac{dQ_1}{dt} - \frac{dQ_2}{dt} \right)$$

Esta relación se refiere a la tasa de cambio de la cantidad de calor generado por la menor cantidad de calor perdido, lo que conduce a un cambio rápido de temperatura en el edificio.

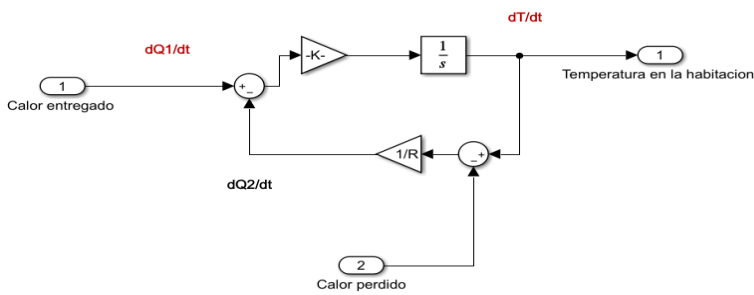


Figura 8. Temperatura en el edificio o habitación.

Finalmente, pondremos el valor de temperatura deseado en 18°C y para el lector de temperatura, y luego solo haremos los ajustes apropiados y haremos una simulación en MATLAB/Simulink.

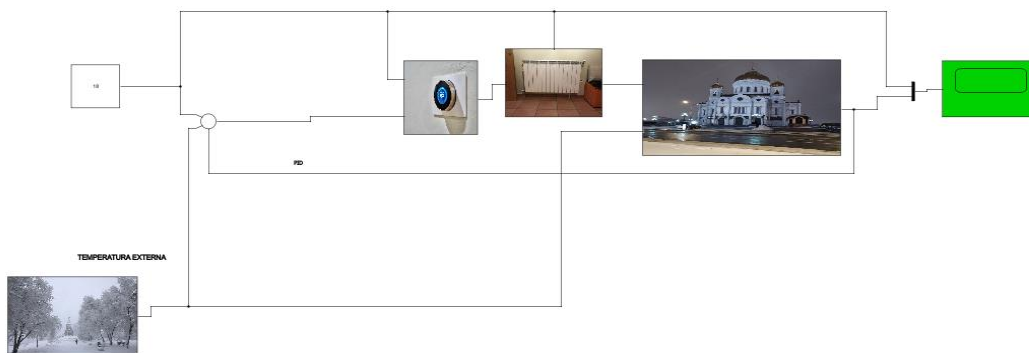


Figura 9. Esquema del sistema de calefacción sin el controlador.

Después de realizar la simulación tenemos los siguientes resultados:

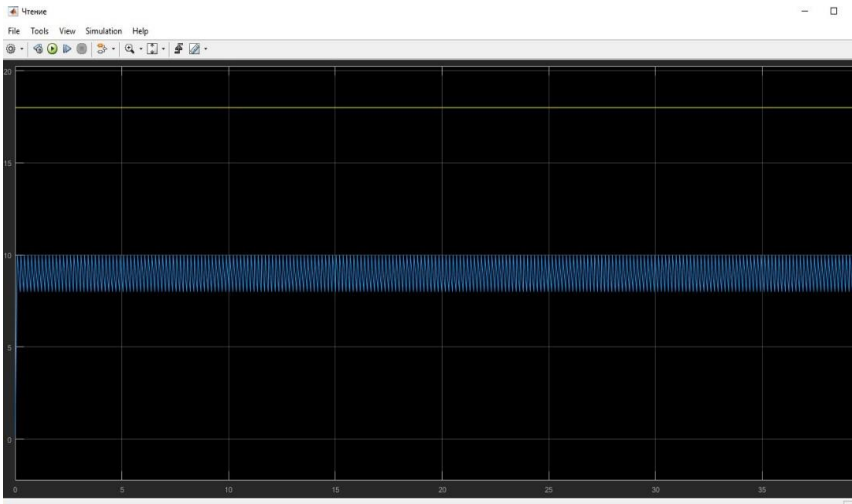


Figura 10. Resultados sin el Controlador PID.

Dado que vemos que los valores oscilan entre 10 y 8°C la temperatura nunca llega a los 18°C, por lo que para lograr la temperatura deseada se necesita un controlador para corregir este error, implementamos un Controlador PID en nuestro sistema, para calibrar nuestro controlador PID, basta con poner ganancia proporcional de 1.4, ganancia integral de 1.2 y ganancia derivada de 0.5 resolvemos el problema siguiente indican que se utilizó el método de Ziegler Nichols para calibrar este controlador.

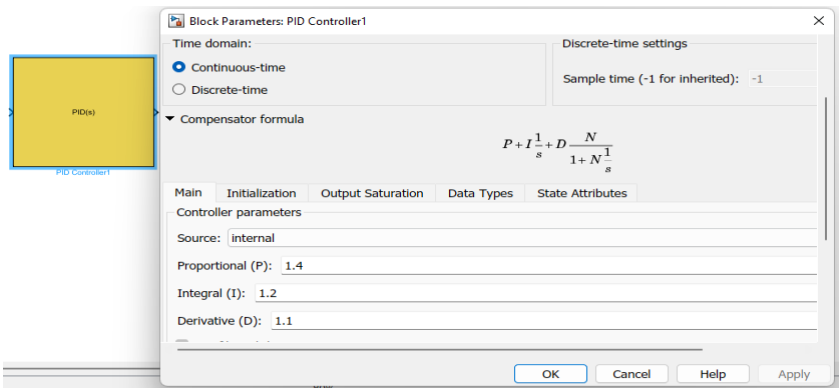


Figura 11. Calibración del controlador.

RESULTADOS

Después de la instalación, calibración y simulación vemos que el controlador corrige el error y lleva la temperatura al valor deseado, nuestro sistema funciona sin problemas, debe enfatizarse que el controlador tarda unos segundos en alcanzar el valor de 18°C.



Figura 12. Resultados obtenidos.

Diseño de un controlador inteligente mediante lógica difusa

Segundo método

Para nuestro segundo método, usaremos lógica difusa, por lo que no es necesario conocer el modelo matemático de

nuestro sistema, pero sí conocer las reglas de control que podemos aprender de la experiencia de algún operador o experto en el proceso, así como detener las funciones de membresía para las variables de entrada Y salida X.

Primer paso

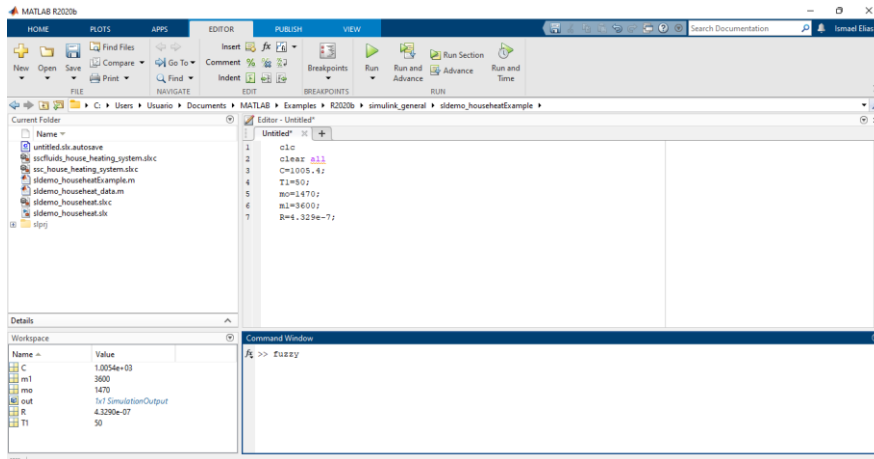
En nuestro primer paso, definiremos las variables de entrenamiento variable de salida de nuestro controlador, que son las siguientes:

Variables de entrada: Temperatura exterior y temperatura de la caldera.

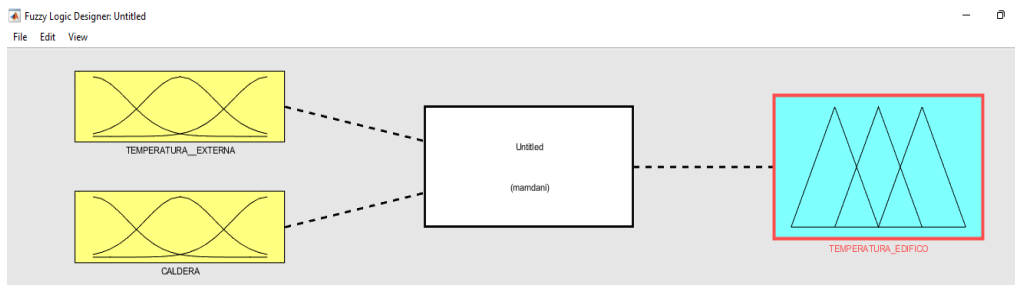
Variables de salida: Temperatura en la oficina

Segundo paso

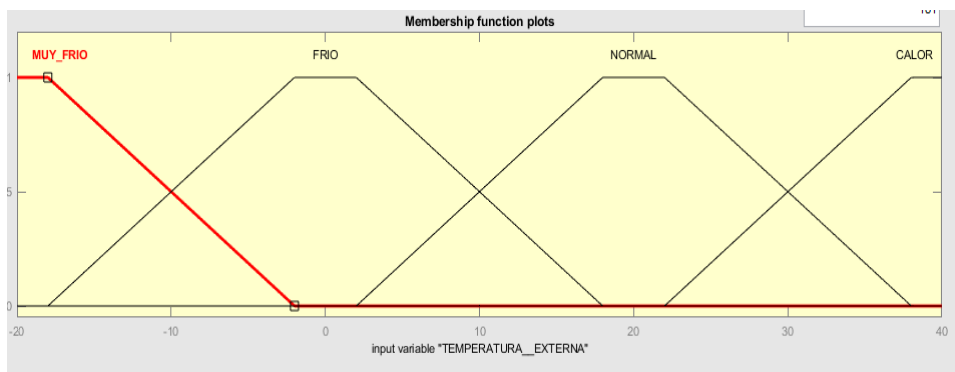
Segundo caso vamos a entrar en nuestro programa MATLAB y escribimos la palabra Fuzzy en nuestro espacio de trabajo.



Después de eso ingresaremos a la interfaz y agregaremos variables de entrada y salida.

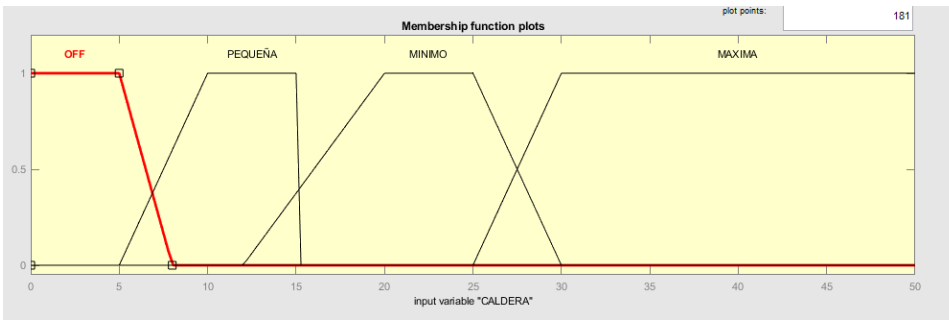


Después de eso definiremos funciones de membresía para las variables de entrada y salida, necesitaremos determinar el intervalo o espacio de discursos para cada variable, para la temperatura externa el intervalo estará entre [-20, 40] grados Celsius, que serán los valores de temperatura mínima y máxima en la ciudad de Astracán Las variables lingüísticas son las siguientes; Muy frío, frío, bueno y caliente y las funciones de membresía que utilizamos para definir estas variables lingüísticas fueron trapezoidales y triangulares.



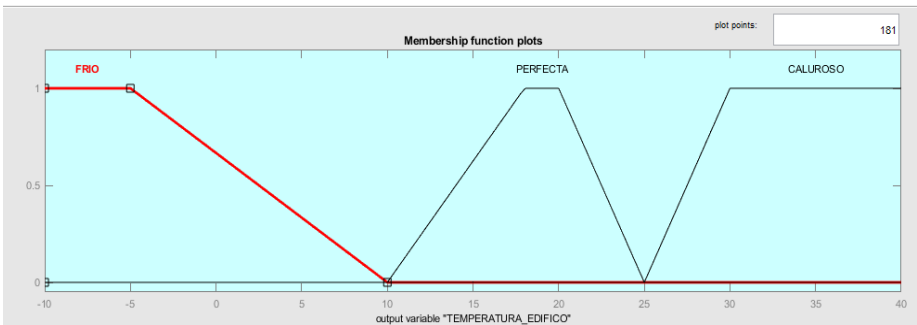
Temperatura de la caldera

El rango de temperatura en el que operará nuestra caldera será de 0 a 50°C, con este rango desarrollaremos funciones de membresía relacionadas con la temperatura de nuestra caldera, las variables lingüísticas y las funciones que utilizamos se pueden observar en el siguiente gráfico.



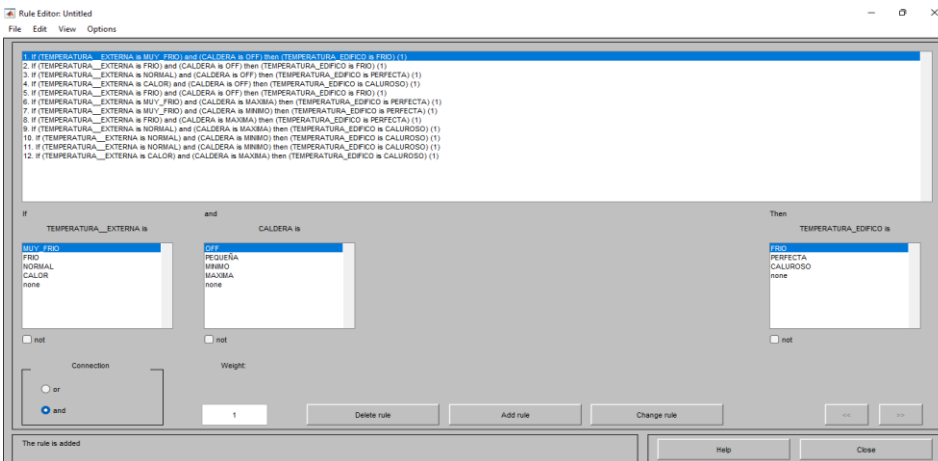
Temperatura del edificio

Para determinar la función de pertenencia de la variable de salida, utilizaremos los siguientes términos lingüísticos; Frío, excelente, caliente, el rango de funciones de la variable de salida del accesorio estará en el rango de -10 a 40°C.



Tercer paso: Reglas semánticas del controlador difuso

La siguiente ilustración muestra las reglas semánticas que se usaron para desarrollar nuestro controlador.



Después de ingresar las reglas de control semántico, guardamos y navegamos hasta el icono ver y podemos ver las reglas de acción de control y la superficie de control en acción de nuestro controlador.

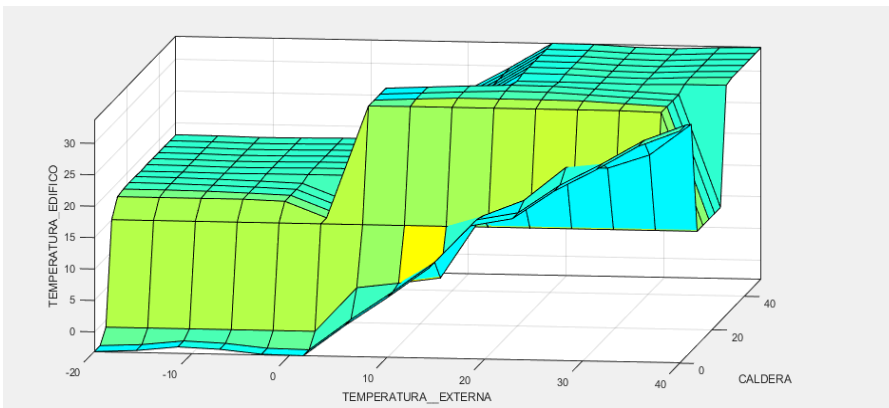
Reglas y Ley de Control

En las reglas y leyes de control, podemos ver que mover o cambiar los valores de entrada cambia los valores de salida.



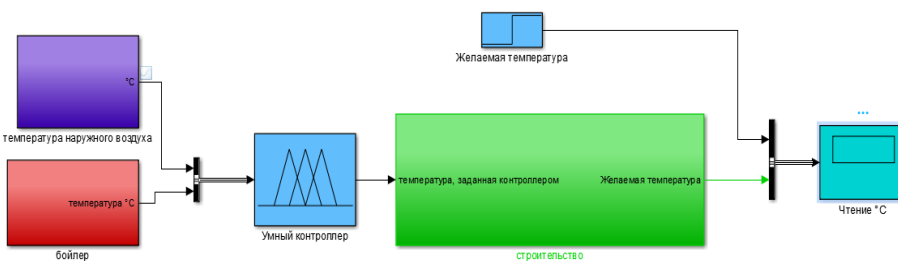
Superficie de control

Esta superficie nos muestra los resultados correspondientes que obtenemos al ingresar y cambiar la variable de entrada, dándonos un gráfico tridimensional.



Último paso vamos a Simulink y abrimos los siguientes bloques para simular nuestro sistema Simulación y circuitos de Simulink.

El diagrama que tenemos es cómo se conectan los diferentes elementos, en este diagrama de flujo podemos ver las diferentes variables de entrada y salida de nuestro controlador.

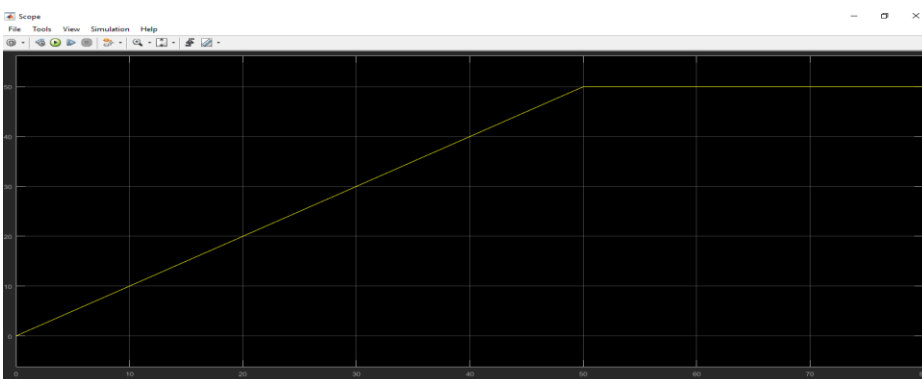


Temperatura exterior: Usaremos la función de probabilidad externa Gaussiana.

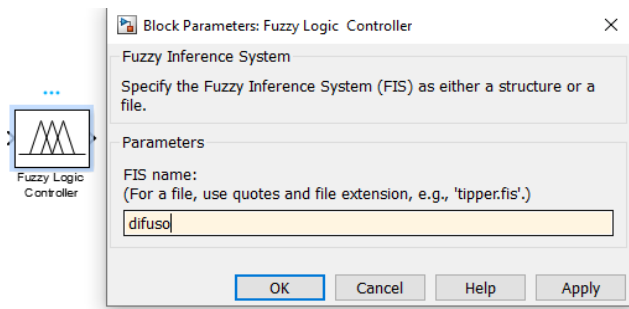
$$F(x) = 100 \exp \{-0.5 [(x+5)/4]^2\}$$

Temperatura de la caldera

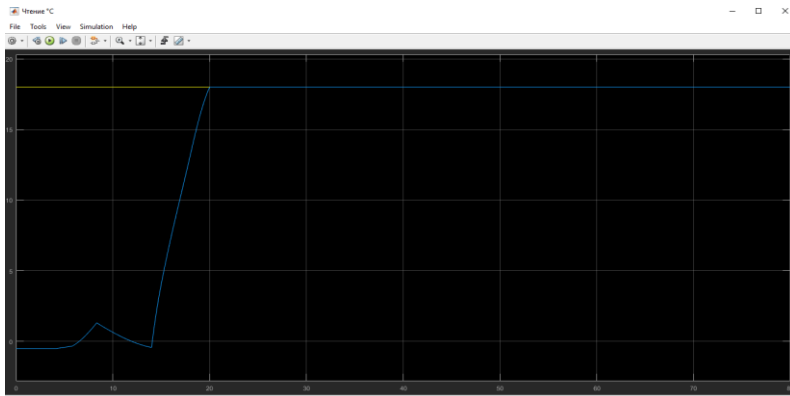
Para la temperatura de la caldera, usamos la función de rampa, que es una función lineal, pero esta función tomará un valor constante cuando se alcance el valor de 50°C, esto se debe a que 50°C es la temperatura máxima a la que nuestra caldera.



Iremos a la librería de Simulink, usaremos la sección difusa de lógica y seleccionaremos, abriremos el bloque e introduciremos el nombre de nuestro controlador, ya guardado y exportado al espacio de trabajo de Simulink en mi caso lo guardaré como difuso.



Luego buscaremos el bloque Bus Creator y pondremos 2 porque son de 2 señales de entrada, y si hubiera más, se colocarían más, pero para nuestro ejemplo solo hay 2 para nuestro ejemplo, asumiremos que el edificio tiene una temperatura en el interior de 3°C, esto es lo que estamos considerando, ya que ya sabes que la semilla tiene un coeficiente de calor y obviamente la temperatura dentro del edificio debe ser diferente a la temperatura exterior no puede ser la misma. Finalmente, pondremos el valor de temperatura deseado a 18°C para el lector de temperatura, y luego simplemente haremos los ajustes apropiados y haremos una simulación en MATLAB/Simulink. Una vez completados todos estos pasos, instalaremos los bloques y haremos la simulación y obtendremos el siguiente resultado:



Como podemos ver, nuestro controlador inteligente al recibir señales de entrada al principio sufre de pequeñas fluctuaciones, porque la caldera tarda unos segundos en calentar el gas, pero tan pronto como la caldera comienza a calentar el gas la temperatura aumenta linealmente al valor deseado

CONCLUSIONES

Mirando los dos métodos, podemos usar un controlador PID, pero necesitamos conocer el modelo matemático para configurar lo correctamente, que en la mayoría de los casos es imposible encontrarlo, esto es una desventaja, mientras que con el segundo método no necesitas conocer el modelo matemático, pero su mayor desventaja es que necesitas conocer las reglas semánticas que rigen el sistema, y la desventaja es que la acción de control es un poco más lenta que usar un PID y conocer un modelo matemático. Siempre es mejor usar un controlador PID cuando se conoce un modelo matemático, en caso de que no se sepa nada sobre las ecuaciones que rigen nuestro sistema, es mucho mejor usar un controlador difuso.

REFERENCIAS

- Andrade, A. (2022). Estudio, diseño e implementación de esquemas de Control para procesos no lineales: Diseño y simulación de un controlador híbrido basado en los controladores: PID, ON-OFF y Difuso aplicados al modelo de un invernadero . Quito.
- Balmat, F. (2015). Modelado difuso Takagi-Sugeno para sintonizar un controlador por calefacción en un invernadero. *Research in Computing Science* , 69 - 92.
- Calderon, E. M. (2016). Design of an adaptive neuro-fuzzy controller of an irrigation main canal pool. *IEEE Latin America Transactions*, 471-476.
- Calvo, O. &. (1989). Fuzzy control of chaos. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 1743-1747.
- Constante Martínez, L. J. (2018). Diseño e implementación de controladores Pid y fuzzy para la planta de almacenamiento automático del sistema festo. Guayaquil: universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.
- James A, G. J. (2008). Controladores logicos programables. *Control System* , 10 - 15.
- Jiang, H. (2018). Tomografía Óptica Difusa - Principios y aplicaciones . *Control Systems*, 45 -50.
- Mohammad, M. A. (2007). Control PID Nuevos metodos de identificacion para el diseño de controladores. New York.
- O, A. R. (2017). Algoritmos Genéticos para el Ajuste de Parámetros y Selección de Reglas en el Control Difuso de un Sistema de Climatización HVAC para Grandes Edificios. Sevilla .
- Vera, R. F. (2012). Fuzzy Logic Controller Disign for heating system. London .