



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**CONTROL DIFUSO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA DE LA
DUCHA EN EL HOGAR PARA: VÍA VARGAS Y ASOCIADOS
CONSULTORES**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERA EN
MECATRÓNICA**

DAYANA VALERI VARGAS TORO

DIRECTOR: ING. VLADIMIR BONILLA VENEGAS

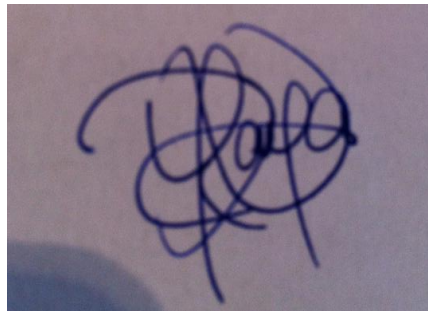
QUITO, ENERO, 2012

© Universidad Tecnológica Equinoccial.2012
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo **DAYANA VALERI VARGAS TORO**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

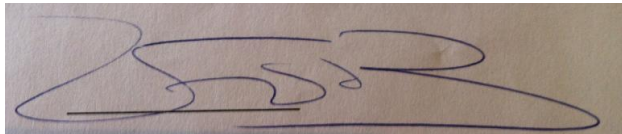


Dayana Valeri Vargas Toro

C.I. 1716569502

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Control Difuso de la temperatura del agua de la ducha en el hogar para: VÍA Vargas y Asociados Consultores**”, que, para aspirar al título de Ingeniera en Mecatrónica fue desarrollado por **Dayana Vargas**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.



Vladimir Bonilla Venegas

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I.1710300045

AGRADECIMIENTO

Quisiera agradecer a todas las personas que directa o indirectamente estuvieron en el proceso que me trajo hasta este lugar, que es un peldaño en la larga lista de metas que espero cumplir y espero que también estén a mi lado en ellas. A las personas que quiero agradecer son: mi familia, a mis hermanas pero sobretodo a mi madre y a mi padre que han sido el apoyo necesario, cada uno a su manera especial. A mis amigos, que son los mejores del mundo a Guille y a Paulo en particular, a los profesores que me guiaron en el camino académico y a todas las autoridades que encabezan esta prestigiosa institución, a todos ustedes Gracias!

DEDICATORIA

Quisiera dedicar este documento al Ing. Vladimir Bonilla Venegas, mi tutor,
mi maestro y mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ECUACIONES.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE ANEXOS.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO DE REFERENCIA	14
2.2. MARCO TEÓRICO	15
2.2.1. SISTEMAS EMBEBIDOS.....	15
2.2.2. INTELIGENCIA ARTIFICIAL	16
2.2.3. LÓGICA DIFUSA.....	17
2.2.4. SENSORES DE TEMPERATURA	31
2.2.5. MICROCONTROLADOR	45
2.2.6. CONVERTIDOR ANÁLOGO DIGITAL.....	47
2.2.7. VÁLVULAS.....	47
2.2.8. SERVOMOTOR.....	49
2.2.9. FILTROS.....	49
3. METODOLOGÍA.....	52
3.1. METODOLOGÍA MECATRÓNICA	53
3.1.1. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTO DEL PROYECTO.....	53
3.1.2. DISEÑO SIMULTANEO DE LOS COMPONENTES MECATRÓNICOS DEL PROYECTO	53
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	76
4.1. SIMULACIÓN Y PROTOTIPO	77
4.2. CREACIÓN DE GUÍAS Y MANUAL DE FUNCIONAMIENTO.....	80
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
5.1. CONCLUSIONES.....	83
5.2. RECOMENDACIONES	84
BIBLIOGRAFÍA.....	86
ANEXOS.....	88

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Crecimiento Poblacional.....	5
Ecuación 2: Función de Inclusión	26
Ecuación 3: Método de Inferencia GMP	26
Ecuación 4: Metodo de Inferencia GMT.....	26
Ecuación 5: Formato Mandami	27
Ecuación 6: Formato Surgeno	28
Ecuación 7: 2.2.3.6 Combinación Genérica	28
Ecuación 8: Composición Sup-Star	28
Ecuación 9: Interpretación Simplificada	29
Ecuación 10: Implicación por Mínimo	29
Ecuación 11: Implicación por Mínimo	29
Ecuación 12: Implicación Aritmética	29
Ecuación 13: Implicación Max Min.....	29
Ecuación 14: Implicación Booleana	29
Ecuación 15: Implicación Goguen Booleana	29
Ecuación 16: Función Exponencial Singleton	30
Ecuación 17: De-difuseador por Máximo	30
Ecuación 18: De-difuseador por MediaCentros	30
Ecuación 19: De-difuseador por centro de área.....	31
Ecuación 20: 0 absoluto en grados Kelvin	31
Ecuación 21: Fórmula de Fabricación del RTD.....	37
Ecuación 22: Relación resistencia temperatura Termistor	40
Ecuación 23: Función de transferencia Filtro pasa altos.....	50
Ecuación 24: 2.2.9.2 Función de transferencia filtro pasabajo.....	51
Ecuación 25: Variable de temperatura difusa “Fría”	65
Ecuación 26: Variable de temperatura difusa “normal”	65
Ecuación 27: Variable de temp difusa “caliente”	65
Ecuación 28: Posición servomotor cerrado.....	66
Ecuación 29: Posición servomotor Semiabierto.....	66
Ecuación 30: Posición servomotor abierto	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de flujo de la sistematización.....	3
Figura 2: Crecimiento poblacional en Ecuador	4
Figura 3: Pronóstico de Crecimiento Poblacional	6
Figura 4: Aumento de la población urbana	7
Figura 5: Función Trapezoidal	18
Figura 6: Ejemplo de Función Trapezoidal	19
Figura 7: Función Triangular.....	20
Figura 8: Ejemplo Función Triangular	20
Figura 9: Función Tipo S.....	21
Figura 10: Ejemplo Función Tipo S.....	22
Figura 11: Función Singleton	23
Figura 12: Ejemplo Función Singleton	23
Figura 13: Función Tipo π	24
Figura 14: Ejemplo Función Tipo π	25
Figura 15: Partes de las Termocúplas.	33
Figura 16: Lectura de Termocúplas.	33
Figura 17: Foto Termocúpla.....	35
Figura 18: Partes RTD	36
Figura 19: Foto RTD	37
Figura 20: Diagrama Termistor.	38
Figura 21: Foto Termistor.	41
Figura 22: Diagrama CI Sensor de Temperatura.	41
Figura 23: Foto CI Sensores de Temperatura.	43
Figura 24: Diagrama de Válvula Bola	48
Figura 25: Diagrama Electroválvula	49
Figura 26: Filtro Pasa Alto	50
Figura 27: Filtro Pasa Bajo	50
Figura 28: Filtro Pasa Banda	51
Figura 29: Filtro Rechaza Banda	51
Figura 30: Válvula Bola Adaptada al Servomotor	54
Figura 31: Electroválvula	54
Figura 32: Tanque de Mezcla	55
Figura 33: Bomba de Realimentación.....	55
Figura 34: Esquema Hidráulico del Sistema.....	56
Figura 35: Sistema de tuberías y realimentación.....	57
Figura 36: Conexión Sistema Eléctrico	58
Figura 37: Control ON-OFF en Simulink	59

Figura 38: Características del conversor análogo digital del dsPIC	60
Figura 39: Etapa de adecuación y filtrado de la señal adquirida del sensor LM35DZ	61
Figura 40: Características del filtro digital pasa bajos.....	61
Figura 41: Máquina de estados del control de temperatura.....	62
Figura 42: Generador de la señal PWM para posicionamiento del servomotor	63
Figura 43: Posicionamiento del servomotor en 0 grados.	64
Figura 44: Posicionamiento del servomotor en 90 grados	64
Figura 45: Modelado de la Máquina de estados para el control de la temperatura.....	68
Figura 46: Estados iniciales del controlador	70
Figura 47: Sub-estados del sistema de control de temperatura. Bloques de funcionamiento bajo condiciones Fuzzy. Bloques de funcionamiento bajo condiciones críticas.....	72
Figura 48: Control Difuso de la temperatura del Agua. Implementación Stateflow	75
Figura 49: Captura de un estado del funcionamiento de dl sistema embebido de control	77
Figura 50: Proceso de Construcción del Prototipo1	78
Figura 51: Implementación del Prototipo 2	78
Figura 52: Implementación del Prototipo 3	79
Figura 53: Sistema Implementado	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Pronóstico de Crecimiento Poblacional	5
Tabla 2: Crecimiento de consumo de energía per cápita en Ecuador.....	6
Tabla 3: Características de Control PID y Difuso.....	9
Tabla 4: Características de Dispositivos Programables	10
Tabla 5: Características de Sensores de Temperatura	11
Tabla 6: Características de Motores PAP-Servomotor	12
Tabla 7: Tabla de Costos	13
Tabla 13: Funciones de literatura difusa	27
Tabla 14: Temperaturas conocidas.....	31
Tabla 15: Características importantes de sensores de temperatura	32
Tabla 16: Tipos y características de termocúplas.....	34
Tabla 17: Tipos y características de circuitos integrados sensores de temperatura	42
Tabla 18: Cuadro de Características de Microcontroladores de 16 bits	45

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Electroválvula(Vistas completas en Anexo 2).....	89
Anexo 2: Válvula de Control de Flujo (Vista completa en Anexo 1).....	90
Anexo 3: Bomba de Realimentación.....	91
Anexo 4: Tanque de mezcla.....	92
Anexo 5: Conexión LM35.....	93
Anexo 6: Conexión Relé	93
Anexo 7 Encuesta realizada a 40 personas de la carrera ingeniería mecatrónica el 18 de Noviembre del 2009.....	94
Anexo 7. 2 Encuesta.....	95
Anexo 8: Simbología Hidráulica.....	96

RESUMEN

En la actualidad se ha despertado una conciencia en la humanidad en torno al consumo exagerado de recursos naturales, tales como el agua dulce. Uno de los procesos más comunes en los que se desperdicia el agua es al momento de calentar el agua para tomar una ducha, ya que el agua que se encuentra en las tuberías y en el calefón se encuentra fría y pasa un tiempo hasta que esta salga caliente, en algunas ocasiones el calefón se encuentra muy lejos de la toma y esto demora aun mas el proceso. El presente trabajo demuestra una forma de ahorrar agua al momento de tomar una ducha.

En el primer capítulo se presenta la investigación del problema, los antecedentes y la descripción del equipo que se utilizó y las razones porque fueron seleccionados.

El segundo capítulo es una compilación de las bases teóricas de sistemas embebidos de control, la lógica de programación a utilizar, los sensores y actuadores que se requieren.

En el tercer capítulo se describe el proceso mecatrónico del diseño construcción e implementación del sistema de control difuso de la temperatura de la ducha. Aquí están los planos de las piezas más importantes, simulaciones del sistema de control y el sistema completo en imágenes.

En el cuarto capítulo se encuentran evidencias de la implementación del sistema, la secuencia de armado y las razones de las secuencias; así como los manuales de usuario.

En el quinto capítulo están las conclusiones y recomendaciones del sistema de control.

ABSTRACT

Self-consciousness among people has begun nowadays about the abuse of natural resources like water. One of the most common processes in which water is wasted is when taking a shower because water in the pipes and water in the heater is cold and it takes some time until it is warmed, some sometimes the water heater is far away from the shower and delays the process. This document shows a way to save water in this process.

First chapter introduces the research of the wasting water problem, the background, the possible equipment to be used and the reason why the selected ones were chosen.

The second chapter is a compilation of the theoretical control of embedded systems, programs logic, sensors and actuators that are required.

The third chapter describes the mechatronic design process, construction and implementation of the shower's fuzzy control. Here are the layouts of the most important parts, simulations of the system and a complete picture of the system.

In fourth chapter is evidence of the implementation of the system, the sequence of the assembly and the reasons of the sequences, as well as a user manual.

Fifth chapter includes conclusions and recommendations of the control system.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad en Ecuador el consumo de energía se ha incrementado, la industrialización del país, como el crecimiento de la población, han obligado a elevar los niveles de producción; siendo la de mayor consumo la energía eléctrica. Los sistemas de control, que en nuestra industria se utilizan, no toman en cuenta el gasto energético, ni el desperdicio de recursos necesarios para mantener los niveles de producción que las empresas requieren. También es cierto que cambiar los procesos, con una reingeniería de los mismos, sería muy costoso y se requeriría de niveles tecnológicos y políticas de control con las que lastimosamente el país no cuenta. Por tal razón, se cree necesario que las personas en sus hogares tomen conciencia y puedan ayudar a disminuir el consumo de energía y la utilización de recursos no renovables, administrándolos de mejor manera en la realización de sus actividades cotidianas.

Uno de los problemas que encuentra el usuario al ducharse es ajustar la temperatura adecuada del agua. Si el usuario tiene dos grifos (caliente y frío) tendrá que modificar la posición de ambos hasta conseguir la graduación deseada de calor. Existen en la actualidad grifería mono-mando que quizás reduzca el tiempo de regulación, pero en ambos casos se desperdicia agua y energía. Además, una vez conseguida la sensación térmica deseada, el usuario tiende a no cerrar el grifo para no tener que repetir la operación inicial, que termina en un derroche innecesario de agua. Hoy en día, cualquier medida doméstica a favor del ahorro de agua y energía se considera primordial en materia de ecología, sostenibilidad y respeto al medio ambiente.

El presente trabajo, propone un control automático de la temperatura de la ducha y disminuir el consumo de agua y energía en la generación de agua caliente, con sistemas adaptivos y regulables, basados en herramientas básicas de la inteligencia artificial, que satisfaga la demanda de agua de forma simultánea en diferentes áreas del inmueble, sin importar la climatología y los cambios de presión de las conducciones minimizando el desperdicio de agua.

Como parte de la sistematización del presente proyecto se puede presentar el siguiente diagnóstico que se ha realizado mediante un diagrama de flujo, como herramienta visual para su comprensión, en la Figura 1:

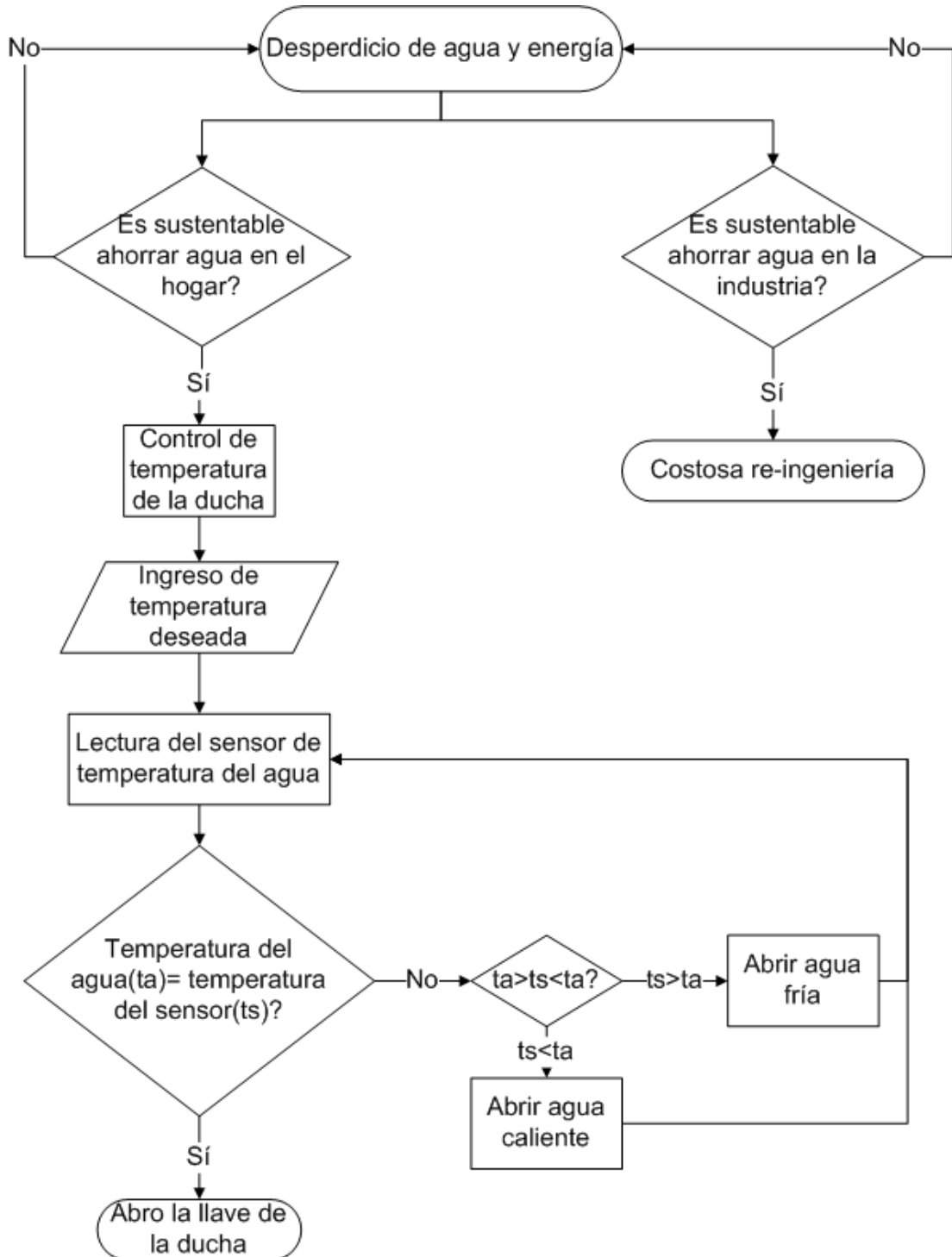


Figura 1: Diagrama de flujo de la sistematización

El siguiente pronóstico ha sido recolectado de datos poblacionales de años pasados y en base a ellos se ha conseguido hacer proyecciones de los mismos, además aquí se encuentran algunos datos adicionales importantes para el proyecto.

Se ha llevado a cabo pruebas para determinar los valores que inciden en el objetivo del proyecto. El método empleado para obtener dichos valores fue medir en litros el agua que se deja caer antes de empezar a tomar una ducha. Por 12 ocasiones, una vez al día en dos distintas locaciones, empezando el procedimiento desde las condiciones iniciales, es decir, con todo el sistema de tuberías llenas de agua fría a condiciones normales para la ciudad de Quito.

El promedio de desperdicio es equivalente a 6 litros de agua por muestra.

Por esto se ve la justificación de llevar a cabo este proyecto.

La población en el Ecuador se ha incrementado con el pasar de los años, esto se puede verificar en cifras de censos en el INEC.

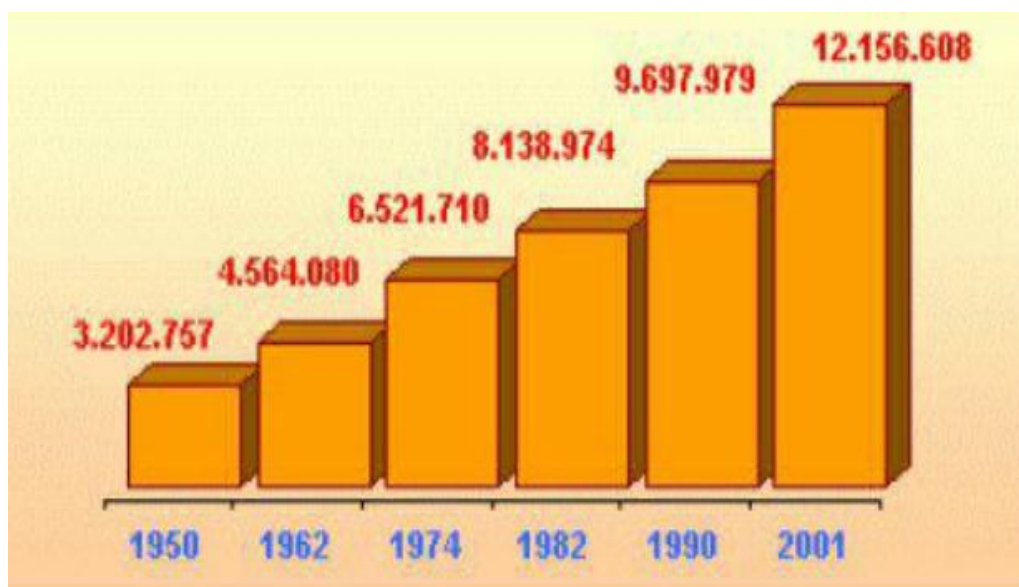


Figura 2: Crecimiento poblacional en Ecuador **Elaborado por:** Diana Carolina León
Fuente: INEC (censo 2001)

Según el último censo realizado en el 2010, la población ecuatoriana asciende a 14'204.900 de habitantes. Cabe recalcar que según datos del

banco mundial la esperanza de vida al nacer en el Ecuador es de 75 años, esto se debe a que la mejora en la medicina y a los servicios médicos.

A partir de los datos de años anteriores se ha llevado a cabo un pronóstico de la población en Ecuador, basándose en la fórmula:

$$Pf = Pa(1 + \varphi)^n \quad [1]$$

Donde Pf es la población final, Pa es la población anterior, φ es la tasa de crecimiento y n es el número de años de diferencia entre Pf y Pa . Y se han obtenido los siguientes datos:

Tabla 1: Pronóstico de Crecimiento Poblacional

Año	Población	Dif./años	Tasa
2001	12.156.608,00	9	1,50
2010	14.306.876,00	9	0,015
2019	16.358.338,60	9	
2028	18.703.960,37	9	
2037	21.385.920,78	9	
2046	24.452.447,44	9	
2055	27.958.683,27	9	
2064	31.967.678,18	9	
2073	36.551.522,77	9	
2082	41.792.644,72	9	
2091	47.785.291,02	9	
2100	54.637.222,72	9	
2109	62.471.652,74	9	
2118	71.429.461,49	9	
2127	81.671.730,22		

El pronóstico confirma que la población en el país aumentará aun más en el futuro. Los mismos datos han sido llevados a una gráfica para que se note que el crecimiento es exponencial. Como se muestra a continuación:

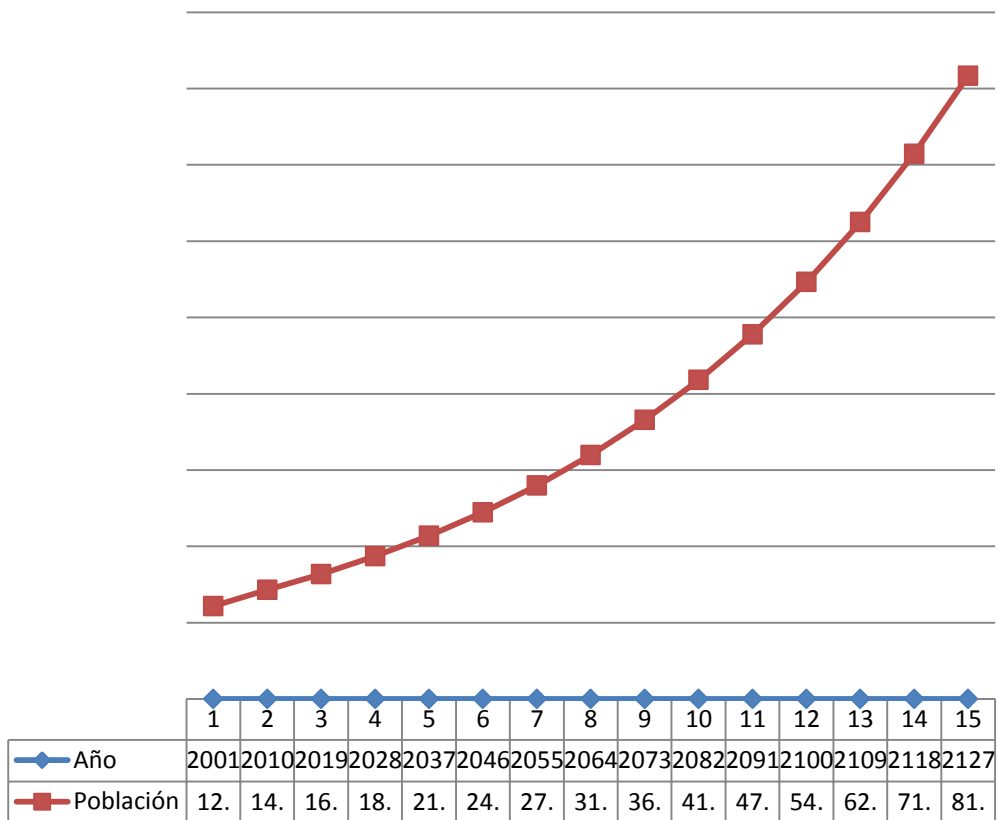


Figura 3: Pronóstico de Crecimiento Poblacional

Con este aumento de población y una esperanza de vida relativamente de larga 75 años se incrementa también la demanda de energía, alimentos, recursos naturales y combustibles. Según datos del banco mundial el consumo de energía eléctrica per cápita en los últimos años ha incrementado también, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2: Crecimiento de consumo de energía per cápita en Ecuador

Año	2006	2007	2008	2009
Consumo per cápita (KWh)	863	940	1091	1150

Fuente: datos.bancomundial.org

En el mismo banco mundial se muestra que el porcentaje de población con acceso a la misma es de 92.2% y con acceso al agua tratada es 88%.

La industria crece si crece la población ya que aumenta la demanda y por esta causa la población rural tiende a disminuir, ya que la fuerza laboral

aumenta en el sector urbano con la industrialización. Datos del INEC demuestran este fenómeno.

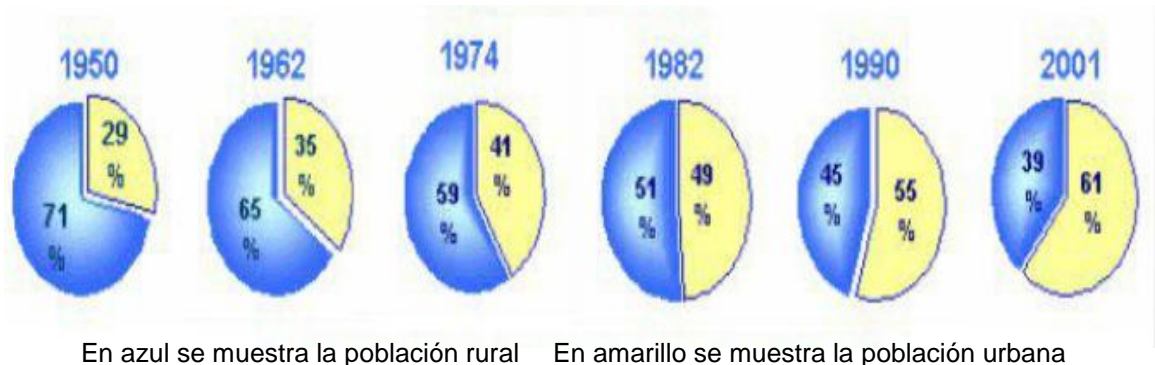


Figura 4: Aumento de la población urbana. **Elaborado por:** Diana Carolina León **Fuente:** INEC (censo 2001)

Según un dato más actual, del banco mundial, se revela que la población rural ha seguido disminuyendo hasta llegar a un 33% en el 2010.

Cambiar los procesos actuales, en la industria requiere de inversiones millonarias y políticas muy severas que controlen el uso adecuado y la correcta distribución de energía. La reingeniería de procesos costaría mucho, pero si las personas no colaboran y no entienden el daño que provocan con el actual modelo económico, seguirán aumentando los niveles de erosión y deforestación que existe en el país. Por esta razón se ve más viable el ahorro en el hogar.

Una forma de reducir el impacto que se verá en el consumo de agua en el futuro a partir del pronóstico anterior sería a través de el control de la temperatura del agua de la ducha mediante la utilización de herramientas de la lógica difusa, que permitan un ahorro significativo de agua en los hogares, que en nuestro país son los que más factibilidad tienen de empezar con este proceso de cambio en bien del ambiente.

Se percibe que el problema es sí: ¿La lógica difusa aplicada a un dispositivo de control de temperatura reducirá el desperdicio de agua y energía en el país?

El objetivo general del proyecto aquí presentado es diseñar e implementar un sistema de control de temperatura y caudal del agua, que ayude a disminuir el consumo de recursos y energía en la toma de un baño.

Los objetivos específicos que se buscan alcanzar con este sistema son:

- Diseñar un sistema de mezcla, direccionamiento, almacenamiento y recirculación del agua.
- Plantear y seleccionar los elementos para el sistema de control de temperatura con funciones de lógica difusa.
- Crear una interfaz de usuario para el ajuste del sistema.

Para justificar este proyecto se ha tomado en cuenta que la tarea diaria de calibrar el agua en la ducha de una casa puede tomar varios minutos, y aunque parezca una tarea sencilla, el ser humano tarda más tiempo que un el microcontrolador en realizarla. Con lógica difusa implementada en un sistema embebido de control, se alertará al usuario que el agua esta lista antes de que inicie el proceso de ducharse, permitiendo así almacenar el agua antes de ser usada.

El alcance del sistema es el que se describe a continuación: Debe ubicarse dentro del cuarto de baño, y ocupará 1.5 m x 0.5 m en la estructura del mismo. En caso de que se tenga más de un cuarto de baño se debe aclarar que se debe poner un dispositivo por cada uno, también es importante mencionar que el sistema esta diseñado para trabajar dentro del hogar. El rango de funcionamiento del sistema será entre 24 y 51 °C, estos datos han sido tomados de encuestas realizadas a 40 personas (ver Anexo 7).

Para llevar a cabo la factibilidad técnica del proyecto se ha buscado herramientas que se consiguen en el mercado local y metodologías adquiridas durante los estudios.

A continuación se encuentra la tabla que describe las características de dos diferentes técnicas con los que se puede llevar a cabo un control de temperatura:

Tabla 3: Características de Control PID y Difuso

Características	Control PID	Control difuso
Sensibilidad a señales de ruido	1	0
Respuesta a la no linealidad	0	1
Modelo matemático riguroso	0	1
Evaluación continua de entradas	0	1
Corto tiempo de respuesta	0	1
Sensibilidad a perturbaciones	1	0
Corto tiempo de respuesta	0	1
Requerimiento de adecuación de señales	1	0
Implementación de control ajustable a condiciones cambiantes	0	1
Accesibilidad a descripción y verificación	0	1
Facilidad de extensión y mantenimiento	1	1
Totales	4	8

Fuente: A. Ferreyra, R. Fuentes¹, ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE CONTROL PID Y DIFUSO, UAM-Azcapotzalco, Depto de Electrónica. UAM.

Las características marcadas en color rojo son las que en el sistema llegarían a convertirse en desventajas para realizar un control de temperatura en este tipo de sistemas. Por ejemplo, en caso que se presente ruido en el sistema la señal que se va a recibir va a necesitar adecuaciones. Otro caso es la sensibilidad a perturbaciones que en caso de tener algún disturbio alterará el sistema y esto se trata de evitar para reducir fallas. Por último está el requerimiento de adecuación de señales que es importante al momento de implementar el sistema, ya que mientras menos ajustes más pura llega la señal.

Una vez analizadas las características de la tabla, se confirma que para este sistema de control es viable utilizar el sistema difuso, ya que se va a controlar la temperatura mediante la regulación del flujo del conducto de agua fría sin utilizar un sensor de flujo.

A continuación se encuentran los dispositivos electrónicos programables que se consideraron para este proyecto, se han asignado valores significativos a las características más importantes para este trabajo en especial.

Tabla 4: Características de Dispositivos Programables

Características	Microcontrolador	PLC
Pequeño tamaño	1	
Trabajo en áreas específicas	1	
Utilizado en sistemas embebidos	1	
Arquitectura abierta		1
Capacidad de realizar procesos industriales		1
Entradas y salidas cableadas	1	
Alto costo		1
Trabajo en lazo cerrado	1	1
Utilizados en productos en masa		1
Bajo precio	5	
Total	10	5

Fuente: Bolton W, (2009) PROGRAMABLE LOGIC CONTROLLERS (5ta edición). Miami. Estados Unidos. Newnes. Morton J, (2005) THE PIC MICROCONTROLLER (3era edición) Miami. Estados Unidos. Newnes

La tarea de comparar un PLC con un microcontrolador se vuelve difícil al tomar en cuenta que un PLC tiene un microcontrolador integrado que ha sido encapsulado para ser más robusto y se utiliza para procesos industriales que necesiten varios procesos en paralelo, su precio es bastante alto en comparación a un microcontrolador en el que es posible integrar casi el

mismo número de entradas y salidas, es decir, sensores y actuadores que se puede programar para el proceso requerido.

Este proceso controla un servomotor que modifica el flujo del agua fría para alcanzar la temperatura requerida, además, no requiere de la sofisticación y robustez de un PLC, por lo que, se ha escogido utilizar el microcontrolador con lógica difusa.

Medir la temperatura del tanque de almacenamiento es una tarea muy importante en este proceso, por esto, a continuación se encuentra la tabla de las características de los sensores de temperatura.

Tabla 5: Características de Sensores de Temperatura

Sensor	Rango de Temperatura	Exactitud °C	Costo	Robustez
Temocupla	-270a+2600	1	Bajo	Bastante alta
RTD	-200a+600	0.2	Medio	Alta
Termistor	-50a+200	0.2	Bajo	Media
Circuito Integrado	-40a+125	1	Muy Bajo	Baja

Fuente: Ibrahim D. (2002) MICROCONTROLLER BASED TEMPERATURE MONITORING AND CONTROL. Miami Estados Unidos.

Por su bajo precio y su rango de operación el sensor circuito integrado LM35 es el más indicado para llevar a cabo este proyecto, diagrama de conexión en anexo 5.

Para llevar a cabo el control del flujo se debe abrir y cerrar la llave simulando el proceso manual, para lo cual se necesita un motor acoplado a una válvula bola. Existen algunas alternativas de motores para este fin, por lo que se ha dado un puntaje de acuerdo a las características que se requieren para el proyecto, en caso de que las características que tiene el motor afecte al buen funcionamiento del sistema no se le han puesto puntos.

Estos motores son:

Tabla 6: Características de Motores PAP-Servomotor

Características	Servomotor	PAP
Posicionamiento	2	
Versatilidad	1	
Variedad de tamaños	1	
Vida útil		1
Precisión de posición	1	
Producción de ruido		0
Resonancia y vibración		0
Total	5	1

Fuente: Pérez M. (2010) SISTEMAS AUXILIARES DE MOTORES, Madrid. España.

Las características de los servomotores se adecuan para este tipo de control ya que el posicionamiento mediante una señal y su adaptación a una válvula bola es factible para este sistema de control además de que no produce ruido, no tiene resonancia ni vibración como si lo hace el motor PAP, que sin embargo es útil para otro tipo de controles en los que se requiera un giro completo del motor o varios de los mismos.

El presente sistema tiene un enfoque ambiental de ahorro de un recurso no renovable que es el agua, pocos tienen en cuenta su importancia pero cada vez existen más medidas a nivel mundial que buscan ahorrar este elemento vital. En nuestro país, es público mediante página web que la EMAAP-Q tiene planes de concienciación a la ciudadanía, técnicas de mejoramiento y eficacia en las redes de distribución alrededor de la ciudad y tienen planeado la reparación de fugas tanto en domicilios con goteos cotidianos como en tuberías de conexión.

Por la razón antes mencionada se ha hecho un análisis de viabilidad económica del proyecto para la implementación de este sistema y a continuación se muestra el costo que se ha invertido en el desarrollo del mismo, es decir las partes necesarias para el armado del sistema de mezcla,

incluyendo los actuadores, el sistema de control e interfaz con su elementos así como los costos de investigación y mano de obra.

Tabla 7: Tabla de Costos

Descripción	Costo
Circuito de control	\$200
Válvula bola	\$50
Electroválvula	\$10
Servomotor	\$20
Bibliografía y copias	\$100
Fresado y torneado	\$100
Tanque de sensado	\$5
Bomba de realimentación	\$25
Tubería flexible y conexiones	\$30
Servicio de internet	\$60
Diseño e implementación	\$900
Total	\$1500

2. MARCO DE REFERENCIA

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. SISTEMAS EMBEBIDOS

Son sistemas que cumplen funciones específicas para las que fueron programados, se encuentran presentes imperceptiblemente en casi todas las actividades que realizan los seres humanos. Un ejemplo en el auto es el sistema antibloqueo del freno, mas conocido por sus siglas en ingles como ABS, que se encarga de cumplir con una función completamente independiente a la del funcionamiento del automóvil como tal pero que funciona simultáneamente con él; en el hogar existe una gran variedad de ejemplos, desde la lavadora pasando por el refrigerador hasta la plancha, todos tienen una función adicional o complementaria que funciona dentro de los mismos; la oficina no es una excepción con los varios sistemas de comunicación disponibles; en otras ramas como la medicina se encuentran los diferentes equipos médicos como electrocardiógrafos, tomógrafos, entre otros; en ingeniería civil existen equipos topográficos, en seguridad industrial y domótica están los equipos antincendios.

Un sistema embebido debe cumplir con ciertas características para que su funcionamiento sea considerado apropiado; una característica importante de los sistemas embebidos es la confiabilidad, o sea, la probabilidad de que el sistema trabaje correctamente y en tiempo 0, es decir que realice una acción al momento en el que sucede algún evento. La sostenibilidad es importante como parte de la confiabilidad ya que un sistema debe volver a trabajar correctamente después de una falla de funcionamiento. Un sistema es confiable si cuenta con seguridad informática la cual confirma la información recibida y trata los datos de manera segura. También debe cuidar la seguridad personal, salvaguardando la integridad de las personas alrededor del sistema.

Otra importante característica es la eficiencia; normalmente el costo suele ser algo significativo a considerar en el momento de implementar un sistema, pero conforme la concienciación en las personas se ha desarrollado el consumo de energía viene a ser un factor trascendental ya que se busca

consumir lo menos posible logrando los mejores resultado. El peso del sistema también se considera en su eficiencia ya que conforme avanza la tecnología el espacio físico que este ocupa se ha reducido. El tamaño del código también interfiere con la eficiencia ya que el programa ocupa espacios de memoria que de no ser bien administrados se convierten en un desperdicio.

La comunicación es una característica sumamente importante en los sistemas embebidos ya que están dedicados a ciertas aplicaciones donde su comunicación con el mundo es a través de sensores que reciben un estímulo externo y actuadores que son los que reaccionan ante estos estímulos.

2.2.2. INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La Inteligencia Artificial y sus técnicas dotan a las máquinas de un determinado comportamiento para cumplir con un objetivo sin la existencia de un algoritmo específico conocido, permitiendo que realicen tareas que realizan los seres humanos con cierto nivel de inteligencia, tareas como: clasificar, identificar o reconocer, y buscar.

Cada una de estas tareas, el cumplimiento de un objetivo, se resuelven mediante criterios de optimización en espacios complejos y, de cierta manera, no determinados en su totalidad. Una descripción matemática del problema de optimización es complicada, y mucho más compleja su resolución, sin embargo, las técnicas de la Inteligencia Artificial permiten obtener soluciones bastante aceptables dentro de las condiciones del problema, haciendo que las máquinas, que tienen este algoritmo de resolución de problemas, se comporten de manera racional.

Es importante indicar que en las ciencias de la computación y la cibernética, la racionalidad se entiende como un conjunto formado por: criterio de optimización, espacio de búsqueda de las soluciones del problema, técnicas de resolución, y la solución en si, y esto es el sinónimo de Inteligencia Artificial.

2.2.3. LÓGICA DIFUSA

La lógica difusa emula la manera en que el cerebro percibe la información, es decir, reacciona a estímulos externos, agrupándolos en subconjuntos para su definición. Aplica la teoría básica de conjuntos, pero adicionalmente, permite agrupar la información en subconjuntos y darle un grado de pertenencia al elemento. Por ejemplo, un sensor recibe una señal análoga de cualquier magnitud física que puede ser agrupada por rangos, y que ejecuta una acción dependiendo del rango y mantiene un control de bucle cerrado en torno a un valor de referencia. Esto se consigue mediante la sentencia “si... entonces”.

En los conjuntos clásicos, un elemento está incluido en el conjunto o no lo está. Sin embargo en la lógica difusa un elemento puede estar en relación de pertenencia en más de un conjunto en un cierto grado. Se puede tomar como ejemplo la fuerza de un grupo de personas en un gimnasio y decir que si alguien levanta hasta 100 lb es débil, si levanta más de 200 lb es fuerte y entre 101 y 199 lb es una persona normal, entonces si alguien levanta 99lbs estaría en el conjunto de las personas débiles, sin embargo, no habría mucha diferencia entre este y una persona que levante 101 lb, que este dentro del conjunto de las personas normales. Aquí es donde entra la relación de pertenencia de los conjuntos, ya que la persona que levantó 99 lb no es tan débil como una que levante apenas 50 lb. Por lo tanto, si un subconjunto que se encuentre entre los normales y los débiles se le agrega una variable lingüística como “poco” entonces su relación de pertenencia al conjunto de los débiles se entendería como “poco débil” que no es lo mismo que “muy débil”.

Las funciones más utilizadas para la fuzzyficación o de las variables físicas son: Función Trapezoidal, Función Triangular, Función Tipo π , Función Tipo S, Función Tipo Singleton y todas, además de un ejemplo de cada función ellas están descritas a continuación:

2.2.3.1. Función trapezoidal

Tiene cuatro valores que pueden ser descritos como a , b , c , y d , esta función tiene un valor de 0 cuando $x < a$ y $x > d$ y un valor de 1 cuando x esta entre b y c , mientras que los rangos entre a y b , y entre c y d toma valores entre 0 y 1.

Se utiliza cuando las variables físicas presentan intervalos de pertenencia total al conjunto difuso, e intervalos en los que la variación del nivel de pertenencia es lineal con respecto al cambio de la variable física

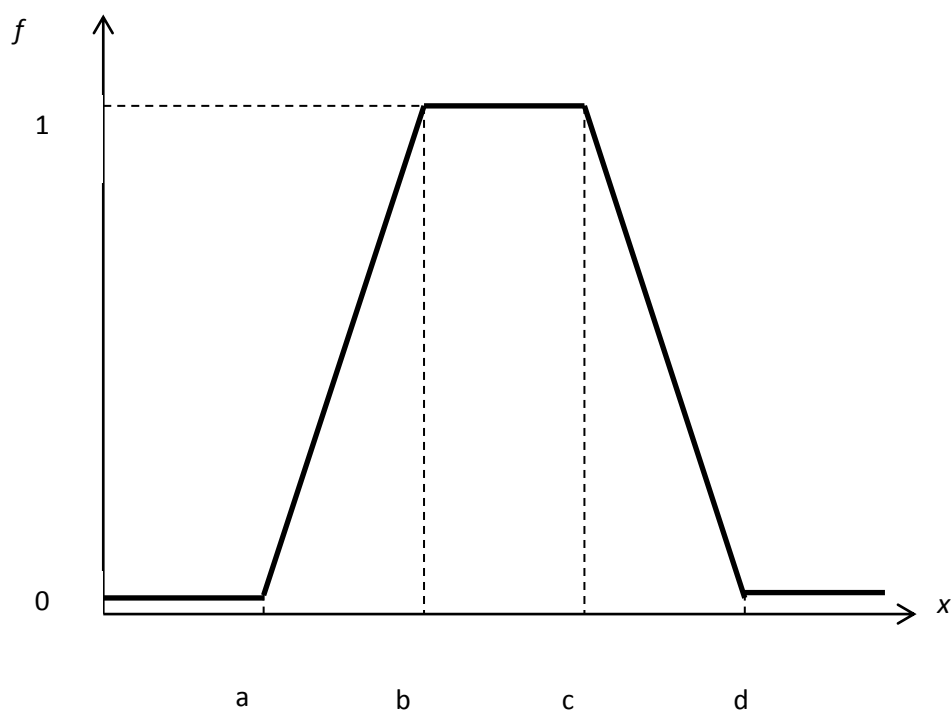


Figura 5: Función Trapezoidal **Fuente:** Del Brío, B. Redes Neuronales y Sistemas Difusos. (2da edición) Alfa omega Ra-ma

Por ejemplo la variable física temperatura del agua, puede pertenecer al conjunto difuso agua fría en su totalidad en el intervalo de $[0-18]$ °C, y en el intervalo de $[18-20]$ °C disminuir linealmente su nivel de pertenencia al conjunto difuso “aguaFria”, y dar paso a un nuevo conjunto difuso

“aguaNormal”. de igual manera se puede apreciar en el intervalos de [5-10]°C

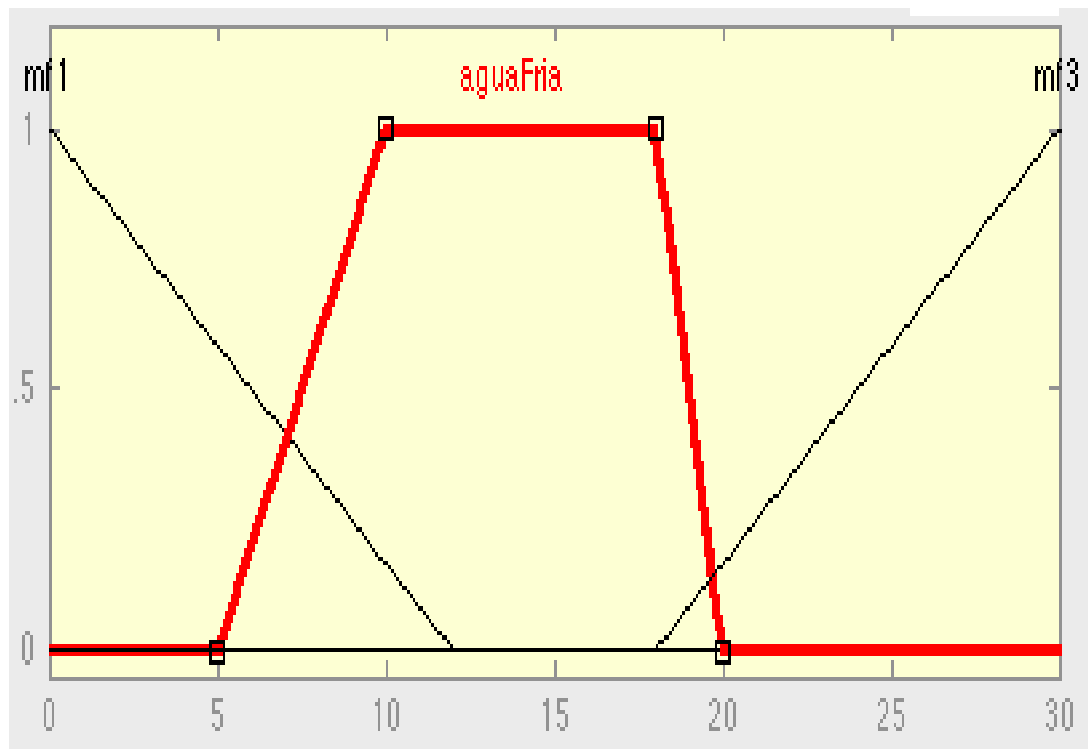


Figura 6: Ejemplo de Función Trapezoidal

2.2.3.2. Función Triangular

Para modelar la función, en los valores b se iguala $b=c$, se utiliza para modelar propiedades con un valor de inclusión que no sea 0 y cuyos valores oscilen alrededor de b .

Estas funciones son utilizadas para fuzzyficar variables físicas que no pueden mantenerse fijas en un valor, como por ejemplo la velocidad de un automóvil, o variables, que por la naturaleza del sistema, pueden variar muy rápido en frecuencia, pero con pequeños cambios en amplitud, como la temperatura en un mezclador. Los niveles de pertenencia tienen una relación lineal con la variable física.

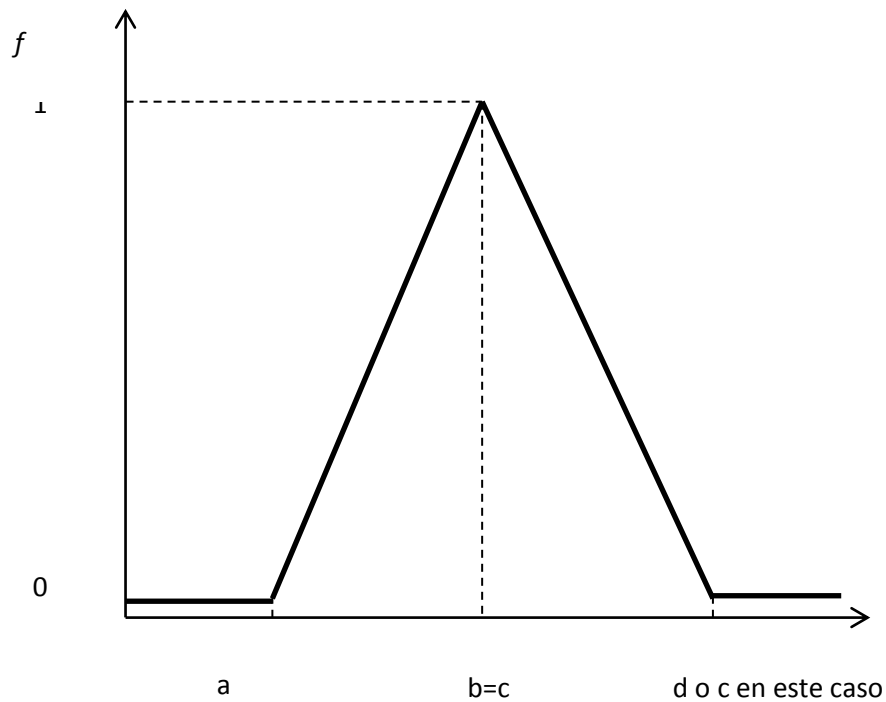


Figura 7: Función Triangular Fuente: Del Brío, B. Redes Neuronales y Sistemas Difusos. (2da edición) Alfa omega Ra-ma

En la siguiente gráfica se presenta el conjunto difuso “velocidadMedia” de la variable física velocidad del automóvil. Se considera que la velocidad media de recorrido por la ciudad varía de [30-80]Km/h, siendo la media estándar 50Km/h.

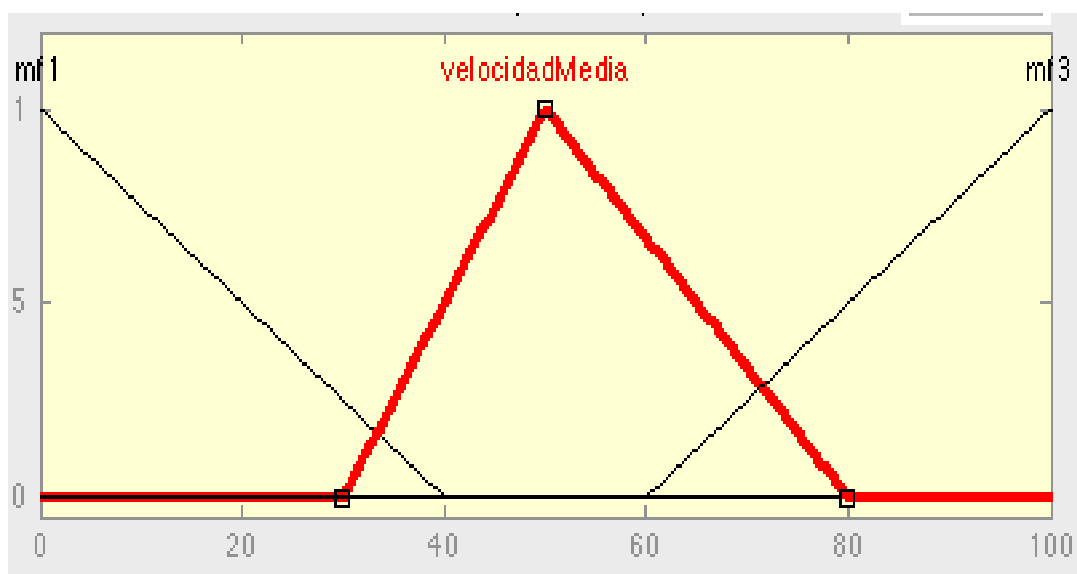


Figura 8: Ejemplo Función Triangular

2.2.3.3. Función tipo S

En la función de tipo S se iguala $c = d$ cuando x alcanza su máximo valor, tiene un valor de inclusión distinto de 0 para un rango de valores por encima del punto a siendo 0 cuando $x \leq a$, 1 cuando $x \geq c$, además toma valores entre 0 y 0,5 cuando $a \geq x \leq b$ y finalmente toma valores entre 0,5 y 1 cuando $b \geq x \leq c$. también sirve para funciones exponenciales.

Tiene un valor de inclusión distinto de 0 para un rango de valores por encima del punto a siendo 0 cuando, 1 cuando, además toma valores entre 0 y 0,5 cuando $a \geq x \leq b$ y finalmente toma valores entre 0,5 y 1 cuando $b \geq x \leq c$. también sirve para funciones exponenciales.

Estas funciones se utilizan en los extremos de los intervalos de actuación del sistema de control. También, un importante criterio de selección de estas funciones es determinar los niveles de saturación y de resolución de los sensores que miden las variables físicas.

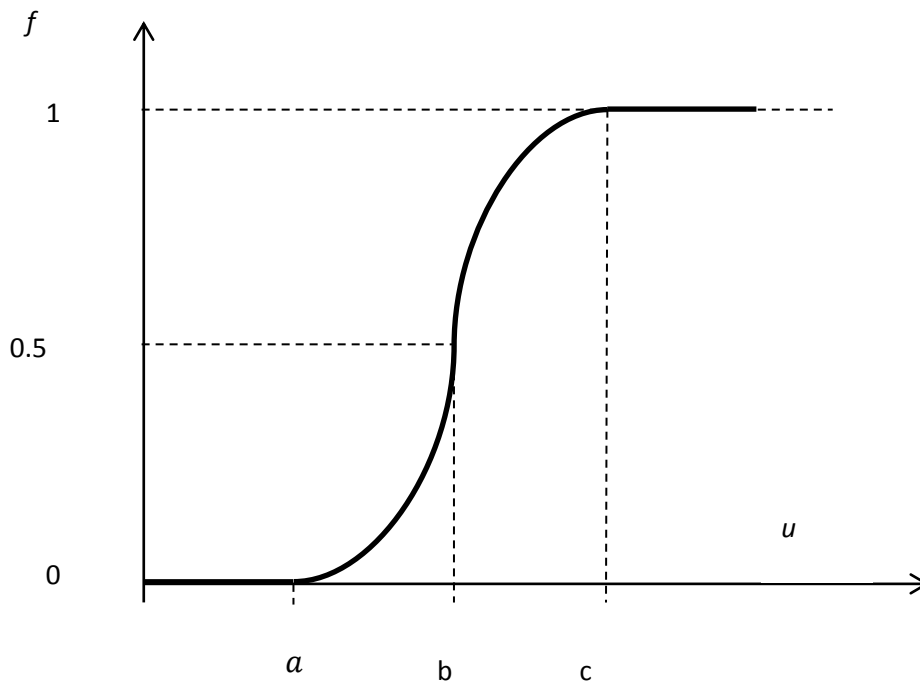


Figura 9: Función Tipo S **Fuente:** Del Brío, B. Redes Neuronales y Sistemas Difusos. (2da edición) Alfa omega Ra-ma

Por ejemplo, si un vehículo esta por detenerse, su velocidad será lenta, en los tacómetros se observa una caída en su resolución de lectura, debido a que los automóviles permiten un mejor control a bajas velocidades, y el conductor puede maniobrar de mejor manera. Por este motivo, para analizar la velocidad del automóvil a bajas velocidades, se utiliza el conjunto difuso “velocidadLenta”. Si el vehículo se mueva a $[0-10]$ Km/h, todas esta velocidades serán consideradas lentas en el sistema de control con un 100% de pertenencia, de $]10-20]$ Km/h disminuye linealmente el nivel de pertenencia de la variable velocidad al conjunto difuso “velocidadLenta”, La pendiente, de la variación del nivel de pertenencia, puede ser modificada dependiendo del sistema de control que se diseño, y de la experticia de los ingenieros de conocimiento ten el modelado de sistemas difusos.

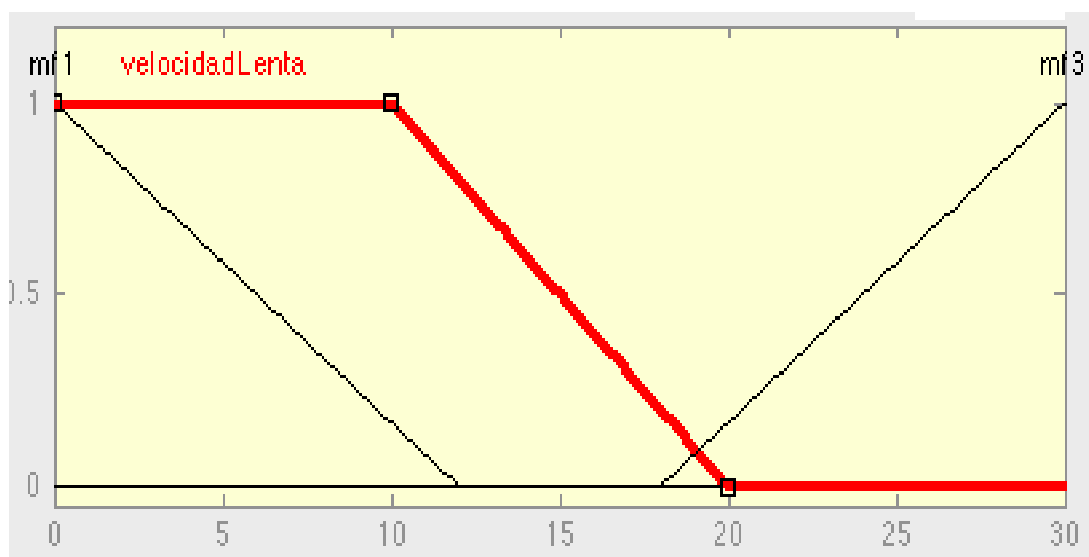


Figura 10: Ejemplo Función Tipo S

2.2.3.4. Función Tipo Singleton

En la función todos los valores se igualan, es decir, esta función solo da un valor de 1 cuando y 0 para todo el resto, se utiliza para definir los conjuntos difusos de las particiones de las variables de salida. Requiere menos memoria y simplifica los cálculos.

Estas funciones se utilizan cuando se quiere analizar intervalos bien pequeños de la variable física, o cuando se requiera realizar un análisis discreto del sistema de control. La implementación matemática de estas

funciones de la realiza mediante una función triangular de base infinitamente pequeña.

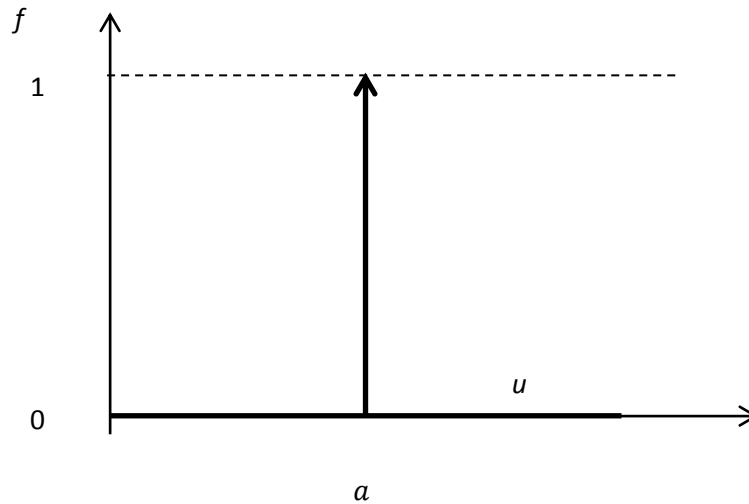


Figura 11: Función Singleton Fuente: **Del Brío, B. Redes Neuronales y Sistemas Difusos. (2da edición) Alfa omega Ra-ma**

Un ejemplo del uso de esta función es la identificación de manchas en imágenes digitales, al indicar la intensidad de los pixeles dañados. El filtro de la figura identifica intensidades oscuras cercanas al valor de 20, medias en el valor de 120, y claras en 200. Es importante mencionar que la imagen a ser tratada es de 8 bits con intensidades de [0 255].

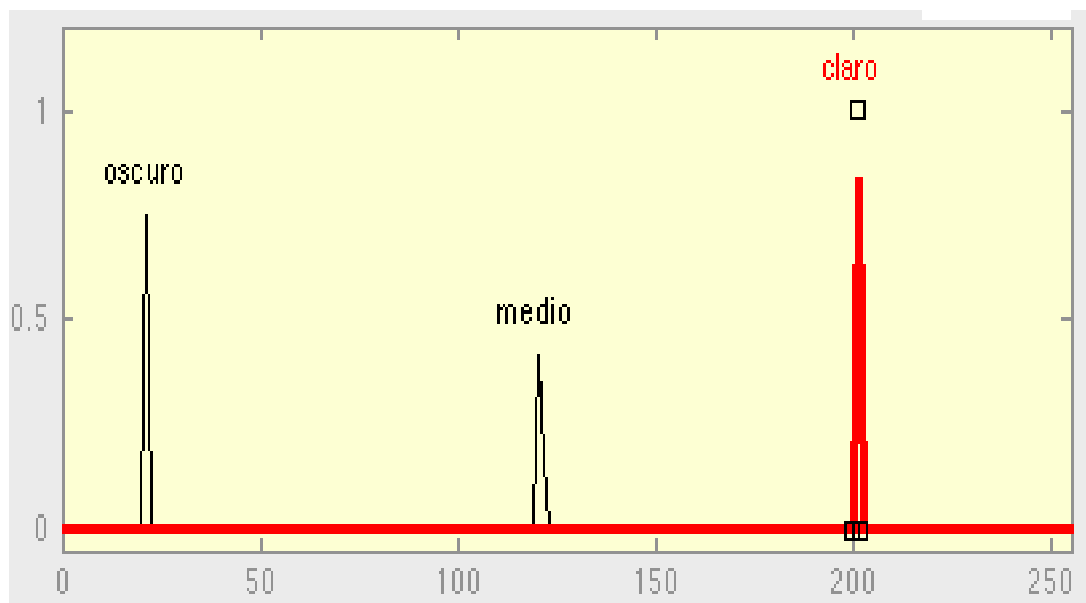


Figura 12: Ejemplo Función Singleton

2.2.3.5. Función Tipo π

Tiene forma de campana y sirve para conjuntos definidos en torno a un valor, con niveles de dependencia no lineales, y que pueden cambiar según la dinámica del sistema de control. Este tipo de funciones es muy utilizado cuando los ingenieros de conocimiento no han definido muy bien las fronteras de los conjuntos difusos, y también en el diseño de sistemas borros auto-configurables.

Todas las variables físicas pueden ser fuzzyficadas en conjuntos difusos, cuyas funciones de pertenencia sea π , Sin embargo, la implementación de estas funciones en sistemas de microcontrol es complicado y utilizan un elevado nivel de cálculo, disminuyendo la respuesta hacia en sistema de control, lo hace lento. Esta observación no se aplica en los sistemas de cómputo tradicionales, en donde el uso de las funciones PI es muy común, debido a la facilidad de adaptación.

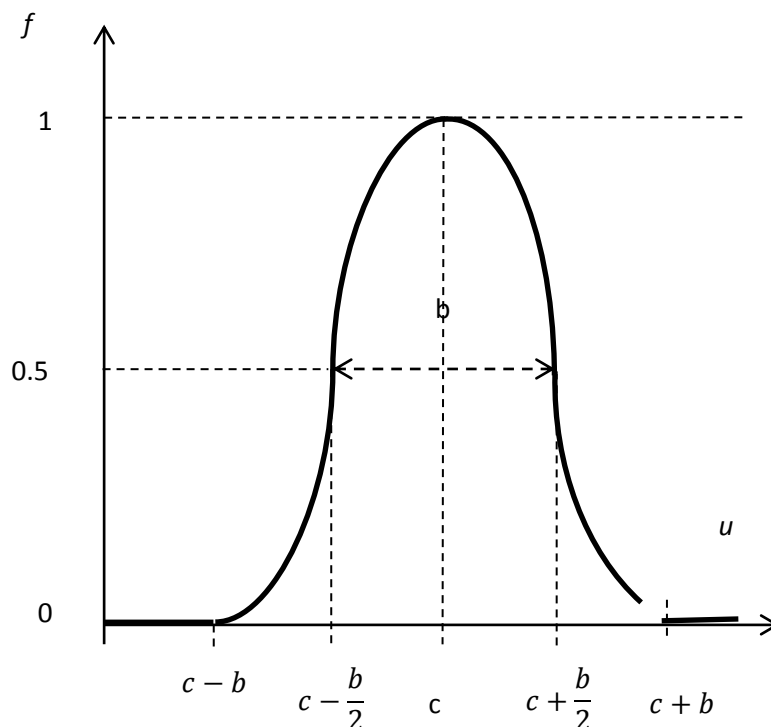


Figura 13: Función Tipo π

Como ejemplo se presenta el conjunto difuso “capitalBajo” de la variable financiera ahorros, esta variable pertenece al conjunto si y solo si el ingreso

promedio es de USD 2000, y tiene una variación de USD 500. Si se desea sesgar mas los niveles promedio de ingreso, solo se debe variar la el valor de la dispersión de la función tipo π .

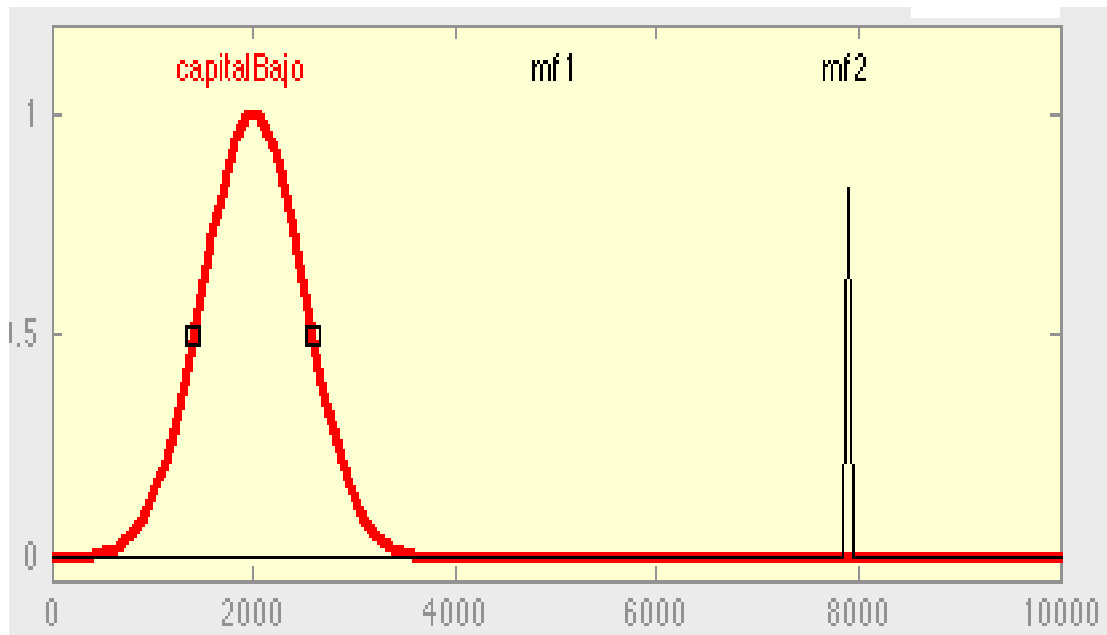


Figura 14: Ejemplo Función Tipo π

Las operaciones difusas pueden definirse en las mismas operaciones que las operaciones de conjuntos si la incertidumbre se reduce a 0 y se admiten valores entre 0 y 1. Estas son: complemento, unión e intersección. La unión y la intersección pueden calcularse de otras maneras dependiendo de las condiciones y restricciones que se necesiten cumplir. Para la intersección se utiliza la norma $\text{MIN}(a,b)$ o el producto cruz. Para la unión se utiliza la conorma $\text{Max}(a,b)$ o el producto punto.

Existen también otras operaciones que formalizan el tipo de modificadores sobre un mismo término de lenguaje común y estas son: concentración y dilatación. La operación concentración hace la función original de pertenencia más estrecha, ya que al calcular el cuadrado de un número entre 0 y 1 se obtiene un valor más pequeño. Mientras que la operación dilatación hace la función original de pertenencia menos exigente, ya que al calcular la raíz cuadrada de un valor entre 0 y 1 resulta un valor más grande.

La inferencia difusa, usa el razonamiento formal en proposiciones, pero a diferencia de la lógica clásica, los valores de las proposiciones pueden tomar valores intermedios entre verdadero y falso. Su propósito es proporcionar un soporte formal al razonamiento, basándose en el lenguaje natural, para dar información de carácter impreciso.

La relación difusa se define como un conjunto difuso que resulta de $U \times V = R$, siendo U y V universos de discurso, esta función de inclusión se denota con $u \in U$ y $v \in V$.

La composición Sup-Star también puede definirse como RoS para dos relaciones difusas R y S en $U \times V$ y $V \times W$, respectivamente, como otra relación borrosa con la función de inclusión:

$$\mu_{R \circ S}(u, w) = \sup_{v \in V} [\mu_R(u, v) * \mu_S(v, w)] \quad [2]$$

Donde $u \in U, v \in V, w \in W$ y el operador $*$ puede ser cualquier t-norma.

Dependiendo del t-norma que se elija se distinguen diferentes casos particulares de relaciones difusas, tales como: sup-min (operador min) y la sup-producto (operador producto)

Las reglas difusas son básicamente de tipo “si...entonces” expresando una relación difusa. Ya que el razonamiento no es preciso sino más bien aproximado, esto quiere decir que se puede deducir una conclusión sin que la premisa se cumpla completamente. Existen dos métodos de inferencia que son: El modus ponens generalizado (GMP) que es conocido como razonamiento directo y que se expresa como:

$$B' = A' \circ R \quad [3]$$

Donde A, A', B, B' son conjuntos difusos y el modus tolens generalizado (GMT) que se conoce como razonamiento inverso y que se expresa como:

$$A' = B' \circ R \quad [4]$$

Si definimos dos conjuntos A y B en dos universos U y V una implicación difusa de A en B sería $A \rightarrow B$ que es una relación difusa entre U y V; se puede definir con las siguientes funciones que se incluyen en la literatura difusa:

Tabla 8: Funciones de literatura difusa

Conjunción difusa	$\mu_{A \rightarrow B}(u, v) = \mu_A(u) * \mu_B(v)$
Disyunción difusa	$\mu_{A \rightarrow B}(u, v) = \mu_A(u) \dot{+} \mu_B(v)$
Implicación material	$\mu_{A \rightarrow B}(u, v) = \mu_{\bar{A}}(u) \dot{+} \mu_B(v)$
Calculo proposicional	$\mu_{A \rightarrow B}(u, v) = \mu_{\bar{A}}(u) \dot{+} \mu_{A * B}(v)$
Modus ponens generalizado	$\mu_{A \rightarrow B}(u, v) = \sup\{c \in [0, 1] \mid \mu_A(u) * c \leq \mu_B(v)\}$
Modus tolens generalizado	$\mu_{A \rightarrow B}(u, v) = \inf\{c \in [0, 1] \mid \mu_B(v) \dot{+} c \leq \mu_A(u)\}$

Elaborado por: Dayana Vargas. Fuente: Del Brío, B. Redes Neuronales y Sistemas Difusos. (2da edición) Alfa omega Ra-ma

Para hablar de las reglas difusas se debe saber primero que los conjuntos de entrada se llaman antecedentes o premisas, que pueden ser uno o más y que se asocian mediante las conjuntivas lógicas “y”, “o” con un conjunto de salida que se llama consecuente o consecuencia. Entonces se utiliza la proposición “si...entonces” para tomar una decisión en el proceso. La base de estas reglas es la FAM por sus siglas en ingles (memoria asociativa difusa) que consiste en matrices que representan la consecuencia de cada regla para cada combinación de 2 entradas, estas permiten representaciones gráficas de dos entradas con la salida. Se puede utilizar varias FAM de dimensión dos cuando el definir en dimensiones mayores a dos hace difícil el manejo de la misma. Un formato de reglas conocido como difuso puro o de tipo Mamdani es:

$$R^{(1)}: \text{IF } x_1 \text{ es } F_1^1 \text{ y } \dots \text{ y } x_n \text{ es } F_n^1 \text{ entonces } y^1 \text{ es } G^1 \quad [5]$$

Donde F_i^1 y G^1 son conjuntos difusos en $U_i \subset \mathcal{R}$ y $V \subset \mathcal{R}$, respectivamente las variables lingüísticas son:

$$x = (x_1, \dots, x_n)^T \in U_1 \times \dots \times U_n \text{ e } y \in V \quad [6]$$

Otro formato utilizado frecuentemente es el de tipo Sugeno en cuyo caso las variables de entrada se combinan linealmente para dar la función de salida, o también se combinan de forma genérica:

$$R^{(l)}: \text{IF } x_1 \text{ es } F_1^l \text{ y } \dots \text{ y } x_n \text{ es } F_n^l \text{ entonces } y^1 = f^1(x) \quad [7]$$

Donde si M es el de reglas “si entonces” de la base de reglas entonces $l = 1, 2, \dots, M$ en las ecuaciones anteriores.

El vector x es el que representa el conjunto de las entradas y y es la salida del sistema difuso. Cuando un sistema tiene descritas sus entradas como n entradas x_i y solo una salida se conocen como MISO por sus siglas en ingles (multiple input single output) y si tienen varias salidas se conocen como MIMO por sus siglas en ingles (multiple input multiple output), para estos se puede generalizar el formato de reglas que corresponde a las anteriores, o bien se las puede descomponer en k sistemas de tipo MISO.

Los dispositivos de inferencia borrosa son sistemas que interpretan las reglas “si...entonces” de una base de reglas para obtener valores de salida a partir de valores actuales de las variables lingüísticas de entrada del sistema. Las reglas de un sistema difuso de cualquiera de los dos formatos anteriores como una implicación difusa de $F_1^l \times \dots \times F_n^l \rightarrow G^1$ en $U \times V$ con $U \equiv U_1 \times \dots \times U_n \subset \mathcal{R}^n, V \subset \mathcal{R}$ si a la entrada del dispositivo de inferencia difusa en U le llamamos A' , cada regla l define un conjunto difuso B^l en V utilizando la composición Sup-Star

$$\mu_{B^l}(y) = \sup_{x \in U} \left[\mu_{F_1^l \times \dots \times F_n^l} (x, y) * \mu_{A'}(x) \right] \quad [8]$$

Y ya que existen seis diferentes formas de implicación difusa la ecuación se puede interpretar de seis diferentes maneras dependiendo de las normas y conormas que se empleen. Para simplificar las ecuaciones se llama

$$F_1^1 x \dots x F_n^1 \equiv A \text{ y } G^1 \equiv B \quad [9]$$

y así podemos expresar la ecuación anterior como $A \rightarrow B$. Entonces las implicaciones borrosas según sus reglas son:

Por la regla del mínimo:

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \min[\mu_A(x), \mu_B(y)] \quad [10]$$

Por la regla del producto:

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(y) \quad [11]$$

Por la regla aritmética:

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \min[1, 1 - \mu_A(x) + \mu_B(y)] \quad [12]$$

Por la regla Max-min:

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \max\{\min[\mu_A(x), \mu_B(y)], 1 - \mu_A(x)\} \quad [13]$$

Por la regla Booleana:

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \max\{1 - \mu_A(x), \mu_B(y)\} \quad [14]$$

Por la regla de Goguen:

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \begin{cases} 1 & \mu_A(x) \leq \mu_B(y) \\ \mu_B(y) / \mu_A(x) & \mu_A(x) > \mu_B(y) \end{cases} \quad [15]$$

La salida final de un dispositivo de inferencia difusa puede consistir en: M conjuntos difusos B^l , con $l = 1, 2, \dots, M$, y cada uno es el resultado de aplicar la entrada A' a cada M reglas de la base de reglas. O en un único conjunto difuso B^l que resulta de la unión M de los conjuntos B^l calculados según $\mu_{B^l}(y) = \mu_{B^1}(y) \dot{+} \dots \dot{+} \mu_{B^M}(y)$ o por último M escalares y^l con $l = 1, 2, \dots, M$ que

si las reglas son de tipo Surgeno, cada uno es el resultado de aplicar la entrada A' a cada M reglas de la base de reglas.

Un difuseador sirve para convertir un sistema no difuso en difuso estableciendo una relación entre puntos al sistema y a sus conjuntos; cabe aclarar que las variables procedentes del exterior serán no difusas así que estas serán las variables a difusear. Existen dos estrategias para realizar este procedimiento, el difuseador singleton es el más utilizado en sistemas de control, y consiste en considerar los propios valores discretos como conjuntos difusos. El difuseador no singleton consiste en utilizar esta función exponencial

$$\mu_{A'(x')} = a \cdot \exp\left[-\left(\frac{x' - x}{\sigma}\right)^2\right] \quad [16]$$

Un de-difuseador es la función que sirve para convertir un conjunto difuso en uno no difuso, existen tres métodos de realizar este proceso.

El de-difuseador por máximo está definido como

$$y = \arg \sup_{y \in V} (\mu_{B'}(y)) \quad [17]$$

donde y es el punto en que V alcanza su valor máximo.

El de-difuseador por media de centros está definido como

$$y = \frac{\sum_{l=1}^M y(\mu_{B'}(y^{-1}))}{\sum_{l=1}^M (\mu_{B'}(y^{-1}))} \quad [18]$$

donde y^{-1} es el centro del conjunto difuso.

El de-difuseador por centro de área está definido como

$$y = \frac{\sum_{l=1}^M M^l(\mu_{B'}(y^{-1}))}{\sum_{l=1}^M A^l(\mu_{B'}(y^{-1}))} \quad [19]$$

donde M^l es el momento en el eje y de la función de inclusión y A^l es el área.

Para desarrollar un sistema difuso se deben tomar en cuenta los detalles de implementación y sus condicionantes. Si el problema tiene muchas variables lingüísticas se debe tomar en cuenta la eficiencia computacional ya que en procesadores de poca capacidad de cálculo se deben escoger métodos que no utilicen mucha memoria como funciones de inclusión triangulares o trapezoidales y usar el cálculo de máximos así como funciones de tipo singleton para la salida ya que son sistemas más simples. Si se requiere que el sistema pueda realizar aprendizaje se necesita tomar en cuenta la facilidad de adaptación, en este caso se deben utilizar funciones de inclusión exponenciales y multiplicaciones; además que la función de salida sea derivable con respecto a los parámetros que se van a ajustar.

2.2.4. SENSORES DE TEMPERATURA

La unidad física fundamental para medir temperatura es el grado Kelvin (K). Pero como la mayor parte de la gente tiene en mente a los grados Celsius (C) como medida de temperatura, aquí se encuentra la relación para obtener el cero absoluto en grados Kelvin

$$T = ^\circ C + 279.15 \quad [20]$$

Así también, para entender esta y su relación con los grados Fahrenheit (F) en la siguiente tabla se describe algunos puntos de temperatura conocidos:

Tabla 9: Temperaturas conocidas

Escala	Cero Absoluto	Punto de Congelación	Punto de Ebullición
Celsius($^{\circ}C$)	-273,15	0	100
Fahrenheit($^{\circ}F$)	-459,67	32	212
Kelvin($^{\circ}K$)	0	273,15	373,15

Tabla considerada a 101.325 KPa.

Fuente: Ibrahim D.(2002)

El ITS-90 (Escala Internacional de Temperatura) da lugar a cambios de escala de 1.5°C a 3000°C y de menos de 0.025°C entre -100 y +100°C, estos cambios pueden ser importantes para quien este interesado en la precisa medición de temperatura, sin embargo para la mayoría de aplicaciones éstos no son muy significativos.

Para medir la temperatura hay varios tipos de sensores. Los más antiguos y clásicos son las termocúplas, los RTDs y los termistores, mientras que la nueva generación de sensores son circuitos integrados y dispositivos de radiación de termometría.

En la siguiente tabla se describen las características más importantes que se deben tomar en cuenta al momento de elegir el sensor:

Tabla 10: Características importantes de sensores de temperatura

Sensor	Rango de Temperatura	Exactitud °C	Costo	Robustez
Temocupla	-270a+2 600	1	Bajo	Bastante alta
RTD	-200a+600	0.2	Medio	Alta
Termistor	-50a+200	0.2	Bajo	Media
Circuito Integrado	-40a+125	1	Bajo	Baja

Elaborado por: Dayana Vargas Fuente: Ibrahim D.(2002) MICROCONTROLLER BASED TEMPERATURE MONITORING AND CONTROL. Miami Estados Unidos.

Las termocúplas son una simple unión de 2 metales diferentes. En 1821 se descubrió que el voltaje termoeléctrico es producido en un circuito cerrado de dos metales diferentes, una corriente eléctrica fluye si los 2 metales se ponen a diferentes temperaturas, si se encuentran a la misma temperatura los voltajes se cancelan mutuamente y la corriente no fluye.

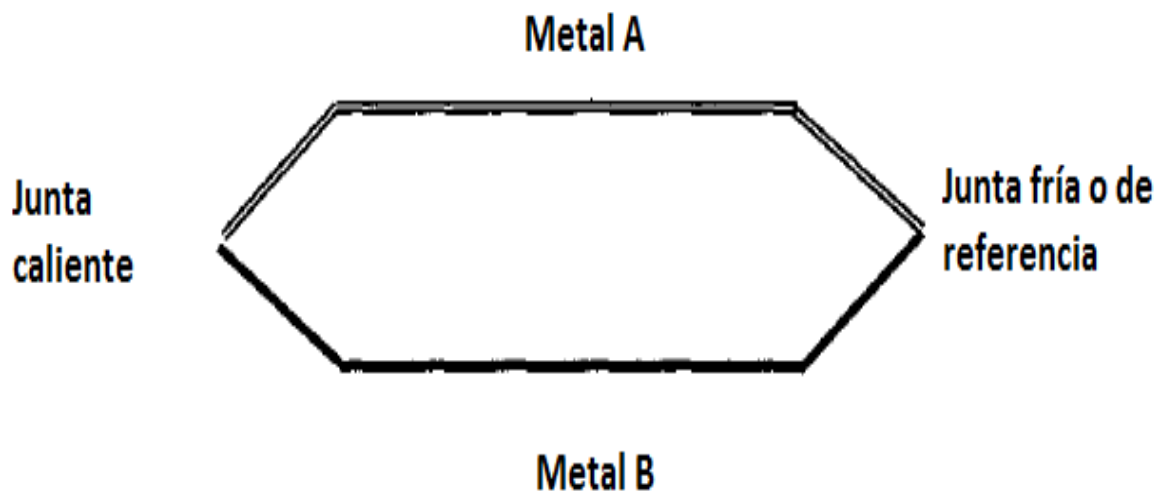


Figura 15: Partes de las Termocúplas **Fuente:** Ibrahim D.(2002) MICROCONTROLLER BASED TEMPERATURE MONITORING AND CONTROL. Miami Estados Unidos.

Para medir la temperatura con este sensor se debe insertar un dispositivo de medición de tensión en el circuito.

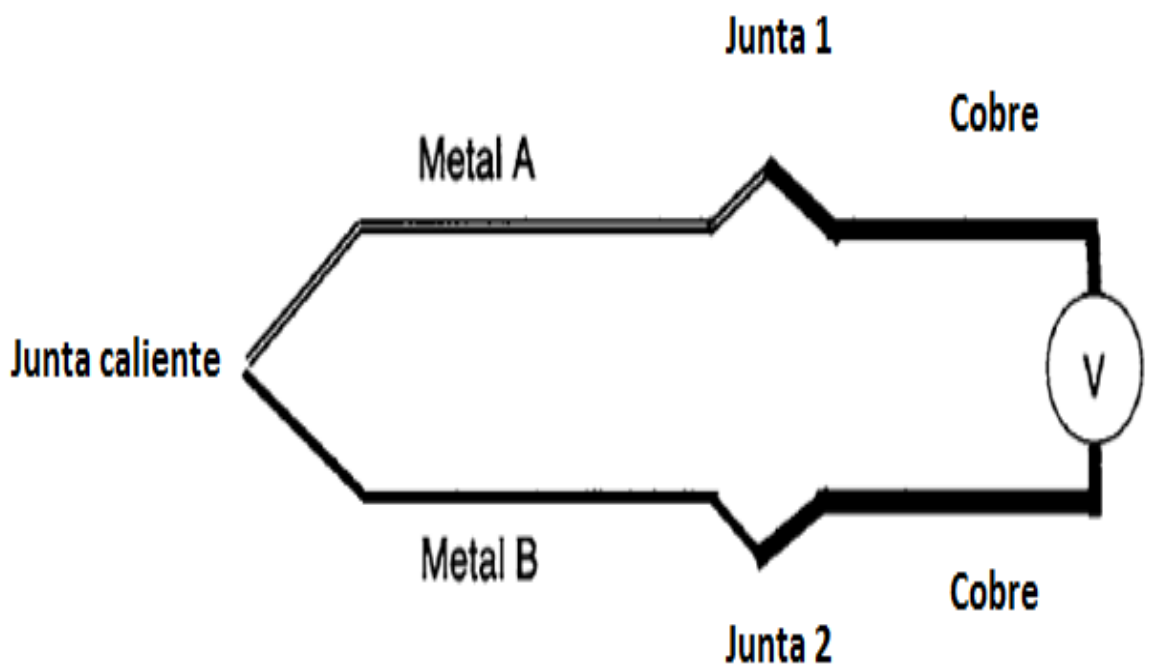


Figura 16: Lectura de Termocúplas **Fuente:** Ibrahim D.(2002) MICROCONTROLLER BASED TEMPERATURE MONITORING AND CONTROL. Miami Estados Unidos.

Las termocúplas funcionan en un amplio rango de temperaturas, tanto altas como bajas, son de bajo costo y bastante robustas lo que significa que

pueden ser usados en la mayoría de ambientes hablando en términos químicos y físicos. Además no necesitan alimentación externa para funcionar. Sin embargo no son muy sensibles. Requieren una unión de referencia de compensación y son sujetos de ruido. Además, no son lineales.

Existen cerca de 12 tipos de termocúplas, a cada uno se le ha asignado una letra que indica el material del que están hechas. En la siguiente tabla se indican los 12 tipos, sus datos más importantes:

Tabla 11: Tipos y características de termocúplas

Tipo	Conductor+	Conductor-	Coeficiente ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)	Rango de temperatura($^\circ\text{C}$)
K	Ni+10%Cr	Ni+2%Al+2%Mn+1%Si	42	-180 a 1350
J	Fe	Cu+43%Ni	54	-180 a 750
N	Ni+14%Cr+1.5%Si	Ni+4.5%Si+0.1%Mg	30	-270 a 1300
T	Cu	Cu+43%Ni	46	-250 a 400
E	Ni+10%Cr	Cu+43%Ni	68	-40 a 900
R	Pt+13%Rh	Pt	8	-50 a 1700
B	Pt+30%Rh	Pt+6%Rh	1	+100 a a+1750

Elaborado por: Dayana Vargas Fuente: Ibrahim D.(2002) MICROCONTROLLER BASED TEMPERATURE MONITORING AND CONTROL. Miami Estados Unidos.

Algunas aplicaciones de las termocúplas pueden usarse sin ningún tipo de aislante, pero existen aplicaciones industriales en las que la termocupla debe ser protegida del ambiente en el que debe tomar la muestra, estos requieren de uno de los siguientes aislantes:

- PVC, que puede ser utilizado en temperaturas desde -30°C hasta $+100^\circ\text{C}$.
- Teflón, que sirve para temperaturas de -250°C a $+250^\circ\text{C}$
- Fibra de vidrio, cuyo rango de uso es de -50°C a 500°C

Cuando el sensor deba ser colocado en un lugar remoto y el largo de los cables del sensor no sea suficiente, se debe colocar cables de extensión fabricados del mismo material que el conductor. Estos cables se identifican mediante el uso de una letra "X" antes de la letra del tipo de termocupla. Cuando este cable es demasiado largo su resistencia puede variar y debe ser tomada en cuenta al momento de la medición.

El tiempo de respuesta de una termocupla depende de varios parámetros, puede ser más rápido si la temperatura que se está midiendo desciende. Hay otra manera de reducir el tiempo de respuesta que consiste en elegir una termocupla del menor diámetro posible.

Las termocúplas industriales presentan 3 estilos. El "Hand held probe" que puede funcionar a cerca de 1100°C que consiste en un largo cable de extensión con un sensor muy pequeño al final del mismo, sirve para penetrar materiales semisólidos como comida y plásticos. La termocupla perno tiene la cabeza labrada como tornillo, es decir, se puede atornillar a maquinas industriales o motores para medir su temperatura. La termocupla anillo es apropiada para medir la temperatura de cualquier superficie redonda como por ejemplo tuberías. La termocupla arandela tiene una arandela incorporada puede ser ensamblada donde quepa la arandela sirve para medir temperatura de recipientes y tuberías. Las termocúplas insertables pueden ser sumergidas en líquidos ya que el sensor está dentro de un tubo de acero inoxidable. Existen muchos tamaños y formas de terminal de cabeza y es muy usado en aplicaciones de control.



Figura 17: Foto Termocupla **Fuente:** Ibrahim D.(2002) MICROCONTROLLER BASED TEMPERATURE MONITORING AND CONTROL. Miami Estados Unidos.

El termino RTD es la sigla para resistencia detectora de temperatura. Los RTDs son resistencias variables que dependen de la temperatura a la que se encuentran. Según el principio de que la resistencia eléctrica varia con la temperatura cualquier metal podría ser utilizado para censar, sin embargo existen varios metales que en la práctica no se pueden utilizar para este fin ya que algunos no tienen un alto punto de fusión o no aguantarían la corrosión, los más comunes son de níquel, platino, o aleaciones de níquel.

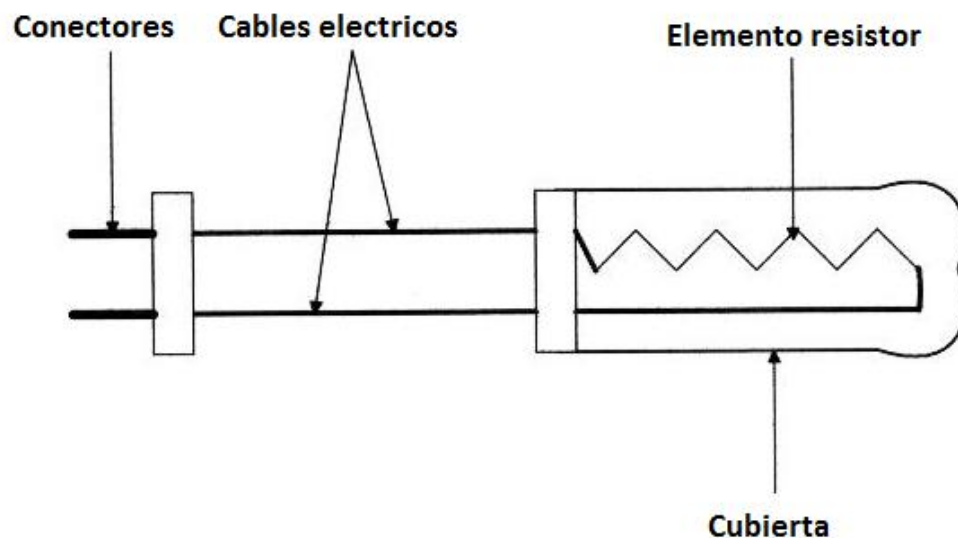


Figura 18: Partes RTD **Fuente:** Ibrahim D.(2002) MICROCONTROLLER BASED TEMPERATURE MONITORING AND CONTROL. Miami Estados Unidos.

Los RTDs son difíciles de medir ya que su variación de resistencia es baja ante los cambios de temperatura, puede ser $0.40/^{\circ}\text{C}$ así que para tener una medida exacta se requieren configuraciones especiales del circuito.

En este tipo de sensor el largo de los cables de conexión afectaran directamente a la lectura de la medición porque suma resistencia adicional. También, como la corriente debe atravesar el sensor para poder leer su voltaje este se puede auto calentar. Esto sucede más en el aire que en líquidos. Para evitar este error se debe utilizar la menor corriente posible.

Se pueden usar en varios ambientes. Aunque no son tan robustos como las termocúplas, estos tienen un tiempo de respuesta lenta y su precio es alto. Además son sensibles a los golpes y necesitan una fuente de corriente para funcionar. Son considerados los sensores más exactos y estables. Para evitar cualquier error en la medición se debe evitar la contaminación aunque

por debajo de los 250°C la contaminación no representa un gran problema es por eso que se utilizan técnicas especiales en la manufactura si la temperatura va a ser mayor.

Los RTDs se fabrican de dos maneras; una de ellas consiste en envolver un hilo muy fino de alambre alrededor de un material no conductor como vidrio o cerámica hasta que se alcanza la resistencia deseada, entonces el elemento es tratado para protegerlo de cortos y para que sea resistente a la variación. Este tipo de RTDs se los llama 'Wire Wound'.

La otra manera de fabricar un RTD consiste en depositar una capa de platino en un patrón de resistencia en un substrato de cerámica. Esta película se cubre con vidrio después de ser tratado hasta que alcanzar la resistencia deseada, luego se cubre con una capa epóxica para que el sensor tenga resistencia a la vibración. Este método se llama RTD de capa delgada y provee una rápida respuesta y son más baratos que los otros RTDs aunque son menos estables.

La relación resistencia-temperatura de los RTDs tiene que ver con el material del que está hecho, ya que cada metal tiene una resistencia y esta es directamente proporcional al largo y la resistividad del metal, y es inversamente proporcional a su área transversal. Como muestra la siguiente formula:

$$R = \rho L/A \quad [21]$$

Dónde: R es la resistencia del metal, ρ es la resistividad, L es el largo del metal y A es el área transversal del metal.



Figura 19: Foto RTD

Fuente: Ibrahim D. (2002) MICROCONTROLLER BASED TEMPERATURE MONITORING AND CONTROL. Miami Estados Unidos.

La palabra termistor se deriva de las palabras “termo” y “resistor”. Son semiconductores pasivos que presentan un cambio grande en la resistencia cuando su cuerpo recibe un cambio de temperatura pequeño. Se los fabrica de diferentes tamaños y formas; pueden ser, de disco, de arandelas, de placa, de bola, o de chip que son los más utilizados.

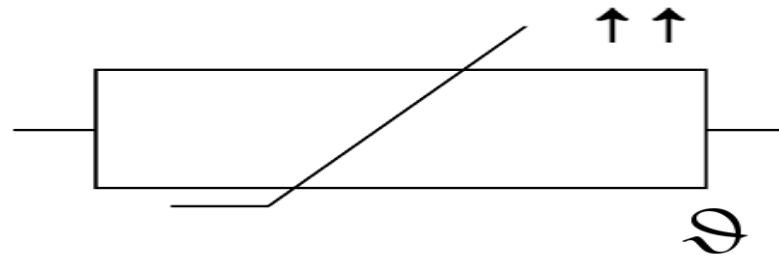


Figura 20: Diagrama Termistor **Fuente:** Ibrahim D.(2002) MICROCONTROLLER BASED TEMPERATURE MONITORING AND CONTROL. Miami Estados Unidos.

Se pueden usar en aplicaciones de baja a media temperatura. Su tiempo de respuesta es rápido y su cambio de resistencia – temperatura es notable. Son menos robustos que los dos sensores anteriores por lo que será difícil usarlo en ambientes químicos. Sin embargo son de bajo costo y bastante precisos. Estos no son fácilmente intercambiables sin una recalibración previa.

Los termistores de disco se hacen mezclando y compensando varios polvos de óxidos de metales con aglutinante. El disco se forma mediante compresión bajo altas presiones en máquinas de granulación que producen la típica forma de disco, un material del electrodo se pone al otro lado del disco para asegurar los cables conductores. En ocasiones una capa de material epóxico o vidrio se pone para proteger el dispositivo del ambiente o de la deformación. Finalmente los termistores son sujetos de un proceso de envejecimiento que asegura la estabilidad de sus valores.

Los termistores de arandela son parecidos a los de disco solo que tienen un agujero en el medio que sirve para facilitar su ensamble.

Los termistores de bola tienen cables insertados en el material cerámico, se hacen al principio de la misma forma que los de disco hasta la parte de poner el aglutinante, ya que después de esto se le mete a un horno con los cables y se cose, después el cuerpo de cerámica se hace más denso

alrededor de los alambres. Y finalmente los cables se cortan para poner una capa protectora de vidrio en los dispositivos individuales.

Los termistores de chip se hacen como los capacitores de cerámica. Un oxido aglutinador se vierte, se deja secar en una cinta flexible de cerámica que después se corta en pedazos que se sintetizan a altas temperaturas. Después de ser cortados en cuadrados se pueden usar montándoles en una superficie o se le puede poner cables para hacer un termistor discreto.

Existen 2 tipos de termistores: los de coeficiente de temperatura negativa (NTC) y los de coeficiente de temperatura positiva (PTC).

Los PTC generalmente se usan en circuitos de potencia para la protección de corriente de entrada y existen 2 tipos. Los silistores que son resistencias de silicona, estos dispositivos tienen una temperatura de coeficiente positivo bastante uniforme durante la mayor parte de su operación, sin embargo también exhiben un coeficiente de temperatura negativo en temperaturas altas. Son usados para compensar semiconductores de silicio. Los PTC de conmutación tienen un coeficiente de temperatura negativa pequeño hasta que el dispositivo alcanza una temperatura crítica, a partir de esta temperatura el dispositivo empieza a mostrar un coeficiente de temperatura positivo que se ve en su resistencia. No se usan en aplicaciones de control y monitoreo.

Los NTC tienen características que permiten medir temperatura y hacer aplicaciones de control. Su resistencia decrece cuando la temperatura aumenta y su relación resistencia-temperatura no es lineal, depende del tipo de material que se utiliza y del método de fabricación, pueden medir entre -50°C y $+150^{\circ}\text{C}$. La resistencia de un termistor hace referencia a 25°C y para la mayoría de aplicaciones la resistencia a esta temperatura esta entre 100Ω y $100\text{K}\Omega$.

Una de las ventajas del termistor NTC es su sensibilidad, ya que su cambio en la resistencia es grande al cambiar la temperatura. Otro beneficio de los termistores NTC es su pequeño tamaño, esto hace que su respuesta sea rápida, lo que se necesita en sistemas de control con retroalimentación. La robustez de un NTC hace que resista cambios bruscos de temperatura,

vibraciones y no sufren tensión mecánica. El beneficio más importante del termistor NTC es que puede ser usado en lugares remotos o lejos del circuito de control; ya que los cables largos no representan una resistencia significativa para la del termistor, aunque también es muy importante su intercambiabilidad, ya que se manufacturan con tolerancias cercanas se puede intercambiar el sensor sin tener que calibrar todo el sistema de medición, además éste es el más baratos de los sensores de temperatura.

La corriente que pasa a través de un termistor puede causar que este se caliente y esto puede cambiar la medición, ya que la lectura de la resistencia se reduce. Esta cantidad de calor es directamente proporcional a la energía disipada por el termistor. Se debe saber que mientras más grande es el termistor más energía puede disipar, además los termistores pueden disipar más el calor estando en líquidos que en el aire. El calor que se produce durante un proceso de medición también se disipa a través de los cables conductores, por esta razón las áreas de contacto deben estar conectadas de tal manera que no se calienten.

El tiempo de respuesta de un termistor depende del tipo de masa del termistor y del método utilizado para su acoplamiento térmico. El más común alcanza el 67% de la resistencia de una nueva temperatura en 0.7 segundos en aceite y 10 segundos en el aire.

La relación resistencia-temperatura la entrega el fabricante de algunas maneras, puede ser mediante una tabla. También se puede utilizar la ecuación "Steinhart-Hart" que muestra esta relación de una manera bastante precisa, la ecuación es:

$$\frac{1}{T_T} = a + b \ln(R_T) + c [\ln(R_T)]^3 \quad [22]$$

Donde T_T es la temperatura que está siendo tomada ($^{\circ}\text{K}$), R_T es la resistencia del termistor a la temperatura T_T , a , b y c son los coeficientes del termistor.

Los termistores son sensores altamente no lineales. Sin embargo, se puede obtener respuestas lineales conectando una resistencia en paralelo con el

termistor, el valor de dicha resistencia debe ser igual a la resistencia que da el termistor en el medio del rango de temperatura de interés.



Figura 21: Foto Termistor **Fuente:** Ibrahim D.(2002) MICROCONTROLLER BASED TEMPERATURE MONITORING AND CONTROL. Miami Estados Unidos.

Los sensores circuitos integrados sensores de temperatura son dispositivos semiconductores que se fabrican de la misma manera que muchos microcontroladores. Son usados en aplicaciones de baja temperatura. Su acoplamiento térmico con el ambiente no es el mejor y tiene una exactitud de $\pm 1^\circ\text{C}$. Su costo es bajo y además algunos de sus modelos tienen una salida digital que permite que sea conectado directamente sin un conversor análogo digital.

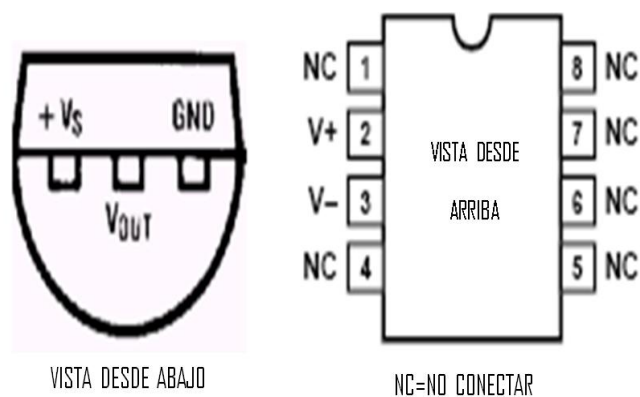


Figura 22: Diagrama CI Sensor de Temperatura **Fuente:** Ibrahim D.(2002) MICROCONTROLLER BASED TEMPERATURE MONITORING AND CONTROL. Miami Estados Unidos.

Existen muchas diferencias entre estos y el resto de sensores de temperatura, entre ellas está la linealidad de su lectura que marcará $10\text{mV}/^\circ\text{C}$. Su rango de trabajo es limitado, trabaja desde -40°C hasta $+150^\circ\text{C}$. Para usar uno de estos circuitos integrados se necesita una fuente de poder, además algunos de sus fabricantes ofrecen características como funciones de termostato y algunas otras.

Existen 2 categorías en las que se pueden dividir estos sensores, la categoría A y la categoría B. Los sensores de la categoría A son los sensores análogos de temperatura, que a su vez pueden ser de voltaje o de corriente, los sensores análogos de temperatura pueden ser conectados directamente a dispositivos de medida o pueden ser conectados a convertidores que permiten que la medición se pueda utilizar para aplicaciones avanzadas; la categoría B que consiste en los sensores digitales de temperatura generalmente incluyen su propio bus o algún otro tipo de interface con el mundo.

Los sensores de temperatura con salida de voltaje proporcionan un voltaje a su salida que es proporcional a la temperatura que se está midiendo, en la siguiente tabla se encuentran los más comunes.

Tabla 12: Tipos y características de circuitos integrados sensores de temperatura

Sensor	Fabricante	Relación de salida	Error máximo	Rango de temperatura
LM35	Nacional Semiconductors	$10\text{mV}/^\circ\text{C}$	$\pm 1^\circ\text{C}$	De -20°C a 120°C
LM34	Nacional Semiconductors	$10\text{mV}/^\circ\text{F}$	$\pm 3^\circ\text{F}$	De -20°C a 120°C
LM50	Nacional Semiconductors	$10\text{mV}/^\circ\text{C}$ 500mV offset	$\pm 3^\circ$	De -40°C a 120°C
LM60	Nacional Semiconductors	$6.25\text{mV}/^\circ\text{C}$ 424mV offset	$\pm 3^\circ\text{C}$	De -40°C a 125°C
S8110	Seiko Instruments	$-8.5\text{mV}/^\circ\text{C}$	$\pm 2.5^\circ\text{C}$	De -40°C a 100°C
TMP37	Analog Devices	$20\text{mV}/^\circ\text{C}$	$\pm 3^\circ\text{C}$	De $+5^\circ\text{C}$ a 100°C

Elaborado por: Dayana Vargas Fuente: Ibrahim D.(2002) MICROCONTROLLER BASED TEMPERATURE MONITORING AND CONTROL. Miami Estados Unidos.

De estos sensores, el que más se utiliza es el LM35 que tiene 3 pines.



Figura 23: Foto CI Sensores de Temperatura **Fuente:** Ibrahim D.(2002) MICROCONTROLLER BASED TEMPERATURE MONITORING AND CONTROL. Miami Estados Unidos.

Los dispositivos de termometría de radiación miden la radiación emitida por objetos calientes, basado en la emisividad del objeto. Pero la emisividad por lo general no se conoce exactamente y adicionalmente esta puede variar con el tiempo, haciendo la conversión de radiación a temperatura más difícil. Además la radiación de fuera del campo puede entrar al instrumento de medición, dando errores de conversión. Sin embargo funcionan muy bien en temperaturas muy altas. Este tipo de dispositivos necesitan equipo adicional de tratamiento de señales para funcionar.

Con todos los sensores descritos anteriormente se pueden encontrar algunos errores de medición. Estos errores pueden tener variadas causas, como por ejemplo los errores de calibración, el auto calentamiento, el ruido en la señal, el esfuerzo mecánico, el acoplamiento térmico, el tiempo de respuesta y los cables conductores del sensor.

Los errores de calibración ocurren como resultado de errores de compensación y de linealidad. Los fabricantes recomiendan calibrar los equipos de medición cada cierto tiempo, más aún cuando se va a intercambiar un sensor aunque sea con otro del mismo tipo.

El hecho de usar una fuente externa de alimentación para poder tomar la señal puede producir auto calentamiento de un sensor. Este efecto dependerá del tamaño del sensor y de la cantidad de energía disipada por el mismo. Este error puede ser evitado usando la menor cantidad posible de alimentación externa o en su lugar calibrando en la toma de las medidas del auto calentamiento del sensor.

El ruido distorsiona una señal cuando las muestras que se están tomando son sumamente bajas. El ruido puede ser minimizado usando un filtro.

Algunos sensores, como el RTD, son sensibles a la tensión mecánica y su salida puede ser errónea a causa de esto. Para evitar este tipo de error no se debe usar adhesivos para acoplar el sensor a la superficie de medición. Aunque la mejor opción es usar una termocupla ya que éstas son menos sensibles a la tensión mecánica.

El acoplamiento térmico es importante ya que si el sensor no tiene un buen contacto con la superficie de la que se está tomando la muestra no dará una medida real. Al momento de censar líquidos, éstos se deben batir para lograr que la temperatura de la muestra sea uniforme.

Cada tipo de sensor tiene un tiempo de respuesta diferente. Esto se refiere al tiempo que se demora el sensor en alcanzar el 63% del estado final estacionario después de un cambio de temperatura externa. Esto se puede evitar mediante el uso de un sensor cuyo tiempo de repuesta sea pequeño o también mejorando el acoplamiento térmico.

El cobre es un buen conductor térmico, y los cables conductores de algunos de los sensores son de cobre. Estos cables pueden llevar a errores en la medición si se encuentran colocados en un ambiente cuya temperatura es diferente al de la medición. Este error se puede disminuir mediante el uso de cables conductores de poco diámetro o teniendo en cuenta por donde van a pasar dichos cables.

2.2.5. MICROCONTROLADOR

Los microcontroladores son pequeños dispositivos “micro” se asocia a su tamaño, y “controladores” porque son capaces de controlar máquinas o incluso otros controladores, son diseñados para ser conectados a máquinas y en algunos casos hasta a personas.

Son muy útiles ya que una vez que alguien aprende a programarlos puede construir máquinas o artefactos que pueden ser dejados para que trabajen automáticamente, esto hace casi infinito el número de aplicaciones de los microcontroladores.

En un chip o integrado programable, microcontrolador, se pueden colocar varios periféricos a los que se les debe acoplar un circuito externo que funciona con un programa específico quemado en su memoria.

Un microcontrolador especial es el Dspic que es un procesador especial para señales digitales.

Tabla 13: Cuadro de Características de Microcontroladores de 16 bits

Característica	Marca	MICROCHIP	FRESCALE	ATMEL
Arquitectura		16 bit	16 bit	16 bit
RAM		16.384	1024	2048
Tipo de memoria		Flash	Flash	Flash
EEPROM		128 KB	512B	128
Numero de pines		100		64
Puertos de entrada y salida		85		50
Rango de voltaje de operación (V)		3 a 3.6	3.13 a 5.5	1.6 a 3.6
Periféricos de comunicación digital		2-UART,2-SPI,2-12C	1-SCI, 1-SPI	10-SPI,7-UART, 2-TWI
Canales de PWM			4	22
Convertidor ADC		2	16	3

Fuente: Torres R, A. A (2007) *El Microcontrolador, Volumen 3.*

El pic de 16 bits de la microchip, específicamente el dspic33fj128 funciona en un rango de entre 3 y 3.6 V, desde -40° C hasta 85 ° C de temperatura, parámetros que están dentro de los rangos de la temperatura industrial. Tiene 85 puertos entre los de entrada y salida, 32 de ellos son programables como entrada con la función de auto-escaneo y 2 de ellos son convertidores de señal análoga a digital. Tiene una arquitectura Harvard modificada que permite un alto rendimiento del CPU, además de un compilador de set de instrucciones C optimizado. Tiene 16 bits de datos, 24 bits de instrucciones, 16 bits de registro para propósitos generales y 2 acumuladores de 40 bits. Este pic es interrumpido o accionado con hasta 24 pines que manejan el mismo voltaje de funcionamiento, con la diferencia de que todas las entradas digitales toleran hasta 5V. Además en cualquiera de los pines, ya sean de entrada o salida, atraviesan 4mA. En el chip se encuentra un regulador de voltaje de 2.5V, puede cambiar de estado (encendido o en reposo) rápidamente. Cuenta con un bus de detección de colisiones y arbitraje y maneja las entradas con el método FIFO, es decir, el primero que entra es el primero que sale y los 16 bits de PWM son a prueba de fallas y su consumo de energía es bajo.

El pic de 16 bits de FREESCALE tiene una memoria flash que es ideal para aplicaciones de una sola fuente, incluye un controlador de memoria que ejecuta los comandos. Funciona con, entre, 3.13 a 5V y con temperaturas que van desde los -40° C hasta los 150 ° C, tiene 112 pines, de los cuales 8 pueden ser utilizados como entrada programable, es decir, el número de muestras por ciclo es modificable, 3 pines sirven para interrupciones, 8 pueden generar PWM, 2 se utilizan como salida, el resto son de alimentación y propósitos generales. Este microcontrolador ha sido optimizado para aplicaciones que requieran comunicación CAN o LIN/SAE J2602 El MC9S12G.

El pic de 16 bits de ATMEL funciona con un rango de 1.6 a 3.6V y es capaz de trabajar en temperaturas desde -40 ° C hasta 85 ° C. Tiene 64 pines, de los cuales 50 son utilizados como salidas o entradas, tiene 22 canales de

comparación de salida que generan también PWM y 22 canales de captura de información de entrada, el resto son de alimentación y propósitos generales.

2.2.6. CONVERTIDOR ANÁLOGO DIGITAL

Convertir una señal análoga en digital es un proceso en el que las señales de tener unos pocos niveles definidos o estados digitales que son 0s o 1s, se convierten en señales que tienen un número teóricamente infinito de niveles o estados analógicos.

El procesamiento de un modem es muy útil para entender lo que es un convertidor análogo-digital ya que los datos del computador en audiofrecuencia son transmitidos a través de una línea de par trenzado de teléfono después de ser convertidos a señales digitales.

Existen también conversores digitales-análogos, los pulsos digitales aparecen como largas cadenas de 0s y 1s no tienen ningún significado para el observador pero a través de un convertidor se pueden codificar estas señales y convertirlas en resultados como sonidos, imágenes, o un movimiento mecánico.

Tanto la los convertidores análogos-digitales como los digitales – análogos son importantes en aplicaciones de procesamiento de señales digitales. La fidelidad de una señal analógica puede ser mejorada mediante la conversión de la entrada analógica a formato digital usando un convertidor, aclarar la señal digital, y finalmente la convertir nuevamente la señal para enviarla limpia.

2.2.7. VÁLVULAS

Una válvula es un dispositivo que permite el control de flujo, paso y dirección de fluidos, mediante una parte móvil en la misma. Dependiendo de la operatividad del obturador pueden ser:

2.2.7.1. VÁLVULA MULTIGIRO

Las válvulas multigiro permiten el paso del fluido por un empuje que hace su eje al girar sobre una rosca, esta operación es lenta y permite un posicionamiento controlado por un operario o actuador multigiro.

2.2.7.2. VÁLVULA DE CUARTO DE GIRO

Las válvulas de cuarto de giro permiten un posicionamiento angular desde 0 a 90 grados ya que su obturador tiene forma de esfera o bola hueco por lo que se le conoce como válvula bola o válvula esfera. Puede regular el fluido canalizado mediante posicionamiento manual o mediante un actuador que funcione con posicionamiento angular, el fluido pasa completamente a través del canal cuando el hueco de la bola se alinea con el canal, y se regula de acuerdo a su abertura con respecto al mismo.

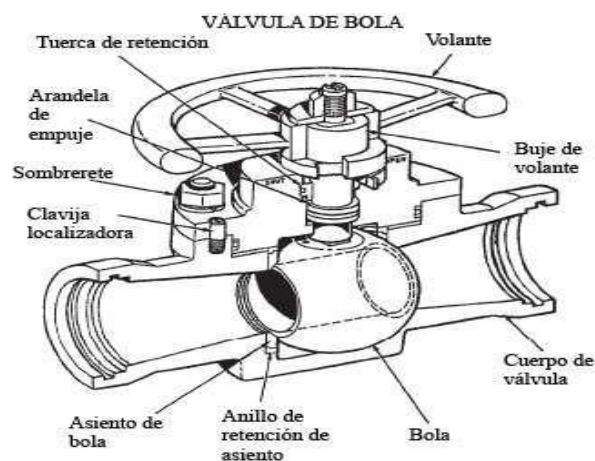


Figura 24: Diagrama de Válvula Bola **Fuente:** Conceptos básicos de Neumática e Hidráulica, (s,f). Recuperado el 16 de Octubre del 2010, de http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica30.html

2.2.7.3. VÁLVULA LINEAL

Las válvulas lineales, que son las que permiten un paso directo del fluido mediante un movimiento lineal del obturador, también se les conoce como electroválvulas ya que el movimiento se realiza a través de un pulso eléctrico.

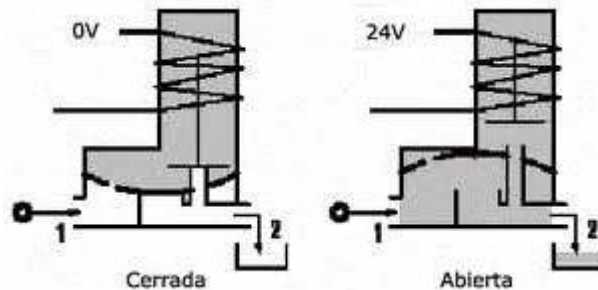


Figura 25: Diagrama Electroválvula **Fuente:** UUMControlyadquisicion, (s,f). Recuperado el 16 de Octubre del 2010, de www.subversion.assembla.com

2.2.8. SERVOMOTOR

Este motor es un dispositivo de baja inercia que tiene un motor de corriente continua, una caja reductora que le proporciona fuerza, y una placa de control; mediante la cual se envían señales codificadas que dan la capacidad de ubicarse en cualquier posición angular específica recibida mediante una señal de PWM y mantenerse en esa posición hasta recibir una señal diferente o dejar de recibir dicha señal.

Los servomotores se utilizan en procesos industriales, en sistemas de radio control, y en robótica debido a que su tiempo de reacción es corto.

2.2.9. FILTROS

Existen filtros electrónicos que responden a la frecuencia, eliminan cierta banda de frecuencia de señal para que otras lleguen más claramente, de esta manera se eliminan las señales que no se necesitan para el procedimiento. Existen 4 tipos de estos filtros.

Los filtros pasa altos permiten el paso de frecuencias desde un valor determinado hacia arriba, para este filtro no existe un límite superior. Presenta 0 a bajas frecuencias y 1 a altas frecuencias.

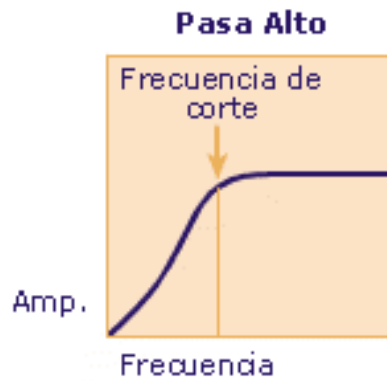


Figura 26: Filtro Pasa Alto

Su función de transferencia es:

Función de transferencia filtro pasa alto:

$$\frac{e_0}{e_i}(D) = \frac{x_0}{x_i}(D) = \frac{K_{px}}{P_i}(D) = \frac{\tau D}{\tau D + 1} \quad [23]$$

Los filtros pasa bajos permiten el paso de las frecuencias desde 0 hasta un valor determinado. Presenta 1 a bajas frecuencias y 0 a altas frecuencias.

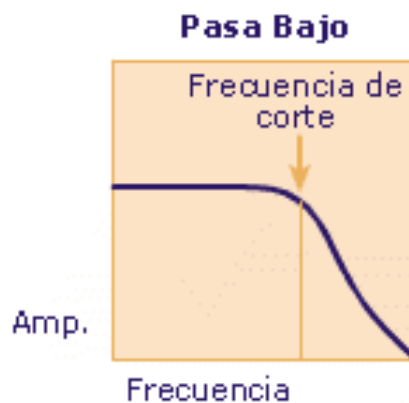


Figura 27: Filtro Pasa Bajo

Su función de transferencia es:

$$\frac{e_0}{e_i}(D) = \frac{x_0}{x_i}(D) = \frac{P_0}{P_i}(D) = \frac{T_0}{T_i} = \frac{1}{\tau D + 1} E \quad [24]$$

Los filtros pasa banda permiten el paso de las frecuencias contenidas en un rango establecido, es decir entre una frecuencia de corte inferior y una superior.

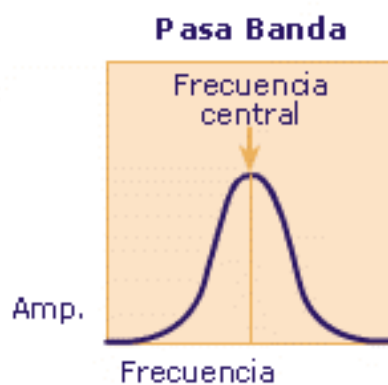


Figura 28: Filtro Pasa Banda

Los filtros rechaza banda no permiten el paso de las frecuencias contenidas en un rango establecido, es decir entre una frecuencia de corte inferior y una superior.

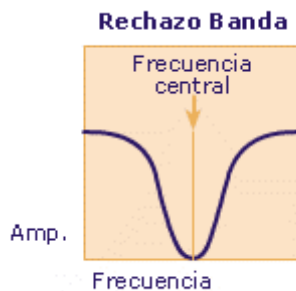


Figura 29: Filtro Rechaza Banda

3. METODOLOGÍA

3.1. METODOLOGÍA MECATRÓNICA

3.1.1. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTO DEL PROYECTO

Para la instalación de este control difuso para la temperatura de la ducha se deben cumplir con los siguientes requerimientos:

Se debe conocer la presión de agua del lugar de instalación. En caso de que la presión afecte la temperatura el sistema alertará al usuario y detendrá el sistema hasta que se logre el equilibrio nuevamente.

También se debe conocer la temperatura del agua a la que sale del sistema de calentamiento del agua, independientemente del método de generación. En este caso se tomó la temperatura del termostato ubicado en la terraza del bloque D de la Universidad Tecnológica Equinoccial, que alcanzo los 60°C; además, según expertos en sistemas hidráulicos se obtuvo el dato de que la presión nominal en la ciudad es de 100 metros de carga de agua, es decir 1 MPa.

El espacio físico para el sistema de mezcla, la bomba y resto de tuberías debe encontrarse en la estructura del cuarto de baño para conservar la temperatura deseada cerca de la salida y así evitar pérdidas de calor en el camino. El sistema es compacto con el fin de optimizar el espacio dentro del cuarto de baño, el área utilizada es de 1.5 m x 0.5 m.

3.1.2. DISEÑO SIMULTANEO DE LOS COMPONENTES MECATRÓNICOS DEL PROYECTO

3.1.2.1. Diseño del sistema de mezcla, direccionamiento, almacenamiento y recirculación del agua.

Para la construcción del sistema se necesita tener las conexiones de agua fría y caliente, y la conexión y elementos necesarios se encuentran enumerados y escritos a continuación:

A la salida de agua fría se conecta una válvula bola acoplada a un servomotor. La válvula, después de su adaptación se ve de la siguiente manera(vistas completas en anexo 4):

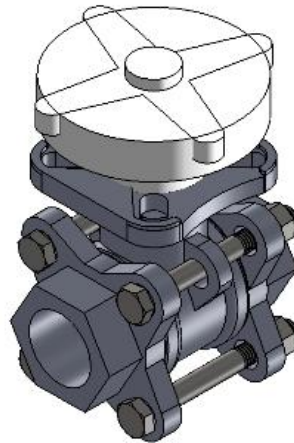


Figura 30: Válvula Bola Adaptada al Servomotor

La conexión de agua caliente se conecta a una electroválvula como la siguiente(vistas completas en anexo 1):

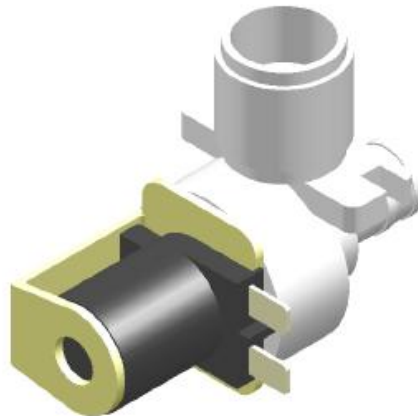


Figura 31: Electroválvula

Una vez conectadas las salidas de agua fría y caliente se adecuan las dos a la tapa superior del tanque de mezcla (vistas completas en anexo 4):

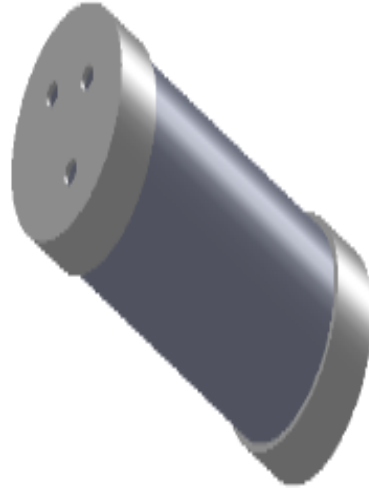


Figura 32: Tanque de Mezcla

Una electroválvula adicional se conecta a la tapa inferior del mismo.

La conexión de la bomba de recirculación va después de un adaptador de $\frac{3}{4}$ a $\frac{1}{2}$ a las tapas superior e inferior indistintamente.

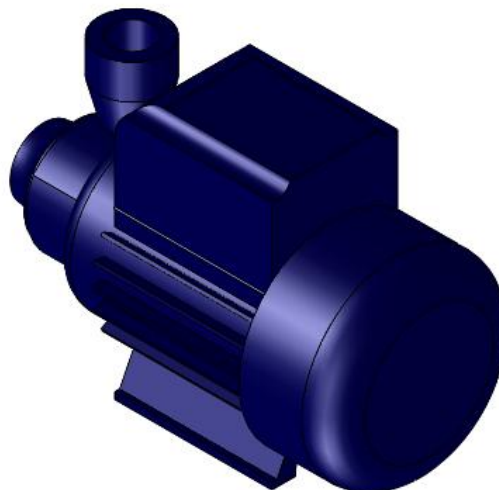


Figura 33: Bomba de Realimentación

Las para conectar las partes del sistema se utilizó en su mayoría tubería flexible, por su comodidad para las mismas. Acoples, llaves, teflón y pegas especiales de plomería también fueron necesarios.

Basado en la simbología hidráulica isométrica (anexo 8) se realizó el siguiente diagrama hidráulico de conexión:

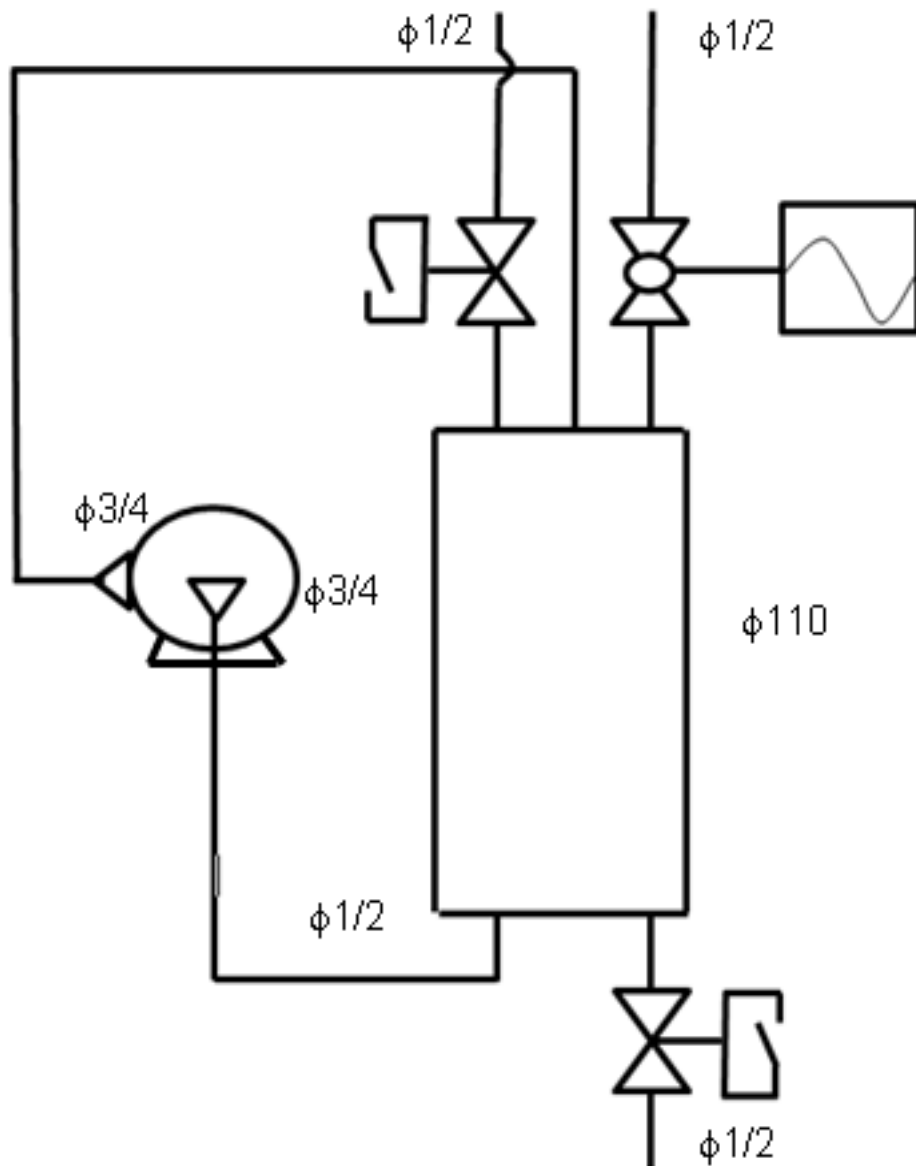


Figura 34: Esquema Hidráulico del Sistema

El sistema debe quedar de la siguiente manera:

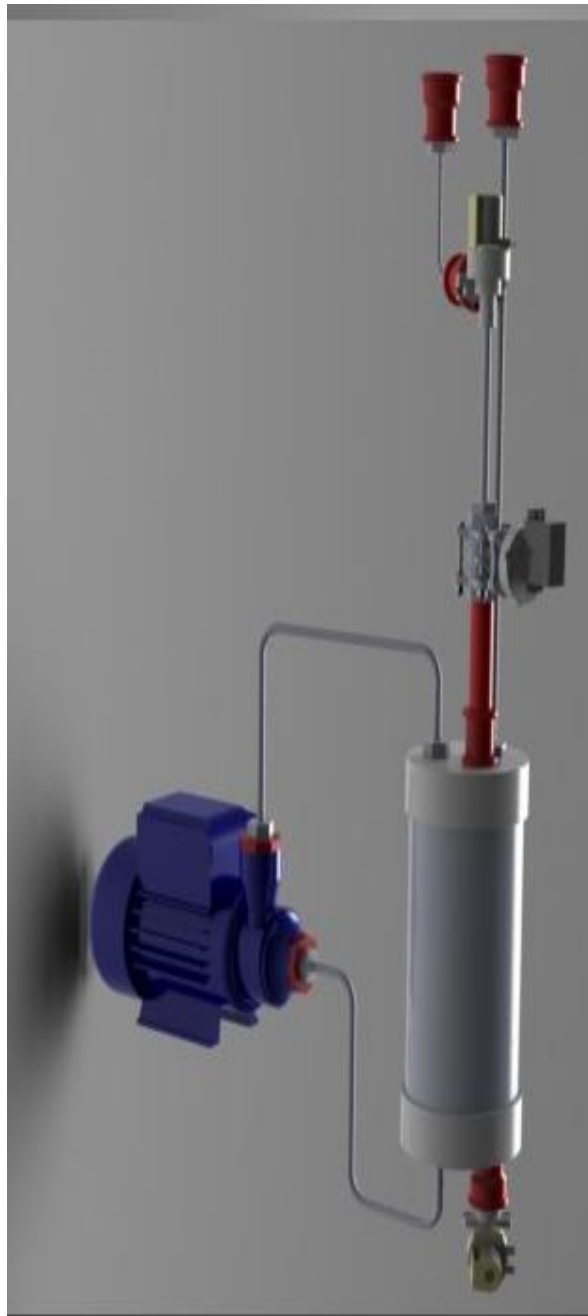


Figura 35: Sistema de tuberías y realimentación

Las electroválvulas y la bomba de realimentación funcionan con 110 VAC, por esta razón y ya que el pic envía por sus pines 3.5 VDC se ha utilizado relés (diagrama de conexión en anexo 6) que permiten el paso de los 110VAC al recibir 5VDC de opto acopladores que reciben los 3,5 VDC que

envía el pic, no se han utilizado contactores ya que ninguno de sus elementos son de alta corriente.

A continuación la conexión del sistema eléctrico:

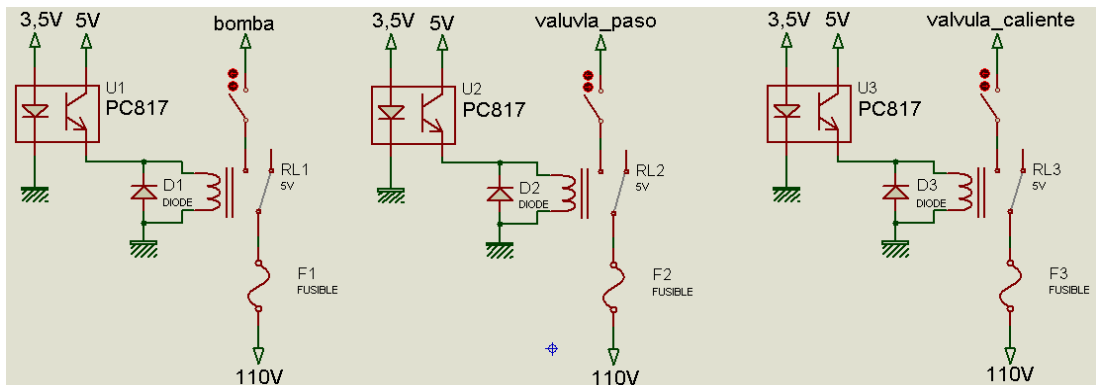


Figura 36: Conexión Sistema Eléctrico

Diseño del sistema embebido de control de temperatura de la ducha.

Para el control de temperatura del agua de la ducha se adecuó una válvula bola a un servomotor, que sirve de regulador de flujo del agua fría al mezclador mediante el posicionamiento angular del actuador, adicional se considera que la temperatura del flujo de agua caliente y presión de la toma de agua caliente son constantes. El control de la temperatura de insumo de agua caliente está definido e implementado en la edificación en donde se encuentra ubicado el sistema propuesto en el presente proyecto, ya que esta varía por diferentes factores en las diferentes ubicaciones.

Es importante mencionar que se controla la temperatura del sistema a partir del control de flujo de los insumos de agua caliente y fría, debido a este antecedente es posible afirmar la que esta es la implementación de un sistema conocido como “sensor less control” básico.

Sistema Embebido de Control ON – OFF de Temperatura

Esta estrategia de control es la más simple de implementar, ya que el actuador se posicionará en dos ángulos, 0 grados bloqueando en su totalidad el flujo de agua fría al mezclador, y 90 grados permitiendo un total

ingreso del agua fría, así, la homogeneidad en la en la mezcla se obtiene al encender una electroválvula que realizará el reflujo en el mezclador.

La implementación del sistema embebido de control ON-OFF se realizó en SIMULINK y se identifican las siguientes etapas:

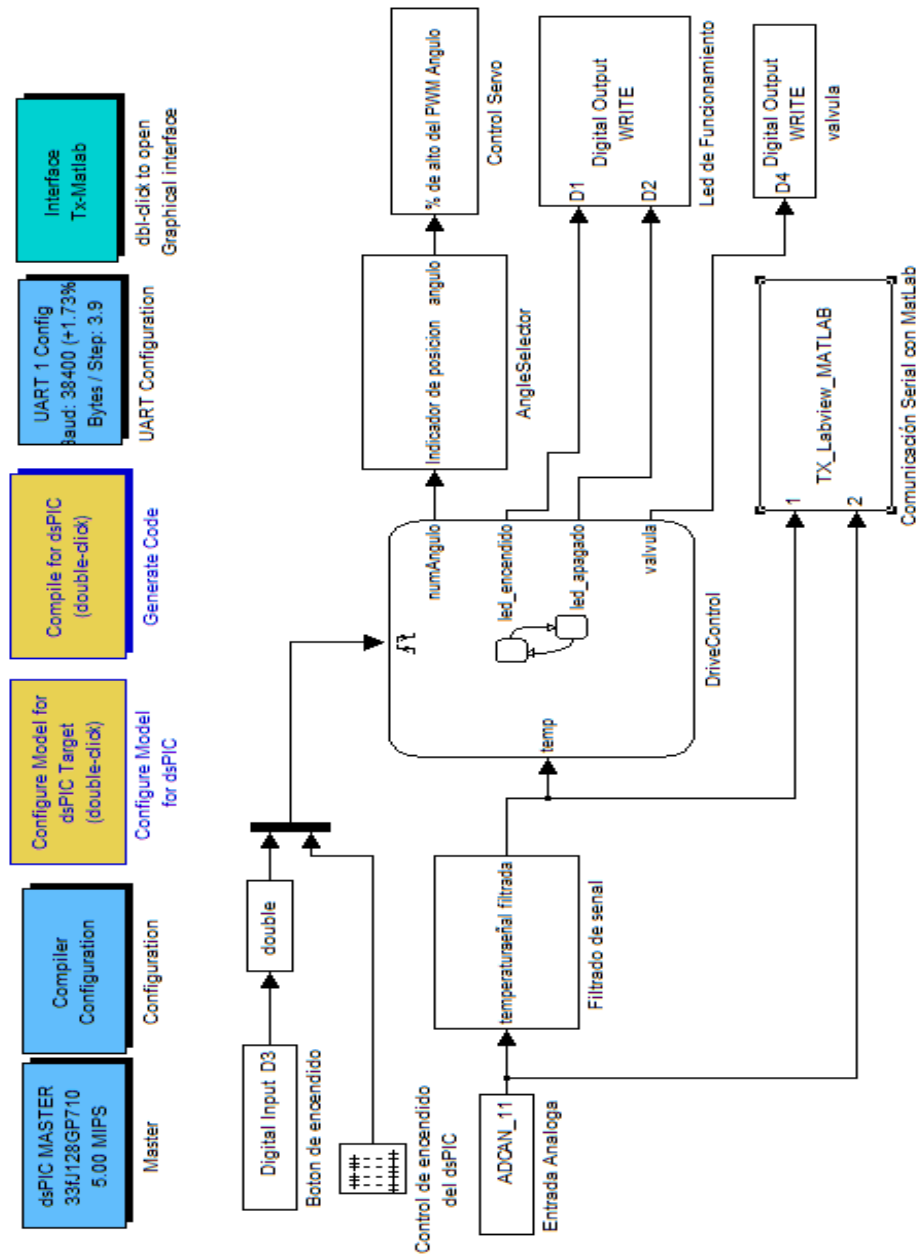


Figura 37: Control ON-OFF en Simulink

1. Adquisición de la temperatura del agua en el mezclador.- Esta actividad se realiza mediante la integración de un sensor LM35DZ en el mezclador, y la digitalización de la señal mediante un dsPIC.
2. Adecuación de la señal.- La resolución del conversor análogo digital es de 10 bits es decir es posible trabajar en un rango de $[0, 2^{10} - 1] = [0, 1023]$, y la resolución por cada valor es de $0.0032v = \frac{3.3v}{2^{10}}$ por cada variación en el conversor.

Para la conversión de estos indicadores a grados Celsius de debe tener en cuenta que el LM35DZ tiene una resolución de 10mv por grado centígrado, entonces se debería multiplicar el valor de la resolución 0.0032×100 para obtener el valor de temperatura.

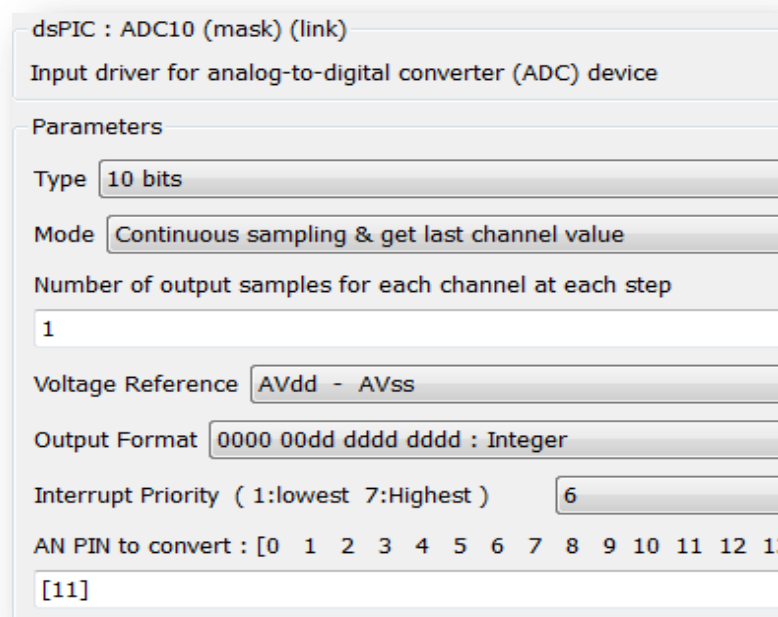


Figura 38: Características del conversor análogo digital del dsPIC

3. Filtrado de la señal.- es necesario diseñar un filtro que permita eliminar el ruido en el sensor, y que permita restringir los cambios inerciales el sistema, ya que por ser inercial sus variables de estado responden a la velocidad de reacción del sistema, en el proyecto se toma en consideración que la temperatura en el mezclador no puede cambiar más

de 10 veces por segundo, incluyendo los cambios de signo de su derivada. Por lo tanto se diseña un filtro de 10Hz pasa bajos.

Es necesario diseñar un filtro que permita eliminar el ruido en el sensor, y también permita restringir los cambios inerciales en el sistema. En Esta frecuencia de paro es adecuado también para filtrar el ruido de la red de alimentación eléctrica que se encuentra en los 60Hz.

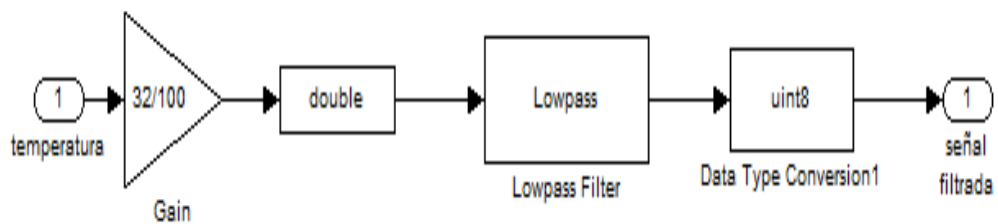


Figura 39: Etapa de adecuación y filtrado de la señal adquirida del sensor LM35DZ

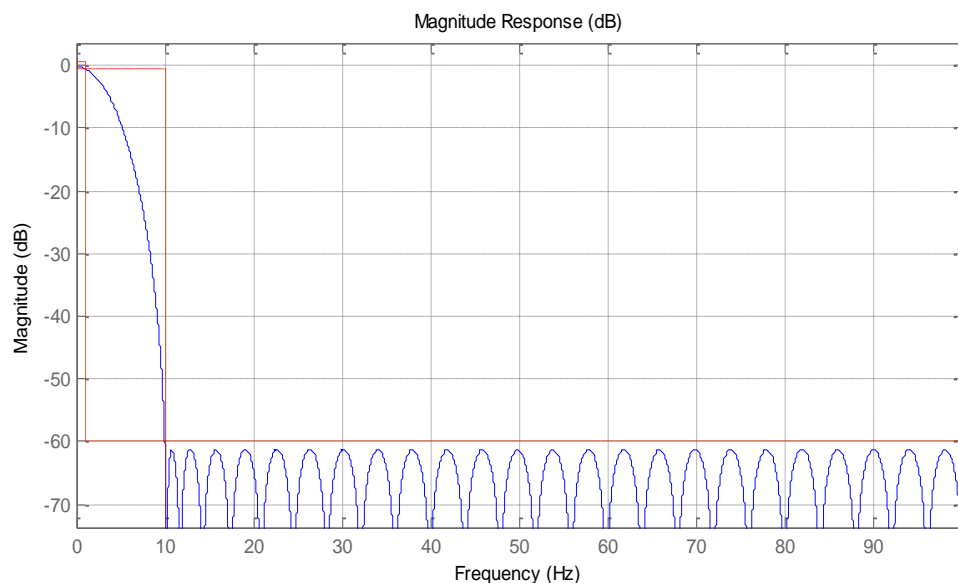


Figura 40: Características del filtro digital pasa bajos

4. Control de la temperatura.- Para esta etapa se ha implementado una máquina de estados finitos, la cual cambia de estado dependiendo de las señales de entrada: Botón de encendido ubicado en la entrada digital D3 del dsPIC. Cuando el pin de entrada D3 registra un bajo, la máquina de estado se encuentra apagada, el servomotor está posicionado en 0 grado y el microcontrolador enciende la luz roja, indicando el estado de

apagado del sistema. Al registrarse un alto en este pin, la máquina de estados se ubica en encendido microcontrolador enciende la luz verde que indica el funcionamiento del sistema, se inicia la etapa de lectura y comparación de valores de temperatura, de tal forma que si la temperatura es menor o igual a los 39 grados Celsius se corta el insumo de agua fría, y si es mayor a 40 grados Celsius el servomotor se posiciona en 90 grados permitiendo el paso total del agua fría al mezclador.

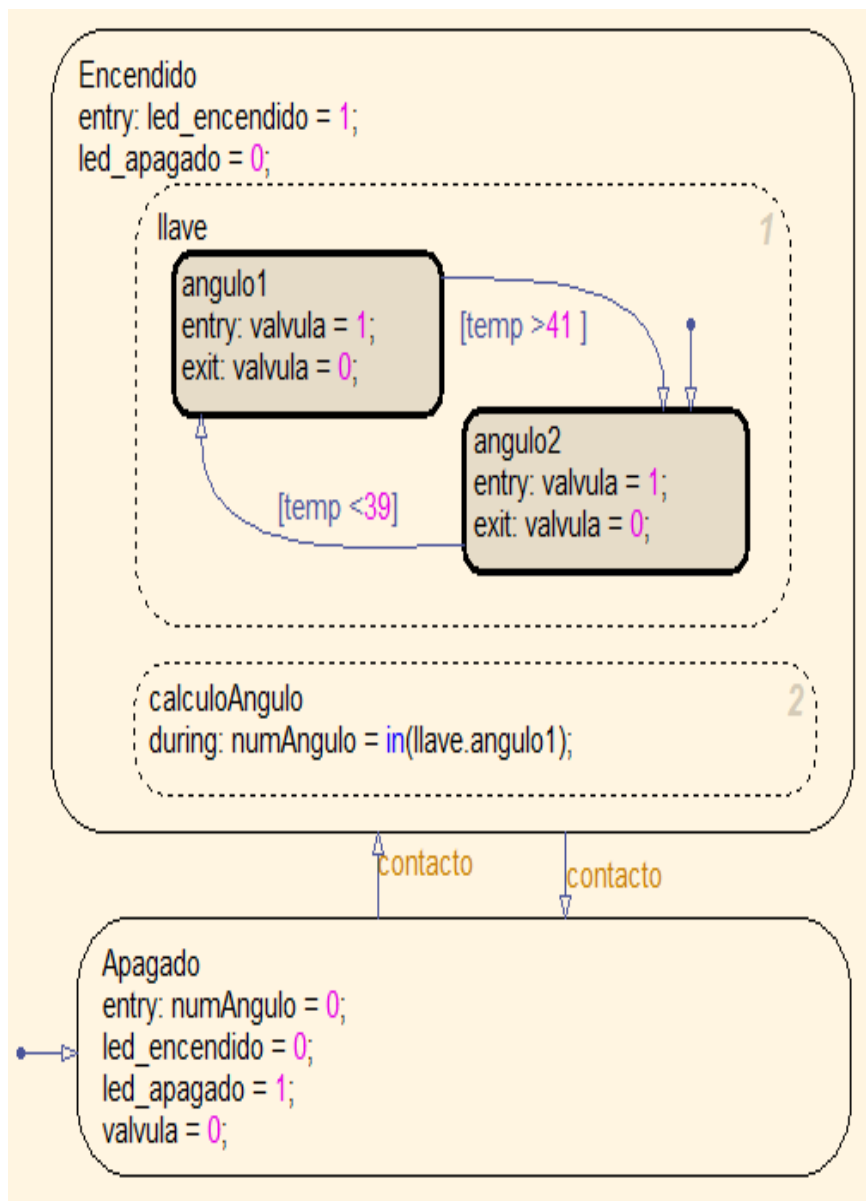


Figura 41: Máquina de estados del control de temperatura

5. Posicionamiento del actuador.- Con el fin de posicionar la válvula para que permita o no el paso del agua fría, se genera una señal PWM que permite posicionar al servomotor que controla la electroválvula en 0 grados o 90 grados.

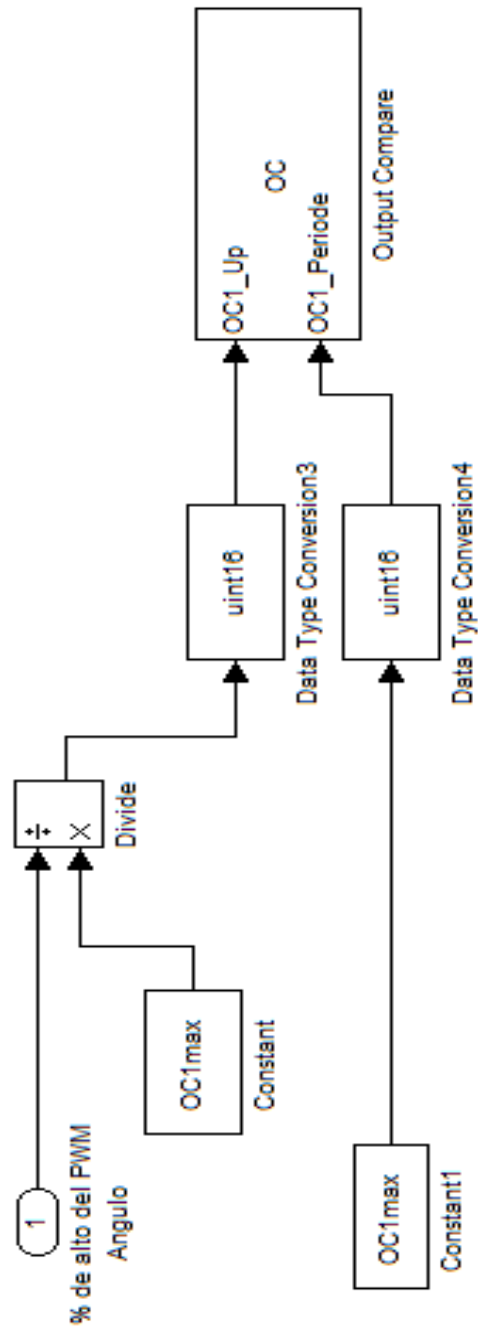


Figura 42: Generador de la señal PWM para posicionamiento del servomotor

6. Resultados

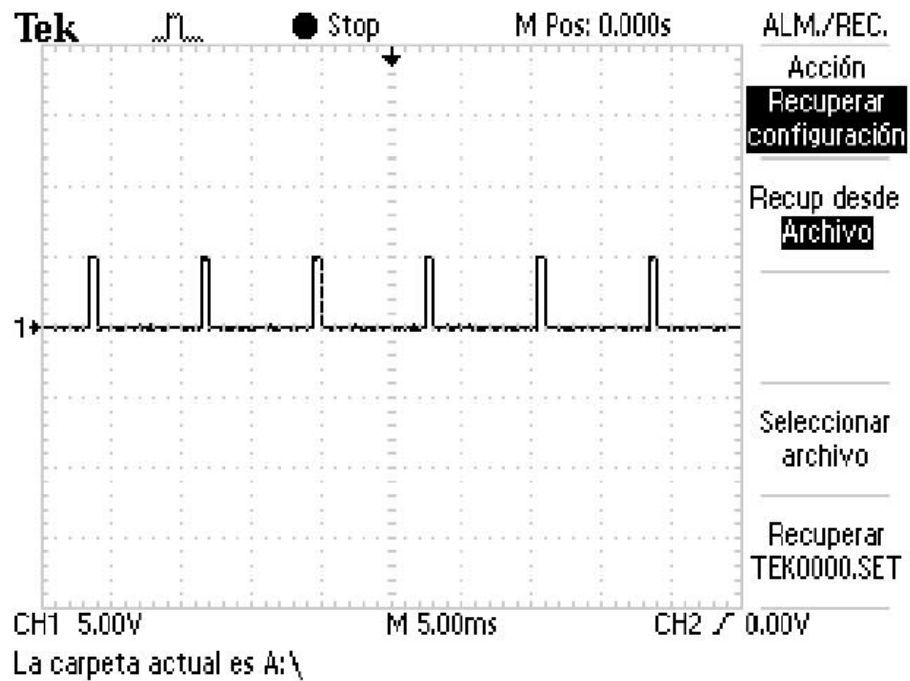


Figura 43: Posicionamiento del servomotor en 0 grados.

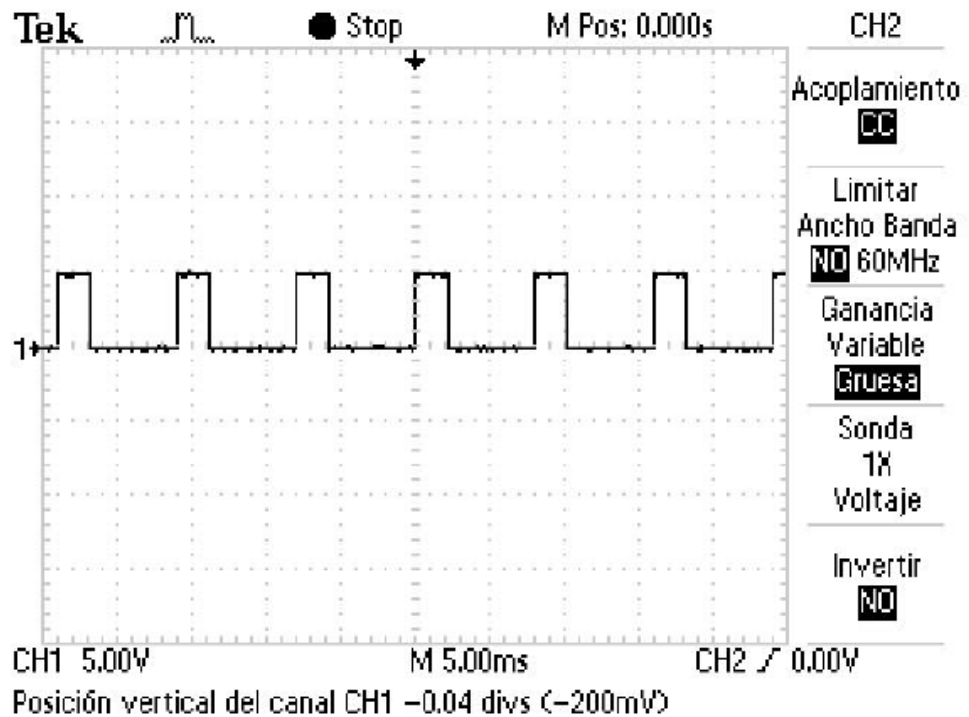


Figura 44: Posicionamiento del servomotor en 90 grados

El control de la válvula bola con el servomotor permite un control suave del actuador, y evita la generación de armónicos en la red debido a que no se utilizan elementos de dos estados como por ejemplo los relés que se encuentran en las electroválvulas. Adicional es posible posicionar a la válvula en varios ángulos permitiendo la variación del flujo de agua fría en varios niveles.

Sistema de Control Difuso de primer orden de la temperatura del agua ducha

Para la implementación del sistema de control se requiere identificar los conjuntos difusos de de variable temperatura del agua y posición del servomotor, y la función de difusicación de cada una de las variables. En el presente proyecto se toma en consideración lo siguiente:

1. Para la variable difusa temperatura, los conjuntos difusos estan definidos por las sentencias Frio, Normal, y Caliente.

1. Variable de temp difusa fria

$$temp \in [10,39]^{\circ}C \rightarrow Frio \quad [25]$$

2. Variable de temp difusa normal

$$temp \in]39,41]^{\circ}C \rightarrow Normal \quad [26]$$

3. Variable de temp difusa caliente

$$temp \in]41,60]^{\circ}C \rightarrow Caliente \quad [27]$$

El extremo mínimo del conjunto difuso Frio, fue obtenido mediante lectura del la temperatura del agua fría en la UTE, Occidental y Mariana de Jesus.

El extremo superior del conjunto difuso Caliente, fue obtenido mediante lectura de la temperatura máxima de la salida de agua de un termostato ubicado en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Mecatrónica.

Los valores del conjunto difuso Normal, fueron obtenidos mediante la tabulación de las encuestas realizadas a varios estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecatrónica (Anexo 7. Encuestas y tabulaciones realizadas).

Para la variable difusa posición del servomotor, los conjuntos difusos están definidos por las sentencias Cerrado, Semiabierto, Abierto.

Posición servomotor cerrado

$$pos \in [0,3] \text{ grados} \rightarrow \text{Cerrado} \quad [28]$$

Posición servomotor semiabierto

Ecuación $pos \in [44,46] \text{ grados} \rightarrow \text{Semiabierto} \quad [29]$

Posición servomotor abierto

$$pos \in [87,90] \text{ grados} \rightarrow \text{Abierto} \quad [30]$$

2. Se considera que: la función de pertenencia de cada uno de los conjuntos difusos de la variable difusa temperatura es rectangular, y definida en los intervalos de fusificación de la variable temperatura, la

función de pertenencia de cada uno de los conjuntos difusos de la variable difusa posición del servomotor es de tipo impulso. y esta definida en las pequeñas variaciones de los intervalos Cerrado, Simiabierta, Abierta

3. Las reglas difusas necesarios para el control y posicionamiento del servomotor son:
 - 1) Si **temp** es Frio Entonces **pos** es Cerrado
 - 2) Si **temp** es Normal, Entonces **pos** es Semiabierta
 - 3) Si **temp** es Caliente, Entonces **pos** es Abierta
4. El método de de-defusificación es de Mamdini, las transiciones suceden en la inercia del sistema, debido a que para posicionarse en cualquiera de los conjuntos difusos, el servo motor debe recorrer todo el espectro comprendido entre $[0, 90]$ grados Es importante mencionar, que el sistema es continuo, pero la integración de un sistema de control digital embebido de tiempo real, mantiene las características inerciales y de tiempo en el sistema.
5. Para el diseño del sistema de control, se considera que el controlador es una máquina de estados, con eventos y transiciones, que se relacionan directamente con las variables de control y del sistema.

Para el diseño del controlador se utilizó la herramienta Stateflow de MatLab, que permite el modelado de la máquina y el diseño del controlador.

La máquina tiene los siguientes componentes. El proceso físico, Controlador e interfase de usuario como se indica en la siguiente figura.

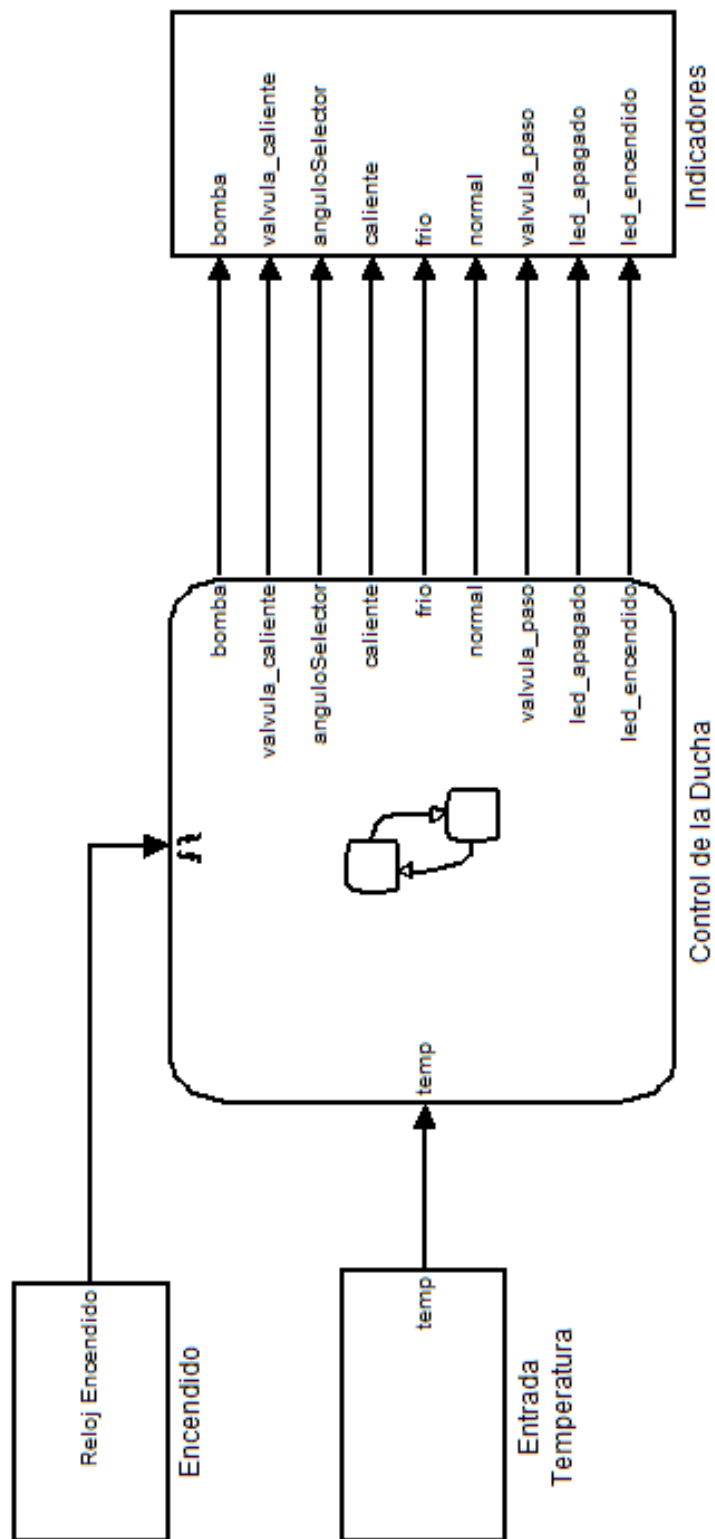


Figura 45: Modelado de la Máquina de estados para el control de la temperatura

El bloque ENTRADA TEMPERATURA, modela el sistema físico, permitiendo la simulación de los diferentes regímenes en los que puede funcionar el mezclador y la tubería. En bloque ENCENDIDO, se modela los diferentes eventos y susceso que pueden ocurrir durante el funcionamiento de la máquina, estan presentes los controles de encendido y de actualización del valor de temperatura a controlar.

Cabe señalar, que el uso de la lógica difusa en el control del sistema, evita un análisis profundo de la planta, debido a que el control se rige a la experticia, y a los valores de temperatura indicados por los futuros usuarios del sistema.

En el bloque de Indicadores, se modeló varios de los elementos que el usuario podrá visualizar mientras interactúa con el sistema, a manera de luces piloto. En un implementación física del sistema se remplazara los indicadores por alerta sonoras y display. Es de mucha importancia esta información visual, ya que permite analizar el estado en el que se encuentra la máquina bajo los diferentes regímenes de funcionamiento del sistema.

En el bloque CONTROL DE LA DUCHA, se encuentra diseñada toda la lógica de control de las variables físicas del sistema: Temperatura de Agua y Posición del Servomotor, así como también el control de los diferentes eventos que pueden sucitarse durante el funcionamiento de la máquina. De tal forma, es posible identificar los siguientes estados en el sistema:

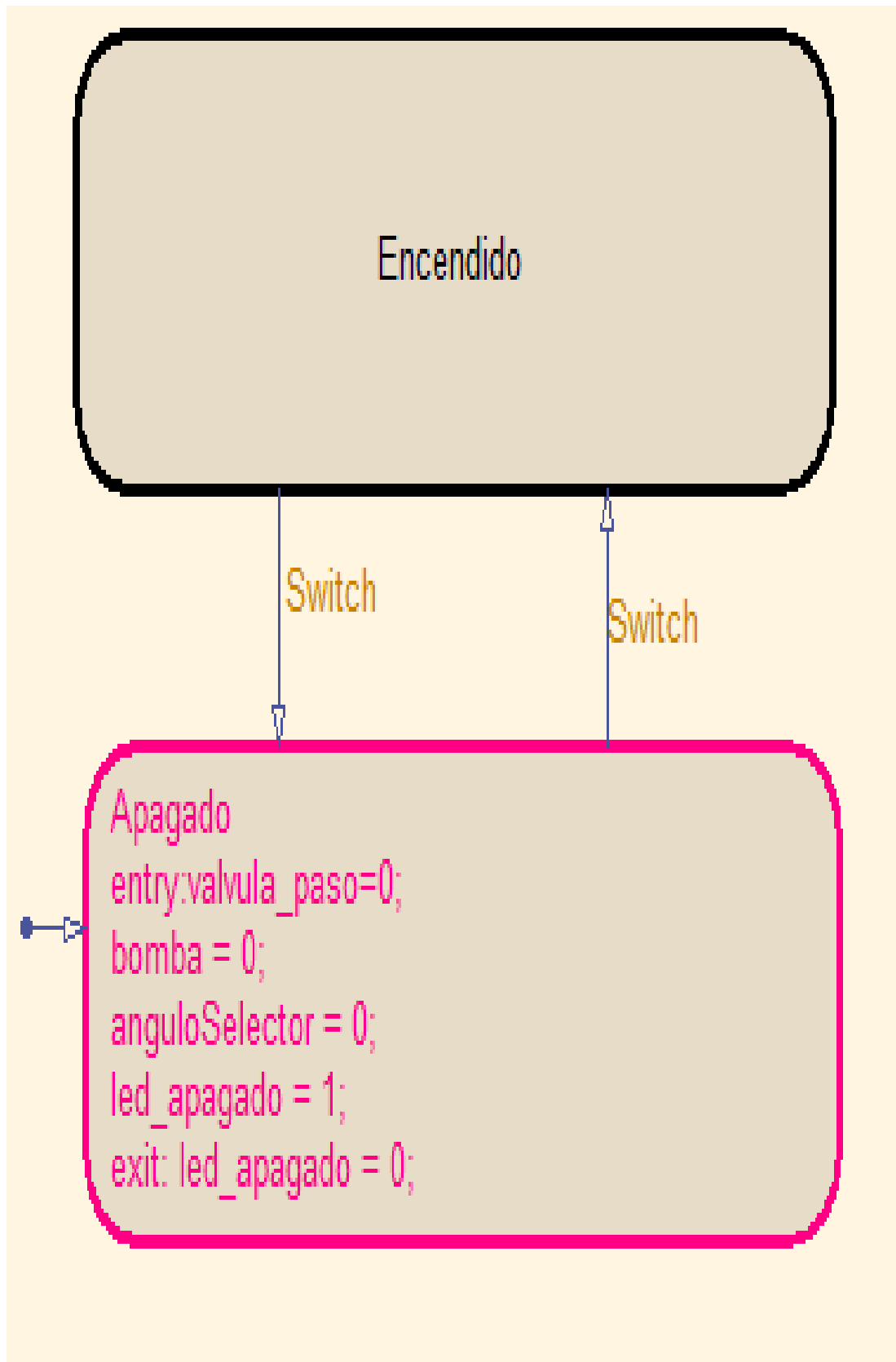


Figura 46: Estados iniciales del controlador

Apagado:

Es el estado en el que se encuentra la máquina cuando esta conectada a una toma de energía. En este estado todos los actuadores están apagados, la variable difusa posición del servomotor permanece al conjunto difuso Cerrado, y tan solo el led_apagado está encendido. Este led indica que la máquina está lista para interactuar con el usuario.

Para cambiar de estado el usuario debe presionar el botón Switch, que activa el evento que permite la transición entre el estado apagado y encendido. Físicamente está realizado con un pulsador, y el sistema embebido realiza la lectura de este elemento únicamente cuando envía altos.

Encendido:

Cuando la máquina se le alimenta de energía y se ha detectado un alto en el Switch, la transición que lleva el mismo nombre activa el estado Encendido, dando paso al inicio del funcionamiento del sistema de control de temperatura. Al entrar la máquina en este estado, se enciende el indicador led_encendido, que advierte del funcionamiento de la máquina, o que la máquina debe estar en procesamiento, operación y control de los actuadores.

Una vez que la transición de encendido está activada, y la máquina de estados está en ENCENDIDO el sistema embebido debe pasar al sub-estado INICIO, que es el estado marcado con la transición por defecto y debe mantenerse en este estado únicamente si la variable difusa temperatura del agua se mantiene dentro de los conjuntos definidos para esta variable. Si los valores de la temperatura del agua se encuentran fuera de estos conjuntos, se identifican condiciones críticas de funcionamiento del sistema, que no pueden ser controlados por el sub-sistema Fuzzy debido a la eventualidad de estas condiciones. Para estos eventos se ha integrado al sistema los siguientes estados:

EXTREMOSUPERIOR:

Si la temperatura del agua se encuentra en el intervalo $[42,45]^{\circ}\text{C}$, o ha sobrepasado los valores del conjunto difuso Caliente, Se posiciona al servmotor en ABIERTO, y se activa la bomba para acelerar el proceso de mezcla. Este procedimiento se lo mantiene durante 10 s tiempo despues del cual el sistema embebido retorna al funcionamiento en estado Fuzzy INICIO.

CRITICOSUPERIOR:

Si en el estado anterior no se ha logrado disminuir la rata de crecimiento de la temperatura del agua (Esta transición puede suceder cuando disminuya bruscamente el insumo de agua fría pese a que la válvula de paso este abierta al máximo) y los valores de temperatura estan en el intervalos $[45,48]^{\circ}\text{C}$, se cierra en insumo de agua caliente mientras se mantiene el agua fria en ABIERTO, con esta medida, y luego que la temperatura sea menos que 46°C el sistema embebido retorna al estado extremoSuperior operando bajo las condiciones de esta estado.

PELIGROSUPERIOR:

Si las estrategias anteriores (EXTREMO SUPERIOR Y CRITICOSUPERIOR) no lograron disminuir el crecimiento de la temperatura del agua, que se encuentra en el intervalos $[49,100]^{\circ}\text{C}$ (Falta total de insumo de agua fría), se cierra el paso del agua a la ducha desactivando la electroválvula de paso, y luego de 10s y se vuelve a leer la temperatura. Si no han variado los estado de esta medida extrema, el sistema embebido no abre el paso del agua a la ducha hasta que el usuario apague el sistema y verifique el estado del insumo de agua fría.

EXTREMOINFERIOR

Si la temperatura del agua esta en el intervalos $[35,38]^{\circ}\text{C}$ (disminución en el flujo del insumo de agua caliente), se cierra el insumo de agua fría y se activa la bomba para acelerar el mezclado. Este procedimiento se lo

mantiene durante 10 s después del cual el sistema embebido retorna al funcionamiento en estado Fuzzy INICIO.

CRITICOINFERIOR

Si el estado anterior no ha logrado controlar la temperatura que se encuentra en el intervalo $[32,35]^{\circ}\text{C}$, debido a la disminución de flujo del insumo de agua caliente, o por la caída de temperatura en el termostato, el sistema embebido mantiene activa la válvula de mezcla endendia, y el insumo de agua fría cerrado, esperando de esta manera estabilizar la temperatura en el mezclador. Sucede el retorno al estado EXTREMOINFERIOR cuando la temperatura del agua a superado los 33°C

PELIGROINFERIOR

Si el insumo de agua caliente se ha cotado por completo, y el mezclador del agua esta lleno de agua Fría, es decir, la temperatura del agua menor que 32°C , se cierra el paso del agua a la ducha desactivando la electroválvula de paso, y luego de 10 s y se vuelve a leer la temperatura. Si no han variado los estado de esta medida extrema, el sistema embebido no abre el paso del agua a la ducha hasta que el usuario apague el sistema y verifique el estado del insumo de agua caliente.

Si la temperatura se encuentra en los rango definidos para los conjuntos difusos, o los eventos han externos al control difuso han sido controlados mediante las condiciones críticas, el sistema embebido activará el estado INICIO, dando paso al control difuso de la temperatura del agua. Para la implementación del sistema de control se identificarán los siguientes estados:

INICIO

Para que el sistema embebido active el control difuso, es necesario estabilizar la mezcla cerca a los 39°C , de tal forma que la máquina de control actiba la bomba del mezclador, abre el insumo de agua fría posicionado al servomotor en el conjunto difuso Semiabierto, Abre el insumo de agua caliente que fluye al máximo de su caudal, debido a que válvula de paso es

on- off. Este proceso se realiza durante 5s. Si durante este tiempo no se ha logrado estabilizar la temperatura a 39°C el sistema emebido procederá a trabajar en cualquiera de los estados enteriormente detallados.

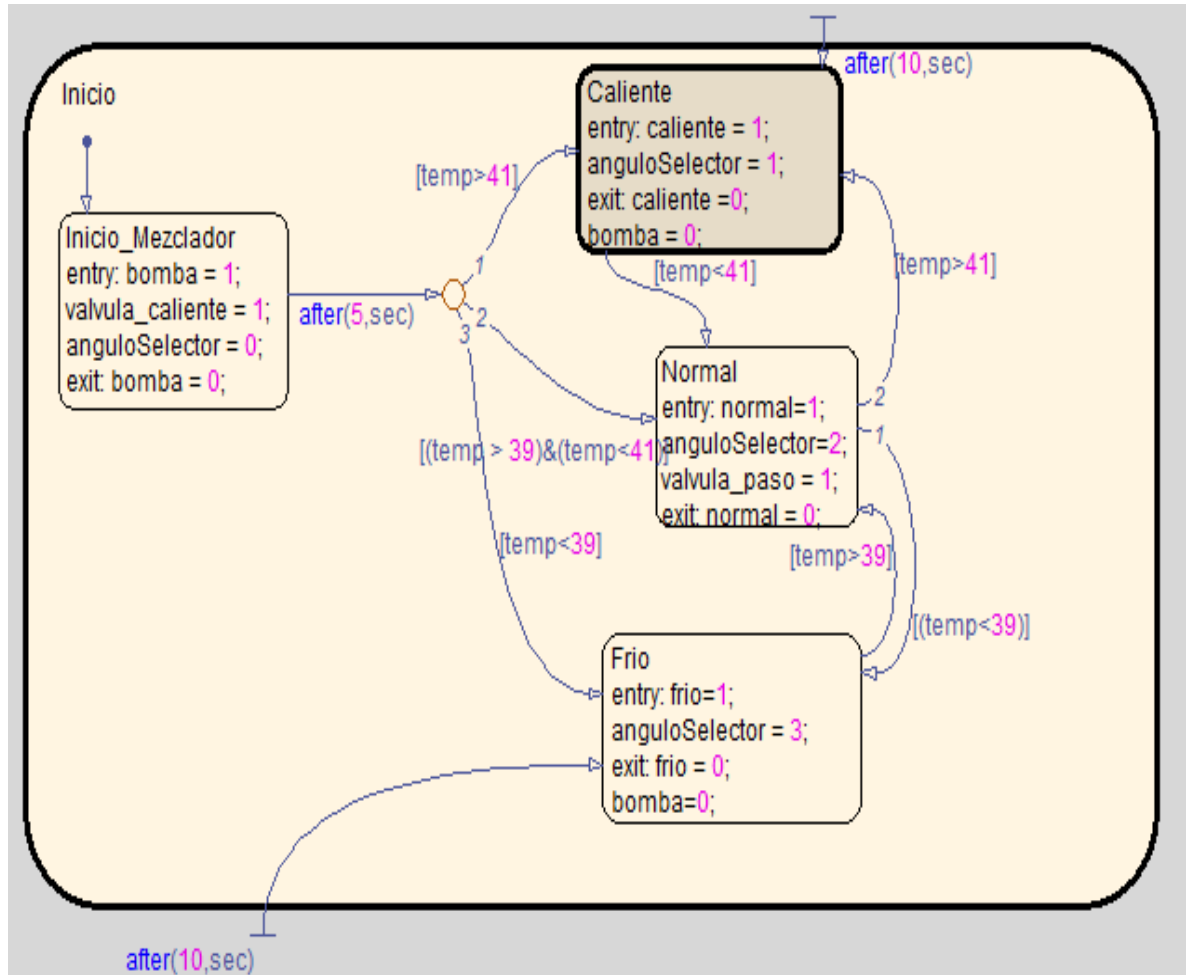


Figura 48: Control Difuso de la temperatura del Agua. Implementación Stateflow

Si se ha logrado activar los intervalos difusos, y la variable difusa temperatura del agua pertenece al conjunto difuso frío, se activa la primera regla difusa, y el servomotor se posiciona en Cerrado. Al superar los 39°C se activa la segunda regla difusa, el servo motor se posiciona en Semiabierto, y en este estado se permite el paso del agua a la ducha. Si se superó los 41°C de temperatura el sistema difuso está activado en la regla 3, entonces el servomotor se posiciona en Abierto enfriando la mezcla. Si se superan las condiciones normales de funcionamiento del sistema difuso, se procede al control de eventos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. SIMULACIÓN Y PROTOTIPO

Previo a la implementación, se realizó la validación del funcionamiento del sistema. En la figura se puede observar uno de los estados de la máquina de control de temperatura, indicando que los actuadores y sensores están en correcto funcionamiento, y el sistema embebido reacciona a variaciones de la temperatura.

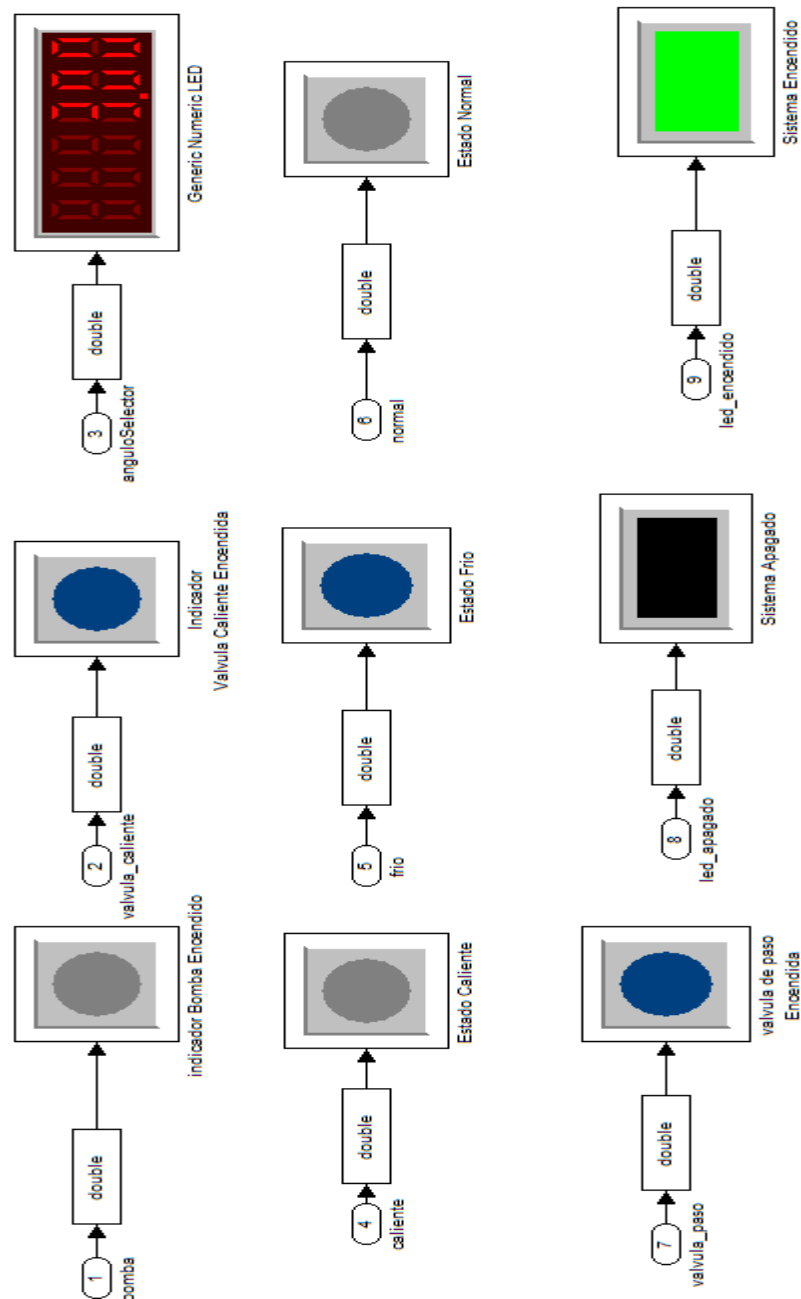


Figura 49: Captura de un estado del funcionamiento de el sistema embebido de control

A continuación se procede con la construcción del prototipo.



Figura 50: Proceso de Construcción del Prototipo1



Figura 51: Implementación del Prototipo 2



Figura 52: Implementación del Prototipo 3

El sistema queda implementado como se muestra en la figura:



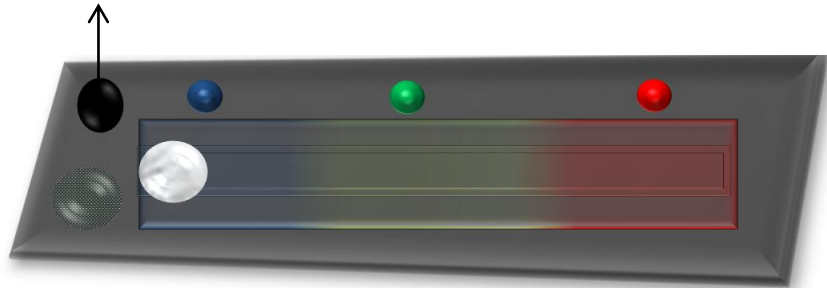
Figura 53: Sistema Implementado

4.2. CREACIÓN DE GUÍAS Y MANUAL DE FUNCIONAMIENTO

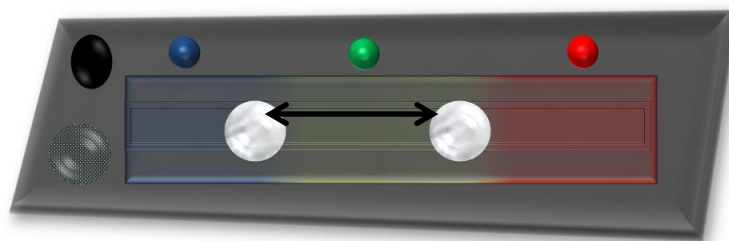
Los pasos para poner en funcionamiento el sistema son:

1. Activar el sistema con el botón de encendido

Botón de encendido



2. Programar la temperatura deseada



Los rangos según su color están definidos así:

Azul: Fría, entre 10 y 39 °C, Verde: Normal, entre 39 y 41 °C, Rojo: Caliente, entre 41 y 60 °C

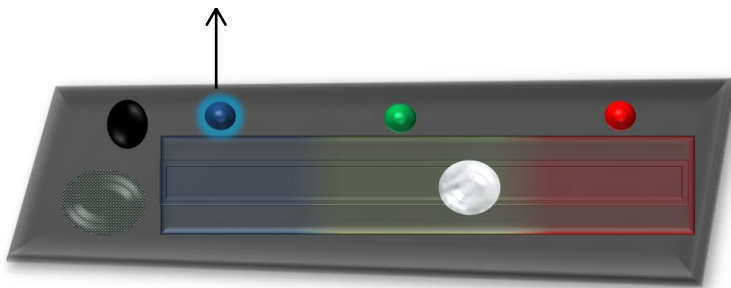
3. Esperar a que el sistema alcance la temperatura deseada, usted escuchará un sonido.



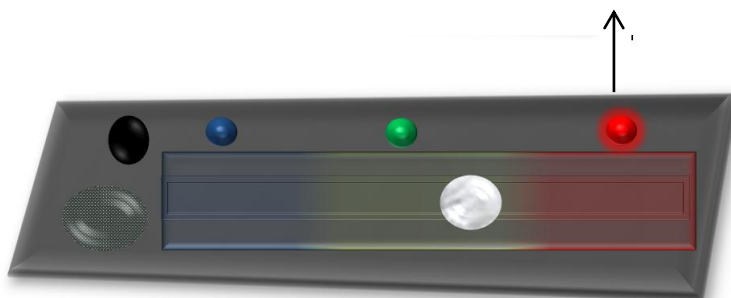
4. Ingresar a la ducha y tomar la ducha como lo hace normalmente

5. Si durante el proceso de la ducha se pierde una de las fuentes (caliente o fría) el sistema se detendrá hasta lograr el equilibrio nuevamente. En este caso revisar los leds indicadores para saber cual es la fuente que no esta abasteciendo el sistema.

El agua en el mezclador
esta debajo del mínimo



El agua en el mezclador
esta encima del máximo



5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Con el diseño e implementación de un sistema de control embebido de temperatura redujo el consumo del agua de 6 litros diarios por persona aproximadamente, esto significa una reducción semanal de 42 litros; en una familia de cuatro personas el ahorro sería de 168 litros a la semana en la ducha gracias a que el sistema únicamente permitió el flujo de agua a la ducha si y solo si, la temperatura del agua se encontraba en el estado indicado por el usuario. El sistema presentó esta característica gracias a la integración de una herramienta de control, basada en Inteligencia Artificial.

El diseño y desarrollo del sistema embebido de control difuso de temperatura permitió emular el proceso de calibración que realizamos los seres humanos al momento de tomar una ducha, y brindó robustez en la estabilización de la temperatura.

El tiempo de procesamiento dentro del microcontrolador fue tomado en cuenta, por esto se asignaron solo tres rangos de temperatura que agilitan el proceso.

En el diseño del sistema se consideró la característica de tiempo real para responder a los cambios inerciales en el mezclador, válvulas y tubería, y a las diferentes eventualidades que suceden, ajenas a la variación de las variables físicas de control del sistema, por ejemplo cortes en los insumos de agua, o cortes de energía en el sistema.

El diseño concurrente se realizó con el uso de herramientas CAD-SolidWorks, Simulación de estados y lógica difusa en Stateflow y Real Time Work, hop de MatLab, garantizando la calidad del producto. En este punto es importante mencionar que MATWORS, desarrolladores de MatLab, certifican calidad cuando los productos son diseñados e implementados con MatLab y sus Toolboxes.

El uso de dsPIC como cerebro central de sistema embebido, garantiza que se cumpla con:

1. La restricción de tiempo real en el sistema,
2. Una correcta adecuación de las señales análogas
3. Robustez en el filtrado y procesamiento de señales
4. Y Control de eventos

La conclusión personal más importante es que concientizó a las personas alrededor del proyecto en el ahorro de recursos naturales no renovables.

5.2. RECOMENDACIONES

La conservación de agua es un tema de conciencia mundial, se recomienda tomarlo en cuenta en todas las actividades cotidianas y ahorrarla dentro de lo posible, como el resto de recursos naturales no renovables. Si bien es cierto, el ahorro puede verse reflejado en dinero, pero más importante que eso es cuidar el planeta que nos ha dado todo.

Para la integración del sistema en una residencia es necesario colocar una fuente constante de agua caliente, sin importar su naturaleza de generación, y de preferencia que las presiones en las tomas de agua no disminuyan e integrar un sistema de alimentación de energía alterna utilizando transferencia automática como una de las posibles soluciones, para garantizar el funcionamiento del sistema cuando algún evento suceda en la red normal de energía. Sin embargo, todos los actuadores se bloquearan impidiendo el paso del agua a la ducha, para que el usuario tome el control manual de la misma.

Utilizar el sistema conscientes que el beneficio es global, ya que ahorramos en un bien no renovable.

Para el desarrollo de sistemas mecatrónicos es muy importante tener en un solo desktop todos los componentes del sistema, por lo tanto recomiendo el uso de SimMechanics para el diseño del componente mecánico, SimScape y SimPowerSystems para el diseño de los actuadores y sensores, Control System Toolbox, Fuzzy Logic Toolbox, Stateflow, Real Time Workshop, y

Embedded Target for Microchip para la implementación del sistema de control embebido de en tiempo real.

BIBLIOGRAFÍA

/blog/category/solid-works/, Recuperado el 5 del 07 del 2011.

ABC de la Mecatrónica. Steren

Acedo J. (2003). Díaz de Santos S. A. Control Avanzado de Procesos: (teoría y práctica)

Bethune, J, (2010). Engineering Design and Graphics with SolidWorks, Estados Unidos: Prentice Hall.

Beucher, O, (2008). Introduction to MATLAB & Simulink: A Project Approach (3ª, Ed.). Alemania: Pearson Education.

Beucher, O, (2008). Introduction to MATLAB & Simulink: A Project Approach (3ª, Ed.). Alemania: Pearson Education.

Bishop R. H. (2008). The Mechatronics Handbook: Mechatronic Systems, Sensors, and Actuators (2ª. Ed.). Estados Unidos: CRC Press.

Bishop R. H. (2008). The Mechatronics Handbook: Mechatronic Systems, Sensors, and Actuators (2ª. Ed.). Estados Unidos: CRC Press.

Bolton W, (2009) PROGRAMABLE LOGIC CONTROLLERS (5ta edición). Miami. Estados Unidos. Newnes. Morton J, (2005)THE PIC MICROCONTROLLER(3era edición)Miami. Estados Unidos. Newnes

Boltón, W. (2006). Mecatrónica SISTEMAS DE CONTROL ELECTRÓNICO EN INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA (3ª. Ed.). México: Alfaomega.

Bolton, X. (2006). Programmable Logic Controllers (4ª. Ed.). Reino Unido: Newnes.

Conceptos básicos de Neumática e Hidráulica, (s,f). Recuperado el 16 de Octubre del 2010, de http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica30.htm

Creus Sole A. (2005). Instrumentación Industrial. 7ma edición. Marcombo: España

Del Brío, B. Redes Neuronales y Sistemas Difusos. (2da edición) Alfa omega Ra-ma

Ferreyra, R. Fuentes¹, ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE CONTROL PID Y DIFUSO, UAM-Azcapotzalco, Depto de Electrónica

Hughes, A. (2006). Electric Motors and Drivers: Fundamentals, Types and Applications (3^a. Ed.). Reino Unido: Elsevier.

Ibrahim D. (2002) MICROCONTROLLER BASED TEMPERATURE MONITORING AND CONTROL. Miami Estados Unidos.

Lombard, M, (2010). Solidworks 2010 Bible, Estados Unidos: Wiley Publishing Inc.

Lombard, M, (2011). SolidWorks 2011 Assemblies Bible, Estados Unidos: Wiley Publishing Inc.

Louden K. (2004) 2da edición. Thompson Learning: México

Mándalo E, Menéndez, Fernández L, López E. (2007) L. Microcontroladores PIC SISTEMA INTEGRADO PARA EL AUTOAPRENDIZAJE. MARCOMBO S.A. Barcelona

Martínez B, Ingeniería de Diseño, <http://www.bernardomartinezdiez.com>

Millán S. Automatización neumática y electro neumático. Norgrem: España.

Moore, H, (2007). Matlab para Ingenieros. México: Pearson Educación.

Ogata, K, (2002), Modern Control Engineering(4a. Ed.), Estados Unidos: Prentice Hall.

Pallas R. (1993) Adquisición y distribución de señales. Riera Blanca: Barcelona

Pérez C. (1996) Sensores Ópticos. Publicaciones Universidad de Valencia: España

Pérez M. (2010) SISTEMAS AUXILIARES DE MOTORES, Madrid. España.

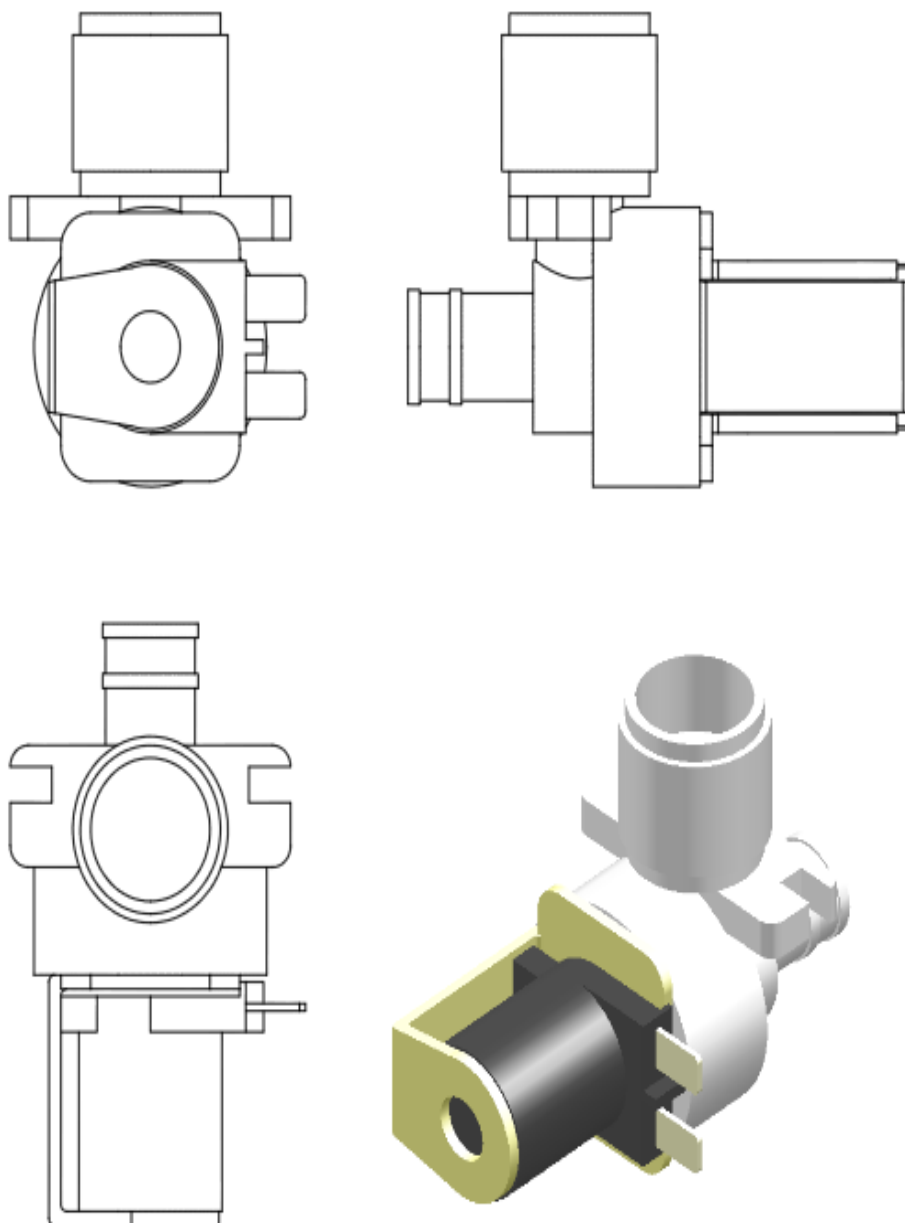
Torres R, A. A (2007) El Microcontrolador, Volumen 3.

UUMControlyadquisicion, (s,f). Recuperado el 16 de Octubre del 2010, de www.subversion.assembla.com

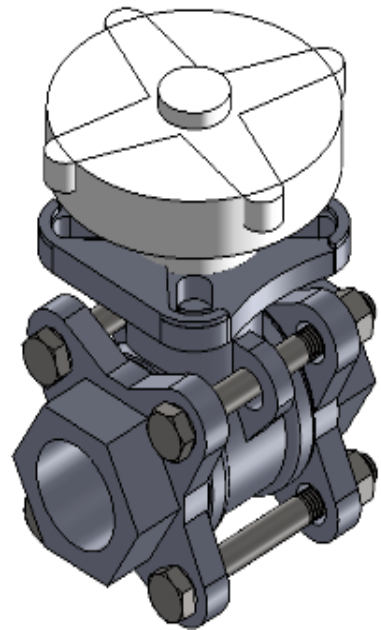
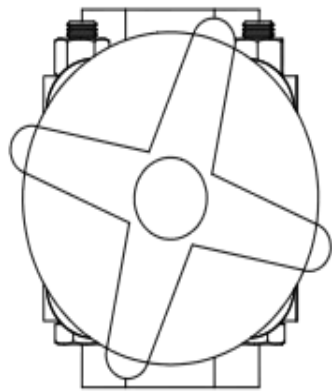
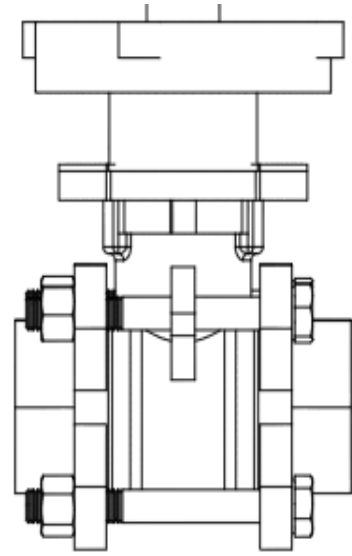
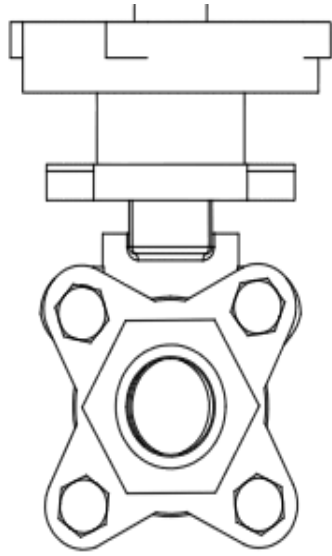
www.academia/student_version/learnmatlab_sp3.pdf, Recuperado el 17 del 08 del 2011.

ANEXOS

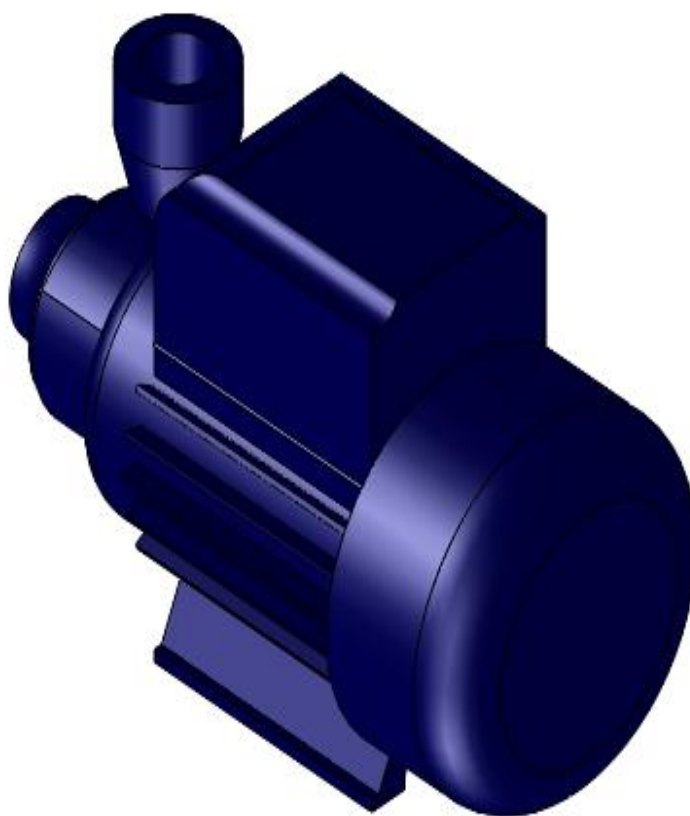
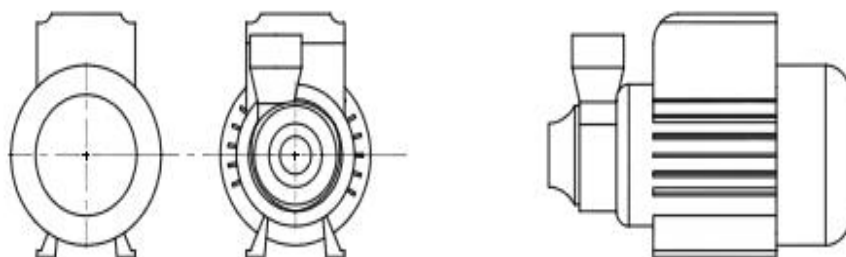
Anexo 1: Electroválvula(Vistas completas en Anexo 2)



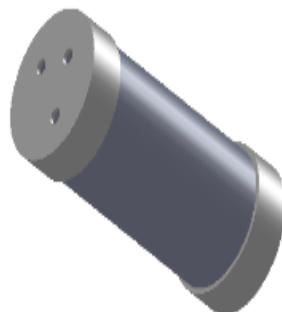
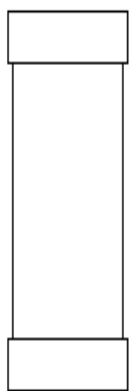
Anexo 2: Válvula de Control de Flujo (Vista completa en Anexo 1)



Anexo 3: Bomba de Realimentación



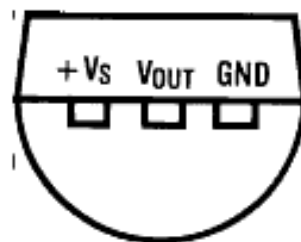
Anexo 4: Tanque de mezcla



Anexo 5: Conexión LM35

**Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or
LM35DH
See NS Package Number H03H**

**TO-92
Plastic Package**

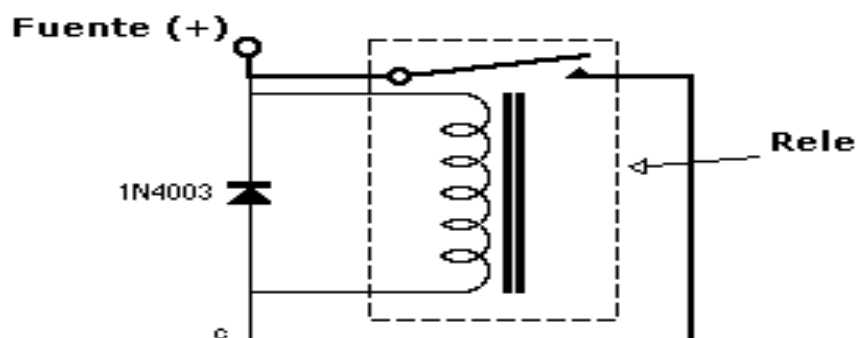


BOTTOM VIEW

DS005516-2

**Order Number LM35CZ,
LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A**

Anexo 6: Conexión Relé



Anexo 7 Encuesta realizada a 40 personas de la carrera ingeniería mecatrónica el 18 de Noviembre del 2009



















Persona No.	A que temperatura toma usted un baño?		
1	51,6	°	C
2	37	°	C
3	43,8	°	C
4	49	°	C
5	44	°	C
6	24,3	°	C
7	40	°	C
8	39,5	°	C
9	42,3	°	C
10	31	°	C
11	40	°	C
12	31	°	C
13	35,5	°	C
14	36,5	°	C
15	36,5	°	C
16	45,3	°	C
17	45,3	°	C
18	45,3	°	C
19	44,6	°	C
20	44,6	°	C
21	49	°	C

Anexo 7. 2 Encuesta

Persona No.	A que temperatura toma usted un baño?		
22	44,3	°	C
23	44,2	°	C
24	44	°	C
25	43,9	°	C
26	43,7	°	C
27	43,6	°	C
28	43,4	°	C
29	48	°	C
30	43	°	C
31	41	°	C
32	41	°	C
33	37	°	C
34	37	°	C
35	43	°	C
36	35,6	°	C
37	41	°	C
38	37	°	C
39	36	°	C
40	34,2	°	C

Anexo 8: Simbología Hidráulica

SIMBOLOGIA EMPLEADA
EN UN ISOMÉTRICO:

	—————	Tubería	=====	
	codo			válvula de compuerta
	Ye			válvula de globo
	Te			válvula de retención
	reducción			válvula de bola
	ampliación			válvula de mariposa
	bomba			válvula de ángulo
	ventilador			válvula de alivio
	colador tipo "y"			trampa de vapor
	compresor			medidor de flujo