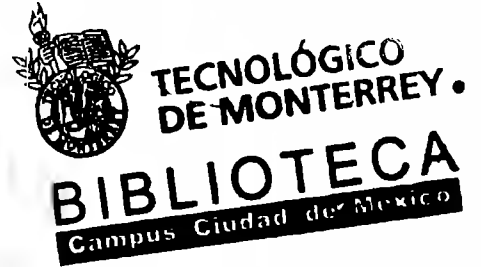


**Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
Campus Ciudad de México**



Proyectos de Ingeniería Computacional

Fuzzy Iron

Preparado por:

Sofía Ramos [REDACTED]

Edith Lugo [REDACTED]

Rodrigo Moreno [REDACTED]

Asesores:

Dr. Israel Macias

Dr. Marco Paz

Mayo 2006

Tabla de Contenidos

I. Introducción.....	3
I.1 Objetivos.....	3
I.2 Justificación.....	3
I.3 Propósito general.....	3
II. Teoría	5
II.1 Diseño de controladores.....	7
II.2 Controlador proporcional.....	7
II.3 Controlador proporcional más integrador	8
II.4.Introducción a la lógica difusa	8
II.4.1 Lógica difusa.....	9
II.4.2 Conjuntos nítidos	9
II.5 Hipótesis del proyecto.....	16
III. Avances y Resultados	16
III.1 Diseño	16
III.1.1 Etapa de sincronización con la línea de AC y potencia.....	17
III.1.2 Etapa de control	19
III.1.2.1 Procedimiento de identificación del proceso físico	25
III.1.3 Adquisición de datos (Figura 3.30- Anexo 6.18).....	35
III.2 Estudio de Mercado y Análisis Financiero	36
IV Conclusiones.....	39
IV.1 Perspectivas y trabajo a futuro.....	39
V. Referencias.....	40
VI Anexos.....	42
VII. Póster.....	79

So far as laws of mathematics refer to reality, they are no certain. And so far as they are certain, they do not refer to reality.
Albert Einstein, 1921.

I. Introducción

Esta introducción se divide en tres apartados en los cuales se describen los objetivos, la justificación y el propósito general de nuestro proyecto.

I.1 Objetivos

Dentro de nuestros objetivos está el de aprender los conceptos de la lógica difusa, así como de sus aplicaciones en la vida real. El objetivo principal de nuestro proyecto es aplicar un control difuso programado en un microcontrolador, desplazando así el termostato en una plancha convencional para ropa y así mantener dentro de un rango más estable la temperatura. Además de ello, entender, estudiar e implementar todo el hardware que se requiere en nuestro control difuso.

I.2 Justificación

Actualmente las planchas para ropa operan con un control mecánico que mantiene a un elemento térmico dentro de cierto rango de temperatura, pero este es impreciso pues opera como un circuito de prendido/apagado que dependiendo de la posición de la perilla selectora para el tipo de tela a planchar hace más grande o más pequeño el rango de la temperatura y como consecuencia se expone la ropa a fluctuaciones no homogéneas de temperatura, las cuales pueden dañarla. Además, se pueden provocar variaciones de corriente en el elemento térmico que repercuten en un uso ineficiente en el consumo de la energía eléctrica.

I.3 Propósito general

Actualmente existen en el mercado pocos productos para el hogar que trabajen con lógica difusa y las planchas para ropa no pertenecen a este grupo.

Existe gran variabilidad en los rangos de temperatura en las planchas caseras para ropa pues no cuentan con un control realimentado continuo de la temperatura que mantenga la plancha en un rango adecuado de calor dependiendo del tipo de tela.

Se propone sustituir el control mecánico de las planchas por un control electrónico basado en lógica difusa, que mantenga dentro de un rango más estable la temperatura y que tome en cuenta el tipo de tela, así como las variables externas, como pueden ser: la temperatura ambiente y los tiempos de ciclo de planchado que de el usuario.

Investigar el estado del arte de nuestro producto ha sido un poco difícil pues básicamente a través de los años las planchas de uso doméstico no han evolucionado prácticamente en nada pues la mayoría cuenta con un termostato (control analógico). Claro que hay mejoras, como: sistema de auto-limpieza para evitar el sarro, planchado vertical con vapor, sistema automático de apagado y su suela esta hecha de materiales que evitan el desgaste de la ropa.

Tomando en cuenta que la mayoría de las planchas caseras para ropa funcionan bajo el mismo principio, decidimos fundamentar más este punto, investigando el funcionamiento de éstas y la forma en que se controlan por medio de un termostato.

Los aparatos calentadores como planchas, tostadoras y cafeteras, son de dos tipos: El tipo *no controlado* que es un aparato que está recibiendo energía continuamente mientras está conectado y el tipo *controlado* por termostato que corta automáticamente la corriente cuando alcanza una cierta temperatura.

La palabra termostato proviene del prefijo griego Thermo que significa “relativo o perteneciente al calor” y el sufijo latino status, “estado”. De aquí que el termostato tenga como función el de mantener constante la temperatura.

Los termostatos utilizados generalmente emplean una tira bimetálica tal y como se muestra en la figura 1.1, donde se puede ver claramente que se unen dos tiras de diferentes metales para formar una sola. Los metales se expanden con el calor, cada uno con diferentes coeficientes de expansión térmica. Como la tira bimetálica está constituida por dos metales diferentes, uno se expande con más rapidez que el otro y esto hace que la tira bimetálica se doble.

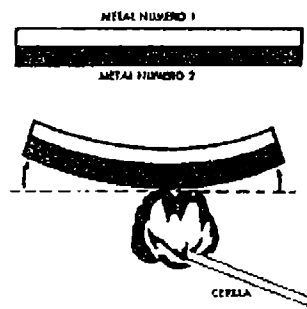


Figura 1.1 Principio del termostato

En la figura 1.2a se muestra el termostato de una plancha eléctrica. La corriente fluye del punto A al punto B. La tira bimetálica se une en uno de sus extremos con la placa de fundición de la plancha, mientras que el otro extremo presiona a un bloque aislado. Al calentarse la tira, empuja el bloque separando los puntos de contacto, abriendo el circuito y la corriente deja de fluir al elemento calentador. Cuando la temperatura baja, el termostato vuelve a su posición original, se cierra el circuito y vuelve a fluir la corriente. Cuando la perilla de control de calor se coloca en la posición de baja temperatura, el eje de control de calor baja el punto de contacto y la tira bimetálica abre el circuito con un cambio muy pequeño, tal y como se muestra en la figura 1.2b. En la posición de temperatura alta, el eje y el punto de contacto suben (Figura 1.2c). Para que la tira bimetálica abra el circuito, necesita una deformación más grande y una gran cantidad de calor.

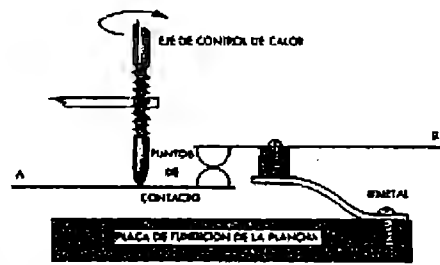


Figura 1.2a

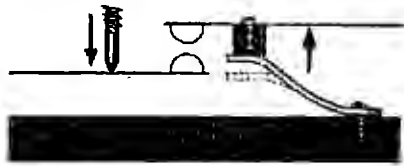


Figura 1.2b

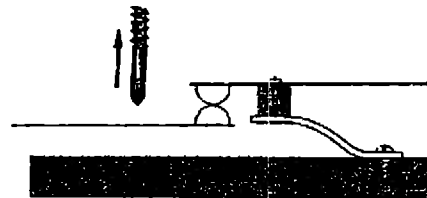


Figura 1.2c

El interruptor del termostato está en serie con el elemento calentador y de esta manera se conduce la corriente a la resistencia transformándose en forma de calor [1]. Los componentes de la plancha son varios y éstos se mencionan en la Figura anexo 6.1.

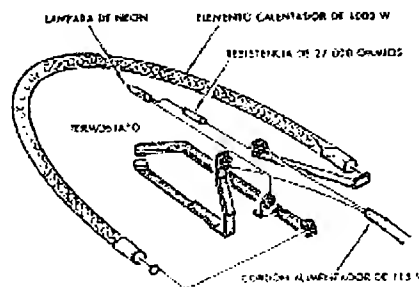


Figura 1.3 Diagrama del control de una plancha

II. Teoría

En el calefactor eléctrico "resistivo" la generación de calor se debe al Efecto Joule. Entre las aplicaciones más conocidas del efecto Joule se tienen los elementos de las estufas para calentar el ambiente, los filamentos de los secadores para el pelo, las resistencias de las planchas para la ropa, las hornillas de las cocinas, las resistencias de tostadores.

Los calefactores resistivos generan calor proporcionalmente al cuadrado de la corriente eléctrica que fluye a través de ellos. Esta relación es conocida como "Ley de Joule".

Los materiales conductores no son conductores perfectos, sino que tienen una resistividad eléctrica al paso de la corriente eléctrica. La resistividad es una desventaja cuando se requiere transportar energía eléctrica, pero es deseable cuando se busca generar calor.

Al haber un voltaje en los extremos de un hilo conductor, hay un campo eléctrico en el interior del material. Este campo acelera las cargas libres del material, hasta que éstas chocan con alguno de los iones fijos en la red cristalina que forman al conductor. En esos choques, las cargas ceden su energía cinética a los iones de la red, lo que corresponde a una disipación de calor desde el material al medio que le rodea.

A mayor temperatura hay mayor agitación en los iones de la red. Esto hace que sea mayor el espacio donde se mueven, y entonces, mayor la frecuencia de los choques de las cargas con los iones. Por lo tanto, la resistividad en los conductores metálicos aumenta con la temperatura. El valor de esta resistividad depende del tipo de átomos del metal, a sus enlaces, a la cantidad y tipo de impurezas, y a otros defectos como los debidos a deformación mecánica durante la fabricación y el conformado del conductor.

Para evitar que se funda el conductor, hay que transferir el calor generado por efecto Joule. Para mejorar esa transmisión térmica, en general los calefactores tienen mayor área o superficie de contacto con el medio que les rodea. Dependiendo de la aplicación, el calor se transfiere en una o más de las 3 formas posibles: conducción, convección y radiación.

Las planchas para la ropa trabajan por conducción. Su calefactor es una resistencia que se encuentra en contacto térmico con la base metálica o suela, y ésta caliente, por contacto directo, la ropa que se desea planchar.

Como la corriente eléctrica genera calor en el seno del conductor, y como la resistencia de un metal aumenta con la temperatura, la resistencia de un calefactor aumenta a medida que éste se calienta. Por otro lado, a mayor temperatura, el conductor transferirá más calor hacia el medio que le rodea. Pero si las pérdidas de calor al ambiente son menores que los watt generados por efecto Joule, la temperatura seguirá aumentando y el conductor puede llegar a fundirse. Por lo tanto, en el diseño de calefactores (que trabajan entre unos 50 y 1150°C aproximadamente), es importante calcular bien el equilibrio térmico en el filamento, que el control de temperatura funcione bien, y considerar materiales que no sean tan buenos conductores, que no se fundan ni oxiden ni fracturen a la temperatura y atmósfera de trabajo, y cuya resistividad cambie muy poco con la temperatura.

Si consideramos un material cuya resistividad a una temperatura de referencia T_0 sea r_0 . Cuando la temperatura aumenta conforme a :

$$\Delta T = T - T_0$$

Y si este aumento no es demasiado grande, se observa que la resistividad aumenta proporcionalmente a r_0 y a ΔT .

$$\Delta r = r(T) - r_0 = a_0 r_0 \Delta T$$

o equivalentemente

$$r(T)/r_0 = 1 + a_0 \Delta T$$

La constante de proporcionalidad a_0 se denomina coeficiente de temperatura de la resistividad eléctrica a T_0 (en °C o en °K) (Ec.4).

$$a_0 = (\Delta r / \Delta T) / r_0$$

El valor de este coeficiente es válido sólo alrededor de T_0 , ya que la relación $r(T)$ no es lineal. En ingeniería, para estimar bien $r(T)$ a T mucho mayores, debe utilizarse el a_0 correspondiente.

Aunque muchas relaciones físicas se representan a menudo mediante ecuaciones lineales, en la mayor parte de los casos las relaciones reales no son verdaderamente lineales. Un estudio cuidadoso de los sistemas físicos rebela que incluso los llamados sistemas lineales sólo lo son en rangos de operación limitados. En la práctica, muchos sistemas electromecánicos, hidráulicos, neumáticos, etc., involucran relaciones no lineales entre las variables.

II.1 Diseño de controladores

El diseño del controlador se lleva a cabo suponiendo una configuración donde hay un único lazo, tal como se muestra en la Figura 2.1. La función del controlador, $G_c(s)$, se diseña para cambiar o modificar la dinámica existente en lazo abierto de forma que se obtenga las características de respuesta deseadas en lazo cerrado.

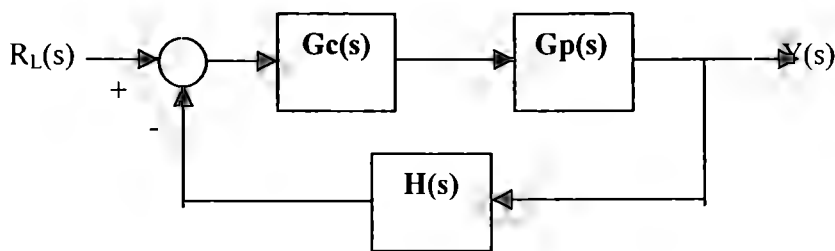


Figura 2.1 Sistema único de lazo

La función de la planta $G_p(s)$, representa los actuadores y la parte controlada del sistema y los parámetros de la planta se determinan en primer lugar por aspectos funcionales de la tarea de control. Con la reducción a un único lazo tal como se muestra; por su parte $H(s)$ se determina por objetivos básicos de diseño.

II.2 Controlador proporcional

Una aproximación directa al diseño del controlador es implementar una función del controlador, $G_c(s)$, simplemente como un control proporcional con un factor de ganancia ajustable K_0 . A pesar de su simplicidad este controlador tiene la desventaja de no lograr que el sistema en lazo cerrado alcance la referencia r . (Figura 2.2)

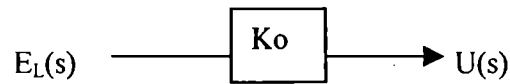


Figura 2.2 Diagrama a bloques de un controlador proporcional

II.3 Controlador proporcional más integrador

Un controlador proporcional más un integral (PI) introduce un polo y un cero en la función del camino directo, y una realización ideal sitúa el polo en el origen. Este controlador es aplicable a situaciones que requieren una mejora en el comportamiento en estado estacionario. Un diagrama de bloques de un controlador ideal PI (o control PI no interactivo) se muestra en la Figura 2.3 La función de transferencia es $G_c(s) = K_o + K_i/s$

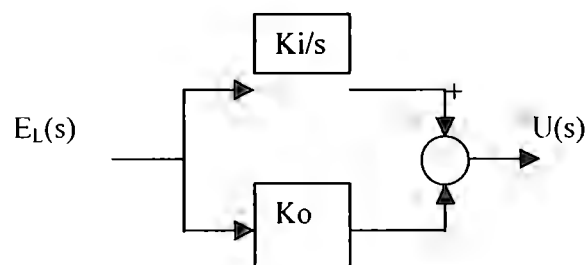


Figura 2.3 Diagrama a bloques de controlador PI

Dependiendo de la función de la planta, la introducción un polo en lazo abierto en el origen puede introducir complicaciones no deseadas. Sin embargo, la presencia del cero que la acompaña, es generalmente útil para obtener un comportamiento transitorio aceptable.

II.4.Introducción a la lógica difusa

En este apartado se dará una breve introducción de la lógica difusa y sus conceptos ya que para la realización del proyecto es fundamental su entendimiento.

II.4.1 Lógica difusa

Mientras que los métodos analíticos basados en cálculo son aplicables sólo en problemas que manejan un número muy pequeño de variables que apuntan a un solo camino o solución, los métodos estadísticos de aplicación presentan características diferentes, éstos requieren un número grande de variables y de orden diferentes. Para cualquiera de los dos casos, desafortunadamente presentan sólo dos extremos de solución, sin embargo, muchos más problemas se encuentran entre estos dos extremos como podrían ser los sistemas no lineales con un número grande de componentes y la interacción entre éstos.

Si se habla de álgebra booleana, donde la solución a algún problema siempre se encuentra dentro de un sólo conjunto $[0,1]$; en la actualidad, se habla de otro concepto, *conjuntos difusos o lógica difusa*, que consiste prácticamente en tener un rango más amplio de soluciones que van más allá del booleano, es decir, valores intermedios de solución.

Un conjunto difuso puede ser asignado a cada posible individuo en el universo y asociado a éste un valor. Cualquier individuo con características similares se asocian a un mismo conjunto difuso, para así tener diferentes conjuntos difusos. Dentro de un mismo conjunto, a cada individuo se le puede asignar un valor de membresía de acuerdo a lo que caracteriza a dicho conjunto.

II.4.2 Conjuntos nítidos

Los Conjuntos Clásicos (nítidos en la terminología de lógica difusa) surgen de forma natural por la necesidad del ser humano de clasificar objetos y conceptos.

Los conjuntos nítidos pueden definirse de varias formas:

- Mediante un listado de sus elementos.
- Mediante una función de pertenencia definida sobre el universo U.

Algunos de los conjuntos, son los siguientes:

$$Z = \{ \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots \},$$

$$N = \{ 1, 2, 3, \dots \},$$

$$N_0 = \{ 0, 1, 2, \dots \},$$

$$N_n = \{ 1, 2, \dots, n \},$$

$$N_{0,n} = \{ 0, 1, \dots, n \},$$

R: números reales,

R+: números reales positivos.

Tres métodos básicos por medio de los cuales los conjuntos pueden ser definidos dentro de un

conjunto universal X:

1. Conjunto A donde sus miembros son $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$, es usualmente escrito como $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$.

2. Un conjunto es definido por una propiedad que satisfacen sus miembros (método de la regla).

$$A = \{x | P(x)\}$$

3. Un conjunto puede ser definido por una función, usualmente llamada función característica $\chi_A(x) = \{1 \text{ para } x \in A, 0 \text{ para } x \notin A\}$.

Si todo miembro del conjunto A es también un miembro del conjunto B, entonces A es un subconjunto de B, y esto es escrito como $A \subseteq B$

Si $A \subseteq B$ y $B \subseteq A$, entonces A y B son el mismo conjunto (igualdad de conjuntos) $A = B$

La unión entre dos conjuntos se denota como $A \cup B$

La intersección entre conjuntos se denota como $A \cap B$

El complemento relativo de un conjunto A con respecto al conjunto B es el conjunto que contiene a todos los miembros de B pero que no son miembros de A. Esto puede ser escrito como $B - A$

El complemento de un conjunto A se denota como \bar{A}

El complemento absoluto del conjunto universal es el conjunto vacío y se denota como $\emptyset = X$ y $\bar{X} = \emptyset$

La función característica de un conjunto asigna valores ya sea 0 ó 1 a cada individuo en el conjunto universo. Esta función puede generalizarse de modo que los valores asignados a los elementos del conjunto universo entran a un rango en específico e indican el grado de membresía de estos elementos. Los valores más grandes tienen más porcentaje de pertenencia. Esa función es llamada función de membresía y el conjunto definido por esta es un conjunto difuso.

El grado más usado de valores en funciones de membresía es el intervalo $[0,1]$. En este caso, cada función de membresía denota elementos de un conjunto universal X, que es siempre un conjunto definido, como números reales en $[0,1]$.

Los conjuntos difusos nos permiten representar conceptos vagos expresados en lenguaje natural. La representación depende no sólo del concepto, sino de el contexto en el que está usado. Por ejemplo, para el concepto de temperatura alta en un contexto de clima y en otro de reactor nuclear tiene que ser representada necesariamente por diferentes conjuntos difusos.

Diversos conjuntos difusos que representan conceptos lingüísticos como poco, más o menos, mucho etc., son generalmente empleados para definir estados de una variable. Esta variable es comúnmente llamada variable difusa. En la figura 2.4. la temperatura entre el rango $[P1, P2]$ está caracterizada

como una función variable.

Los estados de esta variable difusa son conjuntos difusos representados por 3 conceptos lingüísticos: poco, medio y mucho. Todos ellos son definidos por funciones de pertenencia, tal y como se muestra en la figura 2.4.

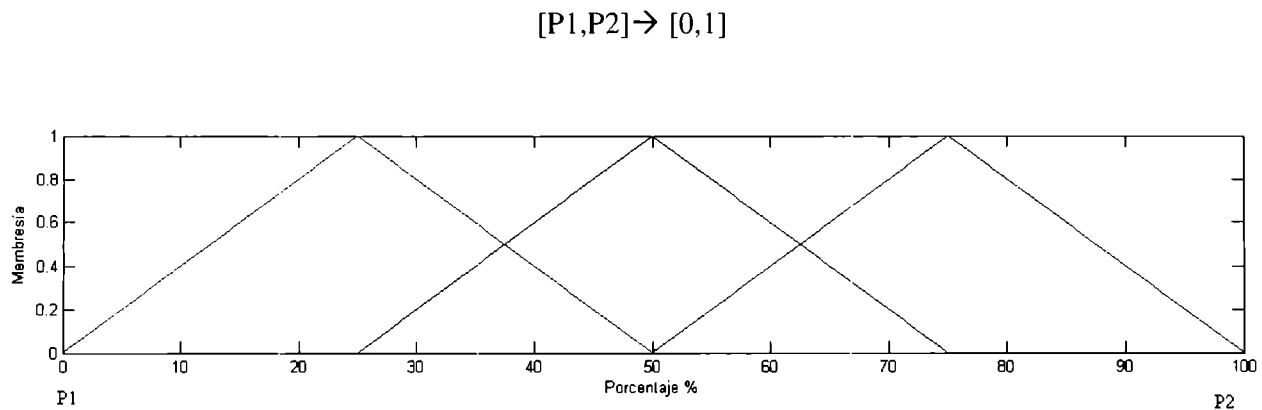


Figura 2.4 Funciones de pertenencia

El significado de las variables difusas es que te facilitan transiciones graduales entre estados y, consecuentemente, poseen una capacidad natural para expresar y lidiar con las cosas no certeras de la observación y la medición. En cambio, las variables tradicionales no tienen esta capacidad. Las variables difusas detectan las mediciones no certeras como parte de datos experimentales, por lo tanto son más cercanas a la realidad que a variables fijas.

Uno de los conceptos más importantes en los conjuntos difusos es el corte α . Dado un conjunto difuso A definido en X y que cualquier número

$$\alpha \in [0, 1]$$

el corte α es el conjunto nítido:

$${}^{\alpha}A = \{x | A(x) \geq \alpha\}$$

Esto se refiere a que el corte α de un conjunto difuso A es el conjunto nítido ${}^{\alpha}A$ que contiene todos los elementos del conjunto universal X que tienen un grado de membresía en A mayor o igual o sólo mayor que el valor α especificado.

El conjunto de todos los niveles $\alpha \in [0, 1]$ que representan distintos cortes α de un conjunto difuso A dado es llamado conjunto nivel. Formalmente

$$\Lambda(A) = \{\alpha | A(x) = \alpha \text{ para alguna } x \in X\},$$

donde Λ denota el nivel del conjunto difuso A definido en X .

Una propiedad importante de α , es que el total de valores ordenados de $\alpha \in [0,1]$ es preservado inversamente por conjuntos de inclusión del corte α correspondiente. Esto es que, para cualquier conjunto difuso A y pares

$$\alpha_1, \alpha_2 \in [0,1]$$

de valores distintos como $\alpha_1 < \alpha_2$ tenemos ${}^{\alpha_1}A \supseteq {}^{\alpha_2}A$.

Esta propiedad también se puede expresar

$${}^{\alpha_1}A \cap {}^{\alpha_2}A = {}^{\alpha_2}A, \quad {}^{\alpha_1}A \cup {}^{\alpha_2}A = {}^{\alpha_1}A.$$

Una consecuencia obvia de esta propiedad es que todos los conjuntos corte α de cualquier conjunto difuso forman dos familias diferentes de conjuntos únicos anidados.

La altura (hight), $h(A)$, de un conjunto difuso A es el grado de membresía más largo que puede tener un elemento en el conjunto

$$h(A) = \sup_{x \in X} A(x).$$

Un conjunto difuso es llamado normal cuando $h(A) = 1$; y es subnormal cuando $h(A) < 1$.

Una propiedad importante de los conjuntos difusos definida en $\mathfrak{R}^n, n \in \mathbb{N}$ es su convexidad. Esta propiedad es vista como una generalización del concepto básico de convexidad de los conjuntos únicos. Para ser consistentes en la definición clásica de convexidad, un conjunto difuso convexo requiere que el corte α debe ser convexo para todas $\alpha \in (0,1]$. Si todos los cortes α son convexas, el resultado del conjunto difuso es convexo.

Para evitar confusión hay que notar que la definición de convexidad en un conjunto difuso no significa que la función de pertenencia de un conjunto convexo sea una función convexa. En realidad las funciones de pertenencia de un conjunto difuso convexo, son funciones que de acuerdo a las definiciones estándar, con frecuencia no son cóncavas ni convexas.

Cualquier propiedad generalizada de la teoría clásica de conjuntos al dominio de teoría de conjuntos difusos es preservada en todos los cortes α para $\alpha \in (0,1]$.

Las operaciones básicas de los conjuntos nítidos (complemento, unión e intersección) pueden ser generalizadas a conjuntos difusos.

El complemento estándar, \bar{A} , del conjunto difuso A con respecto al conjunto universal X definido para toda $x \in X$ es

$$\bar{A}(x) = 1 - A(x).$$

Los elementos de X para los cuales $A(x) = \bar{A}(x)$ son llamados puntos de equilibrio de A . Los grados de membresía de los puntos de equilibrio son 0.5.

Dados dos puntos A y B la intersección estándar es, $A \cap B$, y la unión estándar es $A \cup B$ y son definidas para toda

$$x \in X \text{ por } (A \cap B)(x) = \min[A(x), B(x)], (A \cup B)(x) = \max[A(x), B(x)],$$

donde min y max denotan al operador mínimo y máximo, respectivamente.

Cualquier conjunto difuso $F(x)$ puede ser visto como un reticulado(conjunto parcialmente ordenado en el cual todo subconjunto finito no vacío tiene un supremo y un ínfimo), en el cual las intersecciones y uniones difusas estándar juegan papeles de encontrar y juntar. El reticulado es distribuido y complementado bajo el estándar del complemento difuso. Satisface todas las propiedades Booleanas excepto la ley de contradicción y de exclusión.

Para cualquier conjunto difuso A definido en un universo finito X, definimos su cardinalidad escalar

$$|A| = \sum_{x \in X} A(x)$$

Para cualquier par de un subconjunto difuso definido en un universo finito X, el grado del subconjunto,

$$S(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A|} .$$

Dado un conjunto difuso A definido en el universo continuo del conjunto

$$X \quad A = \sum_{i=1}^{\infty} a_i / x_i ,$$

en donde a_i representa el grado de membresía de x_i en A para toda $i \in \mathbb{N}_n$.

De manera similar, cuando X es un intervalo de números discretos, el conjunto difuso es

$$A = \int_X A(x) / x .$$

Esta integral no tiene el significado usual; solamente indica que todos pares de x y A(x) en el intervalo X colectivamente forman A.

Dentro de las ventajas que ofrece la lógica difusa están:

- Permite expresar observaciones irreducibles y medidas imprecisas en varias manifestaciones y hace a la imprecisión intrínseca a datos empíricos. Estos datos, que están basados en distinciones de grados a través de estados de variables relevantes, se llaman datos difusos. Cuando los datos difusos son procesados, su imprecisión intrínseca es procesada también, y los resultados obtenidos son más significativos en términos teórico y prácticos, que en los resultados obtenidos en datos nítidos.
- Ofrece recursos para administrar y controlar costos computacionales. La experiencia dice que entre más complejo sea el problema, el nivel del método difuso será superior.

- Tiene la capacidad de capturar y proporcionar significados a enunciados expresados en un lenguaje natural. Esto permite que en términos matemáticos se aborden los problemas usando éste lenguaje natural.
- Tiene una gran capacidad para capturar el razonamiento de sentido común humano, toma de decisiones y conocimiento.

Un sistema difuso del tipo Takagi-Sugeno puede ser visto de la siguiente manera, como se muestra en la figura 2.5.

La *difusificación* comprende el proceso de transformar valores nítidos a grados de membresía para términos lingüísticos en conjuntos difusos. La función de membresía se utiliza para asociar un valor o grado a cada término lingüístico. En nuestro caso, nuestras funciones de membresía son tres y representan el porcentaje del error que se obtiene en el controlador asignándole valores de poco, medio y mucho error.

Inferencia difusa es la parte medular de un sistema difuso pues combina los resultados obtenidos de la difusificación con la base de reglas y realiza el razonamiento difuso. En nuestro caso tomamos el método Takagi-Sugeno.

La *desdifusificación* es el proceso que permite transformar información difusa a un valor que pueda ser aplicado a un proceso, es decir se transforma de un conjunto difuso a un valor nítido.

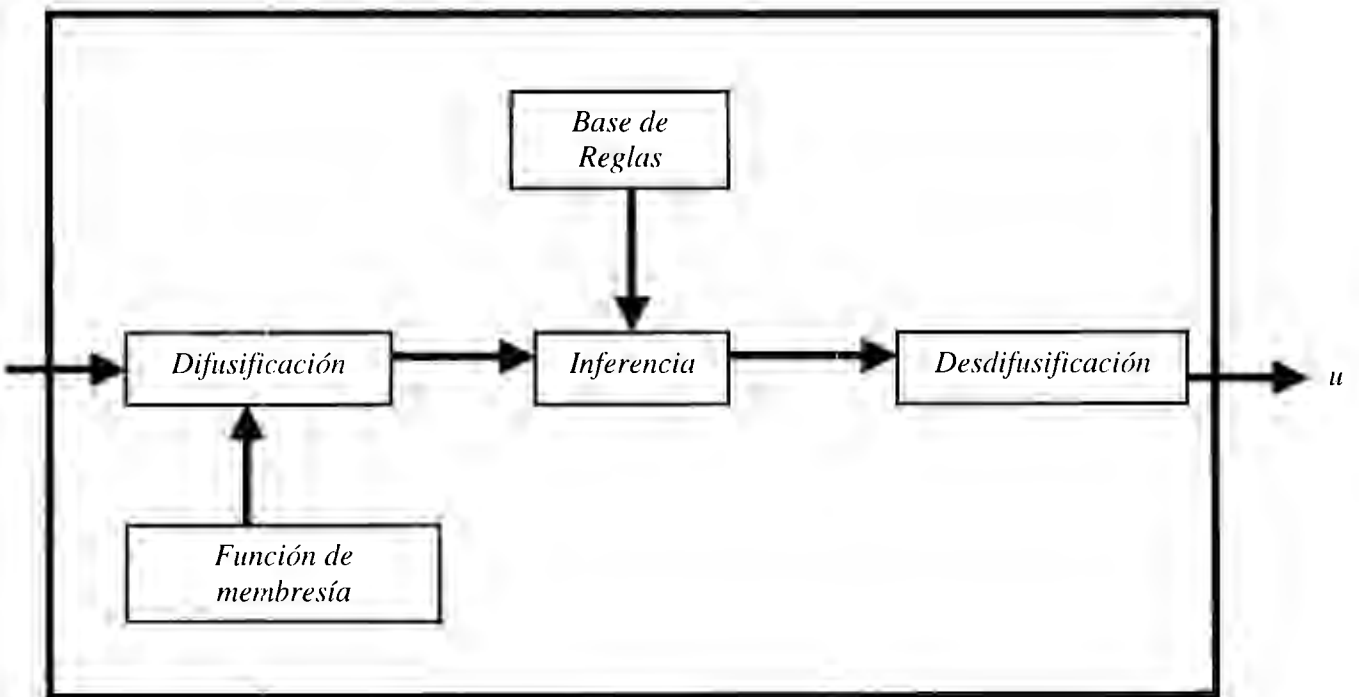


Figura2.5 Sistema difuso Takagi-Sugeno

La mayoría de los sistemas reales son no lineales y no podemos conocer la verdadera ecuación que los modela. Pero si podemos identificar su comportamiento y hacer modelos aproximados utilizando la lógica difusa. Un método de modelado de sistemas no lineales es el Takagi-Sugeno el cual permite obtener entradas óptimas para la planta.

Takagi-Sugeno es un método que representa el modelo difuso de un sistema dinámico. Utiliza una relación lineal de entrada-salida como consecuencia de las reglas individuales de la planta. La principal característica del modelo Takagi-Sugeno es el poder expresar la dinámica local de cada regla difusa mediante un modelo lineal.

Este modelo está definido por reglas difusas SI-ENTONCES (if-then), que son las que representan las relaciones entrada-salida locales del sistema no lineal. Una planta en tiempo continuo puede ser representada por reglas difusas de la siguiente manera:

$$R_i : \text{Si } x_1(t) \text{ es } F_1^i \text{ y } \dots \text{ y } x_n(t) \text{ es } F_n^i$$

$$\text{Entonces } \dot{x}(t) = A_i x(t) + B_i u(t), \text{ donde } i = 1, 2, 3, \dots, l$$

R_i representa el i -ésima regla de inferencia, l nos dice el número de reglas de inferencia, F_j^i y $j = 1, 2, 3, \dots, n$ denota los conjuntos difusos de entrada,

$$x(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]^T$$

donde $x \in R^n$ nos indica el estado del vector, $u \in R$ representa las variables de entrada, A_i, B_i nos dice en i -ésimo parámetro del modelo local del sistema difuso.

Para cualquier vector de estado x y de salida u , el modelo Takagui-Sugeno infiere que x es la salida del modelo difuso

$$x = \sum_{i=1}^l h_i [A_i x(t) + B_i u(t)],$$

donde

$$h_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^l w_i}$$

y

$$w_i = \prod_{k=1}^n F_k^i(x_k(t)),$$

que es el grado de pertenencia de la i -ésima regla.

De la ecuación

$$x = \sum_{i=1}^l h_i [A_i x(t) + B_i u(t)]$$

se ve que el modelo Takagi-Sugeno aproxima sistemas no lineales por medio de la combinación de varios sistemas lineales descomponiendo difusamente la entrada completa en varias partes y así poder representar con ecuaciones lineales cada entrada-salida.

II.5 Hipótesis del proyecto

Nuestra teoría se basa en la hipótesis de que las temperaturas proporcionadas por una plancha no son linealmente proporcionales al voltaje inyectado al sistema.

Para soportar más esta hipótesis también realizamos pruebas de planchado en diferentes tipos de telas y con distintas marcas de plancha, las cuales se muestran en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Pruebas de planchado con distintos tipos de tela

Marca de plancha	Nylon fino(°C) min/max	Nylon de baja calidad(°C) min/max	Seda(°C) min/max	Lana(°C) min/max	Algodón(°C) min/max	Lino(°C) min/max
American	44-53	27 -76	73-84	103-132	127-146	143-164
Tfal	100-124	89-121	127-152	145-174	177-213	194-218
Rowenta	28-38	27-39	36-52	34-42	47-55	35-50
B&D	91-120	92-120	90-120	140-181	183-154	154-196

En la tabla anterior podemos ver los resultados de las mediciones hechas, donde se muestran los valores de la temperatura mínima y la máxima registradas. Como se puede observar, la variación de valores registrados entre las diferentes marcas es muy grande; así como la variación de cambio de temperatura entre un tipo de tela y otro, no es proporcional a la posición de la perilla.

Por otra parte también se investigó en la bibliografía [1], las temperaturas ideales de planchado para los distintos tipos de tela, que también varían mucho a la práctica y se puede ver en la Tabla 2.2

Tabla 2.2 Temperaturas recomendadas para planchar ropa[1]

Rayón	120 °C ± 25 °C
Seda	155 °C ± 25 °C
Lana	200 °C ± 25 °C
Algodón	240 °C ± 25 °C
Lino	265 °C ± 25 °C

III. Avances y Resultados

En esta sección se describirán las tres etapas en las que nuestro proyecto se divide, como fueron realizadas y los resultados que se obtuvieron en cada una de ellas.

III.1 Diseño

El diseño de nuestro proyecto se divide en las siguientes etapas. figura 3.1:

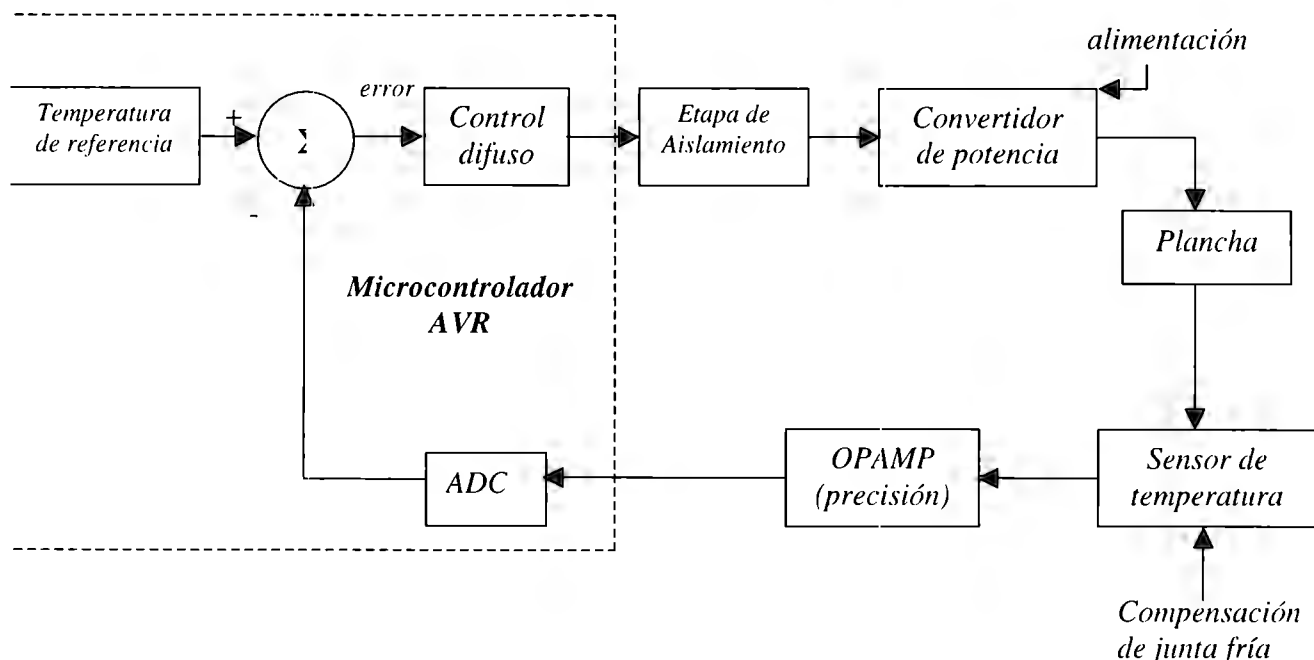


Figura 3.1 Etapas del diseño

El diagrama de la Figura 3.1 será explicado a mayor detalle en las siguientes secciones.

III.1.1 Etapa de sincronización con la línea de AC y potencia.

La etapa de sincronización con la línea de AC y potencia se muestra en la figura 3.2 y el diagrama eléctrico se muestra en el anexo 6.15.

Un rectificador es el elemento o circuito que permite convertir la corriente alterna en corriente continua. Esto se realiza utilizando diodos rectificadores, ya sea semiconductores de estado sólido, válvulas al vacío o válvulas gaseosas como las de vapor de mercurio.

Un fototransistor es, en esencia, lo mismo que un transistor normal, sólo que puede trabajar de dos maneras diferentes:

- Como un transistor normal con la corriente de base I_B . (modo común)
- Como fototransistor, cuando la luz que incide en este elemento hace las veces de corriente de base. (modo de iluminación)

Algunos modelos de microcontroladores disponen internamente de un Amplificador Operacional que actúa como comparador entre una señal fija de referencia y otra variable que se aplica por una de las patitas de la cápsula. La salida del comparador proporciona un nivel lógico 1 ó 0 según una señal sea mayor o menor que la otra.

El triac es un dispositivo semiconductor de tres terminales que se usa para controlar el flujo de corriente promedio a una carga, con la particularidad de que conduce en ambos sentidos y puede ser bloqueado por inversión de la tensión o al disminuir la corriente por debajo del valor de

mantenimiento. El triac puede ser disparado independientemente de la polarización de puerta, es decir, mediante una corriente de puerta positiva o negativa.

Esta etapa manda al microcontrolador los cruces por cero de la línea de corriente alterna generando una interrupción que permita encender la resistencia de la plancha por un tiempo determinado por el control cortando la señal de corriente alterna y así permitir que pase más o menos potencia según sea el caso, tal y como se muestra en la Figura 3.3.

Para poder hacer esto, primero se rectifica la señal de AC utilizando un puente de diodos, después se utiliza una resistencia de potencia para poder reducir el voltaje que viene del puente de diodos. La resistencia de potencia está conectada directamente al diodo de un fototransistor 4N38, el cual detecta los cruces por cero de la línea rectificada y manda por el emisor del transistor interno una señal que activa la interrupción del microcontrolador, la cual fue programada con anterioridad.

Cuando el microcontrolador detecta la interrupción, echa a andar un timer con un tiempo determinado por la etapa de control. Cuando el timer llega a su tope, activa una interrupción que manda un pulso para que se encienda la etapa de potencia y ésta a su vez active la resistencia de la plancha.

La etapa de potencia consta de un triac MOC3010 que contiene un diodo, el cual es encendido cuando el microcontrolador le manda un pulso, éste a su vez enciende su triac interno para hacer funcionar otro triac MAC228 que es el encargado de mandar la corriente alterna a la resistencia de nuestra plancha.

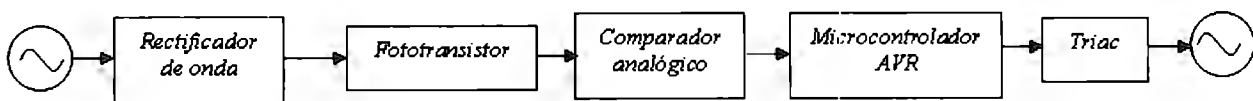


Figura 3.2 Diagrama de sincronización de AC y etapa de potencia

A continuación se muestra una toma del osciloscopio en donde se ve como se va cortando la señal alterna, Figura 3.3. En dicha figura sólo se muestra la señal de voltaje con respecto al tiempo y no la de corriente, pues bien es sabido que en un circuito resistivo no hay defasamiento entre la señal de corriente y de voltaje.

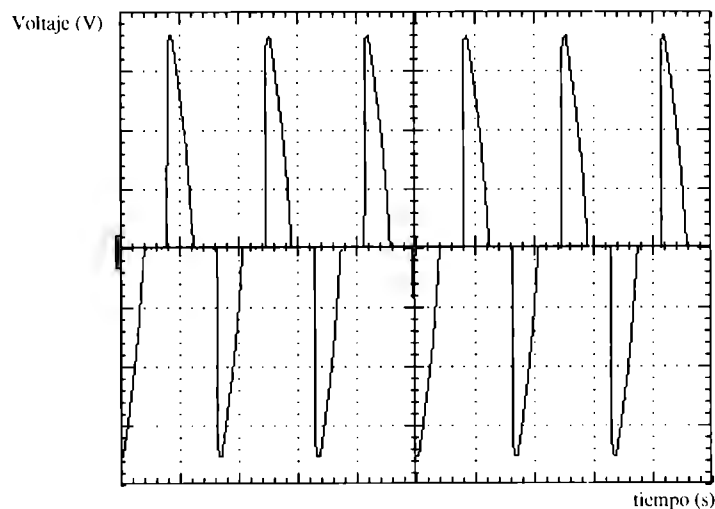


Figura 3.3 Resultado de la etapa de sincronización de AC y etapa de potencia

III.1.2 Etapa de control

El modelado de nuestra etapa de control comenzó con la siguiente prueba, para la cual se siguió esta metodología:

- Se abrió una plancha convencional con el fin de separar el termostato de la resistencia.
- Se conectó la resistencia directamente a la línea de corriente alterna (lazo abierto).
- Cada cinco segundos se midió la temperatura de la suela de la plancha. Dichas mediciones se muestran en la tabla del anexo 6.2 y de éstas se obtuvo una gráfica, figura 3.4.

Cada una de las gráficas que se presentan de aquí en adelante, empiezan con un valor inicial de temperatura igual a la temperatura ambiente.

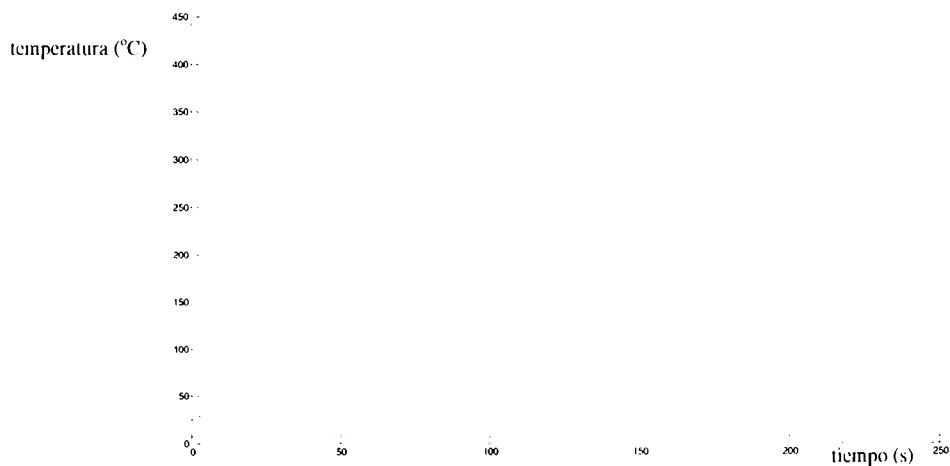


Figura 3.4 Gráfica de mediciones de temperatura cada 5 segundos

En esta prueba llegamos a medir hasta 428°C, puesto que la planta comenzó a quemarse a partir de esta temperatura.

En la gráfica anterior podemos observar el comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo y con ayuda de esta prueba comenzamos a hacer la simulación de un controlador PI con la ayuda del software Matlab. Nuestra siguiente actividad fue obtener la τ de dicha prueba.

Tenemos que

$$\Delta y = 428 - 24 = 404 \text{ (amplitud máxima)}$$

y

$$.63\Delta y = 254.52$$

y refiriéndonos a la gráfica 3.4 normalizamos de la siguiente manera

$$254.52 + 24 = 278.52 ,$$

ya que la temperatura ambiente fueron 24°C. Buscamos el valor correspondiente en el tiempo a los 278.52 °C que es aproximadamente 76 segundos por lo tanto $\tau = 76$.

Tomando en cuenta un tiempo mínimo de 100µs, se obtiene una frecuencia mínima, la cual permite dejar pasar toda la onda de AC. Sabiendo que

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta u} ,$$

obtenemos una $k = 0.0404$. Por lo tanto, para un sistema de primer orden, descrito por la ecuación

$$G(s) = \frac{k}{\tau s + 1} ,$$

obtuvimos nuestra planta

$$G(s) = \frac{0.0404}{76s + 1} ,$$

la cuál se colocó dentro de un lazo cerrado. Cabe mencionar que el efecto de la temperatura ambiente también fue tomado en cuenta por medio de una constante de valor 24.

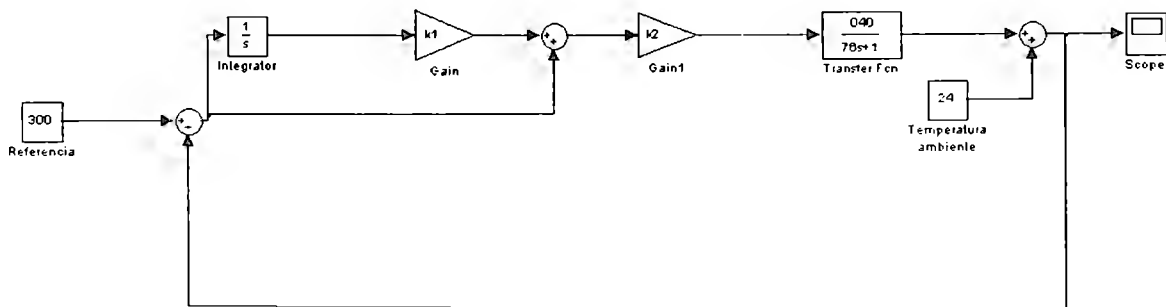


Figura 3.5 Lazo cerrado con ganancias

A partir de del diagrama de la figura 3.5 se calculó una función de transferencia para después poder calcular las ganancias en un sistema de segundo orden, tal y como se muestra en la figura 3.6.

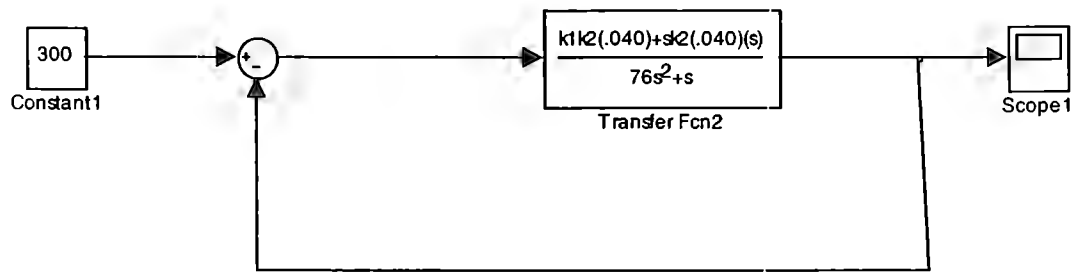


Figura 3.6 Función de transferencia para calcular constantes

Si tenemos que un sistema de segundo orden, descrito por la ecuación

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2},$$

con un tiempo de establecimiento de 120 segundos y un sobrepaso del 2% se obtuvieron las siguientes constantes,

$$k1=.0156$$

y

$$k2=100.67.$$

Dichos valores se generaron a partir de las ecuaciones,

$$Mp = \lambda^{-\left(\frac{\gamma}{\sqrt{1-\gamma^2}}\right)^\pi},$$

$$t_s = \frac{4}{\gamma\omega_n}$$

y la función de transferencia en lazo cerrado

$$G(s) = \frac{5.315 \times 10^{-4} k2(k1 + 5)}{s^2 + \left(\frac{1}{76} + 5.315 \times 10^{-4} k2\right)s + 5.315 \times 10^{-4} k1k2}$$

Con éstas se obtuvo

$$\gamma = .7797,$$

$$\omega_n = .04275$$

e igualamos

$$2\xi\omega_n = \frac{1}{76} + 5.315 \times 10^{-4} k2$$

y

$$\omega_n^2 = 5.315 \times 10^{-4} k_1 k_2.$$

Las ganancias obtenidas se implantaron en el diagrama de la figura 3.7 y se obtuvo una respuesta satisfactoria, tal y como se muestra en la figura 3.8, donde se puede ver claramente que hay un sobre impulso mínimo.

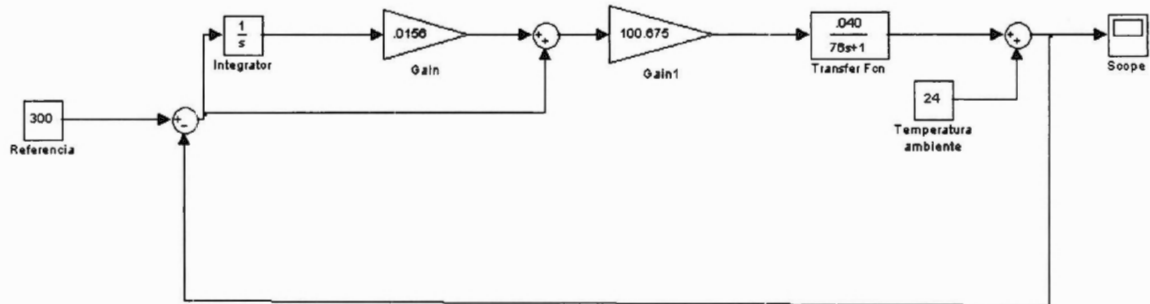


Figura 3.7 Diagrama con ganancias calculadas

temperatura (°C)

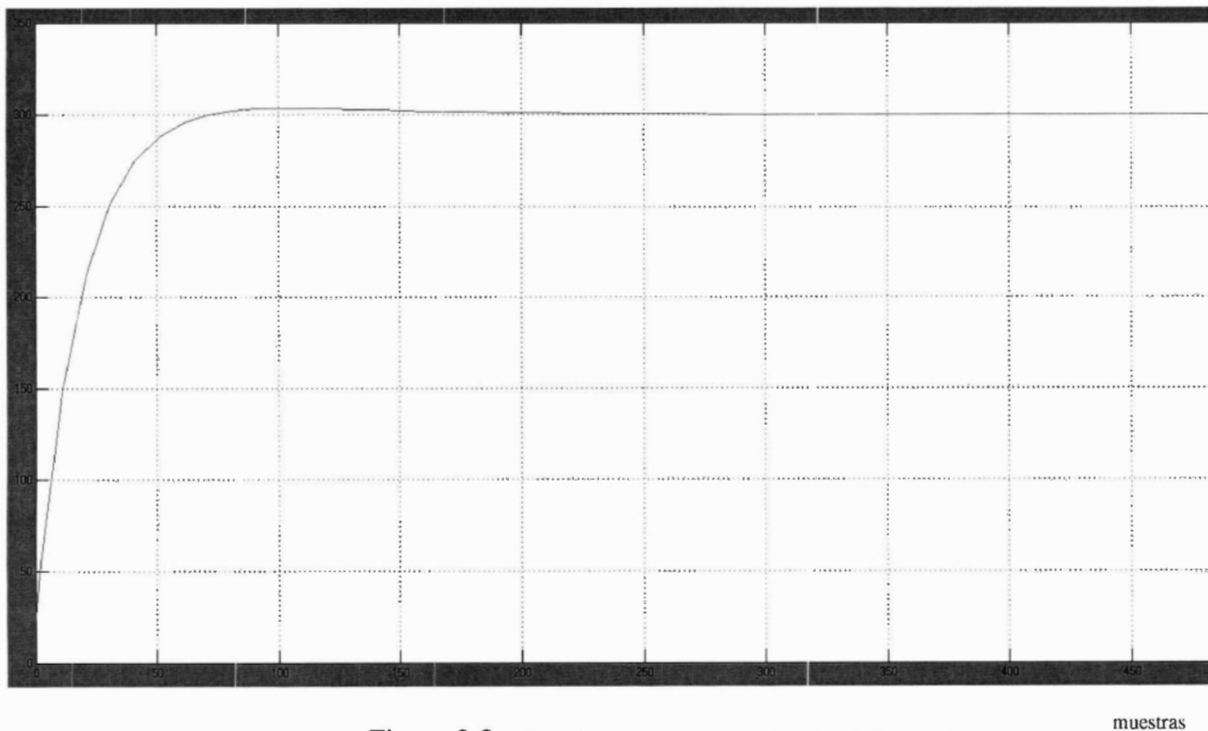


Figura 3.8 Salida del control proporcional más integral

En la Figura 3.8 se puede observar la respuesta del controlador PI, esta nos da una buena respuesta y llega a estabilizarse, pero sabemos que esto será para un solo punto de operación pues el sistema no es lineal, por esto se diseñará una red difusa para que nuestro controlador pueda trabajar en distintos puntos de operación.

A continuación diseñamos una red difusa del tipo Takagi-Sugeno, Figura 3.9, con polinomios de orden cero. Para esta red nos dimos a la tarea de ir variando las ganancias, para de esta forma obtener una respuesta adecuada y que se ajustara a nuestras necesidades y poder llegar a nuestra temperatura de referencia, 300°C.

Por otro lado se hicieron varias pruebas de aproximación con varias funciones a la salida, cambiando las funciones de pertenencia. Estas pruebas fueron hechas de manera independiente al proyecto y son meramente demostrativas de las distintas salidas que podemos obtener variando las entradas (Figura anexo 6.7-6.12).

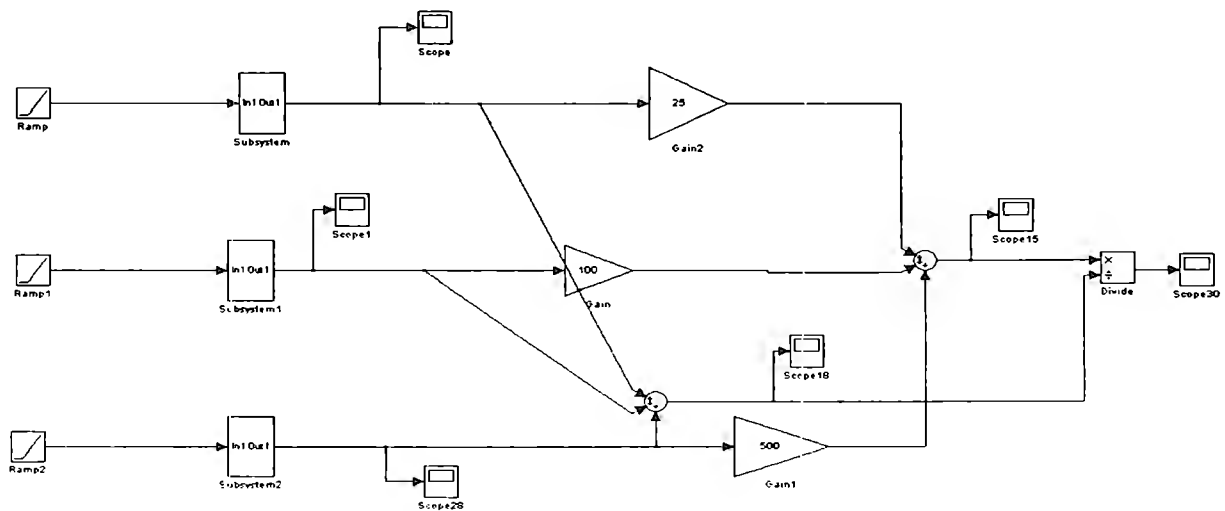


Figura 3.9 Red difusa implementada con simulink

Dentro de esta red difusa se encuentran 3 subsistemas que se refieren a las funciones de pertenencia. Para este ejemplo se referían a temperatura, éstas son 3 triangulares que se simularon de la siguiente manera, figura 3.10:

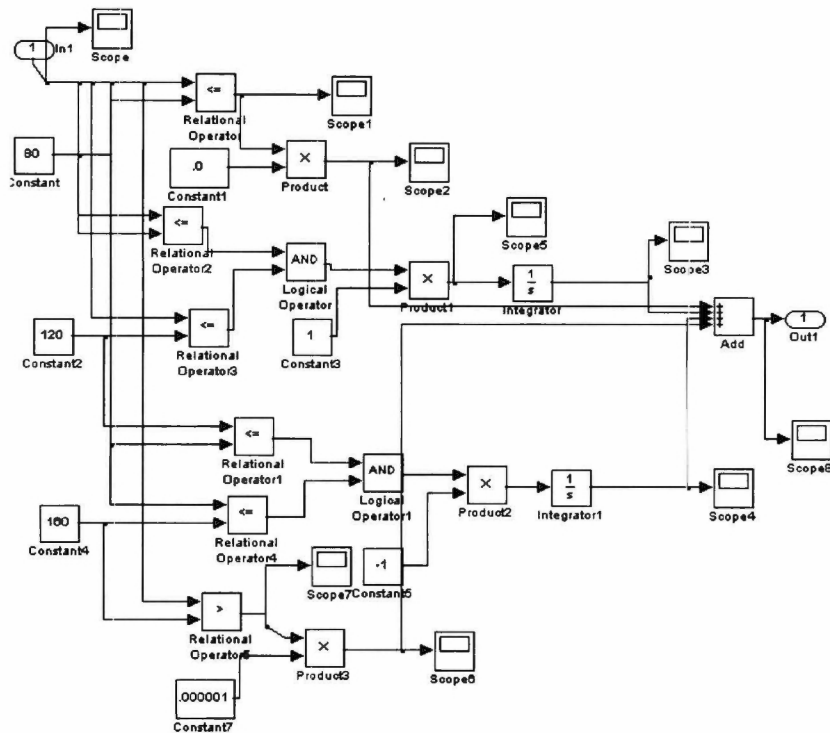


Figura 3.10 Simulación de una de nuestras funciones de pertenencia referida a temperatura

La salida de esta simulación se puede observar en la Figura 3.11

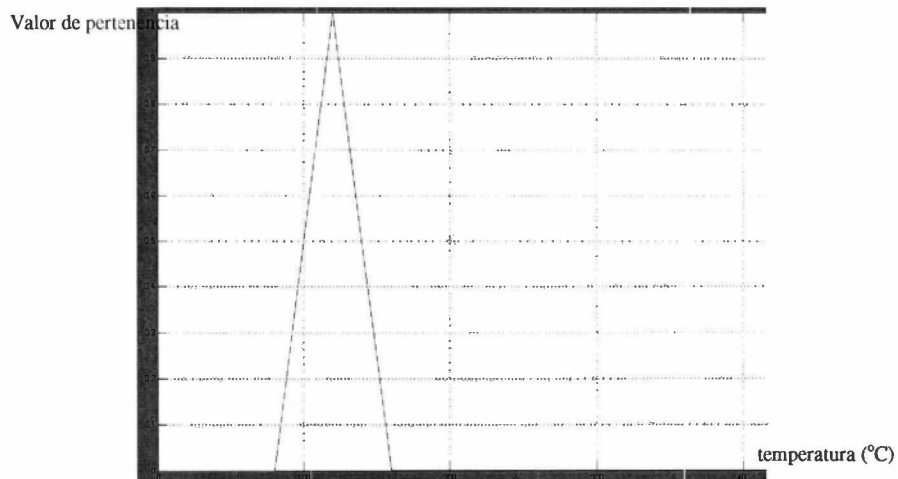


Figura 3.11 Salida de la simulación de una función de pertenencia

Esta red difusa se implementó en lugar del controlador de la Figura 3.7, quedando como resultado la figura 3.12. Los resultados no fueron los esperados como se muestra en la figura 3.13, puesto que nuestro controlador de tipo PI tenía una mejor aproximación a nuestra red difusa.

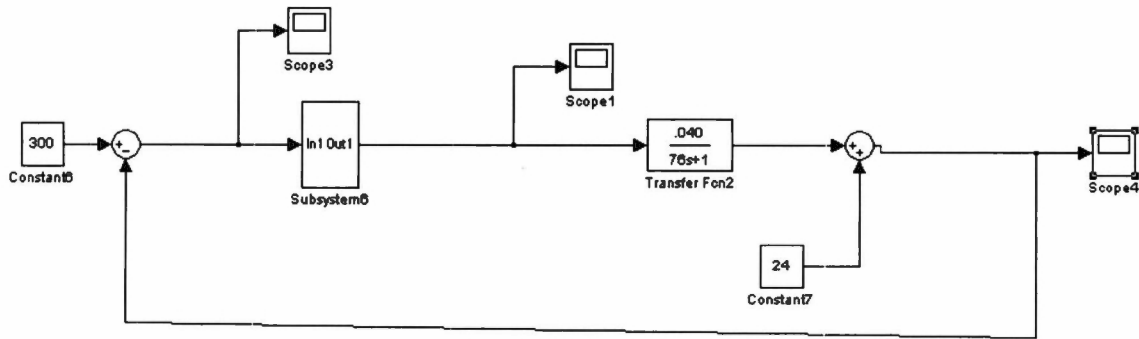


Figura 3.12 Implementación de nuestra red difusa en nuestro controlador

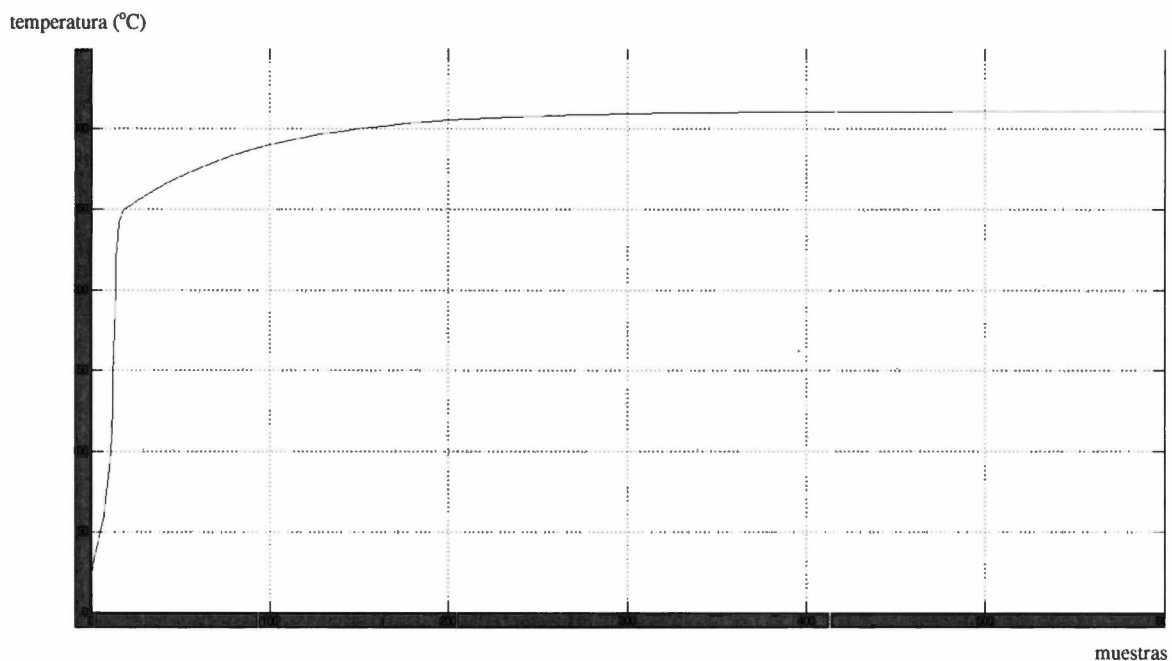


Figura 3.13 Salida de red difusa no exitosa

III.1.2.1 Procedimiento de identificación del proceso físico

Al tener listo nuestro convertidor de potencia realizamos varias pruebas en las cuales variamos el tiempo en que se corta la señal senoidal que alimenta nuestra planta modificando así la potencia con la que nuestra plancha trabaja, la metodología que seguimos fue la siguiente:

- Se retiró nuevamente el termostato a la plancha.
- Conectamos la plancha a nuestra etapa de potencia.
- Variamos el porcentaje del tiempo del convertidor de potencia y de esta forma aplicamos a la planta diferentes potencias.
- Medimos cada 5 segundos la temperatura proporcionada por la plancha y obtuvimos

los siguientes resultados(Figuras 3.14- 3.17, Tabla anexo 6.3-6.6):

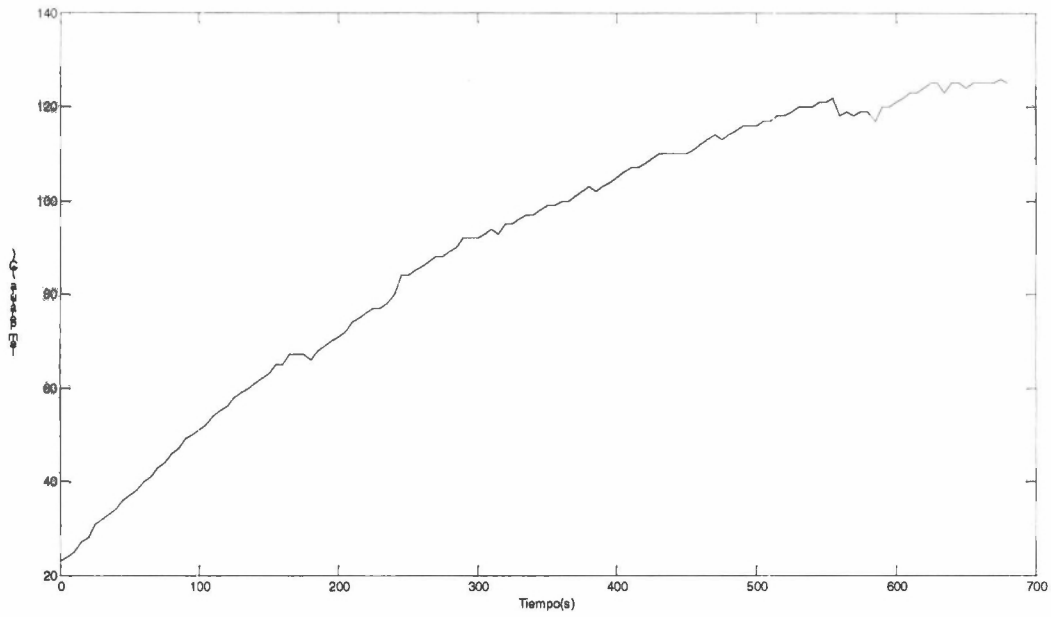


Figura 3.14 Salida con el 30% del tiempo de la señal que pasa.

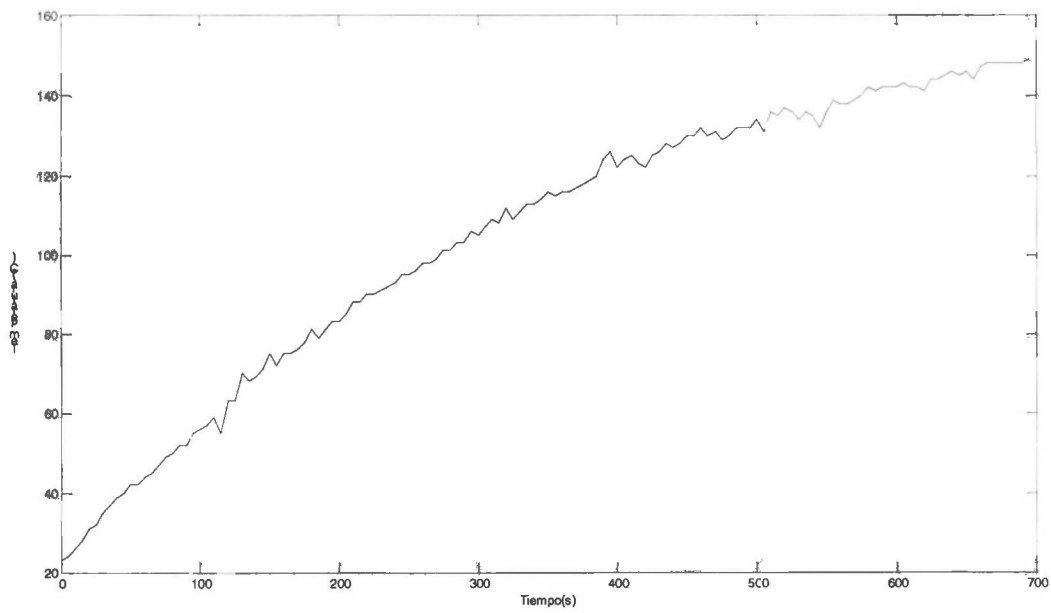


Figura 3.15 Salida con el 32.5% del tiempo de la señal que pasa.

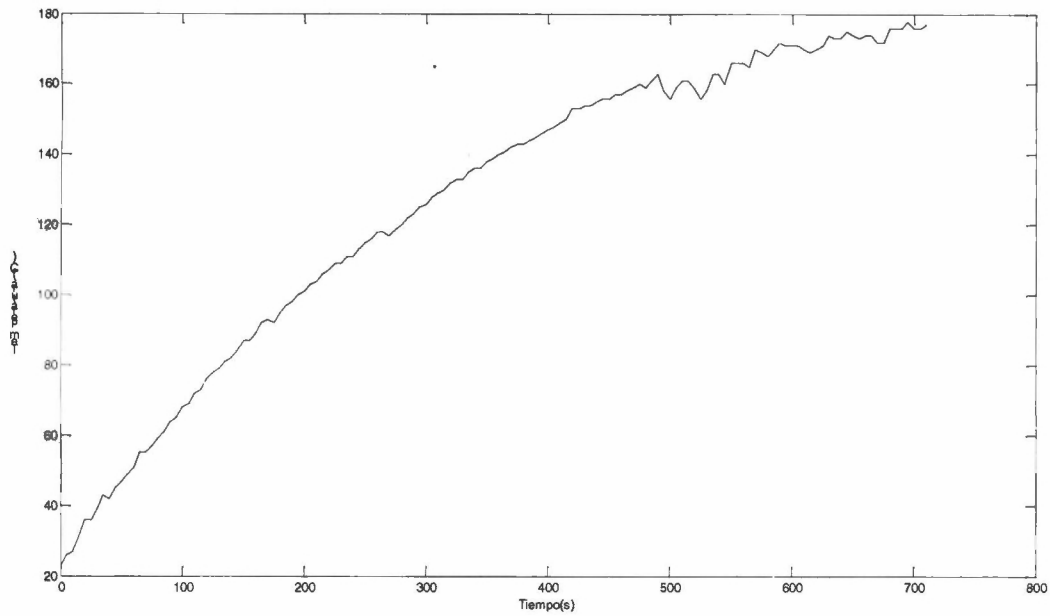


Figura 3.16 Salida con el 35% del tiempo de la señal que pasa.

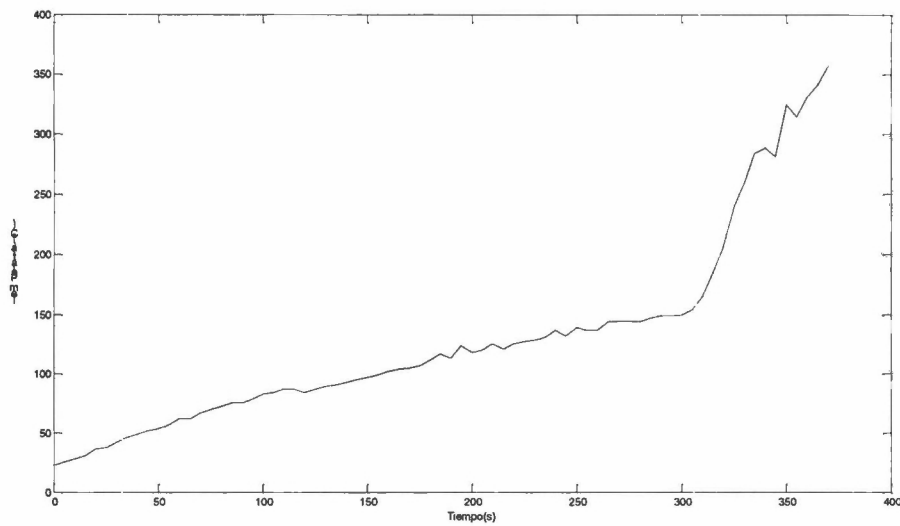


Figura 3.17 Salida con el 37.5% del tiempo de la señal que pasa.

Cabe mencionar que estas pruebas también se realizaron con el 10% ,20%, 40%,50% y 60% del tiempo de la señal que pasa. pero no observamos cambios en la temperatura de la plancha del 10% al 20% ya que esta incrementaba muy lentamente; del 40% al 60% había una saturación al igual que en la prueba del 37.5%, intentamos buscarle alguna explicación a este tipo de respuesta y haciendo referencia a la Figura 3.4, creemos que este tipo de comportamiento no es normal, si lo atribuimos a un problema de medición esto tampoco es coherente por que esta prueba se repitió a varios porcentajes y la respuesta fue la misma; pensamos que talvez esta respuesta se debe al deterioro de la resistencia después de haberla forzada a varias pruebas. Esto puede ser muy malo para nuestro diseño al implementar la plancha ya que si esto sucede en la

pruebas pudiera suceder al estar ya funcionando la plancha, sin embargo se estará sensando la temperatura que se encuentra en la resistencia cada 2 segundos, por lo tanto, si se dispara la temperatura de manera similar a la Figura 3.17, el control difuso lo detectará y controlará evitando problemas de este tipo.

Con respecto a las pruebas del 30% al 35% creemos que las pequeñas fluctuación que se muestran en las Figuras 3.14-3.16 se deben al error que tiene el pirómetro al efectuar las mediciones.

Al igual que para la prueba en la que conectamos la plancha directamente a la línea, en estas pruebas en la que el tiempo fue regulado por el convertidor de potencia modelamos una planta para cada respuesta obtenida. (Modelado de plantas anexo 6.13)

Para usos prácticos tomamos la planta del 30% ya que las constantes de tiempo τ son muy parecidas en todas las plantas calculadas con anterioridad y se le modeló un control tipo P (Figura 3.18) en Matlab y la respuesta puede ser vista en la Figura 3.19. De aquí en adelante la temperatura que tomamos como referencia fueron 150°C, debido al grado de peligrosidad que las pruebas representan.

Después de hacer este modelo nos dimos a la tarea de implementarlo en nuestro microcontrolador y la respuesta que se obtuvo es mostrada en la Figura 3.20, en la que obtuvimos un comportamiento exitoso y se puede ver claramente que nuestro control estabilizó la temperatura a los 120°C.

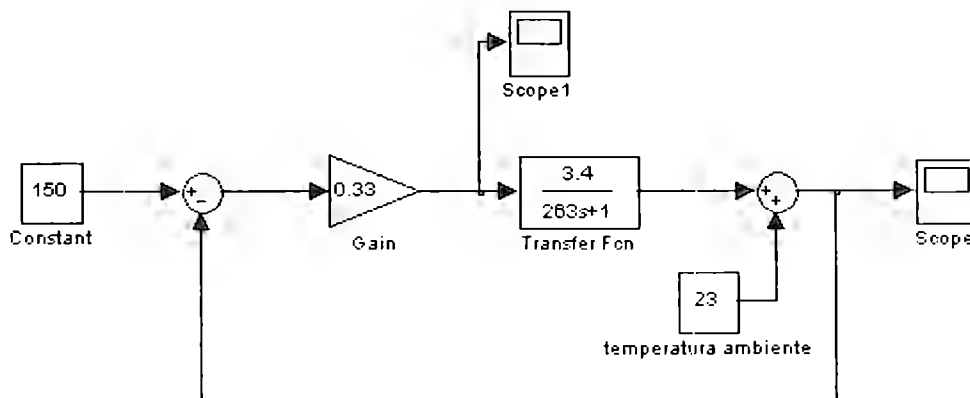


Figura 3.18 Controlador tipo P con planta calculada con el 30% de la onda de entrada

temperatura (°C)

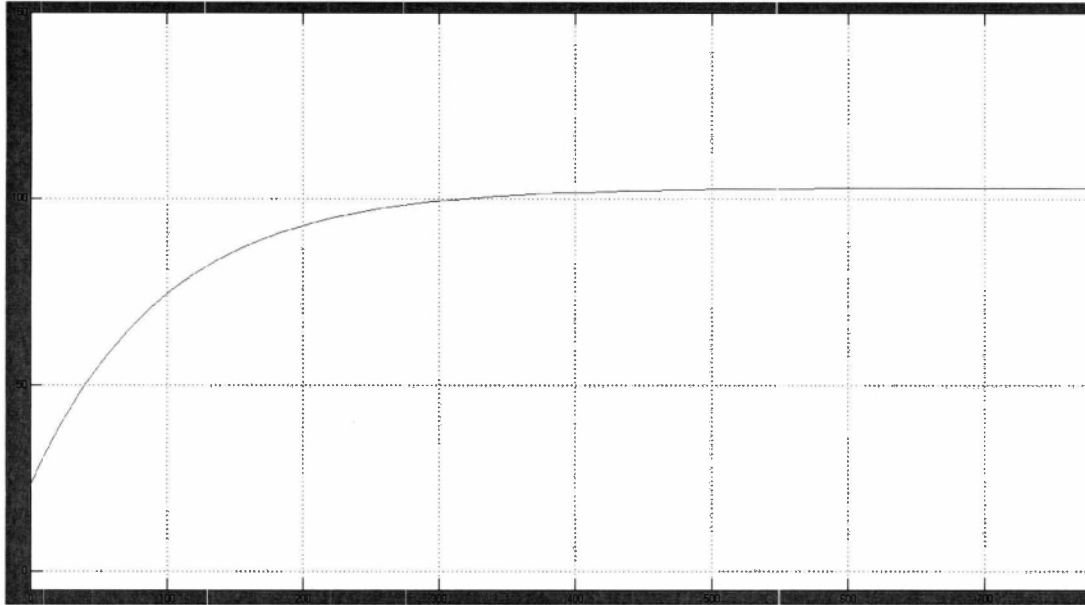


Figura 3.19 Respuesta de controlador tipo P

muestras

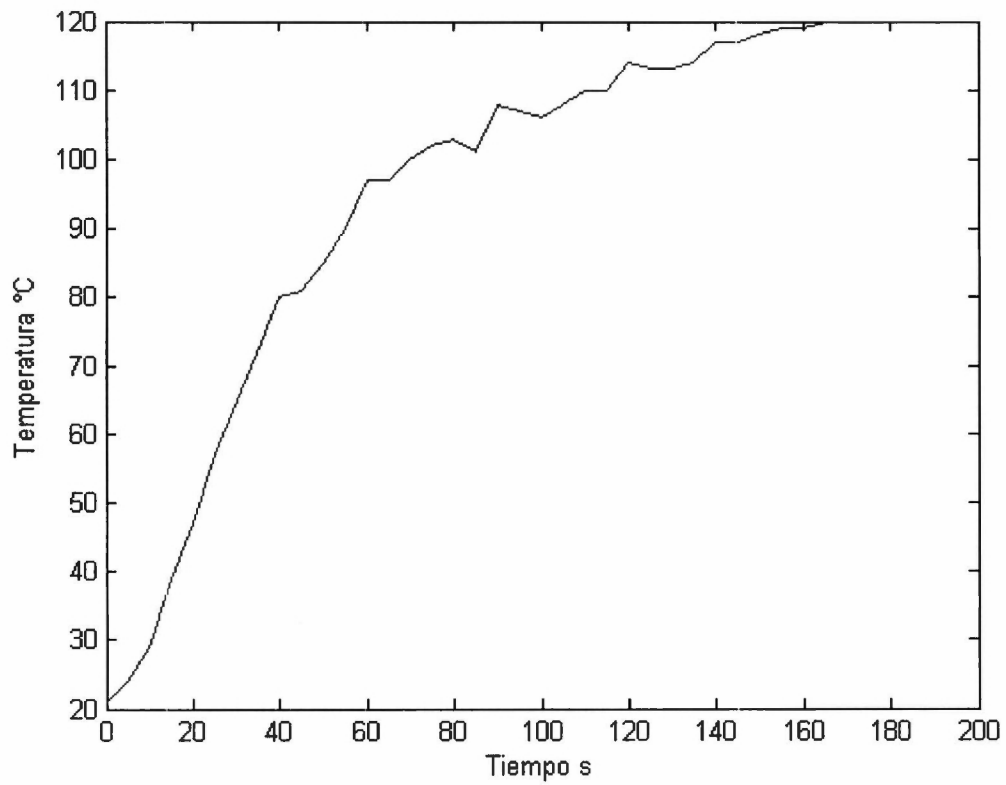


Figura 3.20 Respuesta de controlador P aplicado a la plancha

Como la idea principal de nuestro controlador difuso era implementarlo junto con un controlador convencional, en este caso uno del tipo PI, nos dimos a la tarea de modelarlo y posteriormente anexarlo a nuestra red difusa (Anexo 6.14) (Figura 3.21-3.22).

La idea de tener un control difuso es que ajuste los parámetros del controlador convencional en este caso el PI, y así tener una reducción de oscilaciones y mejorar el tiempo de establecimiento.

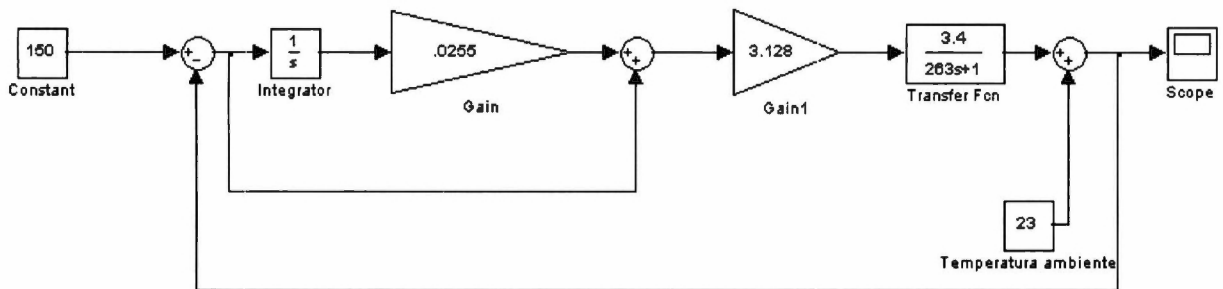


Figura 3.21 Control PI

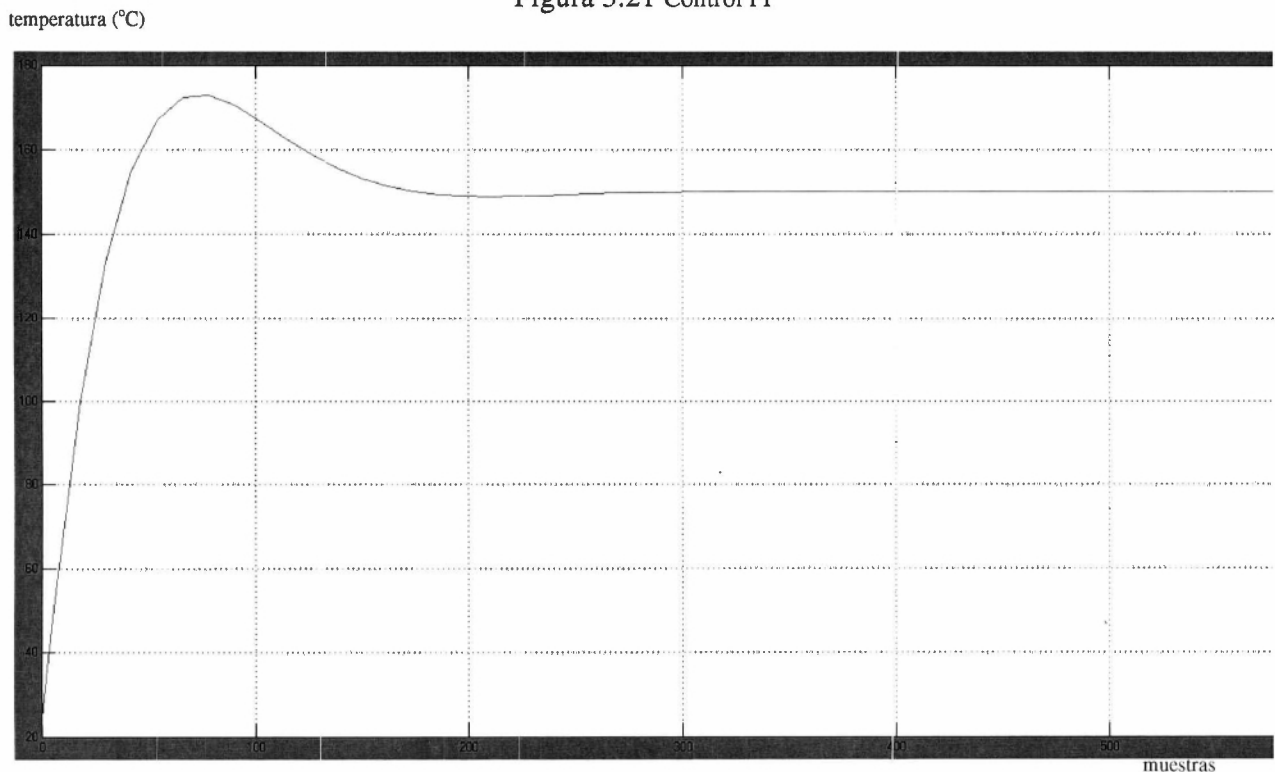


Figura 3.22 Salida de controlador PI

Nuestra red difusa fue programada en Matlab para así facilitar su traducción al microcontrolador (Anexo 6.16) , para programar esta red difusa nos referimos al modelo de la Figura 3.9, pero esta

vez las ganancias son dadas por controladores del tipo proporcional más integral (Figura 3.23) cabe mencionar que para modificar el modelo difuso que se tenía con anterioridad y tener la salida deseada nuestros conjuntos difusos fueron basados en la consigna de error grande, mediano y poco; de esta forma nuestro control trata de compensar el error que hay entre nuestro valor de referencia que es de 150°C (o cualquier otra deseada) y la temperatura actual. Si se desea conocer más sobre el procedimiento de programación referirse al diagrama de bloques en el anexo 6.20.

Cabe aclarar que si nuestro error fuera mayor al 100% nuestro error será saturado al 100% y si es menor al 0% este será saturado de igual forma al 0%. En esta prueba nuestra referencia fue de 100°C.

Para explicar de forma más clara la manera en que el controlador difuso fue diseñado, nos referiremos a la Figura 3.23, en donde se describen las diferentes fases utilizadas en el controlado: funciones de pertenencia (error poco, mucho, medio), las reglas y los polinomios de orden cero que describen controladores PI en donde las ganancias K_p y T_i fueron calculadas a partir de la planta de la Figura 3.14 (K_{p1} y T_{i1}) y también fueron propuestas por nosotros para hacer la sintonización (K_{p2} , K_{p3} , T_{i2} y T_{i3}).

Cabe aclarar que dentro de la Figura 3.23 en la sección de polinomios de orden cero la variable $e(i-1)$ se refiere al error anterior y suma es un acumulador de los errores que se refiere a la parte integral del controlador.

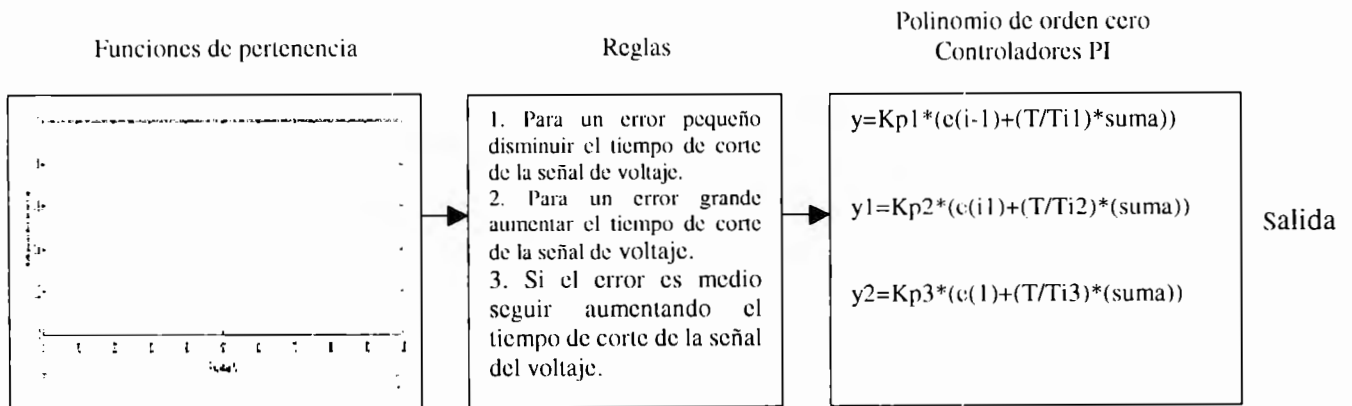


Figura 3.23 Metodología utilizada para diseñar el controlador difuso

Para poder comprobar que nuestro control difuso estaba bien programado en el microcontrolador AVR hicimos pruebas de simulaciones realizando varios ciclos tanto en Matlab como en el simulador del AVR, y así comprobar que con cada corrida las variables fueran iguales en valor numérico, el resultado es el siguiente: Figura 3.24 y Figura 3.25

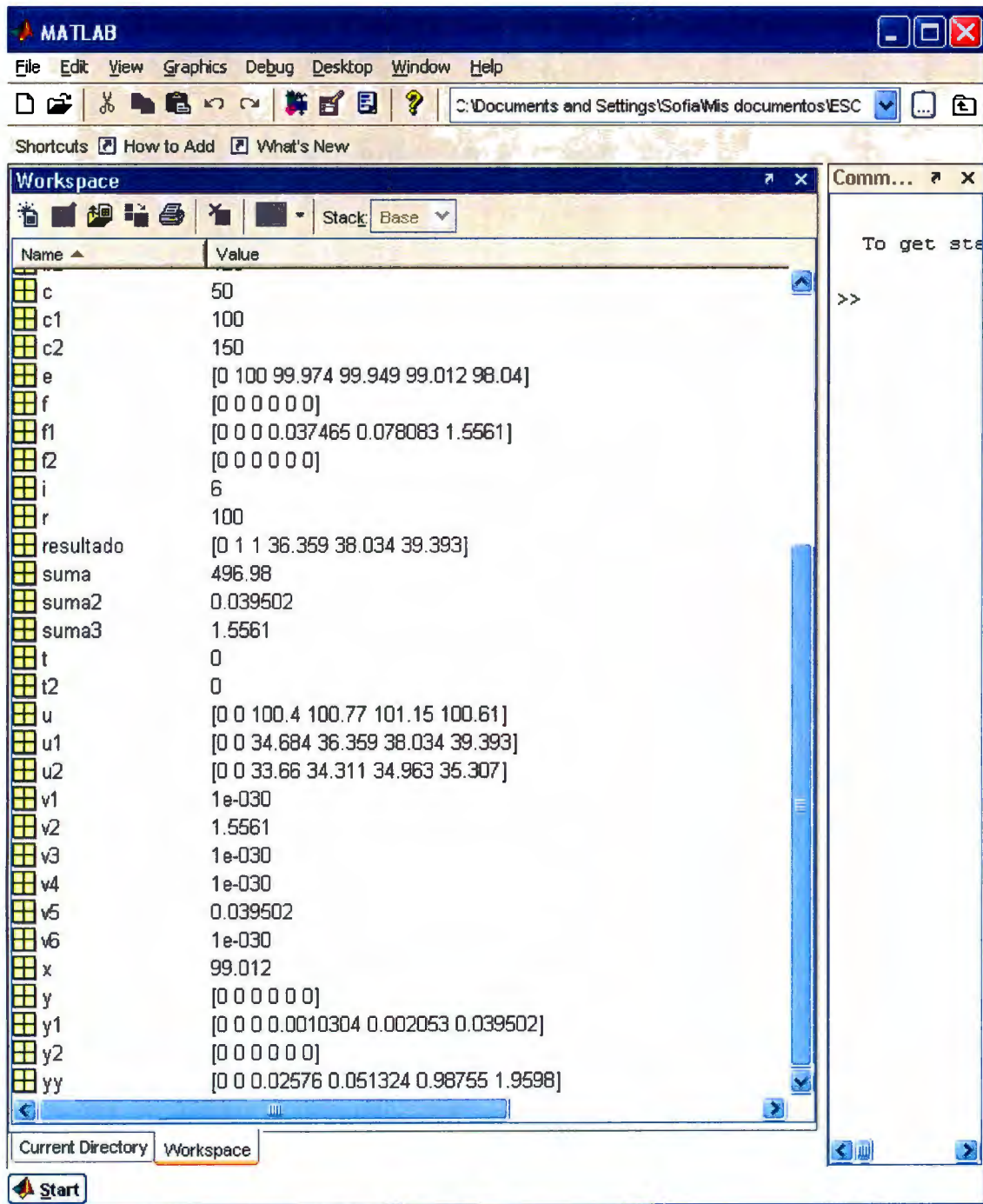


Figura 3.24 Resultado de variables en simulación de matlab

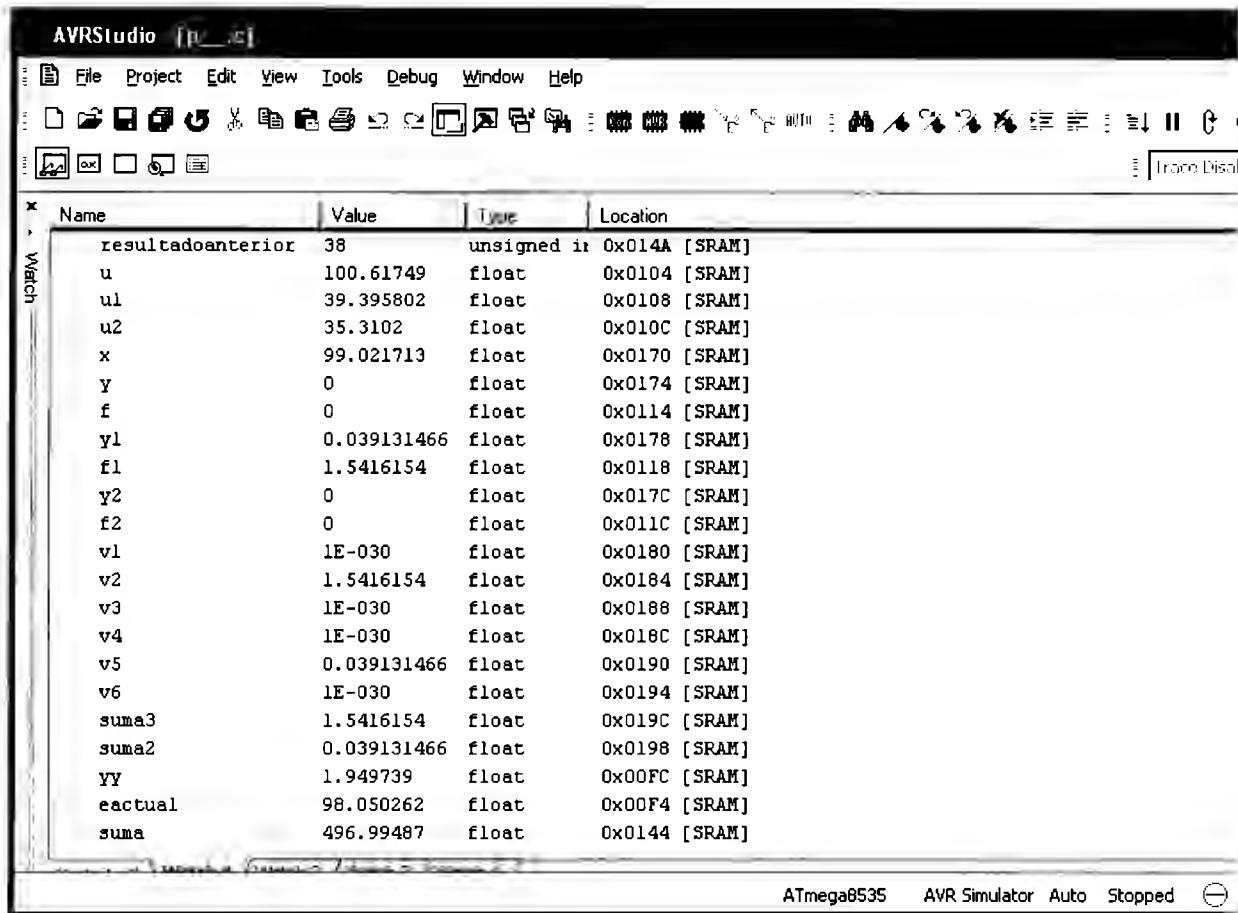


Figura 3.25 Resultado de variables en simulación del AVR

Al comparar las variables del resultado de la simulación en Matlab con las del resultado de la simulación del AVR nos damos cuenta que son iguales los valores numéricos, es así cómo podemos comprobar que la programación hecha en nuestro microcontrolador es correcta así como el funcionamiento del control programado.

La salida que obtuvimos de nuestra red difusa en Matlab tiene el comportamiento de la Figura 3.27. y la Figura 3.26 nos muestra la salida de nuestro controlador difuso aplicando los controladores PI, donde podemos ver clara mente que no existe sobrepaso y llega a la referencia.

La implementación de nuestra red ya programada en el microcontrolador, nos da la respuesta de la Figura 3.28, en la cual se repitió la misma metodología anterior de medir cada 5 segundos (anexo 6.16). En esta gráfica podemos ver que la salida ya implementada llegó a estabilizarse a los 100 °C, pero se obtuvo un pequeño sobrepaso asimilándose al controlador PI, creemos que esto se debe a que los polinomios de nuestra red difusa son controladores de tipo PI.

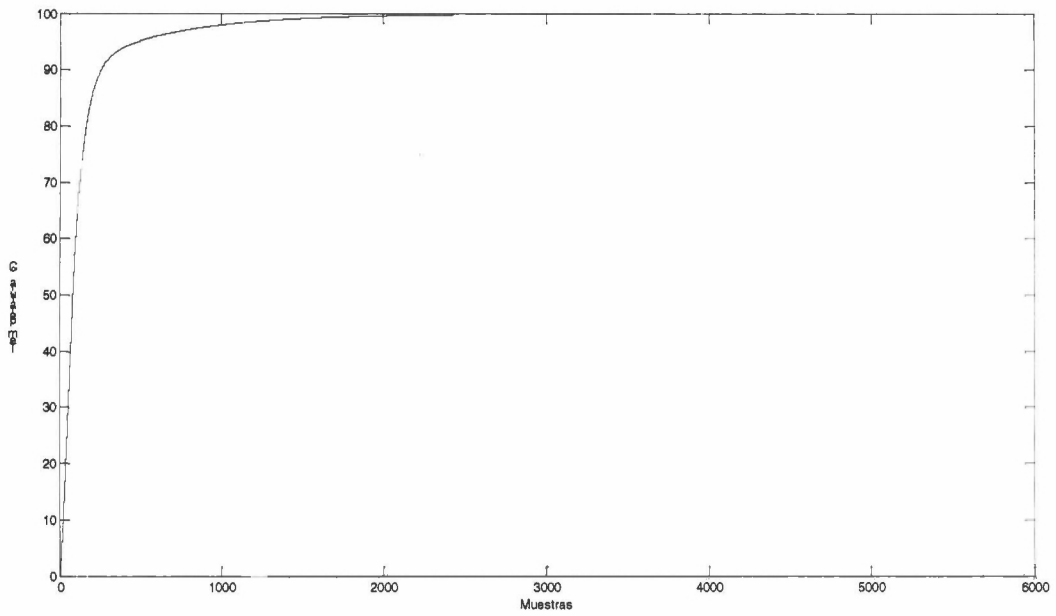


Figura 3.26 Salida del sistema controlado por el PI difuso

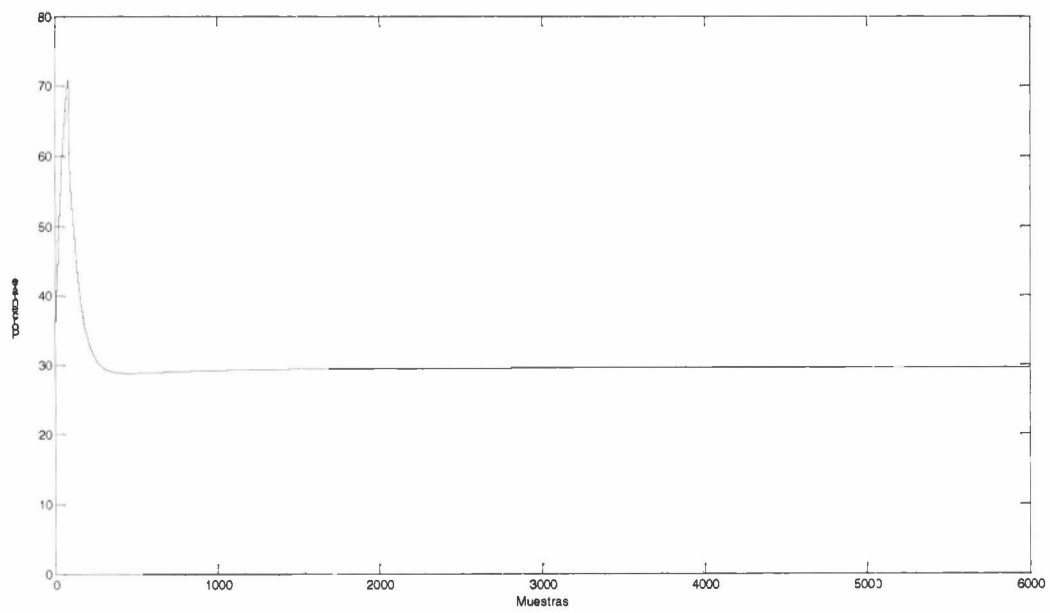


Figura 3.27 Salida del controlador difuso

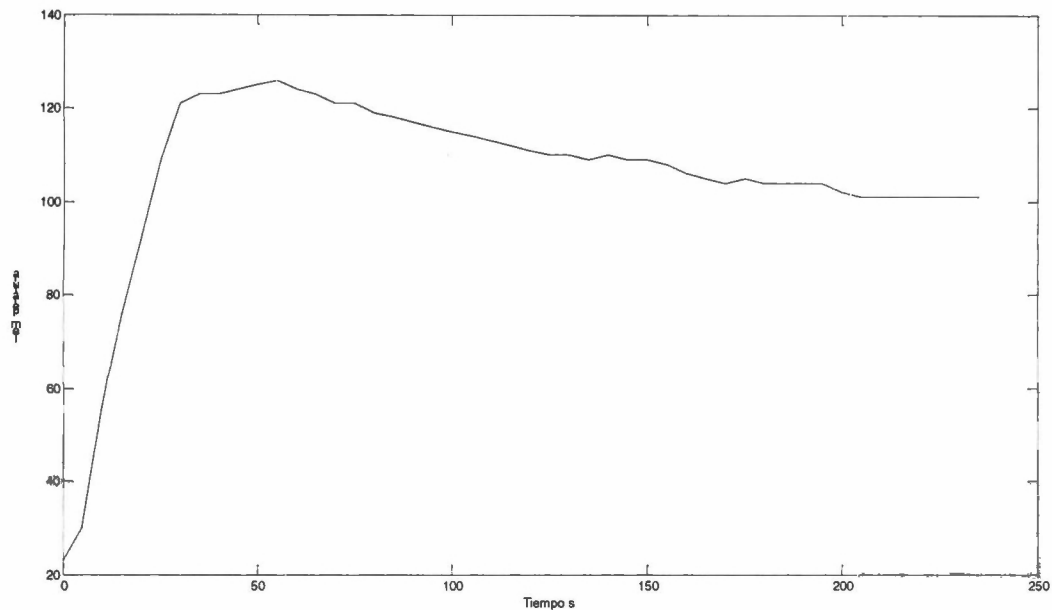


Figura 3.28 Salida del controlador difuso en la planta real

Con esta gráfica (Figura 3.28) nos podemos dar cuenta de que nuestro propósito fue cumplido ya que logramos que la plancha se estabilizara justo en la temperatura de referencia, a pesar de que existe al principio un sobrepaso que es debido a la no linealidad del sistema, nuestra plancha se estabiliza aproximadamente a los 200 segundos, este es un tiempo muy rápido ya que es un poco más de 3 minutos para que una persona pueda comenzar a planchar, y teniendo la confianza de que la temperatura no se sobrepasará evitando así que la ropa se dañe.

III.1.3 Adquisición de datos (Figura 3.30- Anexo 6.18).

En esta etapa se desea obtener información acerca del estado actual de la temperatura a la cual se encuentra la base de la plancha. A continuación se muestra el diagrama de bloques (Figura 3.29):

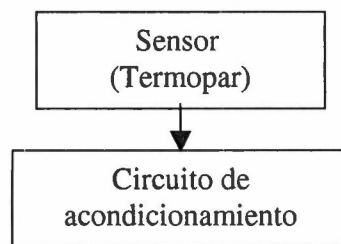


Figura 3.29 Diagrama a bloques de la etapa de adquisición

Sensor:

Para medir la temperatura se cuenta con un termopar tipo K, el cual cuenta con características adecuadas para nuestros propósitos de medición.

Circuito de acondicionamiento:

En esta etapa lo que se desea es obtener una salida de voltaje adecuada para la fácil manipulación y medición del valor real de nuestro transductor. Consta de un compensador de junta fría para termopar LT1025CN8 y de un amplificador operacional de precisión LT1012CN8. Para más información sobre estos integrados consultar el anexo 6.17-6.18 (anexo 6.17 Características de sensor).

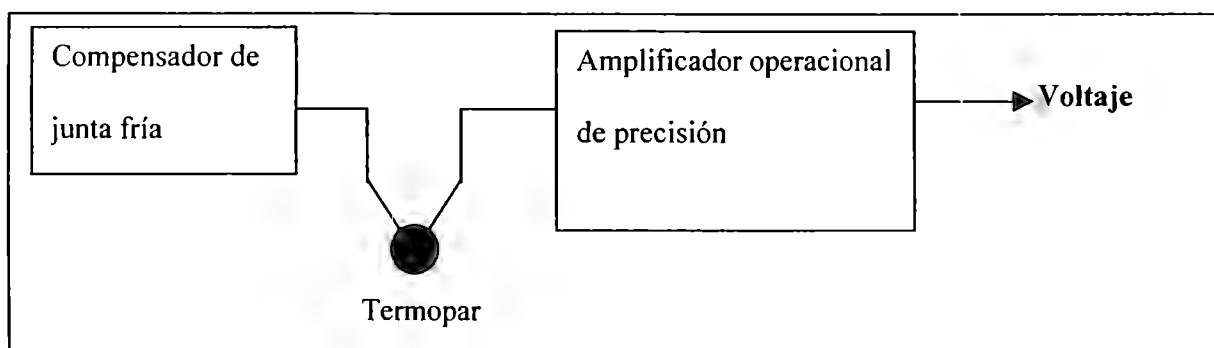


Figura 3.30 Etapa de adquisición de datos

III.2 Estudio de Mercado y Análisis Financiero

El rango de precios en que oscilan las planchas en el mercado mexicano está entre \$100 y \$1000 dependiendo de sus materiales y funcionalidad.

Precio de plancha	Características
De \$100 a \$200	Vapor variable controlado por la perilla Depósito de agua Variedad de posiciones para diferentes clases de telas y temperaturas Luz indicadora que indica de forma visual cuándo la plancha se encuentra en estado de encendido
De \$200 a \$500	Vapor variable controlado por la perilla Depósito de agua Variedad de posiciones para diferentes clases de telas y temperaturas Luz indicadora que indica de forma visual cuándo la plancha se encuentra en estado de encendido Suela con antiadherente de teflón Sistema de auto-limpieza Vapor variable y extra-vapor

De \$500 a \$1000	Vapor variable controlado por la perilla Depósito de agua Variedad de posiciones para diferentes clases de telas y temperaturas Luz indicadora que indica de forma visual cuándo la plancha se encuentra en estado de encendido Suela con antiadherente de teflón Sistema de planchado vertical Sistema de auto-limpieza Apagado Automático Vapor variable y extra-vapor Suela que brinda un deslizamiento más rápido y ágil para un planchado más fácil Diseño ergonómico con mando de toque suave
--------------------------	---

Nuestra plancha se calcula estará en el último rango ya que su precio estará en el rango de \$700-\$800 aunque puede variar ya que actualmente estamos integrando nuestro sistema a una plancha comercial que cuesta \$150, pero si lo integramos a una plancha comercial más cara el valor de nuestra plancha aumentaría así como su calidad.

Las características actuales de nuestra plancha son las siguientes:

- Vapor variable controlado por la perilla
- Depósito de agua
- Variedad de posiciones para diferentes clases de telas y temperaturas
- Luz indicadora que indica de forma visual cuándo la plancha se encuentra en estado de encendido
- Suela con antiadherente de teflón
- Sistema de planchado vertical
- Sistema que ahorra potencia
- Elimina picos en la temperatura protegiendo la ropa de quemaduras

Las planchas que funcionan con termostato varían mucho para estabilizar su temperatura provocando picos en el voltaje y arriesgando la ropa a que se queme o quede brillante. nuestra plancha elimina esos picos de voltaje gracias a que está hecha por medio de control difuso.

Para este proyecto el material que se está utilizando es el siguiente:

- Termopar tipo K \$200
- AVR Mega8535L \$40
- Compensador de punta fría para termopar LT1025CN8 \$78
- Amplificador operacional de precisión LT1012CN8 \$64
- Resistencia de potencia \$10
- MOC 3010 \$7
- MAC 228 \$10
- Fototransistor 4N38 \$12

- Puente de diodos \$5
- Bases \$18
- Tablilla \$25
- Regulador de voltaje \$17

Total: \$ 486

Aclaremos que el material mencionado con anterioridad ya ha sido adquirido en tiendas de electrónica en República de Salvador y el regulador de voltaje se mando traer de Digi-Key en Estados Unidos.

También nos dimos a la tarea de investigar en las calles, salimos a las tiendas a preguntar cuál era la plancha con mayor tecnología y sin duda la plancha T-FAL ganó la encuesta.

<p>Ultraglide difusión 1769</p> <p>Precio</p>	<p style="text-align: center;">Características</p> <p>Plancha de acero: Superficie inferior de acero. (fácil deslizamiento) Vapor continuo. Requerimiento mínimo de 12 g/m. 20g/m satisfactorio. Expulsión de vapor: Planchado vertical Potencia: 1600W satisfactorios. Tiempo de calentamiento: Sistemas de vapor listo alrededor de los 2 minutos. Sistema anti-residuos: Los residuos en la superficie de la plancha reducen el poder del vapor. Válvula anti-escamas y sistema de auto limpieza para combatir este fenómeno. Sistema de autoapagado.</p> <p>Entre \$750 y \$1070</p>
---	---

Por otra parte intentamos buscar alguna plancha que se pareciera a la que nosotros hemos planeado y encontramos la siguiente:

<p>Plancha Jata</p>	<p style="text-align: center;">Características</p> <p>Suela de acero inoxidable (fácil deslizamiento) Potencia : 2200W Selector electrónico de tejidos Apagado automático según posición Display</p>
----------------------------	---

Precio	Vapor : Hasta 65g/m Planchado vertical Auto limpieza \$951
---------------	--

Lo que nos llamó la atención de esta plancha es que dice que al seleccionar el tipo de tejido en su selector no hay que esperar a que la temperatura se regule, cosa que en nuestro proyecto se propone hacer , pero en la descripción de este producto no se indica si tiene algún tipo de control difuso. El precio aproximado de este producto es de \$951.

Tomando en cuenta que una Fuzzy Iron queda armada en 1 hora, el salario mínimo de un técnico en electrónica es de \$70 en el Distrito Federal, el costo unitario de Fuzzy Iron es de \$486 y el costo de la luz consumida es de \$500 pesos al mes, podemos realizar un análisis financiero básico de la siguiente manera:

CONCEPTO	COSTO EN PESOS
Costo hombre -día	70
Costo por plancha	3888
Total diario	3958
Tarifa eléctrica mensual	500
Total mensual	80360

Si se deseara comercializar este producto se tendría un gasto aproximado de **\$80360**

IV Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos pudimos darnos cuenta que este proyecto es viable y con algunas mejoras y más pruebas se podría lanzar al mercado. Como se tenía pensado al principio, esto es una buena idea pues la plancha es uno de los electrodomésticos más utilizados en el hogar y por esto mismo creemos que sería rentable ya que mantiene la temperatura que se necesita, mucho más estable. dejando muy poco rango de error. Esto traería también grandes beneficios para el consumo de energía en nuestros hogares.

A lo largo del proyecto pudimos ver que no sólo un control difuso podía cumplir nuestros objetivos, como puede ser un control PI convencional donde se tendría una respuesta precisa, pero con una lógica difusa se puede tener una solución más óptima y mucho más eficiente ya que no es necesario conocer la planta a profundidad para poder implementarla, además de que pudimos trabajar nuestro código con un lenguaje más natural y humano.

IV.1 Perspectivas y trabajo a futuro

Dentro de nuestras perspectivas está el poder comprobar que el control difuso aplicado a una plancha casera es una buena opción para poder desplazar el termostato y, no sólo por el hecho de

que la ropa se maltrate menos, si no también el de poder comprobar que existe un ahorro en el consumo de energía, lo cuál traería grandes beneficios para nuestros hogares.

En nuestros planes a futuro está darle seguimiento a nuestro proyecto, pues creemos que ha sido poco el tiempo para desarrollarlo y hay muchas cosas por mejorar. Se podían obtener otros modelos y substituirlos por los que tenemos en nuestra red difusa y así reducir el sobrepaso que tiene nuestro controlador el cual obtuvimos al hacer las pruebas reales con nuestra plancha.

V. Referencias

- [1] Reparación de aparatos electrodomésticos
Newnham, Robert
McGrawHill
1981
- [2] Sistemas de control en tiempo discreto
Ogata, Katsuhiko
Pearson Educación
Segunda Edición
1996
- [3] Ingeniería de control moderna
Ogata, Katsuhiko
Pearson Prentice Hall
2003
- [4] Guía para mediciones eléctricas y prácticas de Laboratorio.
Wolf, Stanley
Smith, Richard F. M.
Edit. Prentice Hall
1992
- [5] Redes neuronales y sistemas difusos
Martín del Brío, Bonifacio
Sanz Molina, Alfredo
Alfaomega
2002
- [6] Fuzzy sets and fuzzy logic theory and applications
Klir, George
Yuan, Bo
Prentice Hall

1995

- [7] Design of optimal controller for nonlinear systems using Takagi-Sugeno fuzzy model
ChoonYoung Lee, Ju-Jsng Lee
1999 IEEE

- [8] Analitical design of Takagi-Sugeno fuzzy control systems
Guang Ren, Zhi-Hong Xi
2005 American control conference
IEEE

- [9] Sistemas de Control en Ingeniería
Lewis, Paul H
Yang, Chang
Prentice Hall
1999

- [10] Fundamentos de circuitos eléctricos
Sadiku, Matthew
Alexander, Charles
Mc Graw Hill
2004

- [11] <http://www.t-fal.com.mx>

- [12] http://www.ehs.tv/hogar/plancha_electronica.asp

- [13] http://www.gob.mx/wb/egobierno/egob_salarios_minimo

- [14] <http://www.cfe.gob.mx/es/?404:http://www.cfe.gob.mx:80/es/tarifas>

VI Anexos

Figura anexo 6.1 Funcionamiento de una plancha convencional para ropa

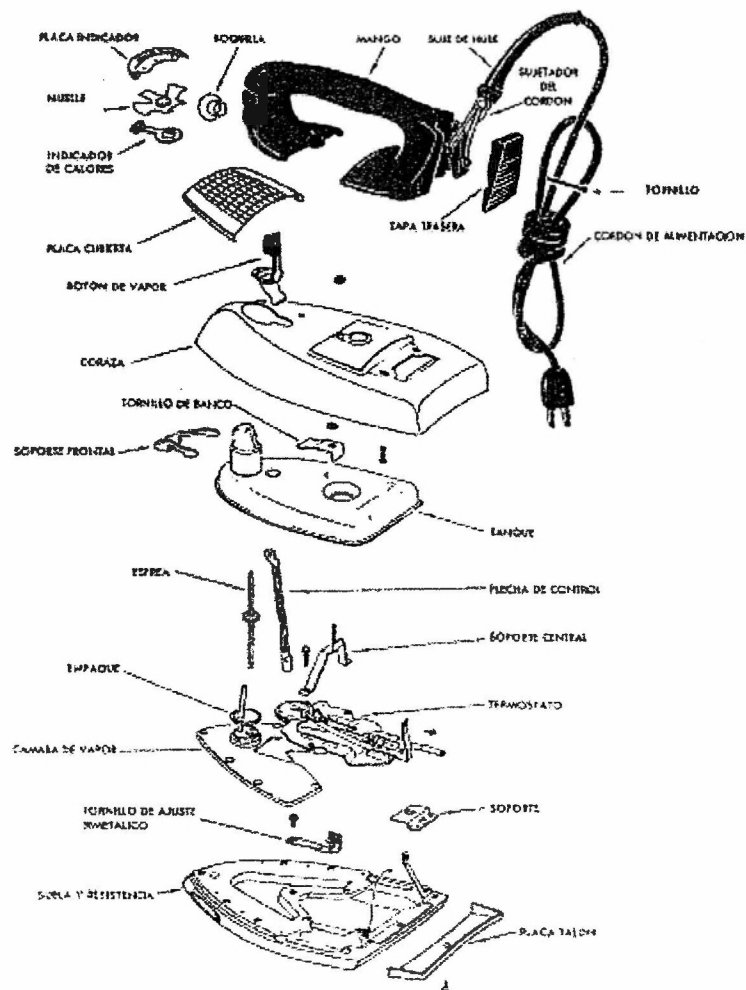


Tabla anexo 6.2 Valores de temperaturas obtenidos al conectar la plancha directamente a la línea y medirlos cada cinco segundos

tiempo(s)	temperatura (°C)
0	24
5	32
10	47
15	67
20	91
25	119
30	132
35	152
40	171
45	179
50	219
55	222
60	229
65	227
70	243
75	277
80	297
85	303
90	309
95	309
100	324
105	332
110	341
115	351
120	359
125	366
130	371
135	389
140	393
145	396
150	399
155	403
160	401
165	398
170	408
175	413
180	428
185	423
190	423
195	419
200	424
205	422
210	426
215	425

tiempo(s)	temperatura (°C)
220	423
225	423
230	422
235	428

Tabla anexo 6.3 Valores de temperaturas obtenidos al conectar la plancha a la etapa de potencia y utilizando solamente el 30% de la entrada proveniente de la línea.

tiempo(s)	temperatura (°C)
0	23
5	24
10	25
15	27
20	28
25	31
30	32
35	33
40	34
45	36
50	37
55	38
60	40
65	41
70	43
75	44
80	46
85	47
90	49
95	50
100	51
105	52
110	54
115	55
120	56
125	58
130	59
135	60
140	61
145	62
150	63
155	65
160	65
165	67

tiempo(s)	temperatura (°C)
170	67
175	67
180	66
185	68
190	69
195	70
200	71
205	72
210	74
215	75
220	76
225	77
230	77
235	78
240	80
245	84
250	84
255	85
260	86
265	87
270	88
275	88
280	89
285	90
290	92
295	92
300	92
305	93
310	94
315	93
320	95
325	95
330	96
335	97
340	97
345	98
350	99
355	99
360	100
365	100
370	101
375	102
380	103
385	102
390	103
395	104
400	105
405	106

tiempo(s)	temperatura (°C)
410	107
415	107
420	108
425	109
430	110
435	110
440	110
445	110
450	110
455	111
460	112
465	113
470	114
475	113
480	114
485	115
490	116
495	116
500	116
505	117
510	117
515	118
520	118
525	119
530	120
535	120
540	120
545	121
550	121
555	122
560	118
565	119
570	118
575	119
580	119
585	117
590	120
595	120
600	121
605	122
610	123
615	123
620	124
625	125
630	125
635	123
640	125
645	125

tiempo(s)	temperatura (°C)
650	124
655	125
660	125
665	125
670	125
675	126
680	125

Tabla anexo 6.4 Valores de temperaturas obtenidos al conectar la plancha a la etapa de potencia y utilizando solamente el 32.5% de la entrada proveniente de la línea.

tiempo(s)	temperatura (°C)
0	23
5	24
10	26
15	28
20	31
25	32
30	35
35	37
40	39
45	40
50	42
55	42
60	44
65	45
70	47
75	49
80	50
85	52
90	52
95	55
100	56
105	57
110	59
115	55
120	63
125	63
130	70
135	68
140	69
145	71
150	75
155	72
160	75

bidioteca

tiempo(s)	temperatura (°C)
165	75
170	76
175	78
180	81
185	79
190	81
195	83
200	83
205	85
210	88
215	88
220	90
225	90
230	91
235	92
240	93
245	95
250	95
255	96
260	98
265	98
270	99
275	101
280	101
285	103
290	103
295	106
300	105
305	107
310	109
315	108
320	112
325	109
330	111
335	113
340	113
345	114
350	116
355	115
360	116
365	116
370	117
375	118
380	119
385	120
390	124
395	126
400	122

tiempo(s)	temperatura (°C)
405	124
410	125
415	123
420	122
425	125
430	126
435	128
440	127
445	128
450	130
455	130
460	132
465	130
470	131
475	129
480	130
485	132
490	132
495	132
500	134
505	131
510	136
515	135
520	137
525	136
530	134
535	136
540	135
545	132
550	136
555	139
560	138
565	138
570	139
575	140
580	142
585	141
590	142
595	142
600	142
605	143
610	142
615	142
620	141
625	144
630	144
635	145
640	146

tiempo(s)	temperatura (°C)
645	145
650	146
655	144
660	147
665	148
670	148
675	148
680	148
685	148
690	148
695	149

Tabla anexo 6.5 Valores de temperaturas obtenidos al conectar la plancha a la etapa de potencia y utilizando solamente el 35% de la entrada proveniente de la línea.

tiempo(s)	temperatura (°C)
0	23
5	26
10	27
15	31
20	36
25	36
30	39
35	43
40	42
45	45
50	47
55	49
60	51
65	55
70	55
75	57
80	59
85	61
90	64
95	65
100	68
105	69
110	72
115	73
120	76
125	78
130	79
135	81
140	82
145	84
150	87

tiempo(s)	temperatura (°C)
155	87
160	89
165	92
170	93
175	92
180	95
185	97
190	98
195	100
200	101
205	103
210	104
215	106
220	107
225	109
230	109
235	111
240	111
245	113
250	115
255	116
260	118
265	118
270	117
275	119
280	120
285	122
290	123
295	125
300	126
305	128
310	129
315	130
320	132
325	133
330	133
335	135
340	136
345	136
350	138
355	139
360	140
365	141
370	142
375	143
380	143
385	144
390	145

tiempo(s)	temperatura (°C)
395	146
400	147
405	148
410	149
415	150
420	153
425	153
430	154
435	154
440	155
445	156
450	156
455	157
460	157
465	158
470	159
475	160
480	159
485	161
490	163
495	158
500	156
505	159
510	161
515	161
520	159
525	156
530	158
535	163
540	163
545	160
550	166
555	166
560	166
565	165
570	170
575	169
580	168
585	170
590	172
595	171
600	171
605	171
610	170
615	169
620	170
625	171
630	174

tiempo(s)	temperatura (°C)
635	173
640	173
645	175
650	174
655	173
660	174
665	174
670	172
675	172
680	176
685	176
690	176
695	178
700	176
705	176
710	177

Tabla anexo 6.6 Valores de temperaturas obtenidos al conectar la plancha a la etapa de potencia y utilizando solamente el 37.5% de la entrada proveniente de la línea.

tiempo(s)	temperatura (°C)
0	23
5	26
10	28
15	31
20	36
25	38
30	42
35	46
40	49
45	52
50	54
55	57
60	62
65	62
70	67
75	70
80	72
85	75
90	75
95	79
100	83
105	84
110	87
115	87

tiempo(s)	temperatura (°C)
120	84
125	87
130	89
135	91
140	93
145	95
150	97
155	99
160	102
165	104
170	105
175	107
180	112
185	117
190	113
195	124
200	118
205	120
210	125
215	121
220	125
225	127
230	129
235	131
240	137
245	132
250	139
255	137
260	137
265	144
270	145
275	145
280	144
285	147
290	149
295	149
300	150
305	154
310	165
315	185
320	206
325	240
330	260
335	285
340	289
345	282
350	325
355	315

tiempo(s)	temperatura (°C)
360	331
365	342
370	357

Figura anexo 6.7 Red difusa con salida aproximada a una exponencial positiva, en esta red se pretendía mover las funciones de pertenencia de tal manera que nos diera una salida parecida a una exponencial negativa

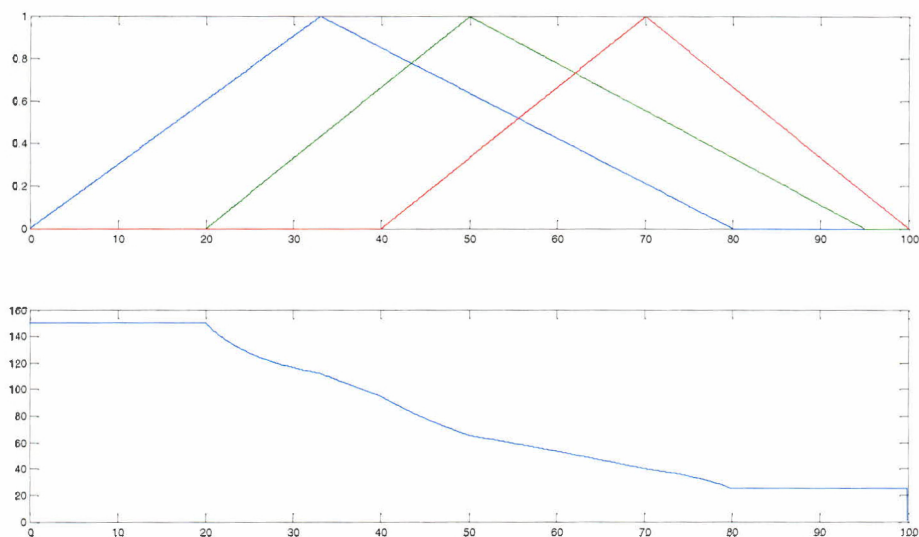


Figura anexo 6.8 Red difusa con salida aproximada a una exponencial negativa, en esta red se pretendía mover las funciones de pertenencia de tal manera que nos diera una salida parecida a una exponencial negativa.

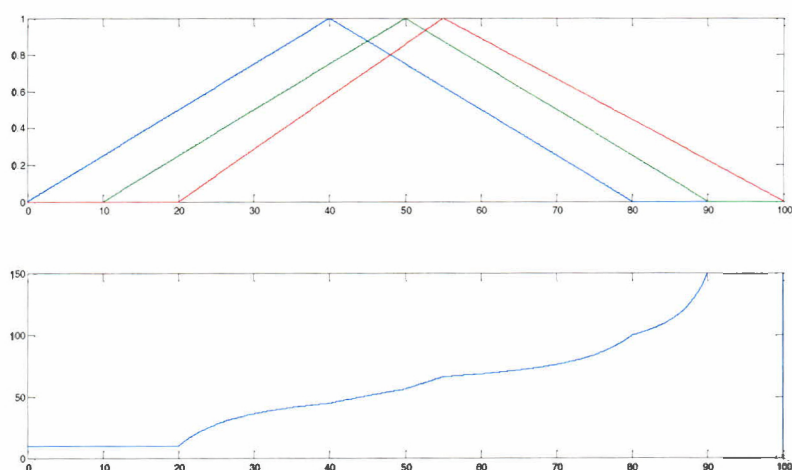


Figura anexo 6.9 Red difusa con salida aproximada a una función lineal con pendiente positiva, en esta red se pretendía mover las funciones de pertenencia de tal manera que nos diera una salida parecida a una función lineal con pendiente positiva.

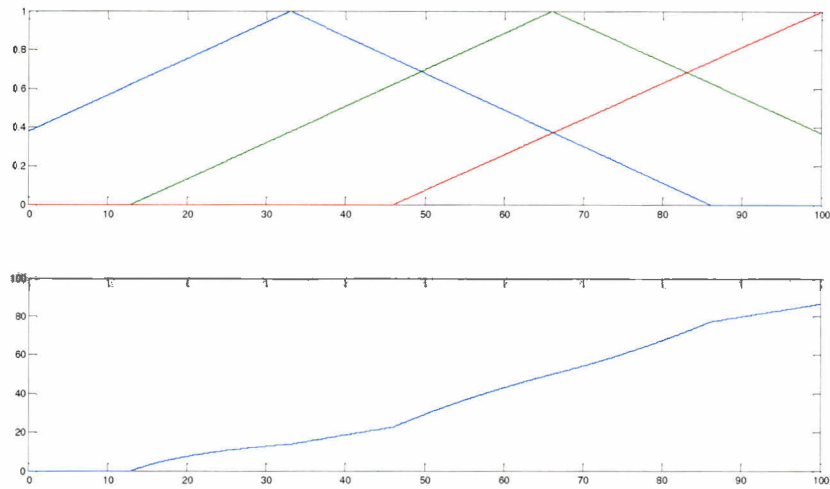


Figura anexo 6.10 Red difusa con salida aproximada a una función lineal con pendiente negativa, en esta red se pretendía mover las funciones de pertenencia de tal manera que nos diera una salida parecida a una función lineal con pendiente negativa.

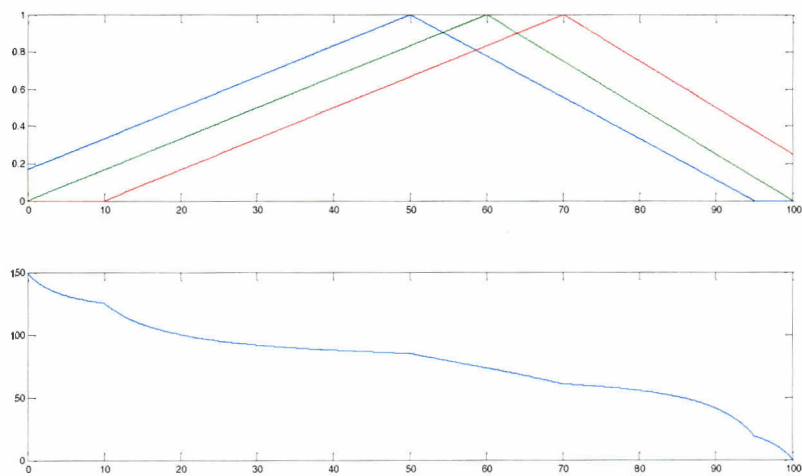


Figura anexo 6.11 Red difusa con salida aproximada a una gaussiana positiva, en esta red se pretendía mover las funciones de pertenencia de tal manera que nos diera una salida parecida a una función gaussiana positiva.

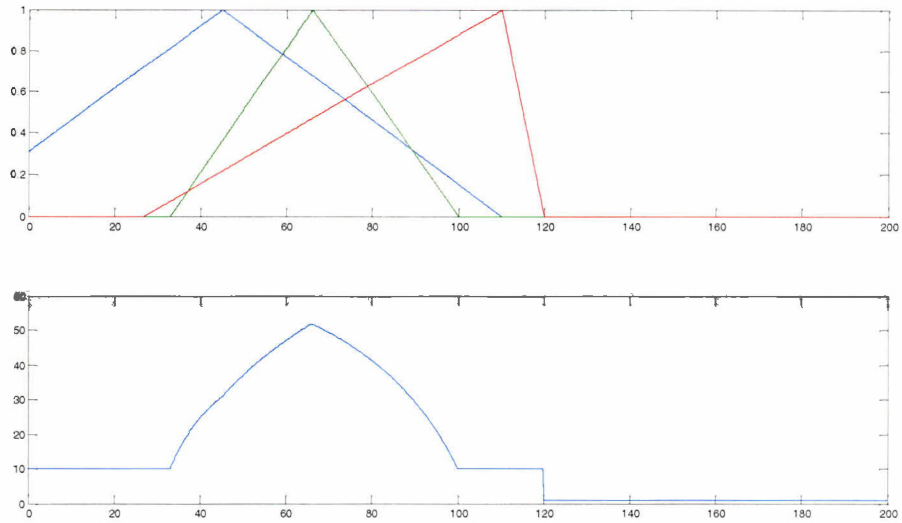
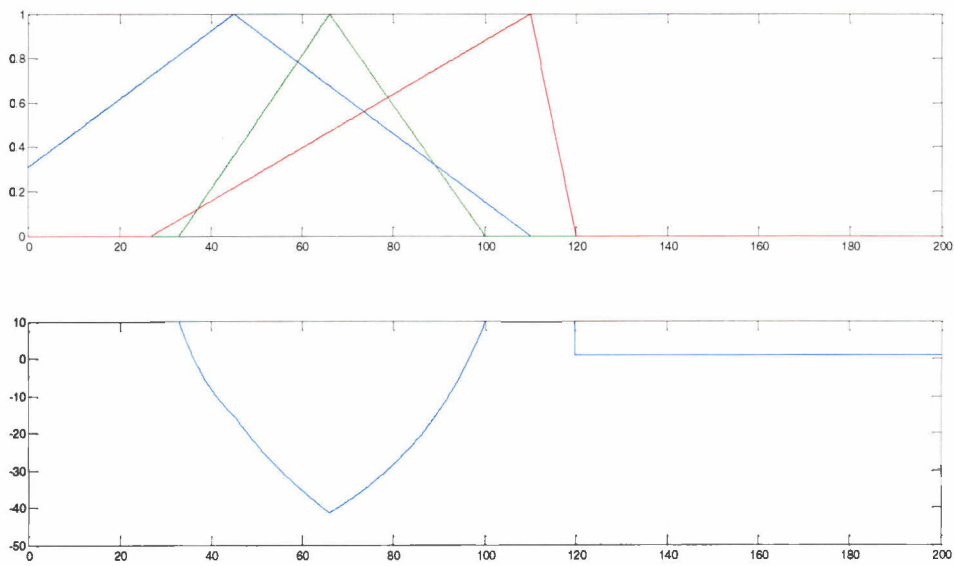


Figura anexo 6.12 Red difusa con salida aproximada a una gaussiana negativa, en esta red se pretendía mover las funciones de pertenencia de tal manera que nos diera una salida parecida a una función gaussiana negativa.



Modelado de plantas anexo 6.13

- Planta al 30%: De acuerdo a la Figura 3.8 calculamos la τ tomando

$$\Delta y = 126 - 23 = 103$$

que es la diferencia entre la máxima y la mínima amplitud y a este valor le sacamos su 63% dándonos

$$.63\Delta y = 64.89,$$

como estas mediciones comenzaron a partir de los 23°C que fue la temperatura ambiente, normalizamos sumándole 64.89 a dicho valor y así obtenemos una temperatura de 87.9 °C y de aquí hacemos referencia a la gráfica para saber que $\tau = 263$. Sabemos que

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta u},$$

donde $\Delta u = 30$ que corresponde al 30% de la potencia y de esta forma $k = 3.43$. Tomando

$$G(s) = \frac{k}{\tau s + 1},$$

nuestra planta es

$$G(s) = \frac{3.4}{263s + 1}.$$

- Planta al 32.5%: De acuerdo a la Figura 3.9 calculamos la τ tomando

$$\Delta y = 152 - 23 = 129$$

que es la diferencia entre la máxima y la mínima amplitud y a este valor le sacamos su 63% dándonos

$$.63\Delta y = 81.27,$$

como estas mediciones comenzaron a partir de los 23°C que fue la temperatura ambiente, normalizamos sumándole 81.27 a dicho valor y así obtenemos una temperatura de 104.27°C y de aquí hacemos referencia a la gráfica para saber que $\tau = 265$. Sabemos que

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta u},$$

donde

$$\Delta u = 32.5$$

que corresponde al 32.5% de la potencia y de esta forma $k = 4.43$. Tomando

$$G(s) = \frac{k}{\tau s + 1},$$

nuestra planta es

$$G(s) = \frac{3.96}{265s + 1}$$

- Planta al 35%: De acuerdo a la Figura 3.10 calculamos la τ tomando $\Delta y = 178 - 23 = 155$ que es la diferencia entre la máxima y la mínima amplitud y a este valor le sacamos su 63% dándonos

$$.63\Delta y = 97.65.$$

como estas mediciones comenzaron a partir de los 23°C que fue la temperatura ambiente.

normalizamos sumándole 97.65 a dicho valor y así obtenemos una temperatura de 120.65 °C y de aquí hacemos referencia a la gráfica para saber que $\tau = 260$. Sabemos que

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta u},$$

donde

$$\Delta u = 35$$

que corresponde al 35% de la potencia y de esta forma $k = 4.43$. Tomando

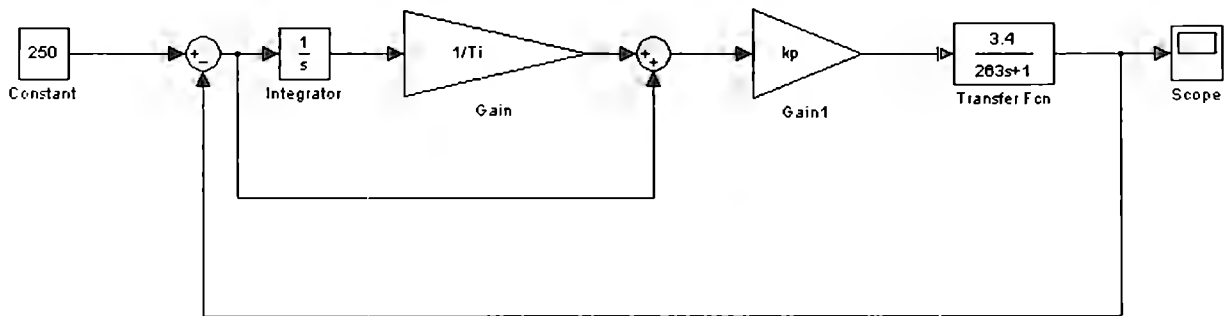
$$G(s) = \frac{k}{\tau s + 1},$$

nuestra planta es

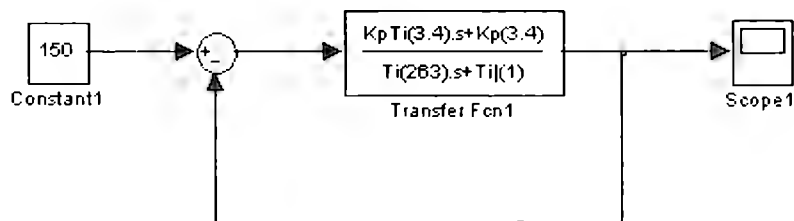
$$G(s) = \frac{4.42}{260s + 1}.$$

6.14 Obtención del control PI

El modelo de este control lo obtuvimos a partir del diagrama siguiente, al cual se le aplicó aritmética de bloques.



En lazo abierto obtuvimos



y al hacer la retroalimentación

$G(s) = \frac{.0129127(s + 1/Ti)}{s^2 + (.003802281 + .01297757kp)s + .0129775kp/Ti}$ y de acuerdo a las ecuaciones característica

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$$

y

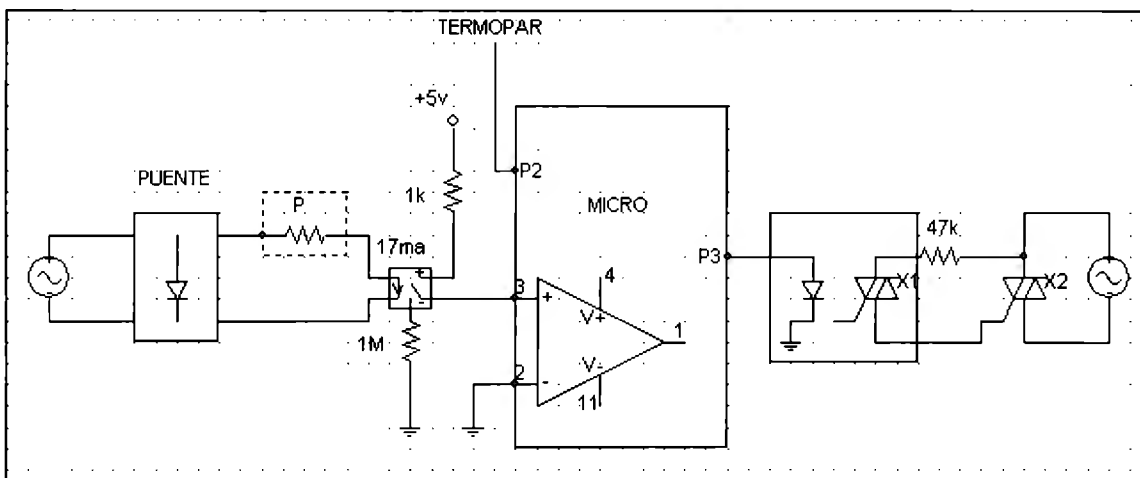
$$Mp = \lambda^{-\left(\frac{\gamma}{\sqrt{1-\gamma^2}}\right)\pi},$$

$$ts = \frac{4}{\gamma\omega_n}$$

donde $Mp=.05$ y el tiempo de establecimiento es de 180 segundos en las cuales obtuvimos $\gamma=.69$ y $\omega_n=.0322$ con estos valores sabemos que $2\xi\omega_n=.0444$ y por lo tanto podemos decir que $.0444=.03802281+.01297757kp$ y así podemos calcular $kp=3.128$.

Para $\omega_n^2=.00103691$ y podemos igualar a $.00103691=.012927\frac{kp}{Ti}$ y al despejar $Ti=39.155$ y $\frac{1}{Ti}=.025539$.

6.15 Diagrama eléctrico de la etapa de potencia



Anexo 6.16 Valores de temperaturas obtenidos al conectar la plancha a la etapa de potencia utilizando el controlador difuso

tiempo(s)	temperatura (°C)
0	23
5	30
10	56
15	76
20	93
25	109
30	121
35	123
40	123
45	124
50	125
55	126
60	124
65	123
70	121
75	121
80	119
85	118
90	117
95	116
100	115
105	114
110	113
115	112
120	111
125	110
130	110
135	109
140	110
145	109
150	109
155	108
160	106
165	105
170	104
175	105
180	104
185	104
190	104
195	104
200	102
205	101
210	101
215	101

tiempo(s)	temperatura (°C)
220	101
225	101
230	101
235	101

6.17 Termopares

El funcionamiento de los termopares se basa en el principio físico de que si se unen dos alambres de metales diferentes y el punto de unión se calienta o se enfría, aparece una diferencia de voltaje entre los dos extremos no calentados o enfriados. Este principio (que se llama el efecto Seebeck) fue descubierto en 1821 por T. J. Seebeck. La magnitud de la diferencia de voltaje que resulta del efecto Seebeck es bastante pequeña (del orden de milivolts). Por ejemplo, un termopar tipo K desarrolla aproximadamente 0.04 mV/°C. Sin embargo, la diferencia de voltaje es directamente proporcional a la diferencia de temperatura que existe entre la unión caliente y los extremos fríos. Si se emplea un detector bastante sensible, se pueden medir diferencias de temperaturas con este termopar. Debido a los voltajes tan pequeños que se producen, los circuitos de acondicionamiento de la señal electrónica que usa el termopar deben eliminar tanto señales de modo común como ruido originado por campos eléctricos y magnéticos. El diseño de los circuitos con estas posibilidades puede ser un reto para el ingeniero industrial.

Las combinaciones de metales más empleadas para fabricar los termopares son las siguientes: hierro y constantan, cromel y alumel (aleaciones de níquel y cromo, y de aluminio y níquel respectivamente), y platino y platino-rodio. La tabla 1 lista algunos termopares estándares patrones, sus rangos útiles de temperatura, el cambio de voltaje en ese rango y sus iniciales ANSI (American National Standards Institute).

La tabla 2 es una lista de los colores estándar empleados para los aislamientos de termopares. El conductor negativo es totalmente rojo o rojo con una línea del color del conductor positivo. Los conductores de extensión se fabrican específicamente para cada tipo de termopar. Se usan para conectar un termopar con un instrumento lejano. Su número de parte tiene por lo general un sufijo X; p. ej., EPX es el alambre positivo de extensión para un termopar tipo E.

TABLA 1 ALGUNOS TERMOPARES COMUNES

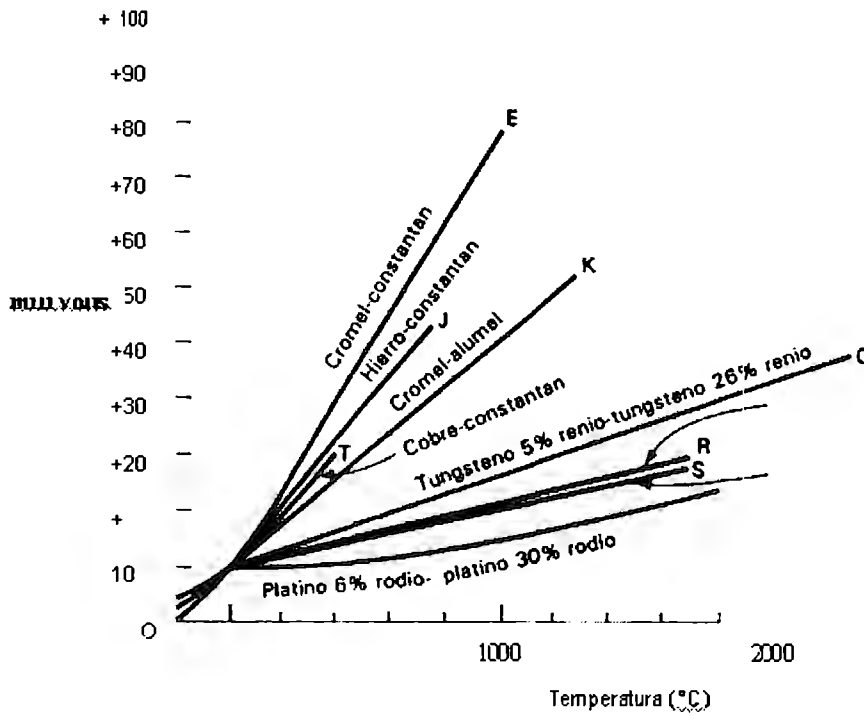
Materiales de unión	Rango típico de temperatura de aplicación (°C)	Variación del voltaje en el rango (mV)	Designación ANSI
Platino-6% rodio/platino-30% rodio	38 a 1800	13.6	B
Tungsteno-5% rodio/tungsteno-26% rodio	0 a 2300	37.0	(Q)
Cromel/constantan	0 a 982	75.0	E
Hierro/constantan	-184 a 760	50.0	J
Cromel/alumel	-184 a 1260	56.0	K
Platino/platino-13% rodio	0 a 1593	18.7	R
Platino/platino-10% rodio	0 a 1538	16.0	S
Cobre/constantan	-184 a 400	26.0	T

TABLA 2 CÓDIGO DE COLOR DE CONDUCTORES DE TERMOPARES

Tipo	Color del conductor positivo	Color del conductor negativo	Aislamiento general
E	Púrpura	Rojo-línea púrpura	Púrpura
J	Blanco	Rojo-línea blanca	Negro
K	Amarillo	Rojo-línea amarilla	Amarillo
K	Verde	Rojo-línea verde	Blanco
R o S	Negro	Rojo-línea negra	Verde
T	Azul	Rojo-línea azul	Azul

Debido a su tamaño pequeño, los termopares son dispositivos rápidos y por lo tanto adecuados para aplicaciones que necesitan velocidad de respuesta. Además, trabajan desde temperaturas criogénicas hasta mayores que las máximas que se encuentran en los escapes de los motores de reacción, son económicos y resistentes y tienen buena estabilidad a largo plazo. Se consiguen los termopares en cuatro tipos básicos de unión: de alambre desnudo, de alambre desnudo soldado, unión aislada y unión aterrizada. El tipo de unión seleccionada depende del tiempo de respuesta requerido, la temperatura y los esfuerzos únicos asociados con los ambientes en los que se ha de usar el termopar (como atmósferas corrosivas, abrasión mecánica y humedad). La mayoría de los termopares también se colocan dentro de un ter-mopozo para protegerlos del ambiente.

La figura siguiente es una gráfica comparativa de la salida de los termopares en función de la temperatura, referidos a una temperatura fija a 0°C en la unión de referencia.



Como los termopares generan voltajes de salida muy pequeños (sólo unas decenas de microvolts por grado), es difícil desde el punto de vista de los circuitos electrónicos de acondicionamiento de señal que permitan resoluciones exactas de menos de 1°C. Además, la linealidad entre la temperatura y el voltaje de salida en muchos tipos de termopares no es muy buena, aunque predecible y repetible.

La relación temperatura-voltaje se puede aproximar por lo general mediante una ecuación de la forma.

$$V_0 = AT + BT^2$$

cuando la temperatura de la unión de referencia es 0°C. Si se conocen A y B, se emplean técnicas de linealización que permiten hacer correcciones al voltaje de salida dando como resultado curvas de voltaje que son lineales dentro del 1 por ciento. Se puede obtener mejor exactitud empleando el polinomio de la serie de potencia

$$T = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + \dots +$$

en donde

T = temperatura en °C

je. = voltaje del termopar

a = coeficientes del polinomio únicos para cada termopar

n = orden máximo del polinomio

y los coeficientes del National Bureau of Standards en la tabla 3. Un método que también se acostumbra para convertir una señal digitalizada de un termopar a una escala digitalizada de temperatura es una tabla de consulta en una memoria progra-mable sólo de lectura (PROM). Los convertidores analógico-digitales que convierten los voltajes del termopar a señales digitales deben tener una resolución de un micro-volt para obtener una sensibilidad de 0.1 °C.

Otro obstáculo serio de los termopares es que necesitan una referencia a una temperatura conocida para emplearse en mediciones absolutas de temperatura; o sea, los circuitos deben comparar la salida del termopar de "señal" con la de un termopar de "referencia". Desde luego, este último se debe mantener a una temperatura conocida.

El proporcionar esa adecuada referencia de temperatura y el minimizar los efectos no deseados en los termopares es una meta llena de retos. Las técnicas comprenden referencias físicas (celdas al punto de congelación a 0.1 °C que son exactas y fáciles de construir, pero muy engorroso desde el punto de vista de mantenimiento); uniones de referencia a temperatura ambiente (aceptables siempre que la variación de temperatura en la vecindad de la unión de referencia sea menor que la resolución deseada de la temperatura que se mide); y compensadores electrónicos de unión fría, que dan un nivel artificial de referencia y compensan las variaciones de temperatura ambiente en los alrededores de la unión de referencia. Esto es, un circuito de cambio de nivel mide la temperatura ambiente en la unión de referencia y suma un voltaje a la salida del termopar igual al voltaje que se espera que desarrolle la referencia, pero de polaridad opuesta. Esto se lleva a cabo fácilmente empleando un diodo de referencia de bajo voltaje compensado por temperatura, como el LM113 o mediante el empleo de un sensor de temperatura de construcción monolítico como el LT1025 (figura 1), que se diseña especialmente para compensación de la unión fría. La salida neta del circuito del termopar, cuando se emplea con alguno de esos dispositivos, es un voltaje cuyo valor es equivalente al voltaje que se produciría si la unión de referencia estuviera a 0°C.

Hay dos leyes empíricas de los termopares que permiten el análisis de la mayoría de los circuitos prácticos de termopar. Se pueden enunciar como sigue:

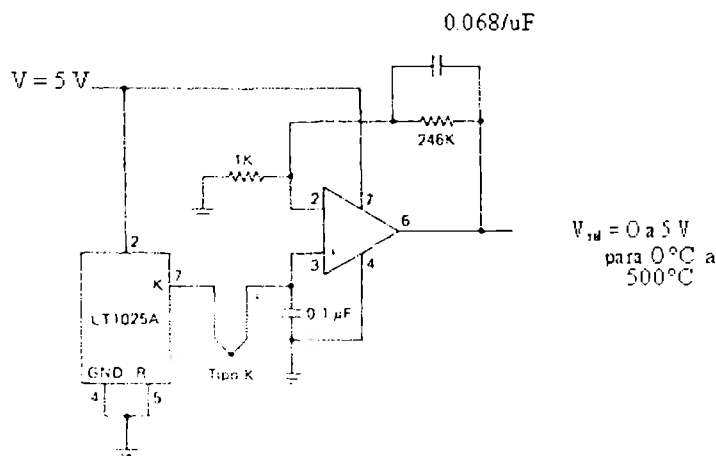
1. El voltaje de salida de un termopar no se afecta por la temperatura del conductor entre la unión del termopar y la unión de referencia. Este principio permite que los conductores entre la unión del termopar y la unión de referencia puedan pasar a través de regiones a varias temperaturas en una planta, sin afectar el voltaje de salida.
2. Se puede conectar un tercer metal a cualquier lado de un termopar sin afectar el voltaje de salida siempre que ambas uniones del tercer metal estén a la misma temperatura. Este principio permite que un dispositivo de medición, como p. ej. un voltmetro con terminales y alambre de cobre se conecte en un circuito de un termopar de hierro-constantan, sin afectar la indicación de voltaje. Esto también establece que la unión misma del termopar puede estañarse con un tercer metal, o bien soldarse y no se afectará el voltaje de salida.

TABLA 3 COEFICIENTES DE TERMOPAR, NATIONAL BUREAU OF STANDARDS

TIPO E	TIPO J	TIPO K	TIPO R	TIPO S	TIPO T
Níquel-10% Cromo (+) contra constantan (-)	Hierro (+) contra constantan (-)	Níquel-10% Cromo (+) contra níquel-5% (-) (Aluminio al silicio)	Platino-13% rodio (+) contra platino (-)	Platino-10% rodio (+) contra platino (-)	Cobre (+) contra constantan (-)
-100°C a 1000°C* ±0.5°C 9° orden	0°C a 760°C* ±0.1°C 5° orden	0°C a 1370°C* ±0.7°C 8° orden	0°C a 1000°C* ±0.5°C 8° orden	0°C a 1750°C* ±rc 9° orden	160°C a 400°C* ±0.5°C 7° orden
0.104967248	-0.048868252	0.226584602	0.26362917	0.927763167	0.100860910
17189.45282	19873.14503	24152.10900	179075.491	169526.5150	25727.94369
-282639.0850	-218614.5353	6723.4248	-48840341.37	-31568363.94	-767345.8295
12695339.5	11569199.78	2210340.682	190002E + 10	8990730663	78025595.81
-448703084.6	-264917531.4	-860963914.9	-4.82704E + 12	-1.63565E+12	-9247486589
1.10866E + 10	2018441314	4.83506E + 10	7.62091E + 14	1.88027E + 14	6.97688E + 11
-1.76807E + 11		-1.18452E+12	-7.20026E + 16	-1.37241E+16	-2.66192E +
1.71842E + 12		1.38690E+13	3.71496E + 18	6.17501E+17	3.94078E + 14
-9.19278E + 12		-6.33708E + 13	-8.03104E + 19	-1.56105E+19	
2.06132E+13				1.69535E + 20	

Ecuación de conversión de temperatura: $T = a_0 + a_1T + a_2T^2 + \dots$
 Forma de polinomio anidado: $T = a_0 + x(a_1 + x(a_2 + x(a_3 + x(a_4 + a_5x))))$ (5° orden)
 Fuente: Mediciones prácticas de temperatura, nota de aplicación No. 290, agosto de 1990. (Cortesía de Hewlett-Packard.)

6.18 Diagrama eléctrico de la etapa de adquisición



Amplificador de alimentación única a termopar con compensación en la unión fr

6.19 Códigos

6.19.1 CÓDIGO DEL MICROCONTROLADOR AVR

```
#include <mega8535.h>
#include <stdio.h>
#include <delay.h>
#include <lcd.h>

// Alphanumeric LCD Module functions
#asm
.equ __lcd_port=0x12 ;PORTD
#endasm

volatile float tiempo=5;
volatile unsigned int temperatura=0;

unsigned char buf[16];

volatile float eactual;
volatile float eanterior = 0;

volatile float yy;
volatile float yyanterior =0;

unsigned int i = 1;

volatile float u; // esta es u1(i) en matlab
volatile float u1; // esta es u2(i) en matlab
volatile float u2; // esta es u3(i) en matlab
volatile float uanterior= 0; // esta es u(i-1) en matlab

volatile float f;
volatile float f1;
volatile float f2;

float a = 0; //limites de funciones de pertenencia 1
float b = 25;
float c = 50;

float a1 = 50; //limites de funciones de pertenencia 2
float b1 = 75;
float c1 = 100;

float a2 = 100; //limites de funciones de pertenencia 3
float b2 = 125;
```

```

float c2 = 150;

volatile float suma = 0; //acumulador del error
volatile float resultado = 0;
volatile float resultadoanterior = 0;

float r = 100;
float T = 2; //tiempo de muestreo

float kp1 = 1;
float ti1 = 500;

float kp2 = .33;
float ti2 = 39.19;

float kp3 = .33;
float ti3 = 100;

float E = 1e-30;
volatile float x;

volatile float y = 0;
volatile float y1 = 0;
volatile float y2 = 0;

volatile float v1;
volatile float v2;
volatile float v3;
volatile float v4;
volatile float v5;
volatile float v6;

volatile float suma2;
volatile float suma3;

// Timer 0 output compare interrupt service routine
interrupt [TIM0_COMP] void timer0_comp_isr(void)
{
    PORTB.4=1; //Se genera el pulso de 2us para el triac
    delay_us(10);
    TCCR0=8; //Se apaga el timer
    TCNT0=0; //Se reinicia el contador del timer
    PORTB.4=0;
}

```

```

// Timer 1 overflow interrupt service routine //timer de 2 segundos para
el adc
interrupt [TIM1_OVF] void timer1_ovf_isr(void)
{

}

#define FIRST_ADC_INPUT 0
#define LAST_ADC_INPUT 1
unsigned int adc_data[LAST_ADC_INPUT-FIRST_ADC_INPUT+1];
#define ADC_VREF_TYPE 0x00

// ADC interrupt service routine
// with auto input scanning
interrupt [ADC_INT] void adc_isr(void)
{
register static unsigned char input_index=0;
// Read the AD conversion result
adc_data[input_index]=ADCW;

// Select next ADC input
if(++input_index > (LAST_ADC_INPUT-FIRST_ADC_INPUT))
input_index=0;
ADMUX=(FIRST_ADC_INPUT|ADC_VREF_TYPE)+input_index;
/*
temperatura = adc_data[0];
temperatura&=0x3FE;
temperatura=temperatura>>1; // tiene un error de 9 grados a 30

lcd_clear();
lcd_gotoxy(0,1);
sprintf(buf, "%u", temperatura); //esta rutina manda imprimir la
temperatura adquirida
lcd_puts(buf); //al lcd

lcd_gotoxy(0,0);
sprintf(buf, "%u", tiempo);
lcd_puts(buf);

eanterior = eactual;
uanterior = u;
resultadoanterior = resultado;
*/
}

```

```

// Analog Comparator interrupt service routine
interrupt [ANA_COMP] void ana_comp_isr(void)

    OCR0=tiempo;    //Actualiza el valor del timer que mandará
    TCCR0=0x0C;    //Se activa el timer
}

// Declare your global variables here

void main(void)
{

PORTB=0x13;
DDRB=0x10;

TCCR0=0x0C;
TCNT0=0x00;
OCR0=0x00;

TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x03;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x06;

ACSR=0x4B;
SFIOR=0x00;

ADMUX=FIRST_ADC_INPUT|ADC_VREF_TYPE;
ADCSRA=0xAD;
SFIOR&=0x0F;
SFIOR|=0xC0;

// LCD module initialization
//lcd_init(16);

// Global enable interrupts
#asm("sei")

```

```

while (1)
{

i+=1;      //esta variable es sólo para simular

if (resultadoanterior>100)      //saturación
{
resultadoanterior=100;
}
if (resultadoanterior<0)
{
resultadoanterior=0;
}

tiempo=120-((resultadoanterior*115)/100); //conversión a tiempo del
timer

u=kp1*(eanterior+(T/ti1)*(suma)); //polinomios de orden cero
u1=kp2*(eanterior+(T/ti2)*(suma));
u2=kp3*(eanterior+(T/ti3)*(suma));

x=eanterior;

if ( x <= a || c <= x)      //reglas
{
y=0;
f=y*u;
}

if ( a <= x && x <= b)
{
y= ((x-a)/(b-a));
f=y*u;
}

if ( b <= x && x <= c)
{
y= ((c-x)/(c-b));
f=y*u;
}

if ( x <= a1 || c1 <= x)
{
y1=0;
f1=y1*u1;
}

```



```

if ( a1 <= x && x <= b1)
{
y1= ((x-a1)/(b1-a1));
f1=y1*u1;
}

if( b1 <= x && x <= c1)
{
y1= ((c1-x)/(c1-b1));
f1=y1*u1;
}

if ( x <= a2 || c2 <= x)
{
y2=0;
f2=y2*u2;
}

if ( a2 <= x && x <= b2)
{
y2= ((x-a2)/(b2-a2));
f2=y2*u2;
}

if ( b2 <= x && x <= c2)
{
y2= ((c2-x)/(c2-b2));
f2=y2*u2;
}

v1=f + E;
v2=f1 + E;
v3=f2 + E;
v4=y + E;
v5=y1 + E;
v6=y2 + E;

suma3= v1+v2+v3;
suma2= v4+v5+v6;

resultado= suma3/suma2; //desdifusificación

yy=0.9924*yyanterior+0.02576*resultadoanterior; //simulación de la
planta

eactual = r - yy; //calculo del error

```

```

suma=suma + eactual;

if (suma>3.402e38 || suma<1.175e-38)
{
suma=0;
}

eanterior = eactual;
uanterior = u;
resultadoanterior = resultado;
yyanterior = yy;

}; // fin del while
} //fin del programa

```

6.19.2 CÓDIGO EN MATLAB

```

u(1)=0;
t(1)=0;
e(1)=0;
resultado(1)=0;
a =0;
b =25;
c = 50;
a1 =50;
b1 =75;
c1 = 100;

a2=100;
b2=125;
c2=150;

suma=0;
r=100;
T=2;

Kp1=1;
Ti1=500;

Kp2=.33;
Ti2=39.19;

```

```
Kp3=.33;  
Ti3=100;
```

```
E=1e-30;
```

```
t2=0;
```

```
yy(1)=0;
```

```
for i=2:6;
```

```
    %La u debe ir saturada  
    if(resultado(i-1)>100),  
        resultado(i-1)=100;  
    end
```

```
    if(resultado(i-1)<0),  
        resultado(i-1)=0;  
    end
```

```
    u(i)=Kp1*(e(i-1)+(T/Ti1)*(suma));
```

```
    u1(i)=Kp2*(e(i-1)+(T/Ti2)*(suma));
```

```
    u2(i)=Kp3*(e(i-1)+(T/Ti3)*(suma));
```

```
    %-----  
    x=e(i-1);
```

```
    if ( x <= a | c <= x)  
        y(i)=0;  
        f(i)=y(i)*u(i);  
    end
```

```
    if ( a <= x & x <= b)  
        y(i)= ((x-a)/(b-a));  
        f(i)=y(i)*u(i);  
    end
```

```
    if ( b <= x & x <= c)  
        y(i)= ((c-x)/(c-b));  
        f(i)=y(i)*u(i);  
    end
```

```
    if ( x <= a1 | c1 <= x)
```

```

y1(i)=0;
f1(i)=y1(i)*u1(i);
end

if ( a1 <= x & x <= b1)
y1(i)= ((x-a1)/(b1-a1));
f1(i)=y1(i)*u1(i);
end

if ( b1 <= x & x <= c1)
y1(i)= ((c1-x)/(c1-b1));
f1(i)=y1(i)*u1(i);
end

if ( x <= a2 | c2 <= x)
y2(i)=0;
f2(i)=y2(i)*u2(i);
end

if ( a2 <= x & x <= b2)
y2(i)= ((x-a2)/(b2-a2));
f2(i)=y2(i)*u2(i);
end

if ( b2 <= x & x <= c2)
y2(i)= ((c2-x)/(c2-b2));
f2(i)=y2(i)*u2(i);
end

v1=f(i)+E;
v2=f1(i)+E;
v3=f2(i)+E;
v4=y(i)+E;
v5=y1(i)+E;
v6=y2(i)+E;

suma3= v1+v2+v3;
suma2=v4+v5+v6;

resultado(i)= suma3/suma2;

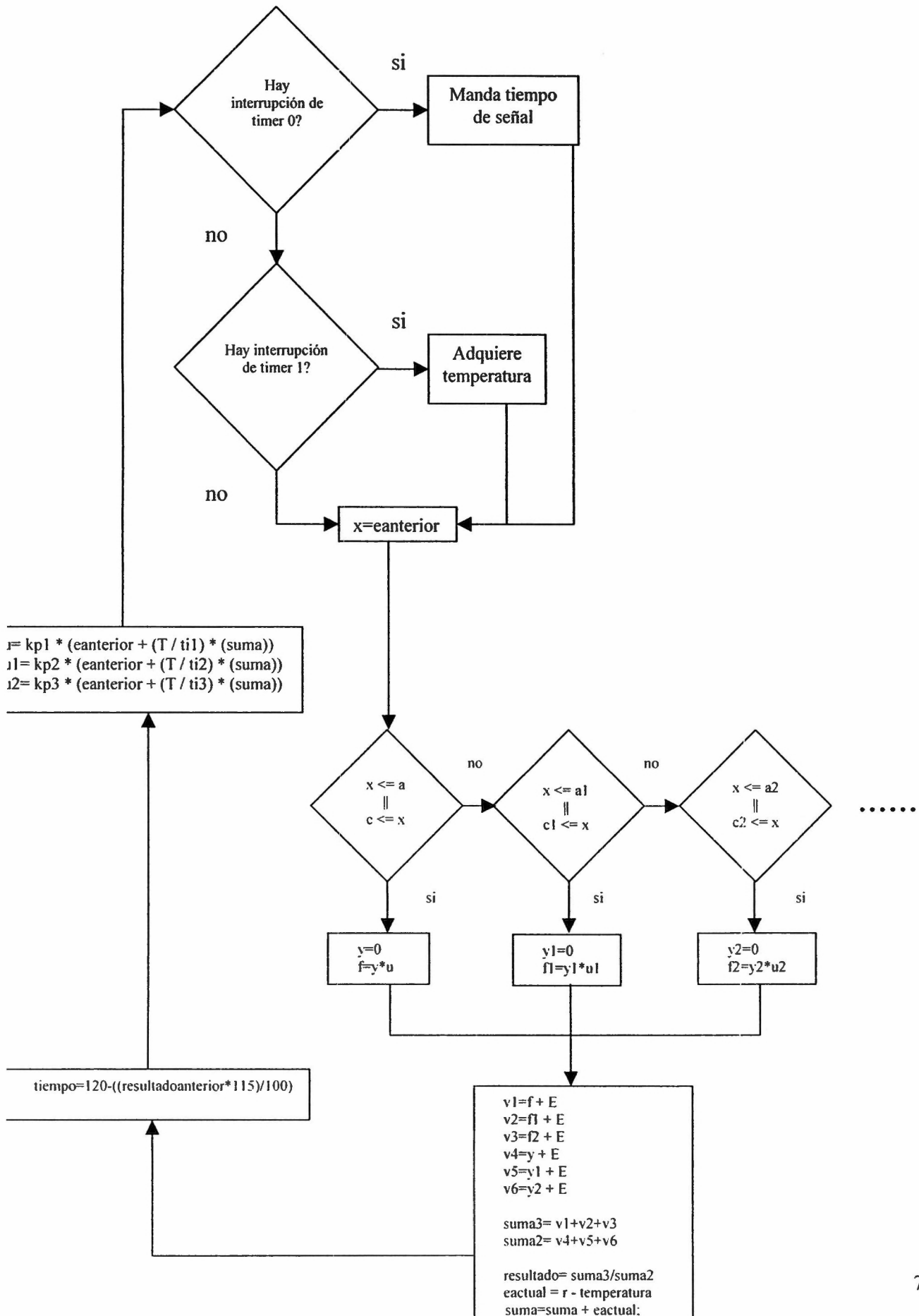
%-----
yy(i)=0.9924*yy(i-1)+0.02576*resultado(i-1);
%-----
e(i)=r-yy(i);

suma=suma+e(i);

```

```
if(suma>3.402e38 | suma<1.175e-38)
    suma=0;
end
end
```

6.20 Diagrama a bloques de la lógica de programación



VII. Póster



Ciudad de México
Abril 2006

FUZZY IRON

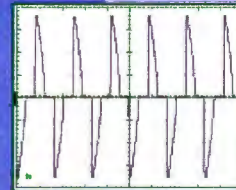
Edith Lugo Vélez
Sofía Ramos
Rodrigo Moreno
Asesor: M.C. Israel Macías
Asesor: M.C. Marco Paz
Profesor Proyectos: Dra. Teresa Ibarra

Necesidad

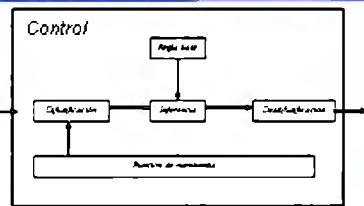
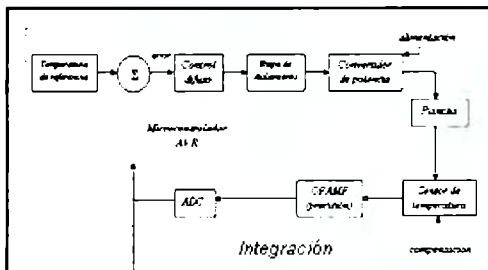
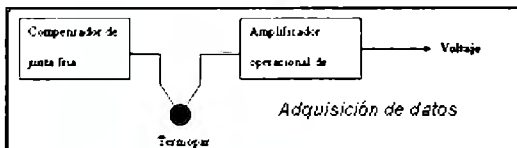
Actualmente las planchas para ropa operan con un control mecánico que mantiene a un elemento térmico dentro de cierto rango, impreciso, exponiendo la ropa a cambios abruptos de temperatura, los cuales pueden llegar a dañarla.

Objetivo

Sustituir el control mecánico en una plancha convencional por un control electrónico basado en lógica difusa para mantener dentro de un rango más preciso la temperatura de la superficie de la plancha.



Etapas del proyecto



Resultados

- Mejor desempeño que el control convencional.
- Reducción de costos para el fabricante al eliminar el termostato.
- Se espera una reducción en el consumo de potencia.

