

123-16



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY®**

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

Campus Ciudad de México

Proyecto de Ingeniería

“Regadera Automatizada Ahorradora de Agua”



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY**

Biblioteca
Campus Ciudad de México

18 de noviembre de 2010

Integrantes:

Anuar M. Rojas Jureidini A01011708

Eduardo M. Bucio Gallardo A01106342

Héctor Z. Rojas Jureidini A01011709

A nuestros amados padres y queridos profesores.

Por quienes fue esto posible...

Contenido

1. Introducción.....	6
1.1. Problemáticas ecológicas de la actualidad	6
1.2. Problemática ecológica a resolver con el sistema.....	6
1.2.1. Datos importantes del agua.....	7
1.3. Introducción al sistema.....	8
1.3.1. Reestructuración del sistema	8
1.3.2. Descripción de operación	9
2. Objetivos.....	10
2.1. Objetivos generales	10
2.2. Objetivos específicos	11
2.2.1. Válvula de posición.....	11
2.2.2. Control	11
2.2.3. Adquisición de datos de temperatura	12
2.2.4. Subsistema de potencia.....	12
3. Marco teórico	12
3.1. Control difuso	12
4. Diagramas del sistema.....	16
4.1. Diagrama de Instrumentación	16
4.2. Modelo Completo 3D.....	17
4.3. General.....	18
4.4. Instrumentación y Actuación.....	20

4.5. Válvula de posición	20
4.6. Interfaz de usuario	21
5. Requerimientos de hardware.....	22
5.1. Válvula de Posición	22
5.2. Microcontrolador.....	25
5.3. Fuente de alimentación	26
5.4. Sensores de temperatura	30
5.5. Sistema de tuberías	31
6. Subsistemas	32
6.1. Interfaz de usuario	32
6.2. Adquisición de datos.....	35
6.3. Control	36
6.4. Actuación	42
7. Resultados	44
7.1. Problemáticas encontradas	44
7.2. Pruebas del sistema	46
7.3. Objetivos logrados	51
7.4. Costo del sistema	53
8. Conclusiones	54
8.1. Alcance final del proyecto	54
8.2. Mejoras futuras para el sistema	55
8.3. Conclusiones generales	56

9. Bibliografía..... 58

1. Introducción

1.1. Problemáticas ecológicas de la actualidad

Hoy en día, se vive en un mundo que comienza a resentir el exceso en el uso de los recursos naturales y el abuso en el consumo de hidrocarburos. No sólo principia la era de escasez de recursos naturales, sino que la contaminación que se ha generado está acabando con los bellos paisajes del Planeta Azul. Asimismo, los contaminantes hacen que la naturaleza perezca y hasta ocasionan que el agua sea inservible para muchas de las especies animales que habitan en el mundo, incluido el ser humano.

Algo muy sabido por toda la gente, es que el agua es vital para todos y cada uno de los seres vivos que existen en la Tierra. Si se permite que la contaminación o el abuso en el consumo del agua, terminen por acabar con las pocas reservas de agua limpia que nos quedan, la especie humana terminara por extinguirse.

1.2. Problemática ecológica a resolver con el sistema

La regadera automatizada ahorradora de agua, pretende disminuir el exceso en el consumo de agua que se tiene a la hora del duchado. Por lo general, antes de bañarse se desperdicia mucha agua mientras esta queda a la temperatura que el usuario desea. Este proyecto, se enfoca en evitar dicho desperdicio. De igual manera, se busca tener un flujo de agua cómodo para el baño, mas éste no debe tener un gasto de agua excedente.

1.2.1. Datos importantes del agua

- 1) Un estudio de la PROFECO detalló la cantidad de agua que malgasta una familia de 5 integrantes en actividades cotidianas. La tabla siguiente resume la información recabada:

Consumo de agua de una familia de cinco miembros

Actividad	Número de cubetas de 20 litros utilizadas	Consumo no considerado en este ejercicio	Consumo de acuerdo con datos oficiales
Baño en la regadera (20 minutos)	7	Todos se bañan diario 700 Litros	Las regaderas economizadoras gastan 10 litros por minuto; una común gasta en promedio 26.
Lavarse los dientes (3 minutos)	1	Todos se lavan los dientes 3 veces al día 300 litros	
"Barrer" la calle con la manguera (15 minutos)	5.25		
Lavar los trastes (30 minutos)	10.5		Al lavar los trastes se consumen hasta 25 litros por minuto.
Lavar el coche con manguera (15 minutos)	5.25		
Total	29		

Tabla 1: Consumo de agua de una familia de cinco miembros

Fuente: PROFECO

- 2) Gasto por espera de calentamiento de agua: $(10 \text{ l/min})(5 \text{ min}) = 50 \text{ l}$. Para una casa de 5 personas el gasto total es de 250 l. Considerando un promedio de 5 personas por casa, en la ciudad de Guadalajara el desperdicio de agua por regaderas es de 500 l/s. Esta cantidad podría abastecer a una población de 150,000 habitantes.

- 3) José Luis Luege Tamargo, Director General de la Conagua, dijo que la demanda de agua en la Ciudad de México es tan grande que está comenzando a afectar seriamente el sistema Cutzamala y el acuífero de la Ciudad.
- 4) Demetrio Sodi, Jefe Delegacional en Miguel Hidalgo, ha establecido medidas para el ahorro de agua a través de la implementación de regaderas ahorradoras.
- 5) La Norma Oficial 008 obliga al cambio de regaderas ahorradoras de agua, y se espera que tenga un impacto en el ahorro de agua de 470 millones de metros cúbicos al año, los cuales equivalen a la distribución anual del Sistema Cutzamala.

1.3. Introducción al sistema

1.3.1. Restructuración del sistema

Durante el desarrollo del proyecto surgieron varias problemáticas significativas, las cuales empujaron al equipo de trabajo a realizar cambios drásticos en el funcionamiento del sistema. Primeramente, se debe mencionar que es físicamente imposible calentar agua con un flujo de $8 \text{ m}^3/\text{min}$, de 15°C a 45°C con una corriente máxima de 2A a 120V. De hecho, la potencia requerida para calentar flujos que rondan dicho caudal, rondan los 17kW. Esto fue lo que ocasionó que la regadera automatizada volviera a basarse en el consumo de gas.

Otro problema importante se generó en la elección de la plataforma de desarrollo para la implementación lógica del sistema. En un principio, se comenzó utilizando la plataforma de 32 bits de Atmel a través del microcontrolador UC3A0512. Sin embargo, se encontraron varios problemas durante la implementación del código. Los principales problemas se encontraron en la implementación de las interrupciones externas y los temporizadores. Debido a que estos dos recursos representan una parte importante en la implementación del sistema, se tomó la decisión de cambiar a una plataforma de 8 bits. De cualquier manera, los problemas encontrados en la primera plataforma de desarrollo implicaron un gran atraso en el desarrollo del proyecto.

1.3.2. Descripción de operación

La regadera automatizada ahorradora de agua es un sistema totalmente mecatrónico, que se encarga de ofrecerle confort al usuario y mejoras al medio ambiente. Ésta maneja el principio básico de la mezcla de agua fría y caliente, para así obtener una temperatura deseada y cómoda para el duchado. Sin embargo, en este caso el usuario no tendrá que mover perillas para obtener una temperatura cómoda, sino que más bien, introducirá la temperatura deseada al sistema y éste se encargará de obtener la temperatura indicada.

Para manejar la temperatura, el sistema ocupa control difuso. Dicho sistema es el encargado de la apertura y cierre de las válvulas de agua caliente y fría. Cabe mencionar que mientras el agua se regula, antes de que el usuario entre a la regadera, el agua que no

ha alcanzado la temperatura deseada se va a un tinaco auxiliar. Esto evita el desperdicio de agua, puesto que el agua almacenada será ocupada para otras tareas.

Ya cuando el agua está en el punto que el usuario la desea, el sistema se lo hace saber. Empero, para seguir evitando el desperdicio de agua, ésta no saldrá sino hasta que el usuario indique que ya quiere que el agua comience a fluir. En otras palabras, el agua no saldrá sino hasta que esté en la temperatura adecuada y el usuario esté listo para bañarse.

Además del control de temperatura, el sistema le dará al usuario la libertad de escoger un porcentaje de apertura de válvula. Así, también puede regular el flujo de agua que tendrá a la salida de la regadera. Esto ofrece aún un mayor confort y además, la posibilidad de limitar el flujo de manera digital, siempre pensando en el mínimo gasto posible de agua.

2. Objetivos

2.1. Objetivos generales

Desarrollar una regadera totalmente automatizada, económica y ahorradora de agua. Esta regadera debe contar con una interfaz sencilla y de un precio accesible para casas de interés social.

2.2. Objetivos específicos

2.2.1. Válvula de posición

Antes que nada, se debe explicar lo que es una válvula de posición: Ésta es un nuevo sistema que desarrolló el equipo de trabajo de la regadera automatizada ahorradora de agua. La válvula de posición abre o cierra a la posición deseada de manera automática. Ésta es controlada por un Microcontrolador y la posición es registrada gracias a un disco codificado y un opto-acoplador.

El propósito es desarrollar una válvula de posición funcional para aplicaciones económicas. En esta primera etapa, será diseñada para una válvula de bola, de media pulgada. De igual manera, la resolución de la válvula de posición debe ser adecuada para un buen manejo de control.

2.2.2. Control

Lograr obtener un control que no presente sobretiro, ya que el usuario puede resultar afectado seriamente cuando se trata con altas temperaturas. De igual manera, tener un control que presente bajas oscilaciones.

2.2.3. Adquisición de datos de temperatura

Tener un sistema eficiente de adquisición de datos de las temperaturas de las diferentes tuberías. Éste debe ser económico pero, principalmente, no debe presentar fuga alguna en la red de tuberías.

2.2.4. Subsistema de potencia

La fuente de alimentación debe estar acorde a las dimensiones eléctricas del sistema. Asimismo, el subsistema de potencia que regula los motores, no debe de interferir con el sistema lógico y debe de tener la capacidad de operar todas las válvulas de posición a la vez.

3. Marco teórico

Antes de ahondar en los subsistemas y funcionamiento de la regadera, se explicará el marco teórico detrás de la principal herramienta utilizada, el control difuso.

3.1. Control difuso

En 1964 Lotfi A. Zadeh propone por primera vez la noción de conjuntos difusos. Él propone que los parámetros verdadero y falso operen en un rango determinado de valores. Se puede decir que la estadística mide la probabilidad que un evento tiene para que suceda, mientras que la lógica difusa mide la ambigüedad de un evento ya ocurrido.

Pero no fue sino hasta 1974 que Ebrahim Mandani demostró el uso de la lógica difusa en el campo del control. Lo que hizo fue aplicar el control difuso en un motor de vapor. Esto marco un hito en la historia del control, ya que fue el primero en decir que existe un mejor método para controlar un sistema, que el control tradicionalista. De hecho, Mandani primero intentó controlar dicha máquina en base al control tradicional, pero no logró hacer que el sistema fuera estable y con una respuesta rápida en el tiempo. Esto sólo lo logró al momento de implementar el control difuso.

Para comprender un poco más lo que es la lógica difusa, primero se tienen que entender los conjuntos difusos. Estos son conjuntos de números que no tienen límites precisos, ya que los conjuntos se traslapan unos sobre los otros, ocasionando que algunos valores numéricos tengan pertenencia en uno o dos conjuntos. Se mencionan dos como un máximo, porque en el control difuso tan sólo se pueden traslapar dos conjuntos sobre un determinado valor numérico. Un ejemplo de conjuntos difusos es el siguiente:

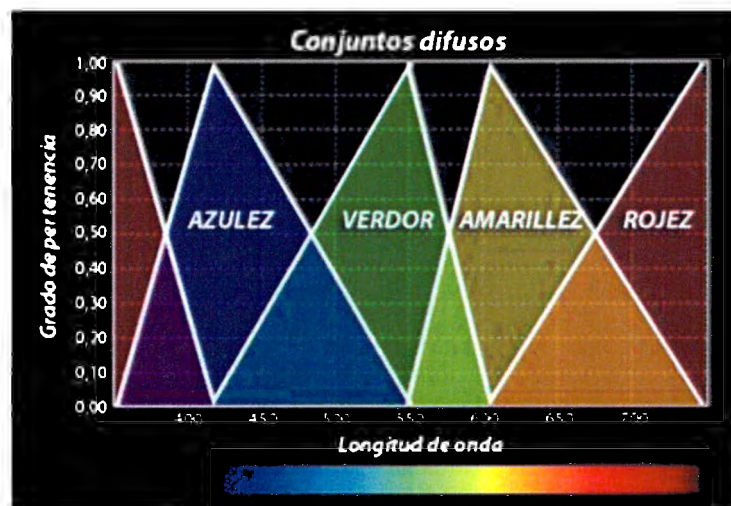


Figura 1. Ejemplo de conjuntos difusos

En la figura 1 se observa un grupo de 5 conjuntos difusos, mas se puede apreciar que los triángulos que definen a dichos conjuntos, no son uniformes. Lo importante a recalcar, es que lo único que importa es que las pendientes de las dos rectas que se cruzan sean iguales, haciendo que el centroide (punto en X que da el valor más grande en Y del triángulo) de un triángulo, sea el comienzo de los dos que están a su lado.

Continuando el análisis de la figura 1, ahora hay que fijar la atención en el eje de las Y's. Se observa que está titulado "Grado de Pertenencia", también conocido como grado de membresía. Esto define que tanto pertenece un valor numérico a cada uno de los conjuntos difusos. Tal como se había mencionado con anterioridad, la lógica difusa mide la ambigüedad de un evento ya ocurrido. Cada valor numérico tiene una pertenencia, o membresía diferente de cero en dos conjuntos difusos. Al menos esto sucede cuando se tienen conjuntos triangulares y conformados como se muestran en la figura 1. Los únicos valores que tan sólo tienen pertenencia en un conjunto difuso, son los centroides de cada triángulo; teniendo una pertenencia igual a uno.

Ya sabiendo lo que son los conjuntos difusos, se puede comprender más fácilmente el funcionamiento del control difuso. Primeramente, se requiere fusificar la variable o variables a controlar. Esto quiere decir que el valor numérico que se recibe, se debe volver parte de uno o dos conjuntos difusos, obteniendo así, la membresía para cada uno de ellos. Ya teniendo la membresía de la variable de entrada, se analizan las reglas del sistema.

Las reglas del sistema son decisiones lógicas. Un ejemplo: Si X es azul y Z es amarillo, Y es verde. Con esto se pueden tomar decisiones enfocadas a un sistema. Una manera de verlo es con un motor de DC. Imagínese que se requiere tener a un motor funcionando a 100 rev/min. Ahora, se harán tres conjuntos difusos que abarquen diferentes velocidades. Un conjunto puede ser de 0 rev/min a 100 rev/min, el segundo podría estar definido de 50 rev/min a 150 rev/min, y el último podría ser de 100 rev/min en adelante.

Ahora, es necesario asignarle nombres a los conjuntos. El primero que se mencionó será llamado "Baja velocidad", el segundo será "Velocidad adecuada" y el último será "Alta velocidad". Al ingresar un valor medido de velocidad del motor, sabremos que tanto pertenece a cada uno de los conjuntos, ya a partir de ello, se toma la decisión de aumentar el voltaje, disminuirlo o mantenerlo. Esto es conocido como defusificar.

Existen funciones predefinidas para fusificar y defusificar variables. Esto hace que los valores de membresía y de salida, sean precisos.

Ya se ha explicado lo básico del control difuso, mas ahora se requiere saber que también existe el control difuso P, PD, PI y PID. En este caso, tan sólo se explicará el PD, el cual se usa en el subsistema de calentamiento de agua.

El control PD recibe tan sólo el error y la diferencial del error de la salida con respecto a la entrada. También se fusifican dichas entradas y a partir de las reglas del

sistema, se decide qué acción tomar. En este caso, se busca que el sistema opere en el conjunto de error cero y derivada del error cero. El control PD permite que el sistema tenga una entrada de punto de operación cambiante en el tiempo, ya que ahora el sistema no se enfocará en alcanzar un valor determinado, sino en volver cero al error y a la derivada del error de la salida con respecto a la entrada.

4. Diagramas del sistema

4.1. Diagrama de Instrumentación

A continuación se encuentra el diagrama de instrumentación del sistema (Figura 2), en el cual se detalla el sistema de tuberías y los distintos elementos que se encuentran en él, como lo son válvulas y sensores. Este diagrama fue realizado con base en la norma ISA-5.1, en la cual se especifica la simbología para diagramas de instrumentación.

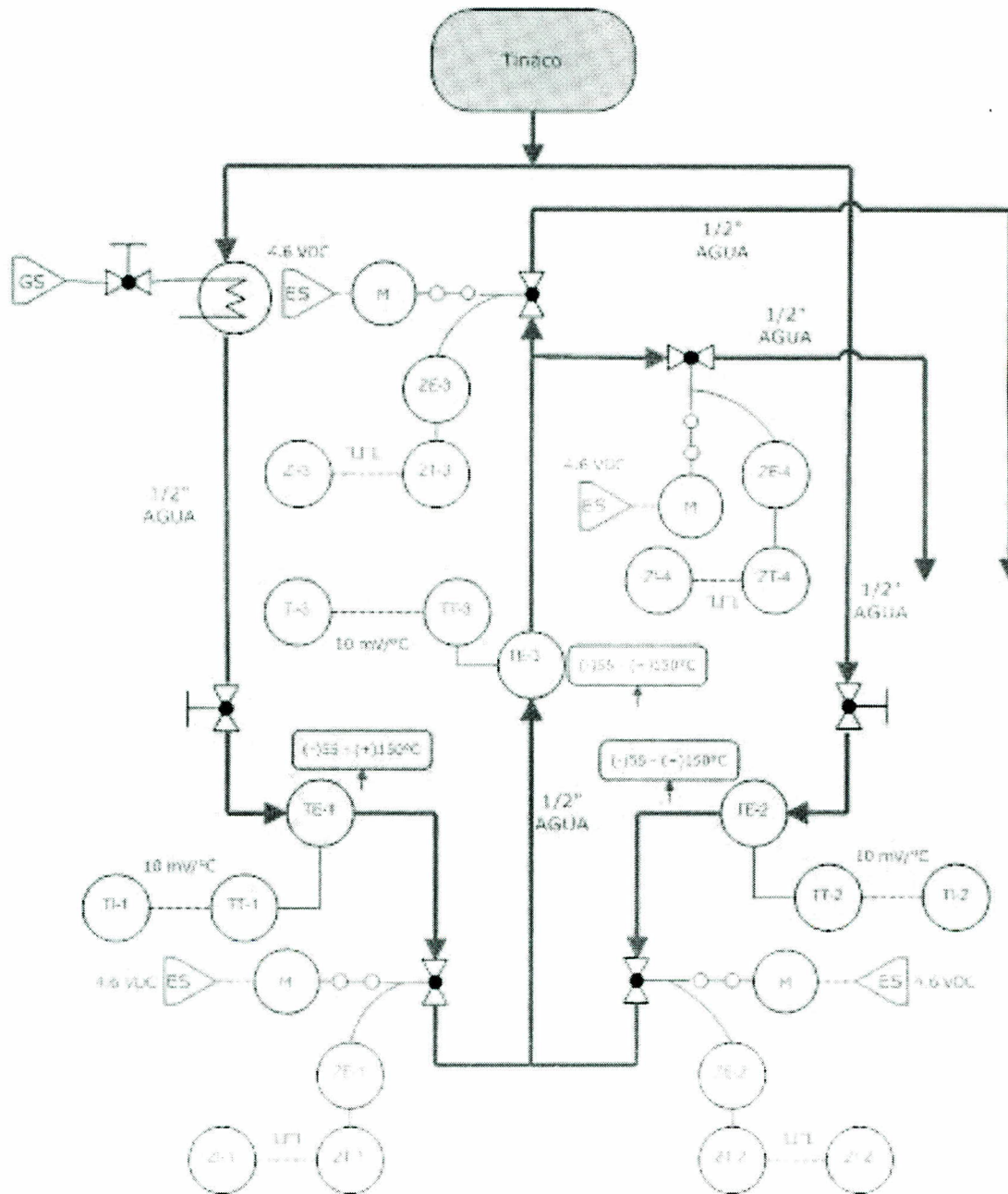


Figura 2. Diagrama de instrumentación

4.2. Modelo Completo 3D

Posteriormente, se realizó el modelo 3D del sistema físico, para así poder tener una idea más clara del mismo. En la siguiente figura se puede observar el diseño del

sistema de tuberías, así como la colocación de las 4 válvulas de posición. También está detallada la interfaz de usuario, la cual consta de un LCD y 6 botones.

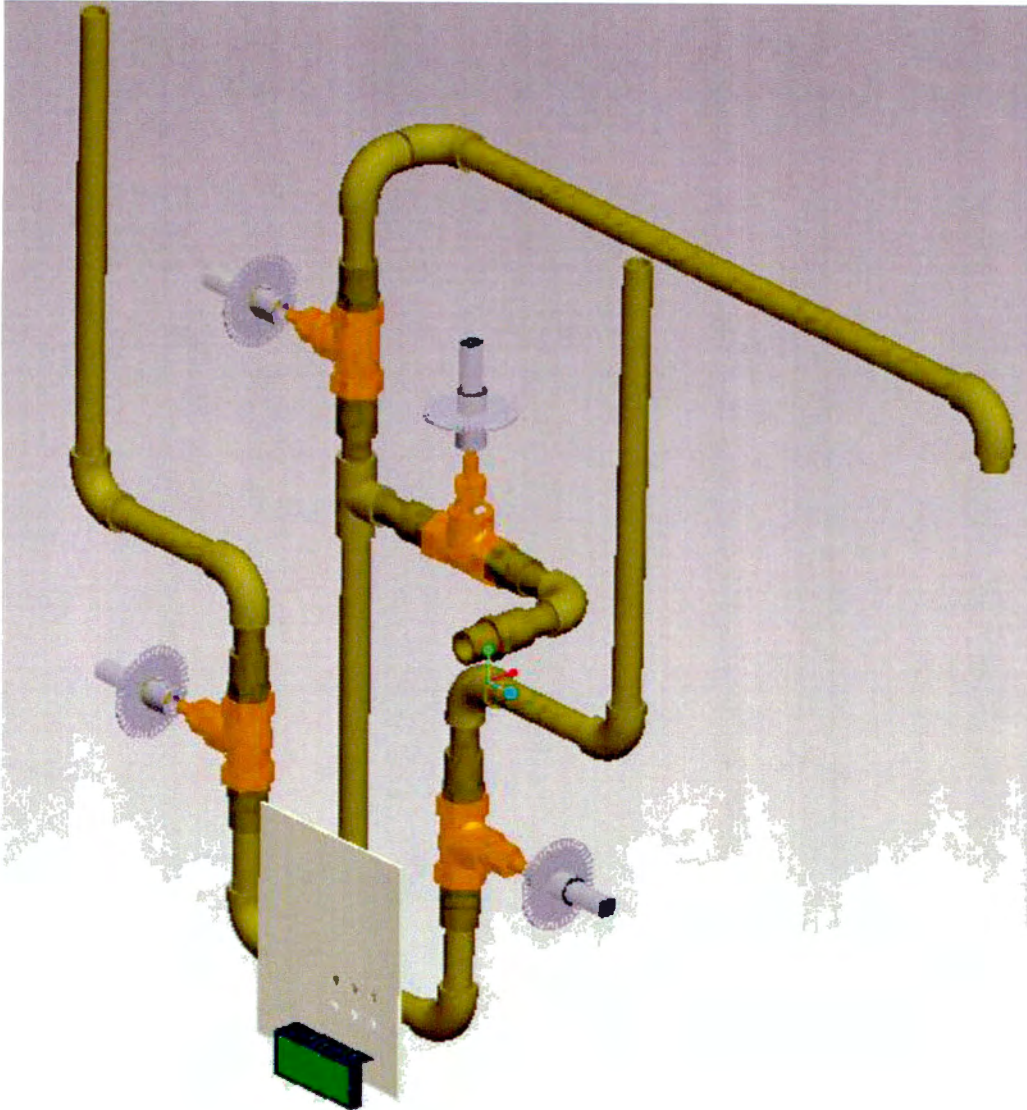


Figura 3. Modelo 3D

4.3. General

El diagrama general que se encuentra a continuación, muestra la alimentación de los distintos componentes, así como la interconexión de todos los elementos del sistema

en lo que se refiere a flujo de datos. En lo que respecta a la fuente, se utiliza un transformador de doble devanado. Uno de los devanados se utiliza para el voltaje lógico del sistema, que es con el cuál operan la mayoría de los componentes. El segundo devanado es para el voltaje de operación de los motores, pero su principal propósito es suministrar la corriente necesaria para cada uno de ellos. Como se observa en la figura, las entradas del ATmega2560 constan de los 6 botones de la interfaz de usuario, los 3 sensores de temperatura y los 4 “encoders” de las válvulas de posición. Las salidas del MCU son el LCD de la interfaz de usuario y los motores de las válvulas de posición.

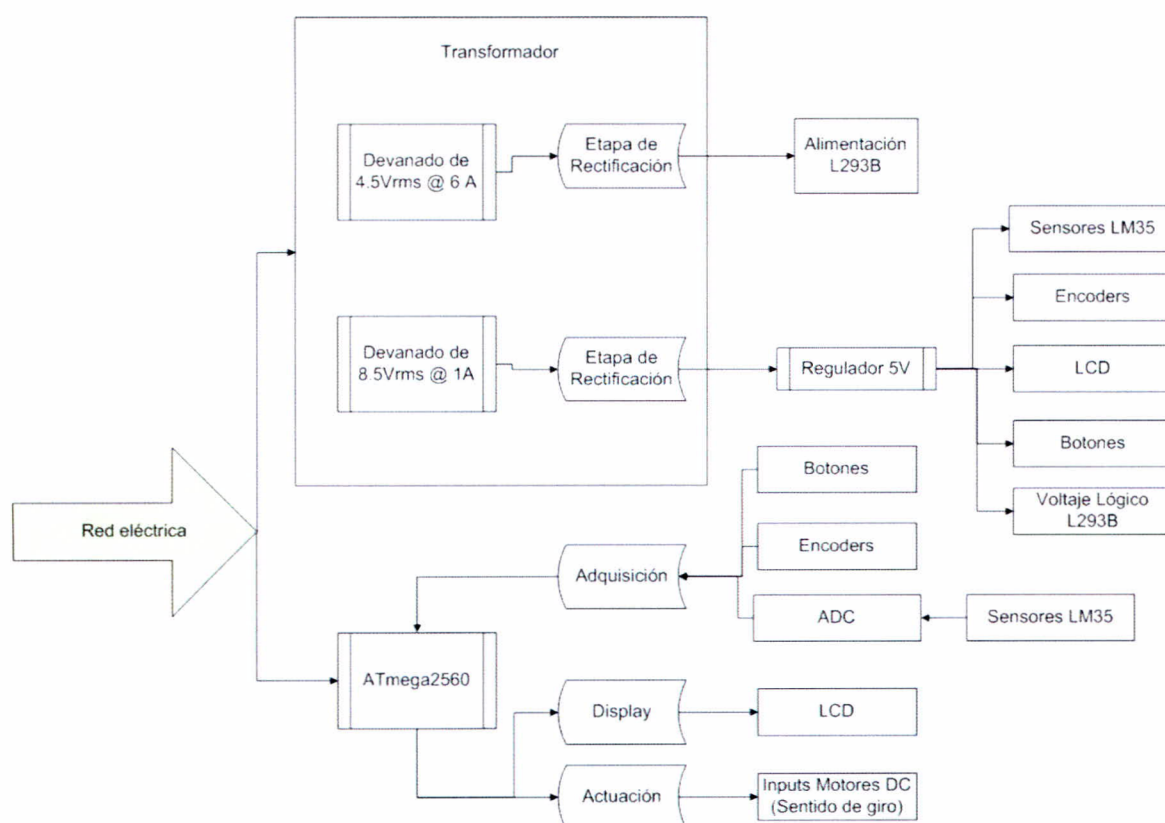


Figura 4. Diagrama General

4.4. Instrumentación y Actuación

El siguiente diagrama detalla el flujo de datos que corresponde a la parte de adquisición de datos y actuación que involucra el control difuso. La adquisición de datos consta de los valores de temperatura de los 3 sensores (tubería de agua caliente, tubería de agua fría y tubería central). Estos valores son utilizados por la rutina de control.

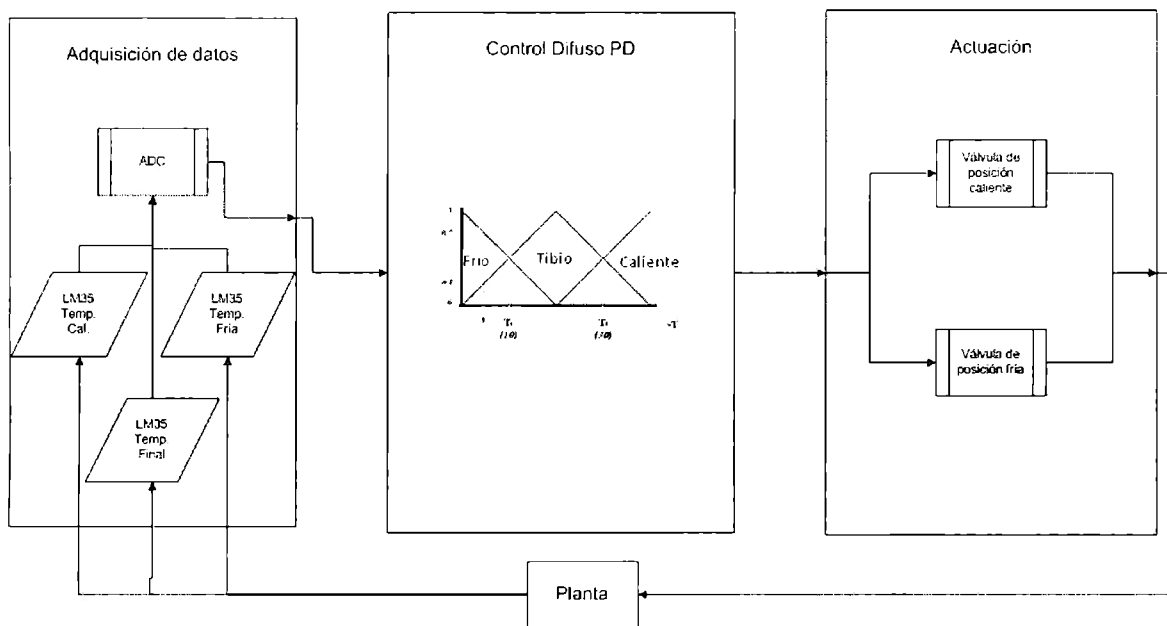


Figura 5. Instrumentación y Actuación

4.5. Válvula de posición

El diagrama que se muestra a continuación detalla el funcionamiento de una válvula de posición. La variable "cuentas" mostrada en el diagrama, representa la posición de la válvula. Dicha variable va de 0 (totalmente cerrada) a 18 (totalmente abierta). Por el otro lado, la variable "meta" representa la posición a la cual debe de moverse la válvula. La "meta" se actualiza cada vez que la rutina de control se corre en el programa ($T =$

100ms). Es importante recordar que el sistema cuenta con 4 de estos elementos, la siguiente figura (Figura 6) se cumple para cada uno de ellos.

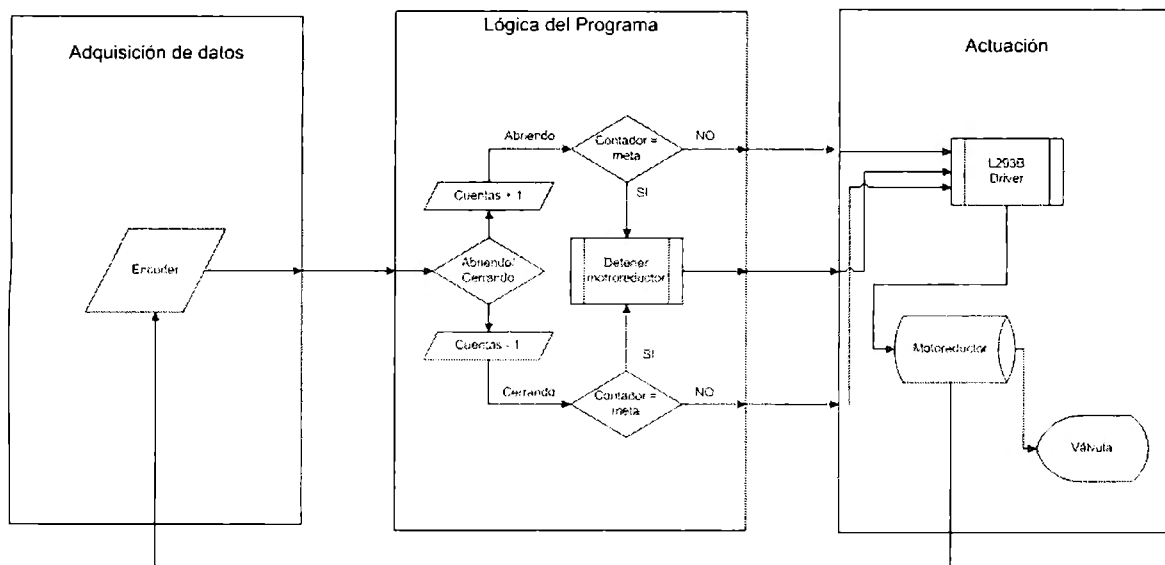


Figura 6. Válvula de posición

4.6. Interfaz de usuario

La interfaz de usuario consta de un LCD de 2 líneas de 16 caracteres cada una y 6 botones. A través del LCD se muestran los distintos mensajes al usuario, los cuales van cambiando de acuerdo los botones presionados. Los 6 botones son utilizados para elegir las distintas opciones que ofrece el menú del sistema. Por ejemplo, encender el sistema, elegir la temperatura deseada, activar la salida del agua, etc. Dichos botones operan por interrupción y tienen acción específica en la lógica del programa.

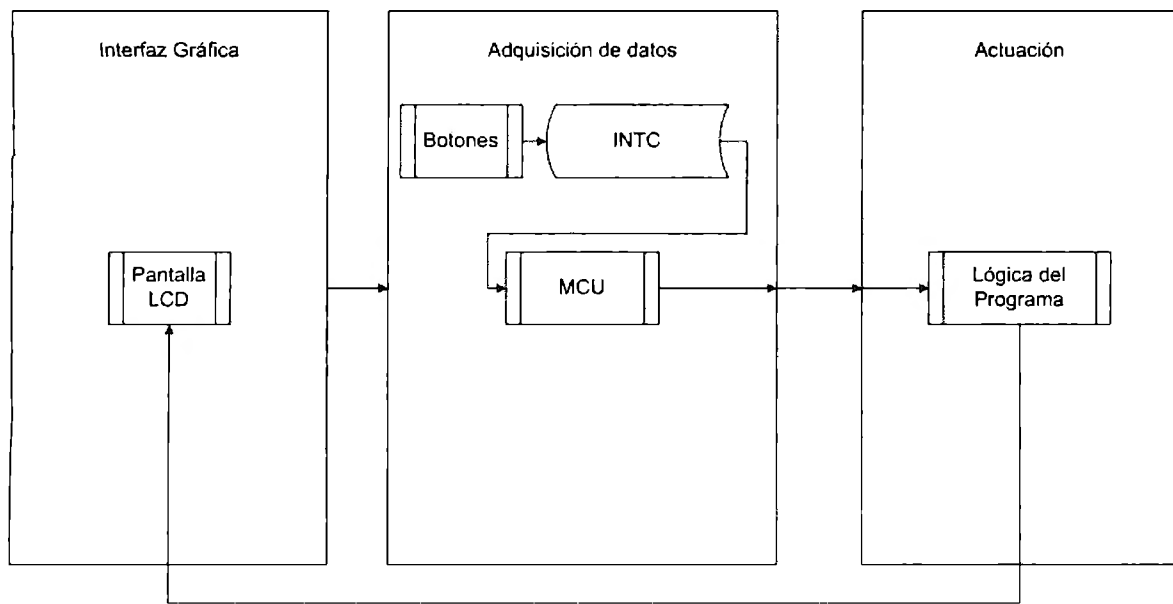


Figura 7. Interfaz de usuario

5. Requerimientos de hardware

5.1. Válvula de Posición

La apertura y cierre de las diferentes vías de flujo del sistema se controlan por medio de válvulas de posición. Este dispositivo está compuesto los siguientes componentes:

- Válvula metálica de bola, de ½ pulgada
- Cople para válvula y motor: Éste está hecho con aluminio, cuenta con un prisionero para el motor, un prisionero para la válvula y un disco codificado para llevar el registro de la posición.

- Motor de DC con motor-reductor: Éste motor cuenta con una razón de engranes de 360:1. A 6V, el motor consume un máximo de 692mA y ofrece un torque máximo de 7,431 gcm

Para facilitar la concepción de este dispositivo, se muestran las siguientes dos imágenes:

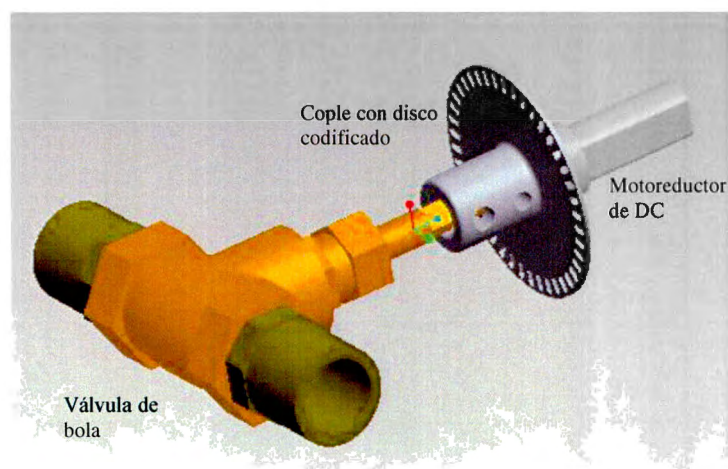


Figura 8. Diseño 3D de una válvula de posición

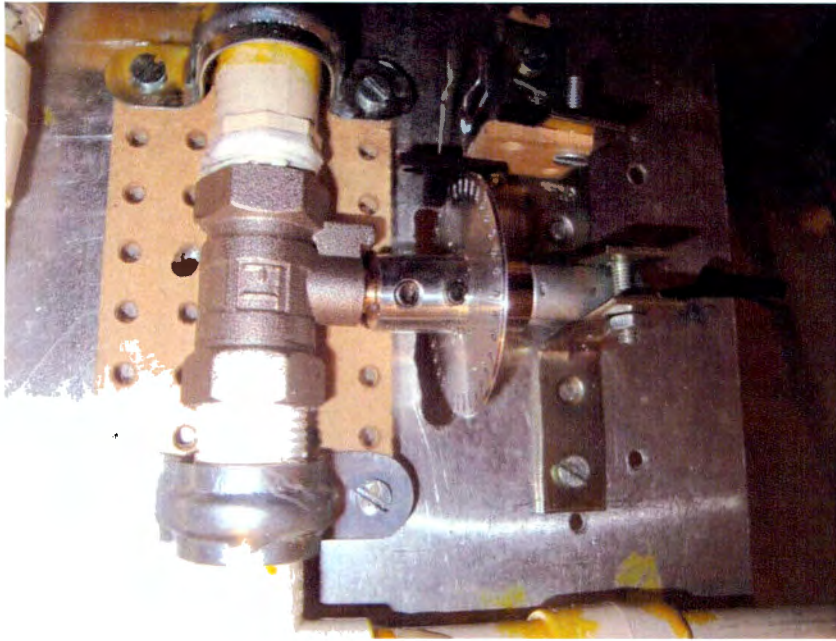


Figura 9. Válvula de posición física

Para comprender un poco del control de cada válvula, se explica lo siguiente:

El motoreductor de DC abre y cierra la válvula de bola a través del cople, el cual se encarga de mantener ambos ejes unidos. El cople también cuenta con un disco codificado, el cual es utilizado para controlar la posición de la válvula.

El sistema cuenta con 4 dispositivos de este tipo:

- Tubería de agua caliente
- Tubería de agua fría
- Salida de la regadera
- Salida auxiliar

La lógica difusa es la responsable de la operación de las válvulas de posición de la tubería de agua caliente y de la tubería de agua fría. El programa define el porcentaje de apertura de cada una respectivamente, para así lograr alcanzar la temperatura deseada por el usuario.

La salida de la regadera es controlada por el usuario directamente, el cual define un nivel de apertura de la válvula para permitir un mayor o menor flujo de agua (conocido coloquialmente como “presión”). Por el otro lado, la salida auxiliar presenta únicamente 2 estados, abierto o cerrado. Ésta se encuentra abierta hasta que el sistema logra alcanzar la temperatura inicial ingresada por el usuario. En ese momento, cuando el usuario ya esté listo para bañarse, la válvula de la tubería auxiliar se cerrará y la válvula de la regadera se abrirá.

5.2. Microcontrolador

El sistema opera utilizando un microcontrolador ATmega2560 de Atmel. Las características principales de este integrado son las siguientes:

- Microcontrolador de 8-bits de baja potencia
- Ofrece un máximo de 16 MIPS a 16MHz
- 256 KB de Memoria Flash, 4 KB de EEPROM, 8 KB de SRAM Interna
- Retención de datos: 100 años @ 25°C

- 86 líneas de Entrada/Salida
- ADC de 10 bits, 8/16 canales
- Dos Temporizadores/Contadores de 8-bits, 4 Temporizadores/Contadores de 16-bits
- 2/4 Puertos Seriales (USART)
- Oscilador Interno Calibrado
- 0 - 16 MHz @ 4.5 – 5.5V
- Fuentes externas e internas de interrupción

5.3. Fuente de alimentación

Como parte integral de este proyecto, se diseñó una fuente de alimentación con el fin de satisfacer los requerimientos de potencia para cada uno de los subsistemas involucrados en el mismo. La elección de los componentes para su implementación se encuentra basada en los requerimientos máximos del sistema.

Los motoredutores de DC necesitan 6VDC para operar correctamente y lograr el torque necesario para abrir la válvula correspondiente al control de flujo de agua. Por otro lado, la parte digital requiere como tensión máxima 12VDC (para poder expandir el sistema a una pantalla “*touchscreen*”), así como un voltaje lógico de 5VDC. En lo que se

refiere a los requerimientos de corriente, los motoredutores de DC necesitan de 692mA cada uno, como máximo, para su correcto funcionamiento. La parte digital requiere únicamente de 800 mA como corriente máxima si todos los subsistemas se encuentran activos. Con base en los requerimientos mencionados, el transformador fue diseñado para entregar 8.5Vrms @ 1A y 4.25Vrms @ 6A en sus devanados. A continuación se muestran los cálculos correspondientes al diseño del transformador, así como también los requerimientos de corriente del sistema:

$$V_{d1} = 8.5 \times \sqrt{2} = 12.021V$$

$$V_{d2} = 4.25 \times \sqrt{2} = 6.010V$$

- Vd1 corresponde al voltaje en el devanado 1 del transformador (Lógica Digital).
- Vd2 corresponde al voltaje en el devanado 2 del transformador (Motores).

Dispositivo	Corriente Máxima
LCD (2 líneas de 16 caracteres)	121mA
Atmega2560	200mA (todas sus líneas de salida activas)
Opto-interruptores ITR8102	50mA (cada uno)
LM35DZ	10mA (cada uno)
Motoredutores GM-21 de Solarbotics	692mA (cada uno)

Tabla 2: Requerimientos eléctricos de los dispositivos del sistema

Para obtener una señal de tensión constante de acuerdo a los valores anteriores, es necesario implementar un rectificador de onda completa. Esta configuración implementa 4 diodos rectificadores que permiten obtener como señal de salida una función sinusoidal rectificada con el mismo valor de tensión pico que la señal de entrada. En lo que se refiere a los diodos rectificadores, es necesario calcular la tensión de pico inverso para asegurar el buen funcionamiento del sistema. Esta tensión consiste en aplicar un factor de seguridad de 1.5 al voltaje pico de la señal correspondiente al devanado secundario. De esta manera, sabiendo que las señales en los devanados secundarios corresponden a 12V y 6V, es posible calcular la tensión de pico inverso:

$$TPI_{d1} = 1.5 \times 12 = 18V$$
$$TPI_{d2} = 1.5 \times 6 = 9V$$

Considerando que los diodos rectificadores 1N4001 soportan un voltaje pico de 50V y una corriente de polarización en directo de 1A, podemos afirmar que cuentan con las características necesarias para lograr la rectificación de las señal de entrada correspondiente a 8.5Vrms @ 1A. Por otro lado, se implementaron diodos 6A2 para la rectificación del devanado correspondiente a 4.25Vrms @ 6A. Estos diodos soportan un voltaje pico de 200V y una corriente de polarización en directo de 6A. En la siguiente etapa de rectificación, se implementa un capacitor de 2200uF @ 50V para cada uno de los devanados. La función principal de estos capacitores es el filtrado de la onda rectificada, lo que permite obtener una tensión lo más cercano a un valor constante (DC). Sin embargo, es necesario agregar un capacitor en paralelo con el capacitor de filtrado con el fin de

eliminar los rizados pequeños en la señal. Estos rizados son producidos por los efectos de carga y descarga del capacitor de filtrado. Un capacitor de 10 μ F permite eliminar los rizados pequeños en la señal y obtener una tensión de salida constante. Con estos componentes concluye la etapa de rectificación de ambas señales, obteniendo a la salida una señal de DC con los valores mencionados anteriormente.

En lo que se refiere al devanado destinado a la parte lógica del sistema, se implementa un regulador de voltaje LM7805. Este regulador se utiliza para obtener 5V @ 1A como señal de salida para la alimentación de los sistemas digitales (LCD, MCU, L293B, LM35 e ITR8102), e implementa dos capacitores cerámicos, uno de 0.33 μ F y otro de 0.1 μ F. Estos capacitores tienen como función principal mantener un voltaje constante tanto a la entrada como a la salida del regulador. Su valor viene especificado en la hoja de datos del componente, el cual corresponde al sugerido por el fabricante. Este regulador de voltaje permite limpiar la señal proveniente de la etapa de rectificación y filtrado. Este proceso es absolutamente necesario, ya que los componentes electrónicos y digitales que se encuentran alimentados a partir de esta fuente requieren de una señal constante e invariante para asegurar su correcto funcionamiento.

Por otro lado, el devanado correspondiente a los motoreductores de DC no requiere de un regulador de voltaje, ya que pequeños picos y variaciones en la señal no afectan el funcionamiento de los mismos.

Estos componentes conforman la etapa de rectificación y filtrado para ambos devanados del transformador. La siguiente imagen muestra el circuito correspondiente a la fuente de alimentación del sistema completo, implementando los componentes descritos en los párrafos anteriores.

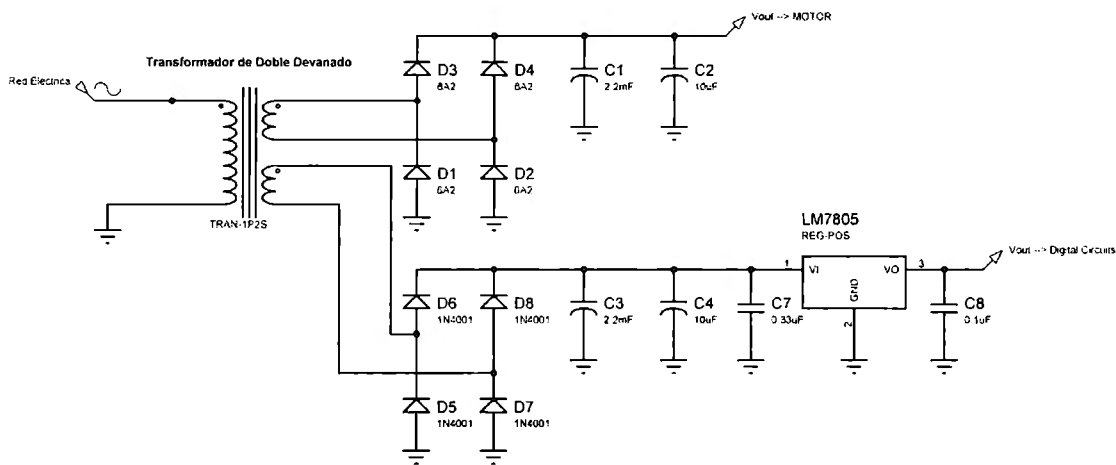


Figura 10. Fuente de alimentación

5.4. Sensores de temperatura

Los sensores de temperatura utilizados para este proyecto corresponden al LM35, el cual es un sensor de temperatura de precisión. Cuenta con una resolución lineal de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ y un rango de temperatura de -55°C a $+150^{\circ}\text{C}$. Este rango cubre perfectamente los requerimientos del sistema ($10^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$). Así mismo, el consumo de corriente del sensor cuando se encuentra inactivo es de aproximadamente $60\mu\text{A}$. Se utilizarán 3 de estos sensores para la medición de temperatura, los cuales se encuentran en los siguientes puntos:

- Tubería de agua caliente (Temperatura máxima)
- Tubería de agua fría (Temperatura mínima)
- Antes de la salida de la regadera (Temperatura actual)

El tercer sensor es por medio del cual trabajan los algoritmos de control; diseñados para alcanzar la temperatura deseada de la manera más eficiente posible. Los primeros 2 nos permiten definir la temperatura mínima y máxima que puede alcanzar el sistema.

5.5. Sistema de tuberías

El sistema de tuberías está diseñado de tal manera que el flujo de la tubería de agua caliente y de la tubería de agua fría se mezcle de acuerdo al algoritmo de control para posteriormente determinar si el agua se desvía al sistema auxiliar o se manda directamente a la salida de la regadera. A continuación se presenta un diagrama más detallado del sistema:

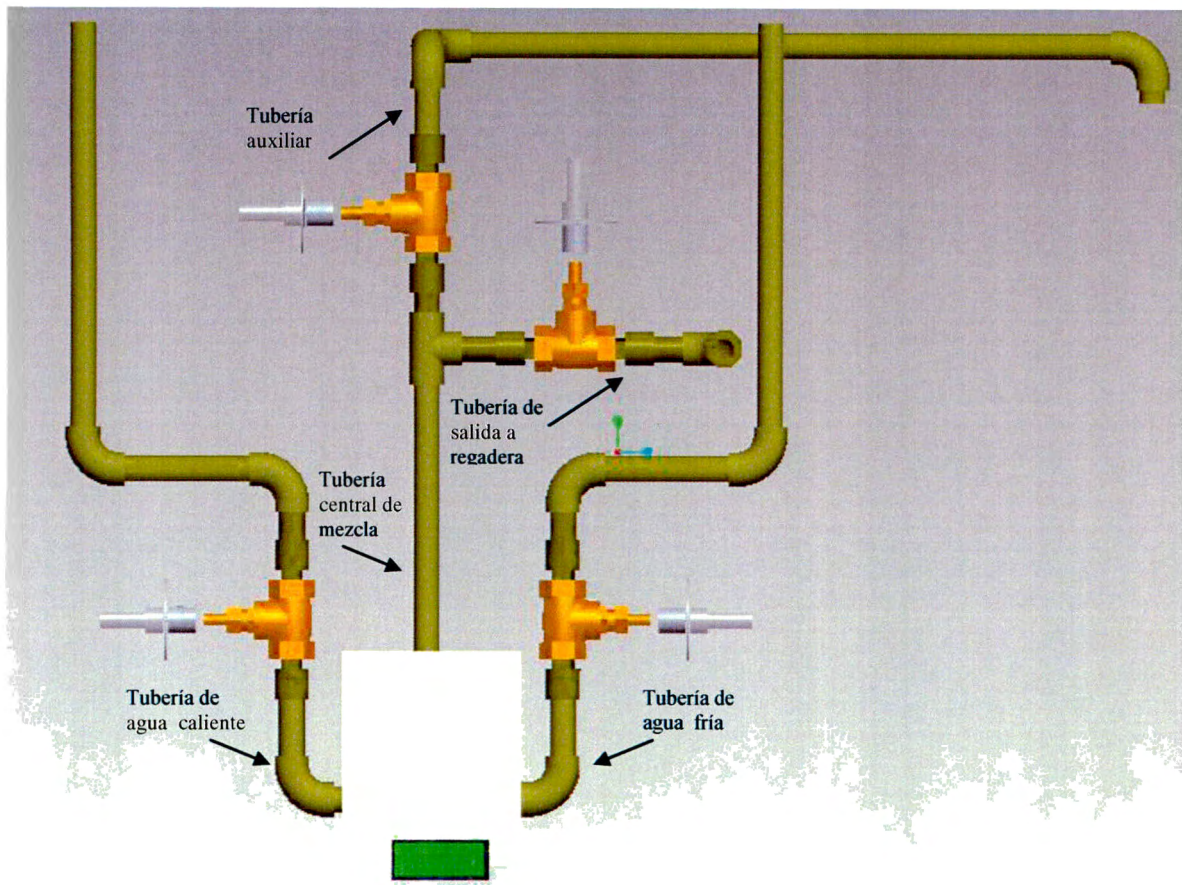


Figura 11. Modelo del sistema en 3D

6. Subsistemas

6.1. Interfaz de usuario

La interfaz de usuario consta de 6 botones y un LCD de 2 líneas con 16 caracteres cada una. El LCD se utiliza para mostrar al usuario diferentes mensajes y datos relevantes, dependiendo de la acción de los botones. A continuación se muestra el diseño de la interfaz de usuario:

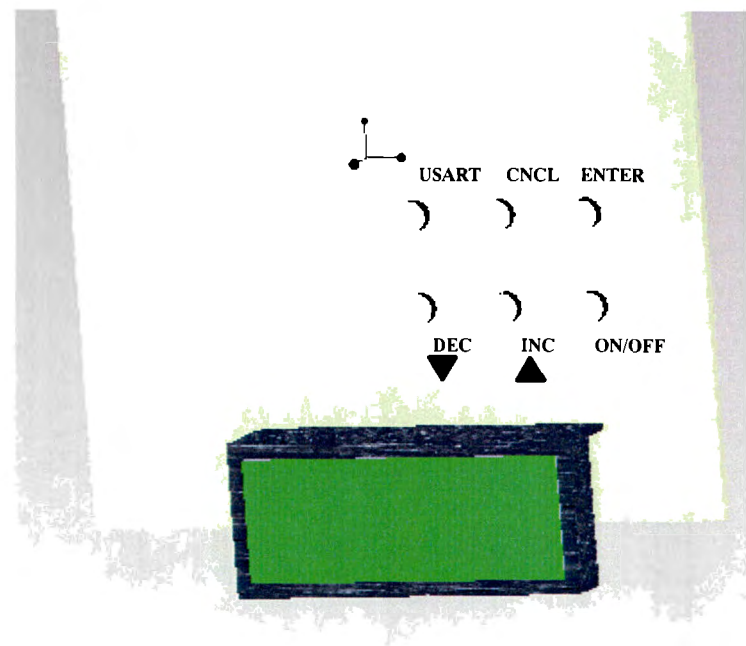


Figura 12. Modelo 3D de la interfaz con el usuario

Al energizar el sistema se despliega el mensaje de “Sistema Encendido”. Una vez que el usuario enciende el sistema con el botón “ON/OFF” se muestra el mensaje de “Bienvenido”, para posteriormente dar la opción al usuario de elegir la “Temperatura Deseada”. Para dicha tarea el sistema cuenta con un botón de decremento (“DEC”) y un botón de incremento (“INC”) para el valor de temperatura que se muestra en el LCD. El valor va cambiando de acuerdo al botón presionado por el usuario. Es importante recordar los sensores en las tuberías de agua fría y agua caliente. En el caso del agua fría, el sensor especifica la temperatura mínima que puede ofrecer el sistema. Para el agua caliente, la temperatura máxima que puede elegir el usuario es de 45°C para evitar lesiones, a menos que la temperatura del agua caliente que proviene del calentador se encuentre por debajo de este valor. En caso de cumplirse esto, el valor máximo es el que registra el sensor en la tubería de agua caliente. Tomando esto en cuenta, en caso de que

el usuario alcance alguno de estos 2 valores, se mostrará en la pantalla el mensaje de “Temperatura máxima!!” o “Temperatura mínima!!” según corresponda, imposibilitando al usuario sobrepasar estos valores. Una vez que el usuario ha elegido la temperatura deseada, presiona el botón de “ENTER” para continuar con la selección del nivel de presión de la regadera. El nivel de presión se encuentra entre 0 y 9 y, al igual que la temperatura, se elige por medio de los botones de incremento y decremento. Nuevamente el usuario debe presionar “ENTER” para permitir al sistema desplegar el mensaje “Procesando.... Espere por favor” mientras el control se encarga de lograr la temperatura objetivo. En caso de que el usuario desee cancelar la operación sin apagar el sistema, debe presionar la tecla “CANCELAR”, con la cual el sistema vuelve a desplegar el mensaje de “Bienvenido” para iniciar nuevamente con la selección de Temperatura. Una vez que se alcanza la temperatura deseada, se muestra en la pantalla el mensaje “Listo!...Presione Enter”. Esta pantalla permanece desplegada hasta que el usuario presione la tecla ‘Enter’. Una vez que se presiona esta tecla, comienza a salir agua por la regadera. Acto seguido, se despliega en la pantalla la temperatura deseada; esto con el propósito de que el usuario pueda modificarla en tiempo real. Una vez que el usuario desea apagar el sistema, simplemente presiona el botón de “ON/OFF”. Finalmente, el sistema despliega un mensaje de “Apagando sistema...” mientras cierra todas las válvulas para posteriormente apagarse.

6.2. Adquisición de datos

Este subsistema se encuentra dividido en 2 partes: sensores de temperatura y “*encoders*”. En lo que respecta a sensores de temperatura, estos se encuentran dispuestos en 3 secciones distintas del sistema como ya se mencionó anteriormente (tubería de agua caliente, tubería de agua fría y tubería central). La adquisición de datos para el control de temperatura se realizó utilizando el convertidor analógico-digital del microcontrolador ATmega2560. Se utilizaron 3 canales del ADC, uno por sensor. La configuración es la siguiente:

- Canal 0 (ADC0) → Sensor de temperatura caliente
- Canal 1 (ADC1) → Sensor de agua fría
- Canal 2 (ADC 2) → Tubería central
- 10 bits de resolución
- 1.1V de voltaje de referencia
- Período de muestreo ocupado para el control: $T = 100\text{ms}$

Una vez que los valores son leídos por el convertidor, el valor se encuentra entre 0 y 1024, ya que se encuentra configurado para una resolución de 10 bits. Esto quiere decir que como máximo se puede obtener una temperatura de 110°C con un voltaje de referencia de 1.1V. Los valores necesitan ser normalizados, es decir, convertidos a valores

de temperatura en °C para poder ser interpretados en el algoritmo de control. La siguiente ecuación muestra la normalización de ambos valores del convertidor:

$$adc_v1_norm = adc_v1 \times \left(\frac{1.1}{1024 \times 0.01} \right)$$

Donde adc_v1 representa el valor del convertidor entre 0 y 1024. De esta manera podemos obtener cualquier valor de temperatura que se encuentre entre 0 y 110°C.

6.3. Control

Para la ejecución de control, se toma el valor de la temperatura medida en la tubería final. Este valor llegar a la rutina de control ya como un número “float” en grados centígrados. Tomando este valor, se obtiene el error [°C]. Sin embargo, se debe mencionar que dentro de la programación, existe un filtro digital sencillo para la temperatura medida. En sí, lo que se hace es tomar cinco valores de temperatura y se obtiene el promedio de ellos. Clarificando un poco más las cosas, el período T de muestreo es de 100ms, por ende, se toman muestras de temperatura cada 20ms y al juntar cinco de ellas, se promedian y se obtiene la temperatura.

Al momento de contar con el valor de temperatura promediada, se obtiene el error:

$$e(k) = SP - PV(k)$$

Después, la rutina calcula la diferencial del error [°C/s]:

$$\dot{e}(k) = \frac{e(k) - e(k-1)}{T}, \quad T = \text{Período de muestreo}$$

Ya teniendo las dos variables antes mencionadas, comienza a procesar el control difuso. Para ello, el error y la diferencial del error se fusifican con la función "mínimo", a partir de los siguientes conjuntos difusos:

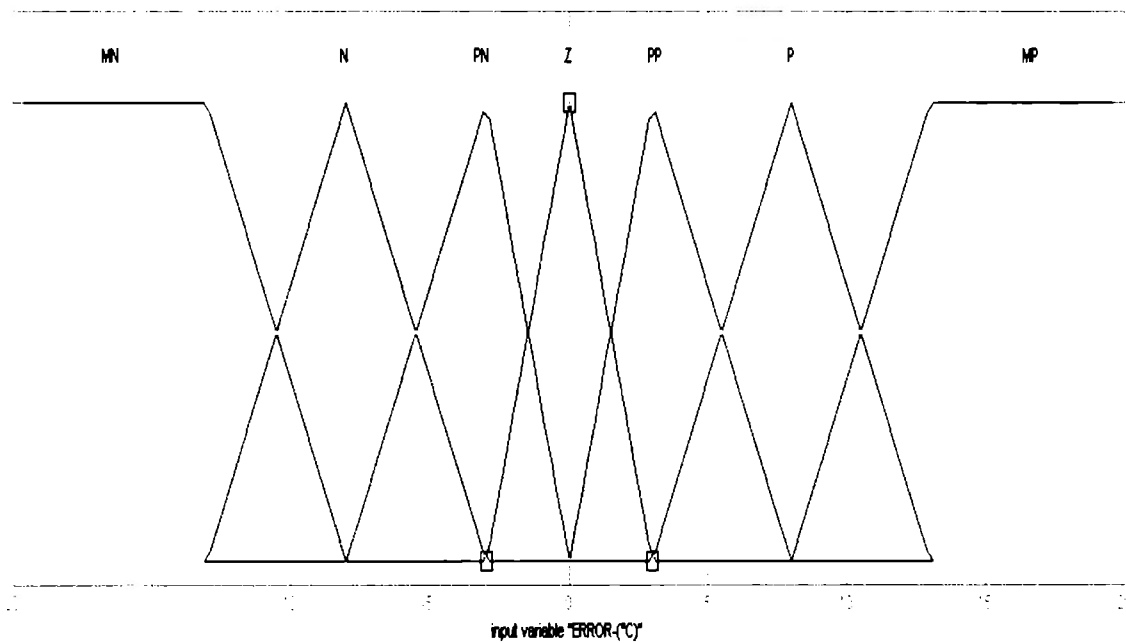


Figura 13. Conjuntos difusos para el error [°C]

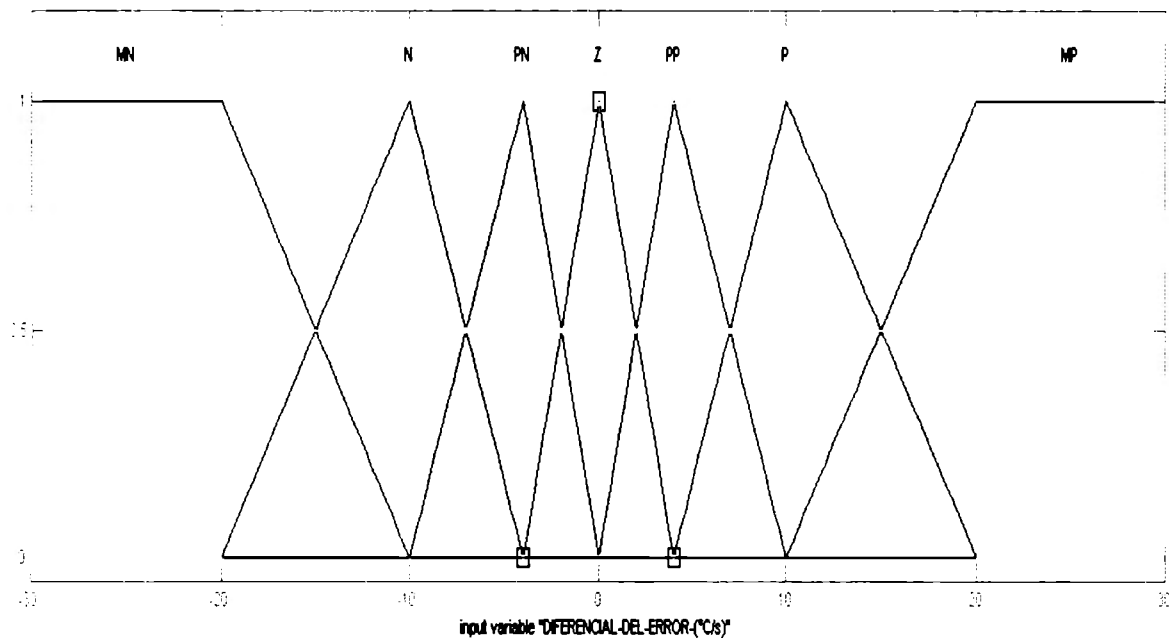


Figura 14. Conjuntos difusos de la diferencial del error [°C/s]

A partir de los conjuntos difusos mostrados en las figuras 13 y 14, se obtienen 49 reglas. Dicha cantidad de reglas se alcanza al realizar una matriz de 7 x 7, proveniente de la unión de los 7 conjuntos difusos para el error y los 7 para la diferencial del error.

Por último, para defusificar la variable de salida se ocupó promedio de alturas.

Dicha defusificación se basa en los siguientes conjuntos difusos para la salida [%]:

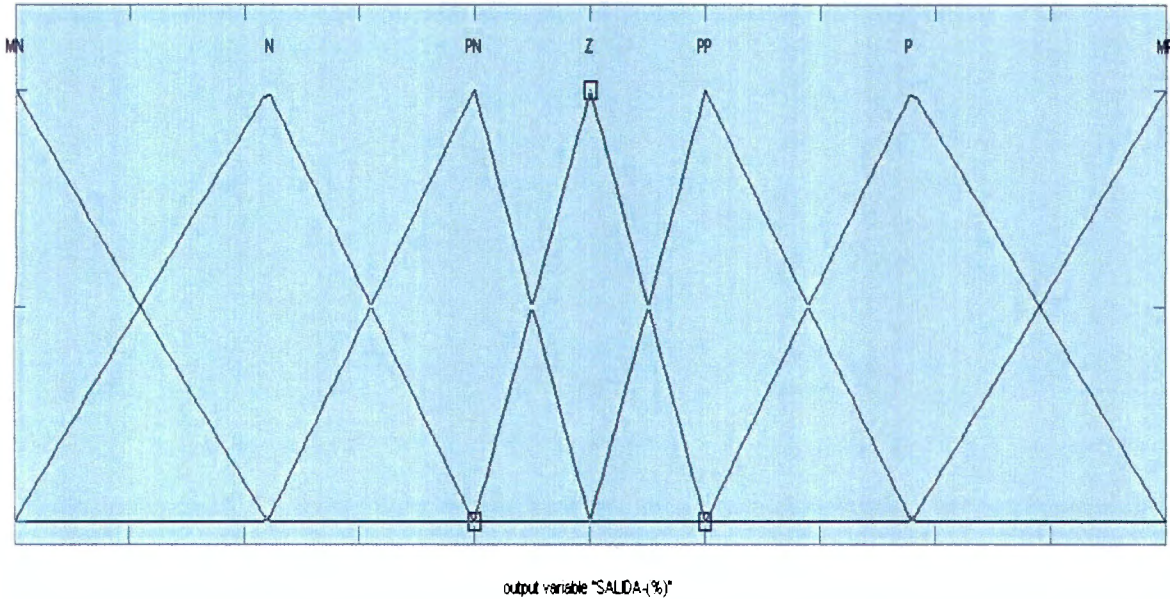


Figura 15. Conjuntos difusos para la salida [%]

Como se puede observar en la figura 15, la salida es un porcentaje que va de -25% a 25%. Éste porcentaje es con respecto al total de cuentas de la válvula de posición, en este caso, 18 cuentas. Además, este porcentaje se aplica para dos válvulas a la vez, la caliente y la fría. Aunque a una de ellas se le aplica el porcentaje multiplicado por -1. La razón por la cual se aplica a ambas válvulas, es porque el porcentaje de apertura de ambas válvulas debe sumar 100%.

Para poner un ejemplo, se suponen a las válvulas de agua caliente y fría abiertas al 50%. En otras palabras, ambas válvulas están en la cuenta número 9 del disco codificado. Ahora, después de un período de muestreo, el control arroja un valor de salida de +10%.

Esto quiere decir que las válvulas se deben mover un 10% hacia un aumento de temperatura, por lo que la válvula del agua caliente se moverá $(+10\%) * (18 \text{ cuentas})$ y la válvula del agua fría se moverá $(-10\%) * (18 \text{ cuentas})$.

El 10% de 18 cuentas es 1.8, pero al aplicar el redondeo, se tienen 2 cuentas. Como anteriormente ambas válvulas estaban en la cuenta 9, las cuentas a las que deben de llegar son las siguientes:

- Válvula del agua caliente:
 - Cuentas actuales = 9
 - Cambio en cuentas = +2
 - Cuentas a las cuales se debe de desplazar la válvula de posición = $9 + 2 = 11$

- Válvula del agua fría:
 - Cuentas actuales = 9
 - Cambio en cuentas = -2
 - Cuentas a las cuales se debe de desplazar la válvula de posición = $9 - 2 = 7$

Algo que se debe recalcar, es que en el caso en el cual se llegue a suscitar que una válvula se tenga que mover a más de 18 cuentas y la otra a menos de 0, el programa trunca los movimientos hasta el máximo y mínimo de cuentas, respectivamente.

Después de haber descrito el funcionamiento del control difuso PD que se ocupa en la regadera automatizada ahorradora de agua, se explicarán las razones por las cuales se eligieron algunos de sus parámetros:

- Control difuso PD: Se ocupó un control difuso proporcional-diferencial puesto que permite tener cambios en el “*Set Point*”. De igual manera, la razón por la cual se ocupó el PD fue para tener la parte derivativa, la cual acelera el proceso de control. En el caso de un control de temperatura, en el cual los cambios son relativamente lentos, se requiere de una acción derivativa. Es importante recalcar que para posibles mejoras en el sistema, hay que llegar a probar un control difuso PID y analizar su respuesta. Por desgracia, el tiempo no le alcanzó al equipo para llegar a este punto en su primer prototipo.
- Límites de los conjuntos difusos del error: Por experiencia de los diseñadores en el manejo de una regadera, al momento de intentar llegar a una temperatura agradable para el cuerpo humano.
- Límites de los conjuntos difusos de la diferencial del error: Analizando datos arrojados por las pruebas realizadas, se observó el cambio mínimo registrable, el cambio promedio y el cambio máximo. Con esa información se comenzaron a hacer los conjuntos difusos.
- Límites extremo de la salida (-25% y +25%): Se comenzó ocupando los límites de -100% y +100%, sin embargo, el sistema tenía demasiadas oscilaciones y sumamente bruscas. Después de ello, los diseñadores pensaron que un usuario casi nunca abre o cierra una de las dos llaves al 100%, sino más bien, mueven las válvulas con giros pequeños. Es por ello que los límites se fueron acortando, hasta llegar a los actuales. Con estos límites, el control funciona de manera ágil y además, con bajas oscilaciones.

6.4. Actuación

El subsistema de actuación consta de 4 válvulas de posición, las cuales se encargan de controlar el flujo en cada una de las tuberías. Como se mencionó anteriormente, cada válvula cuenta con un motoreductor de DC que opera a 4.5V. El problema es que cada uno de ellos consume en promedio 250 mA y picos de hasta 700 mA y el ATmega2560 no es capaz de suministrar dicha corriente para cada motoreductor. Por tal motivo, se utiliza un puente H para cada uno de los motoredutores. En este caso se utilizó un circuito integrado L293B, el cual cuenta con 2 puentes H completos por chip y puede suministrar hasta 1.2 A de corriente en modo continuo en cada canal. La desventaja de este chip es que no cuenta con diodos de protección internos, por lo que necesitan ser colocados externamente para proteger el microcontrolador.

El sentido de giro de cada motoreductor para determinar la apertura o cierre de la válvula es controlado por medio de líneas de salida del ATmega2560. Cada motoreductor cuenta con 2 líneas, las cuales cambian de estado de 0 a 1 o viceversa para dictar la polaridad. La terminal de ENABLE siempre se encuentra habilitada, ya que el motoreductor es frenado al poner en 0 ambas líneas. El frenado se hace de esta forma porque así aseguramos que el eje se detiene por completo en ese instante, si se hiciera utilizando el ENABLE, el eje continúa moviéndose por unos momentos debido a la inercia que lleva.

El disco codificado que se encuentra en el cople es para controlar la posición de la válvula. Para esto se utiliza un “*encoder*”, es decir, un opto-interruptor que manda un pulso cada vez que se interrumpe el haz de luz entre sus terminales. Esto ocurre cada instante que hay una transición entre los distintos hoyos del disco codificado. La apertura y cierre de la válvula de bola ocupa únicamente 90° de trayectoria. Esto quiere decir que únicamente se ocupa la cuarta parte de las cuentas que posee el disco codificado. El total de cuentas es de 72, pero únicamente se utilizan 18 cuentas en este caso. Los discos codificados están maquinados de esta forma porque en un futuro se puede cambiar la válvula de bola por una válvula de compuerta, la cual necesita todas las cuentas del disco codificado.

La adquisición de datos de los “*encoders*” se hace por medio de interrupción. Cada uno cuenta con un pin de interrupción propio, esto es para evitar pérdida de cuentas. Con cada interrupción se actualizan las cuentas de cada motoreductor por separado dependiendo del sentido de giro en el que se encuentre (abriendo o cerrando). Con esto se tiene un control de apertura y cierre, ya que las cuentas en 0 representan el cierre de la válvula y 18 la apertura al 100%.

La lógica difusa PD se encarga de controlar el movimiento de las válvulas de posición de las tuberías de agua caliente y agua fría. La válvula de salida de la regadera la controla el usuario al especificar el nivel de presión de salida deseado. También es controlada por el sistema, ya que mientras se calienta el agua esta válvula se encuentra cerrada para dirigir el agua hacia el sistema de recirculación. La válvula del sistema

auxiliar únicamente tiene 2 estados (abierta o cerrada), dependiendo de si el agua se encuentra lista o no.

7. Resultados

7.1. Problemáticas encontradas

A lo largo del desarrollo del proyecto se presentaron obstáculos, algunos pudieron ser resueltos pero en algunas ocasiones la solución tuvo que ser por un camino diferente.

En lo que respecta a la válvula de posición, se presentaron conflictos en los siguientes rubros:

- **Motoreductores** → Conseguir un motor con dimensiones pequeñas, un bajo consumo de potencia y suficiente torque para abrir y cerrar válvulas de bola.
- **Cople** → Maquinado de un cople que permitiera la correcta transmisión de torque entre el motoreductor y la válvula, y que al mismo tiempo pudiera contar con un disco codificado con suficientes cuentas para obtener la resolución necesaria para un control de posición óptimo.
- **Válvula** → Utilización de una válvula cuyo torque no superará el torque de los motoreductores y cuyo vástago no se desplazara con la apertura y cierre de la misma.

- Montaje → Alineación correcta entre los ejes de la válvula y el motoreductor para obtener la máxima transmisión de torque posible.

En el caso de los puentes H de los motoreductores se presentó lo siguiente:

- Caídas de voltaje y demandas de corriente → En ocasiones, por desviaciones en los ejes en el acoplamiento del motoreductor y la válvula, la corriente requerida por el motoreductor superaba los límites de corriente permitidos. Esto ocasionaba una caída de voltaje indeseable en el sistema

Uno de los problemas más críticos que se presentaron fue la fuga en los sensores y en el sistema de tuberías. Al resultar inexpertos en el área de plomería, el sellado del sistema no fue el óptimo. Por tal motivo, se requirió de asistencia de un plomero para sellar tanto el sistema de tuberías como los sensores. Pero aún con la asistencia de un experto en plomería, tuvieron que pasar 4 intentos para lograr sellar los sensores de temperatura.

- Instrumentación → El sellado de los sensores fue el problema más grande al que nos enfrentamos, ya que la instalación de dichos dispositivos en el sistema requería de un hoyo en las tuberías. Dicho agujero tenía que quedar sellado perfectamente con el sensor dentro y las terminales de fuera. Después de probar distintas opciones de sellador, encontramos la forma óptima para la colocación de dichos dispositivos. Cada uno se colocó dentro de una manguera de pecera y se selló el mismo. Posteriormente se colocó dentro de la tubería y se selló nuevamente.

- Roscas → En el caso de las roscas, se utilizó teflón y sellador de 1 paso para CPVC. Con esto, se logró evitar las fugas en juntas y roscas a lo largo del sistema de tuberías.

Otro problema importante de mencionar es el desmontaje y montaje del sistema. Cada vez que se tenía que realizar un cambio en las tuberías por fuga, era necesario desmontar el sistema para hacer todas las modificaciones pertinentes. Una vez realizadas las modificaciones, era indispensable esperar hasta medio días para que sellara. Ya después se procedía a montar el sistema. Esto implicaba mucha pérdida de tiempo en la que no se podía avanzar, ya que no era posible realizar pruebas del mismo durante este tiempo muerto.

7.2. Pruebas del sistema

Para mostrar el desempeño del sistema, se obtuvieron gráficas de control. Dichas gráficas se realizaron a partir de las mediciones de temperatura en tiempo real del sistema. Para obtener los valores medidos se ocupó el puerto serial del microcontrolador. A continuación se muestran dos gráficas que representan la respuesta del sistema a un cambio de tipo escalón. Dichos cambios se realizaron modificando el punto de ajuste de la temperatura deseada. La siguiente gráfica muestra un cambio de tipo escalón de 21°C (la temperatura debe cambiar de 21°C a 42°C).

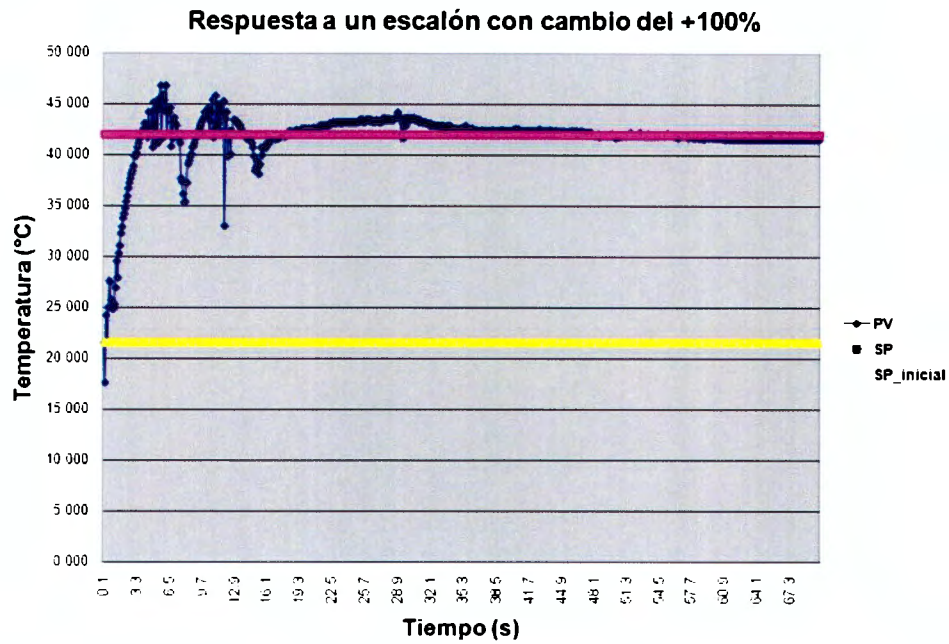


Figura 16: Respuesta a un escalón unitario con cambio del +100%

La siguiente gráfica muestra un cambio de tipo escalón de -28.8°C (la temperatura debe cambiar de 53.8°C a 25°C).

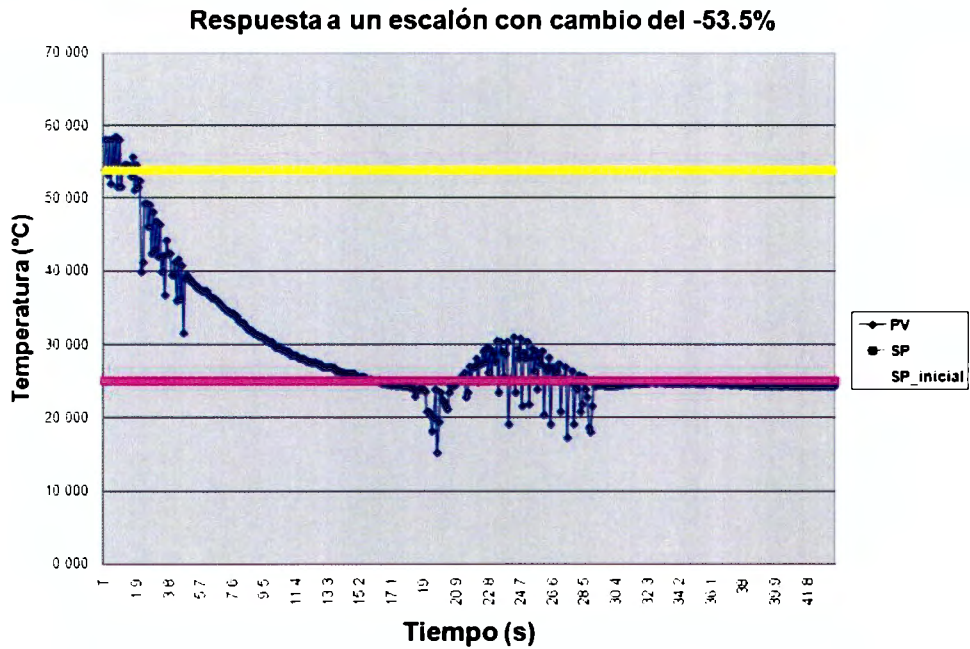


Figura 17: Respuesta a un escalón unitario con cambio del -53.5%

Tecnológico de Monterrey, Campus Ciudad de México
Biblioteca

Ambas figuras, 16 y 17, muestran la respuesta del sistema a un escalón unitario. Sin embargo, en la Figura 16 el escalón unitario es positivo con respecto al punto inicial, mientras que la Figura 17 muestra lo contrario. En ambas figuras se puede observar un sobretiro pequeño, algo que todavía no se ha logrado erradicar. Lo importante a recalcar, son las bajas oscilaciones que muestra el sistema. En la Figura 16 se muestran sólo dos sobretiros significantes, ya después, el sistema comienza a establecerse en el “*Set Point*”. Por el otro lado, en la Figura 17 se ve un sobretiro y después de ello, el sistema comienza a establecerse.

Al analizar las figuras 16 y 17, se ve claramente que el “*Set Point*” fue alcanzado por el sistema. Empero, el problema de dichas respuestas radica en que ambas gráficas muestran varios valores que pudieran ser considerados como ruido. Para eliminar dichos errores de medición, se ocupó un filtro digital. Al aplicar el filtro digital, explicado anteriormente en el documento, se obtuvo una respuesta mucho más limpia:

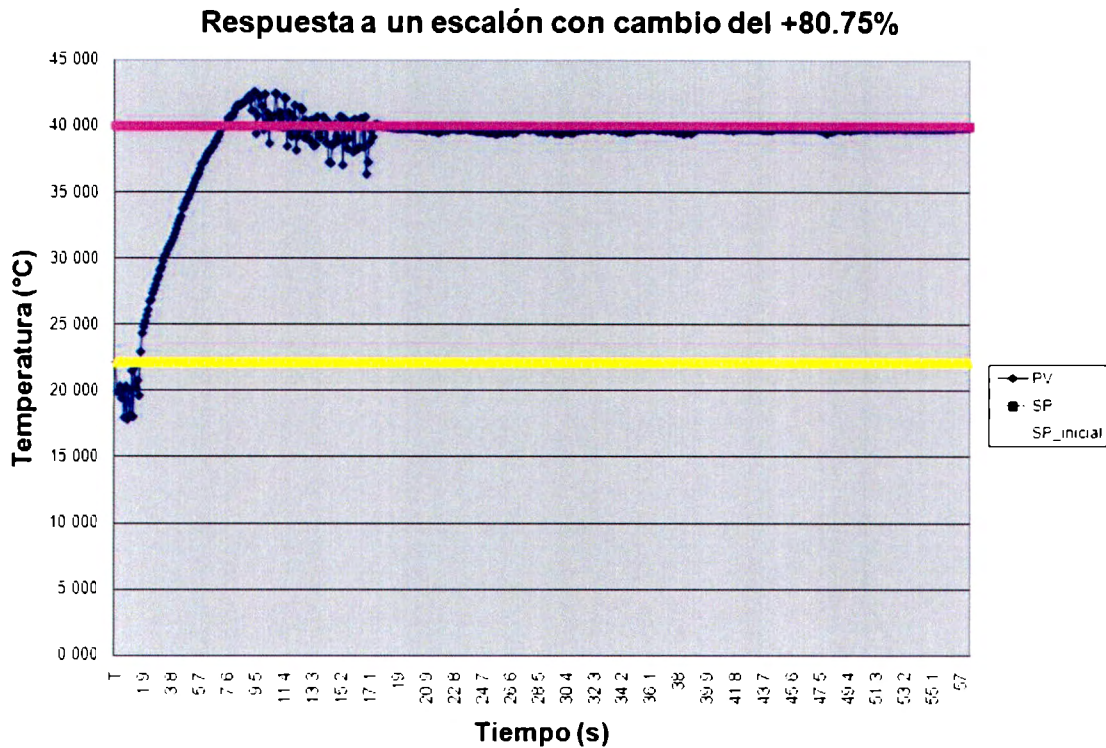


Figura 18: Respuesta a un escalón unitario con cambio del +80.75%, incluyendo filtro digital

La Figura 18 no sólo mejoró en cuanto a la disminución del ruido en la variable de proceso, sino que también muestra una mejor respuesta del sistema. Como se puede ver, tan sólo se suscitó un pequeño sobretiro y después, el sistema se estableció. Después de analizar varios resultados, se concluyó que la respuesta mejoró puesto que la rutina de control casi no recibía mediciones alteradas por el ruido. Al recibir valores de temperatura más precisos, el control funcionó de manera más adecuada.

Después de lograr tener un control difuso PD casi acorde con los objetivos iniciales, se procedió a realizar cambios del "Set Point" en tiempo real. A lo que se refiere "cambios en tiempo real" es a que el usuario vaya cambiando la temperatura deseada conforme se va bañando. Las Figuras 16 a 18 muestran respuestas a un solo cambio de "Set Point". En

sí, dichas gráficas representan el comportamiento de la regadera automatizada ahorradora de agua al momento que el usuario ingresa la temperatura deseada inicial. En ese momento, el agua está en recirculación y no se desperdicia, tan sólo espera a que se alcance la temperatura deseada y le avisa al usuario cuando ya se puede meter a bañar.

Ahora se mostrará una gráfica que muestra cambios de "Set Point" en tiempo real.

Dicha gráfica representa el comportamiento del sistema cuando el usuario ya se está bañando y está cambiando la temperatura deseada:

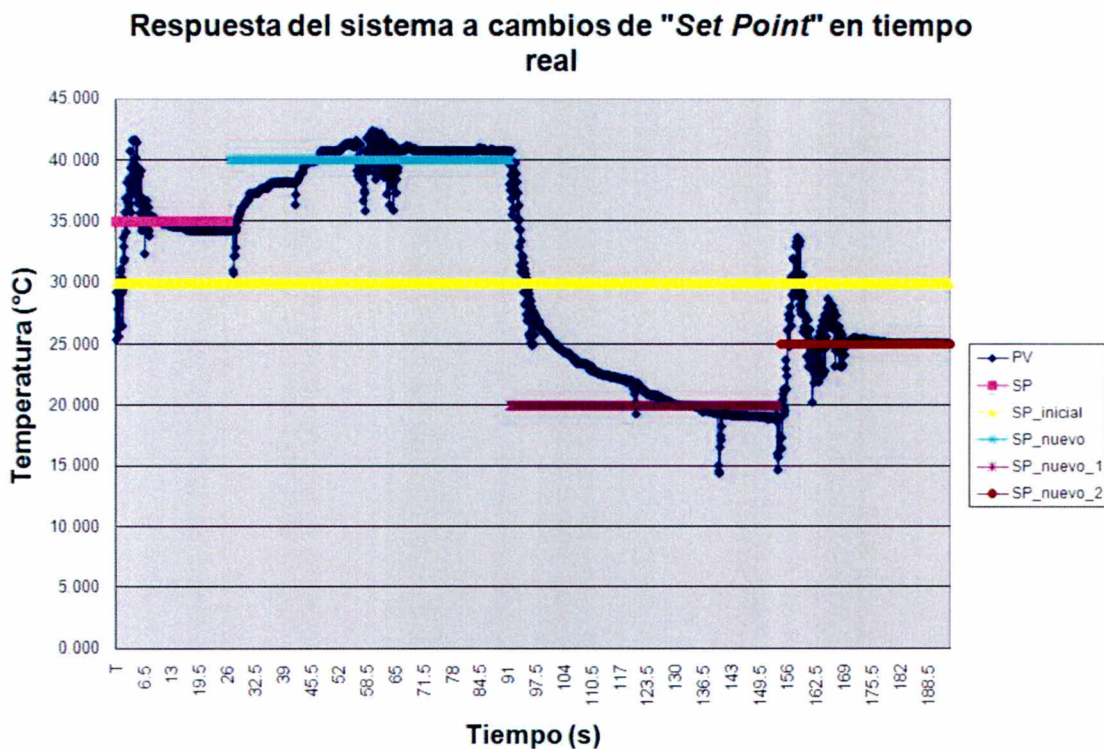


Figura 19: Respuesta del sistema a cambios de "Set Point" en tiempo real

La Figura 19 muestra 4 cambios en el "Set Point" de la temperatura deseada. Como se puede apreciar, el control logra alcanzar la temperatura del agua en todos y cada uno de los cambios realizados. A pesar de ello, siguen existiendo algunos sobretiros. Por

ejemplo, cuando se ingresa el “*Set Point*” marcado con color rosa, el sistema muestra un sobretiro, al igual que en el último “*Set Point*” (color café). Sin embargo, también se muestran otros dos “*Set Points*” en los cuales no se muestra un sobretiro significativo.

Por último, es importante notar en la Figura 19 que el sistema casi no cuenta con oscilaciones, lo cual ofrece una mejor respuesta de control. Con esto, se concluye que los objetivos iniciales del control fueron casi alcanzados. El control difuso PD de la regadera automatizada ahorradora de agua reacciona rápidamente y muestra muy bajas oscilaciones, aunque también presenta pequeños sobretiros.

7.3. Objetivos logrados

Primeramente, cada uno de los objetivos específicos fue alcanzado a su debido tiempo a pesar de todos los obstáculos que se presentaron en el camino. El desarrollo de una válvula de posición no fue sencillo. La selección de cada uno de los componentes fue clave para el óptimo funcionamiento de la misma. El motoreductor tenía que contar con un torque considerable que fuera capaz de abrir y cerrar la válvula de bola sin problemas, pero con un bajo consumo de potencia. Fue necesario aprender a utilizar las máquinas CNC para el maquinado de los coples, dado que el diseño se realizó primeramente en un modelo 3D para posteriormente transcribirlo al código G. Sin embargo, es importante mencionar que la válvula de posición que se tiene actualmente tiene la posibilidad de varias mejoras, entre ellas: disco codificado con código Gray y ocupar una válvula de compuerta

La teoría de Control Difuso fue un tema completamente nuevo para el equipo. Dado que no se conocía el modelo del sistema y, al tratarse de un control de temperatura multivariable, no resultaba fácil determinarlo. Asimismo, como el sistema no cuenta con medición de flujo, una de las dos variables de entrada no podía ser medida. Por ello es que se recurrió al control difuso. Finalmente se optó por el diseño de un controlador difuso PD.

El diseño de un sistema de instrumentación preciso y sin fugas representó todo un reto. Dada nuestra falta de experiencia en el área de plomería, fue necesario dedicar un tiempo considerable al sellado de sensores y juntas. Con la ayuda de un plomero, finalmente se logró estandarizar el proceso de sellado de sensores y juntas para obtener un sistema funcional.

El sistema de potencia también es parte de los logros de este proyecto, ya que uno de los objetivos es el ahorro. Los requerimientos de cada uno de los componentes del sistema tenían que ser cubiertos, pero fue necesario cuidar los excedentes para no generar pérdidas de potencia.

De acuerdo al objetivo principal planteado al inicio de este proyecto, podemos decir que se logró el desarrollo de una regadera totalmente automatizada, económica y ahorradora de agua. El prototipo diseñado es un sistema funcional que cumple con todos los objetivos planteados, tanto en el tema del medio ambiente como en el aspecto económico.

7.4. Costo del sistema

El costo aproximado del sistema completo se detalla a continuación:

Componente	Precio Total
Registro de Aluminio	\$ 120.00
Cople de Aluminio	\$ 16.00
Tornillos, Tuercas y Prisioneros	\$ 30.00
Abrazaderas y L's	\$ 65.00
Válvula de bola MetalFlu	\$ 160.00
Tubería CPVC (metros)	\$ 10.00
Manguera de Pecera (metros)	\$ 0.30
Motoreductor Solarbotics GM21	\$ 800.00
Sensor de Temperatura (LM35DZ)	\$ 51.00
Encoder (ITR8102)	\$ 64.00
Motor Driver (L293B)	\$ 52.00
Push Button	\$ 27.00
LCD 2x16 (JHD - 162ASTNLED)	\$ 120.00
Compuerta Lógica AND (SN7408BN)	\$ 10.50
Resistencias de diversos valores	\$ 3.00
Capacitores de diversos valores	\$ 58.00
Diodos	\$ 36.00
Cable (metros)	\$ 37.50
Headers	\$ 13.50
Regulador de voltaje (LM7805)	\$ 0.50
ATmega2560	\$ 220.69
Placa de Cobre	\$ 150.00
Total	\$ 2,044.99

Tabla 3: Resumido del costo del sistema

8. Conclusiones

8.1. Alcance final del proyecto

Desarrollo del primer prototipo de una regadera automatizada, económica y ahorradora de agua. Dicho proyecto se realizó con el claro objetivo de atacar uno de los graves problemas ambientales que enfrentamos actualmente, la falta de agua.

Cabe mencionar, que el desarrollo de este proyecto es totalmente integrador, ya que ocupa conceptos adquiridos de diversas áreas de estudio, entre ellas:

- Manufactura
- Electrónica de potencia
- Microcontroladores
- Control
- Otras

Aunque queda camino por recorrer para llegar al producto final, esta primera aproximación se puede considerar que fue muy exitosa.

8.2. Mejoras futuras para el sistema

El sistema aun no se encuentra completamente terminado como para presentarse como un producto final. Todavía pueden hacerse muchas mejoras para perfeccionar el funcionamiento del mismo. Entre las principales que podemos mencionar se encuentran:

- Mejoras en la válvula de posición → La desventaja del disco codificado con el que cuenta actualmente el dispositivo radica en el hecho de que si se pierda una cuenta en algún momento, no hay forma de comprobar o de saber que se ha perdido una cuenta. Para el caso de un sistema como éste, una válvula tiene que quedar completamente cerrada para evitar fugas de agua. Para esto se puede implementar un disco codificado con código Grey, el cual permitiría un mejor control de las cuentas.
- Reducción de sistemas electrónicos → Toda la circuitería del sistema necesita ser de montaje superficial para ocupar el mínimo tamaño posible y también tiene que estar completamente aislada para evitar accidentes en caso de una fuga inesperada.
- Pantalla touchscreen + aplicaciones extras → Esto es para la versión no económica del sistema, la cual contaría con una pantalla touchscreen como interfaz de usuario. Algunas de las funciones extras con las que contaría esta versión es la opción de radio y mp3.

Diseño estético de ambas versiones → El diseño estético de la interfaz de usuario es indispensable ya que tiene que ser llamativo para el cliente y cumplir con el aislamiento necesario para evitar accidentes. En este caso, también es importante mencionar que el sistema de tuberías que se encuentra dentro de la pared será registrable para un mejor montaje en casas de interés social.

8.3. Conclusiones generales

La regadera interactiva ahorradora de agua, es una gran solución al desperdicio excesivo de agua que se tiene a la hora del duchado. Además, la regadera ofrece un confort al usuario, lo que conlleva a mejor aceptación en el mercado. Con esto, se logrará un mayor alcance del producto y habrá un mejor cuidado del agua en muchos más hogares.

El desarrollo de este proyecto ha mostrado diversos obstáculos que el equipo ha tenido que librar y ya ha superado. Asimismo, existen problemáticas que todavía requieren ser solucionadas. Empero, el desempeño del grupo de trabajo ha sido constante y efectivo. Aunque a veces algunas decisiones han encontrado caminos cerrados, se ha ganado conocimiento y experiencia, logrando que el equipo vaya avanzando cada vez más rápido y caminando sobre la curva de aprendizaje.

Uno de los principales problemas a los cuales se ha enfrentado el desarrollo de este proyecto, radica en la parte de instrumentación del mismo. Es muy sabido en el mundo ingenieril que la medición es una parte costosa y difícil de lograr en muchos casos.

Esto es algo que se va aprendiendo conforme se realizan nuevos proyectos. De igual manera, esta problemática es una gran ventaja. Se le llama ventaja puesto que es algo que aporta gran conocimiento al equipo y a la vez, lo impulsa a desarrollar nuevos productos en el área de la instrumentación.

Dejando a un lado la parte técnica, es importante recalcar que un obstáculo fundamental al que el equipo se ha enfrentado y seguirá enfrentando, es la ingeniería económica. Todos los subsistemas de la regadera interactiva ahorradora de agua deben de considerar su costo. Esto es fundamental si se quiere conseguir un producto que sea mercadológica y económicamente viable.

9. Bibliografía

- Robot Market Place (2010). *Motors*. [Electrónico].
http://www.robotmarketplace.com/products/motors_main.html. [Recuperado el 3 de febrero de 2010].
- **Introducción al Control Difuso**. [Electrónico].
<http://www.scribd.com/doc/3200501/Control-Difuso>. [Recuperado el 10 de marzo de 2010]
- **ISA – The Instrumentation, Systems, and Automation Society**. *Instrumentation Symbols and Identification*. ISA, 1984. 13 de Julio de 1992.
- (2001). Chen, G. **Introduction to fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy control Systems**. Boca Raton. CRC Press.
- (25 de junio de 2001). **NORMA Oficial Mexicana NOM-008-CNA-1998, Regaderas empleadas en el aseo corporal – Especificaciones y métodos de prueba**. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. [Electrónico].
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/N8.pdf>. [Recuperado el 5 de febrero de 2010].
- (2010). **Estamos peor que hace 17 años en el ahorro del agua: Luege Tamargo**. *Informador*. [Electrónico].
<http://www.informador.com.mx/mexico/2010/187854/6/estamos-peor-que-hace-17-anos-en-el-ahorro-del-agua-luege-tamargo.htm>. [Recuperado el 6 de febrero de 2010].
- (29 de junio de 2010). **Sustituirán regaderas en Miguel Hidalgo**. *El Universal*. [Electrónico]. <http://www.eluniversal.com.mx/notas/691294.html>. [Recuperado el 1 de octubre de 2010].