



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

***TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BAÑO  
MARIA UTILIZANDO UN CONTROLADOR PID  
FUZZY PARA EL LABORATORIO DE INMUNOLOGÍA  
DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
– ESPE.”***

**AUTORES:**

**OÑA BASTIDAS HÉCTOR DANIEL**

**RODRÍGUEZ DONOSO GUILLERMO DAVID**

**DIRECTOR: ING. IBARRA ALEXANDER**

**SANGOLQUÍ**

**2015**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN.**

Certifico que el trabajo de titulación, ***“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BAÑO MARIA UTILIZANDO UN CONTROLADOR PID FUZZY PARA EL LABORATORIO DE INMUNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE.”*** Realizado por los señores **HÉCTOR DANIEL OÑA BASTIDAS** y **GUILLERMO DAVID RODRÍGUEZ DONOSO**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo que cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **HÉCTOR DANIEL OÑA BASTIDAS** y **GUILLERMO DAVID RODRÍGUEZ DONOSO** para que lo sustente públicamente.

**Sangolquí, 16 de Octubre del 2015**



**Ing. Alexander Ibarra**  
**DIRECTOR**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **HÉCTOR DANIEL OÑA BASTIDAS** y **GUILLERMO DAVID RODRÍGUEZ DONOSO**, con cédula de identidad N° 172356159-1 y 171875064-7 declaro que éste trabajo de titulación ***“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BAÑO MARIA UTILIZANDO UN CONTROLADOR PID FUZZY PARA EL LABORATORIO DE INMUNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE.”*** Ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas. Consecuentemente declaramos que éste trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**Sangolquí, 16 de Octubre del 2015**

Héctor Daniel  
Oña Bastidas

Guillermo David  
Rodríguez Donoso

C.C. 172356156-1

C.C. 171875064-7



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **HÉCTOR DANIEL OÑA BASTIDAS** y **GUILLERMO DAVID RODRÍGUEZ DONOSO**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BAÑO MARIA UTILIZANDO UN CONTROLADOR PID FUZZY PARA EL LABORATORIO DE INMUNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE.**” Cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

**Sangolquí, 16 de Octubre del 2015**

Héctor Daniel

Oña Bastidas

C.C. 172356156-1

Guillermo David

Rodríguez Donoso

C.C. 171875064-7

## DEDICATORIA

La concepción de este proyecto de titulación está dedicada a mis padres Héctor Oña y Jenny Bastidas, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación, siendo mi apoyo incondicional. Por su entera confianza en cada paso que he dado y el aliento en cada tropezón.

Su gran esfuerzo y sacrificio han hecho de ellos un ejemplo a seguir y destacar.

También dedico este logro a mi hermana Camila Oña, quien ha sido desde que nació una bendición e inspiración en mi vida y a mi novia Lorena Jaramillo por el amor, la paciencia y el apoyo que ha sabido darme, siendo mi compañera inseparable en los malos y buenos momentos.

Por el apoyo de todos ellos es que he llegado alcanzar una de mis grandes metas.

***Héctor Daniel Oña Bastidas***

## DEDICATORIA

El presente proyecto de titulación la dedico a toda mi familia y a cada una de las personas que indirectamente hicieron que éste logro sea posible.

*Guillermo David Rodríguez Donoso*

## AGRADECIMIENTOS

En el presente proyecto agradezco en primer lugar a Dios, por acompañarme y guiarme a lo largo de mi carrera, por brindarme la fuerza y sabiduría necesaria para salir adelante ante cualquier dificultad.

Doy gracias a la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” por abrirme las puertas para estudiar y crecer profesionalmente.

A mi director de proyecto Ing. Alexander Ibarra y a mi codirectora Dra. Marbel Torres, quienes con su paciencia, conocimiento, dedicación y motivación han hecho posible la culminación de este presente trabajo con éxito.

Gratifico a mis padres Héctor y Jenny por apoyarme en mi educación a lo largo de mi vida, por inculcarme valores y principios que me han ayudado a crecer como persona y profesionalmente, por eso son y serán un ejemplo a seguir.

A mi hermana Camila por brindarme alegría y llenarme de amor cuando más lo he necesitado.

A mi Lore por ser una parte fundamental en mi vida, por estar conmigo en las buenas y malas, y por sacarme una sonrisa en los peores momentos. T.A.

Y a toda mi familia por el apoyo incondicional, los consejos, las sonrisas y el aliento que me supieron brindar y por formar parte de mí.

Para todos ustedes gracias y que Dios les bendiga.

***Héctor Daniel Oña Bastidas***

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres por siempre ser una apoyo fundamental, a mi abuelo quien siempre me estuvo presionando para lograr una de tantas meta, a mis hermanas y familiares q siempre estuvieron atentos y me brindaron su ayuda al necesitarla.

A mi director y codirectora que nos brindaron las facilidades para poder culminar con éxito el último peldaño de mi vida universitaria.

***Guillermo David Rodríguez Donoso***

## ÍNDICE

<b>CARÁTULA</b>	
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvi</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>1</b>
1.1 DEFINICIÓN DEL PROYECTO .....	1
1.2 ANTECEDENTES .....	1
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	2
1.4 ÁREA DE INFLUENCIA .....	5
1.5 OBJETIVOS .....	6
1.5.1 GENERALES .....	6
1.5.2 ESPECÍFICOS.....	6
1.6 ALCANCE .....	7
1.7 BAÑO SEROLÓGICO O MARÍA .....	7
1.8 INTRODUCCIÓN AL MÉTODO DE CONTROL PID FUZZY .....	8
1.8.1 FUNDAMENTO DEL MÉTODO .....	8
1.9 INTRODUCCIÓN A LA MÁQUINA DE BAÑO MARÍA .....	11
1.9.1 DEFINICIÓN DEL PROTOTIPO DE BAÑO MARÍA .....	14
1.10 DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES MECÁNICOS.....	15
1.10.1 INTRODUCCIÓN AL MECANISMO DE AGITACIÓN O RECIRCULACIÓN.....	16
1.10.2 ANÁLISIS DE MATERIALES DEL PROTOTIPO .....	19

1.10.3	SIMULACIÓN DE ESFUERZOS EN LOS MATERIALES.....	28
1.10.4	Análisis de resultados.....	30
1.11	DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES ELÉCTRICOS / ELECTRÓNICOS.....	31
1.11.1	DESCRIPCIÓN DE SENSORES .....	31
1.11.2	DESCRIPCIÓN DE ACTUADORES.....	33
1.12	DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES DE CONTROL.....	34
1.12.1	DEFINICIÓN DE PLATAFORMA UDOO.....	36
	<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>38</b>
<b>2</b>	<b>DISEÑO DEL EQUIPO DE BAÑO MARÍA.....</b>	<b>38</b>
2.1	DISEÑO MECÁNICO DEL EQUIPO .....	38
2.1.1	MODELAMIENTO TRIDIMENCIONAL EN SOFTWARE (CAD).....	39
2.1.2	PROCESOS DE MECANIZADO UTILIZADOS EN CONSTRUCCIÓN.....	42
2.1.3	FABRICACIÓN DE PARTES QUE CONFORMAN LA MÁQUINA .....	46
2.1.4.	DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS ACTUADORES.....	51
2.2	DISEÑO ELECTRÓNICO DEL EQUIPO .....	53
2.2.1	ACOPLAMIENTO DE SEÑAL DE SENSORES .....	53
2.2.2	PROCESOS DE ACONDICIONAMIENTO.....	57
2.2.3.	DISEÑO DEL CIRCUITO Y CONTROL DE TEMPERATURA.....	57
2.2.4.	DISEÑO DEL CIRCUITO Y CONTROL DE NIVEL Y RECIRCULACIÓN DEL FLUIDO.....	59
2.2.5.	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL.....	61
2.2.4.	DIAGRAMA DE FLUJO DEL CONTROL DE TEMPERATURA.....	64
2.3	DISEÑO DEL CONTROLADOR PID FUZZY DE LAS VARIABLES .....	65
2.3.1.	RECEPCIÓN DE DATOS .....	65
2.3.2.	CÁLCULO DE LA PLANTA O REPRESENTCAIÓN MATEMÁTICA DE LA MÁQUINA.....	67
2.3.3.	CONSTANTES PID .....	71
2.3.5.	PID-FUZZY.....	79
2.4	DISEÑO DE INTERFÁZ GRÁFICA HMI (QT DESIGNER - PYTHON).....	90
2.4.1.	DIAGRAMA DE FLUJO DEL HMI .....	90
2.4.2.	DESARROLLO DE LA APLICACIÓN .....	90
2.4.3.	CÓDIGO PY-QT EN PYTHON.....	94

2.4.4. COMUNICACIÓN LINUX - ARDUINO .....	96
2.4.5. CONTROLADORES DE EVENTOS .....	97
2.4.6. GRÁFICA EN TIEMPO REAL .....	102
2.5 DISEÑO GENERAL DE ESTE PROTOTIPO .....	103
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>105</b>
<b>3 IMPLEMENTACIÓN DE PRUEBAS DE OPERACIÓN .....</b>	<b>105</b>
3.1 INTEGRACIÓN DE TODOS LOS SISTEMAS.....	105
3.1.1. SISTEMA MECÁNICO.....	106
3.1.2. SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO .....	106
3.2. FUNCIONAMIENTO BASE.....	107
3.3. PRUEBAS Y RESULTADOS.....	108
3.3.1. DESARROLLO DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS .....	108
3.3.2. PRUEBAS Y RESULTADOS DE COMPONENTES MECÁNICOS .....	109
3.3.3. PRUEBAS Y RESULTADOS DE COMPONENTES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS.....	116
3.3.4. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE CONTROL .....	117
3.3.5. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL HMI .....	119
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>122</b>
<b>4 ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO .....</b>	<b>122</b>
4.1. COSTO DE MATERIA PRIMA .....	122
4.2. COSTO DE EQUIPOS, MATERIALES Y HERRAMIENTAS.....	123
4.2.1. COSTO DE EQUIPOS DE CONTROL .....	123
4.2.2. COSTO DE EQUIPOS DE POTENCIA .....	124
4.2.3. COSTO DE MATERIALES .....	124
4.2.4. OTROS MATERIALES DE PRUEBA .....	125
4.3. COSTO DE MANO DE OBRA.....	125
4.4. COSTO TOTAL .....	126
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>127</b>
<b>5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>127</b>
5.1. CONCLUSIONES.....	127
CONCLUSIONES DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS .....	127

5.2. RECOMENDACIONES .....	130
<b>Bibliografía.....</b>	<b>131</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>133</b>
ANEXO 1. Planos Mecánicos.....	134
ANEXO 2. Datasheets.....	135
ANEXO 3. Manual de Usuario .....	136
ANEXO 4. Programación PID Fuzzy.....	137
ANEXO 5. CÓDIGO PY-QT EN PYTHON .....	142

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación WiseCircu WCB-11 y el producto a fabricar .....	4
Tabla 2: Tipos de baño maría. ....	13
Tabla 3: Componentes mecánicos.....	15
Tabla 4: Características de bomba de recirculación .....	17
Tabla 5: Propiedades mecánicas de los materiales preseleccionados .....	20
Tabla 6: Piezas mecánicas del baño maría en SolidWorks .....	41
Tabla 7. Peso de los principales componentes de la máquina.....	49
Tabla 8. Requerimientos para bomba de recirculación. ....	52
Tabla 9. Descripción de PINES Sensor DS18B20.....	55
Tabla 10. Sistema MIMO .....	79
Tabla 11. Parámetros de constantes FUZZY .....	85
Tabla 12. Reglas de PID-FUZZY .....	86
Tabla 13. Requerimientos generales de toda la máquina como sistema .....	103
Tabla 14. Resultados de Pruebas de Elementos Mecánicos.....	109
Tabla 15. Temperaturas con 15 litros de Agua .....	112
Tabla 16. Temperaturas con 10 litros de Agua .....	113
Tabla 17. Gráficas de Temperatura VS. Tiempo .....	113
Tabla 18. Datos Reales del Baño María al 100%. ....	117
Tabla 19. Costo de Materia Prima.....	123
Tabla 20. Costo de Equipos de Control.....	123
Tabla 21. Costo de Equipos de Potencia .....	124
Tabla 22. Costo de Materiales .....	124
Tabla 23. Otros Materiales de Prueba .....	125
Tabla 24. Costo de Mano de Obra .....	126
Tabla 25. Costo Total .....	126

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama del control PID.....	8
Figura 2. Diagrama del control Fuzzy.....	9
Figura 3. Diagrama del control Fuzzy PID.....	11
Figura 4. Componentes de un baño maría.....	12
Figura 5. Diseño de máquina de baño maría en SolidWorks.....	14
Figura 6. Bomba de Recirculación.....	18
Figura 7. Selección de material aislante.....	21
Figura 8. Análisis estático de carcasa exterior.....	29
Figura 9. Análisis térmico de la bandeja interior.....	30
Figura 10. Sensor de nivel flotador.....	32
Figura 11. Sensor de temperatura sumergible.....	32
Figura 12. Resistencia calefactora sumergible tipo M.....	34
Figura 13. Controlador UDOO.....	35
Figura 14. Pantalla táctil.....	35
Figura 15. Comparación Raspberry y Adrino DUE.....	36
Figura 16. Componentes de plataforma UDOO.....	37
Figura 17. Bandeja interior acero inoxidable.....	39
Figura 18. Bandeja interior acero inoxidable SolidWorks.....	40
Figura 19. Ensamble Baño María, SolidWorks.....	41
Figura 20. Taladro de columna PRACTYL DP13A.....	42
Figura 21. Tipos de doblado y dobladora manual.....	43
Figura 22. Corte por cizalla.....	44
Figura 23. Soldadora de punto.....	45
Figura 24. Conexión DS18B20 a uP.....	56
Figura 25. Conexión DS18B20 a uP.....	56
Figura 26. Datasheet HSR-2D402Z.....	58
Figura 27. Circuito de Control de Temperatura.....	59
Figura 28. Circuito de Control de Nivel.....	60
Figura 29. Circuito de Control de Recirculación.....	61
Figura 30. Diagrama Unifilar de Control.....	62
Figura 31. Ingreso de datos a "Ident".....	67
Figura 32. Gráfica de planta de Baño María.....	68
Figura 33. Estimación de función de transferencia.....	68
Figura 34. Gráfica de Función de Transferencia.....	69
Figura 35. PID Tunner.....	71
Figura 36. PID Simulink.....	73
Figura 37. PID 3000 Segundos.....	74
Figura 38. PID 3000 Segundos SCOPE.....	74
Figura 39. Bloque Simulink Saturador.....	75
Figura 40. PID Simulink con Saturador.....	75

Figura 41. Seteo del Saturador.....	76
Figura 42. Salida del Sistema con Saturador .....	77
Figura 43. Salida del Sistema con Saturador SCOPE .....	77
Figura 44. Diagrama de bloques del Sistema.....	79
Figura 45. SCOPE del Error .....	80
Figura 46. Error parte no lineal .....	80
Figura 47. SCOPE de Derivada del Error .....	81
Figura 48. Ingreso de Entradas y Salidas FUZZY .....	81
Figura 49. Rangos Error FUZZY.....	82
Figura 50. Rangos Derivada Error FUZZY.....	83
Figura 51. Límites de Kp.....	84
Figura 52. Límites de Ki .....	84
Figura 53. Límites de Kd.....	85
Figura 54. Reglas de PID-FUZZY en Software .....	86
Figura 55. Workspace PID-FUZZY.....	88
Figura 56. Scope PID-FUZZY .....	88
Figura 57. Gráfica PID vs. PID- FUZZY .....	89
Figura 58. Gráfica PID vs. PID- FUZZY Ampliación.....	89
Figura 59. Pantalla QT Designer (HMI) .....	91
Figura 60. HMI Pantalla Touch .....	92
Figura 61. Generador de Código CMD.....	93
Figura 62. Archivo main.py .....	94
Figura 63. Widgets del HMI .....	94
Figura 64. Mensajes de “Error” .....	99
Figura 65. Ventana de Información (HMI) .....	101
Figura 66. Gráfica Tiempo Real.....	102
Figura 67. Conexión con Sensor Analógico .....	118

## **RESUMEN**

En la presente proyecto se desarrolla todo lo referente al diseño y construcción de un baño maría con circulación para los laboratorios de Inmunología de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE; dicha maquina calienta mediante convección térmica una determinada cantidad de agua a baño maría, y medios o soluciones a diferentes concentraciones, su sistema de recirculación, para el calentamiento indirecto de sustancias introducidas en recipientes herméticos que se requiere en los laboratorios de la universidad. La máquina de baño maría consta con una interfaz HMI digital en la cual el usuario será capaz de ingresar los parámetros deseados para dicho baño como lo es la temperatura y tiempo deseado, activación de la recirculación del agua y un monitoreo del proceso en curso. En cuanto a la estructura mecánica el baño maría busca la utilización de láminas de acero inoxidable, puesto que transmite el calor como se desea en el proyecto y tiene un alto grado de resistencia a la corrosión para su respectiva limpieza y desinfección. Como características de la máquina se tiene:

- Un control del funcionamiento mediante un microcontrolador UDOO.
- Control de temperatura, siendo la temperatura mínima la temperatura ambiente y con un máximo de 91°C controlado por el usuario.
- Un sistema de recirculación del fluido permitiendo que la temperatura sea homogénea en su totalidad.
- Un sistema de seguridad de encendido ya que la máquina no podrá funcionar si no hay la cantidad suficiente de fluido que cubra las niquelinas calefactoras.
- Sistema de control de apagado por un sistema inalámbrico.

### **Palabras clave:**

UDOO

HMI

BAÑO

ARDUINO

LABVIEW

## **ABSTRACT**

In this project everything related to the design and construction of the UN Circulation water bath for laboratory Immunology at the University of the Armed Forces Develops - ESPE; This machine heated by thermal convection a certain amount of water from a water bath, and a media or solutions Different Concentrations its recirculation system, para indirect heating of substances introduced into containers Sealing is required in university laboratories. The machine bath consists with an interface digital HMI which is the user will be able to enter the desired parameters paragraph said bath As the temperature and the desired time activation of water recirculation and UN monitoring Process Grade. Regarding the mechanical structure the bath looking the use of stainless steel sheets, since transmits heat as desired in the project and has a high degree of resistance to corrosion para their respective cleaning and disinfection. Machine Features As we have:

- A controller system by microcontroller UDOO.
- Control of temperature, minimum temperature being room temperature and with a maximum of 91 ° C controlled by the user.
- A fluid recirculation system which allows the homogeneous temperature sea as a whole.
- A Ignition Security System as the machine could not function if there is fluid enough to cover the heating bar.
- Wireless Control System United Nations System for Off.

### **Keywords:**

UDOO

HMI

BATH

ARDUINO

LABVIEW

## **CAPÍTULO I**

### **1 INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO**

#### **1.1 DEFINICIÓN DEL PROYECTO**

Entre los principales necesidades en los laboratorios de investigación son el uso de equipos que tengan sistemas controlados dentro de los procesos inmunológicos en el laboratorio de Inmunología de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE están: la ineficiencia en el tiempo de análisis, insuficientes seguridades en máquinas actuales para el operador, falta de monitoreo del proceso en desarrollo entre otros, debido a que no se tiene maquinaria automatizada para poder mantener un proceso más preciso. La maquinaria utilizada por muchos laboratorios incluidos los de la Universidad son importadas a un costo muy elevado y no presentan un monitoreo adecuado para que el usuario visualice el proceso.

#### **1.2 ANTECEDENTES**

El desarrollo de la robótica ha tenido un avance muy acelerado en las últimas décadas, esto ha generado la importancia del estudio de los beneficios que la Automatización Mecatrónica puede brindar a la sociedad. Estas innovaciones tecnológicas han obligado a realizar más investigaciones en esta área, invirtiendo grandes cantidades de dinero con el fin de desarrollar nuevos sistemas automatizados cuya función a futuro es remplazar a las personas, es decir, de lo que eran operadores ahora serán supervisores de tareas de alto riesgo o específicas dentro de las áreas químicas, de producción, distribución entre otras.

Una de las aplicaciones de la automatización que se encuentra en auge es el desarrollo de la automatización médica que permite realizar equipos médicos capaces de realizar y facilitar los controles y movimientos autónomos de las diferentes herramientas utilizadas en dicho campo.

El laboratorio de Inmunología de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE recibe a decenas de estudiantes durante todos los semestres, mismos que hacen insuficientes estos equipos de Baño Serológico o María en la que en las reacciones químicas, la temperatura y la recirculación son un factor importante. Por regla general se utilizarán 37°C para reacciones enzimáticas y crecimiento bacteriano. Estas tienen la función de llevar y mantener una muestra a una temperatura específica y estable por un tiempo controlado.

En el laboratorio de Inmunología tienen muchas aplicaciones tales como: Activar procesos enzimáticos, proporcionar condiciones óptimas para cultivos bacterianos, pruebas serológicas, procedimientos de incubación, agitación, inactivación, biomédicos.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

Durante los últimos años la tecnología ha ido creciendo a pasos agigantados teniendo como resultado tecnología de calidad con precios cada vez más reducidos. Dentro de estos avances se ha considerado el campo medical, de manera que se han desarrollado diferentes equipos y dispositivos con nuevas tecnologías para mejorar y facilitar el desarrollo e investigación de la medicina, biotecnología y sus aplicaciones.

Hoy en día, uno de los principales objetivos que tiene el actual Gobierno de la República del Ecuador es incentivar a las entidades educativas, específicamente a estudiantes a la realización de investigaciones y desarrollos de nuevas maquinarias o prototipos en beneficio de la sociedad para activar la matriz productiva.

Objetivo 4: Fortalecer las capacidades y potencialidades de la ciudadanía

- Alcanzar la universalización en el acceso a la educación inicial, básica y bachillerato, y democratizar el acceso a la educación superior.
- Promover la gestión adecuada de los conocimientos generados en el País.

Objetivo 10: Impulsar la transformación de la matriz productiva.

- Promover la sustitución de importaciones y la soberanía alimentaria, la desagregación, transferencia tecnológica y el conocimiento para diversificar la producción nacional.

Fuente plan de buen vivir 2017

El laboratorio de Inmunología de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE al momento consta con un solo Baño María y sin control de temperatura, el cual funciona solo con un termómetro de alcohol.

Los equipos de este estilo, oscila entre \$3000 y \$5000 en el extranjero, pero pueden llegar hasta \$8000 debido a los impuestos de importación que tiene hasta el momento nuestro país. Por lo que el presente proyecto busca la fabricación de una máquina de similares y mejorar las características dando lugar a la reducción de los costos, disminuir la importación de maquinarias ya que los existentes en el país son de origen extranjero, colaborando con la institución para el continuo desarrollo de la Carrera Biotecnología y sobre todo generando un producto de origen Nacional, y utilizar las capacidades y la formación entre mecatrónica y el uso del equipo en biotecnología.

Tabla 1

## Comparación Baño María WiseCircu WCB-11 y el producto a fabricar

Características		WCB-11	Producto a fabricar:
Dimensiones externas(w*d*h)(mm)		302*240*150	300*500*250
Consumo energético (kW)		1	1
Capacidad (litros)		11	15
Temperatura:	Rango (°C)	Ambiente-100	Ambiente-91
	Exactitud (°C)	±0,1	±2
	Uniformidad (°C)	±0,2	±2
	Sensor(es)	PT100	DS18B20
Controlador		PIC 16F877A	UDOO
Método de control		Digital Fuzzy	PID-FUZZY
Display		LCD digital	LVDS
Dispositivos de seguridad		Sensor de error de nivel bajo.	Sensores de nivel.
		Contra corriente.	Contra corriente.
		Contra temperatura.	Contra temperatura.
Material	Interno	Acero Inoxidable 304.	Acero Inoxidable 304.
	Externo	Acero Recubierto.	Chapa Metálica e=1.1 mm
Alimentación (V)		110	110

Con la comparación previa realizada frente al equipo existente en el laboratorio de Biotecnología y el propuesto, se pudo determinar que el principal motivo del costo elevado del producto WCB-11 se debe principalmente a la marca que éste posee y al grado de exactitud y uniformidad que oscila en las décimas de grado.

Nuestro producto será diseñado de tal manera de satisfacer las necesidades del laboratorio de inmunología, es esto que los parámetros de exactitud y uniformidad oscilan entre los  $\pm 2$  grados centígrados que incluirá la recirculación del agua y el software amigable con el usuario mediante aplicaciones con tecnología con una aplicación con alcance telefónico.

#### **1.4 ÁREA DE INFLUENCIA**

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura, Área de Biotecnología. Desde su creación, la Biotecnología aplica la biología a las actividades relacionadas con el mejoramiento de las condiciones de vida, mediante el empleo y el aprovechamiento de los microorganismos, de los componentes orgánicos y los sistemas biológicos en general, para la obtención y generación de tecnologías limpias que entreguen y aporten al desarrollo sostenible de la sociedad.

Además, propicia espacios para la investigación del genoma humano, la genética y el estudio del ADN. En este sentido, se considera a la Biotecnología como el soporte al desarrollo sustentable y amigable del medio ambiente. (ESPE, 2014)

El tema está relacionado con la Biotecnología, siendo su principal aplicación la realización de pruebas serológicas y procedimientos de incubación, aglutinación, inactivación, biomédicos.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 GENERALES**

Diseñar y construir una máquina de baño maría para la realización de pruebas serológicas y procedimientos de incubación, aglutinación, inactivación, pruebas biomédicas, para el laboratorio de Inmunología de las Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

### **1.5.2 ESPECÍFICOS**

- Análisis de las características mecatrónicas que debe cumplir la plataforma de baño maría.
- Analizar el comportamiento de la estructura de baño maría bajo diferentes condiciones de simulación mediante software por computadora.
- Construir una plataforma compacta y ligera facilitando su traslado según los requerimientos de trabajo.
- Desarrollar el sistema de control PID y control FUZZY para la máquina de baño maría.
- Obtener los datos en tiempo real a través de una pantalla táctil, con el fin de monitorear los parámetros de temperatura, nivel, tiempo de uso y uniformidad del agua.
- Desarrollar pruebas de funcionamiento en el laboratorio de inmunología con la máquina de baño maría.
- Validar el correcto funcionamiento de la máquina diseñada y construida en el Ecuador a costos moderados.
- Elaborar un manual de usuario de la máquina de baño maría.

## **1.6 ALCANCE**

Diseñar e implementar un prototipo que garantice tecnológica y económicamente optimizar el nivel y eficiencia de las prácticas de baño maría en el laboratorio de inmunología de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, actualmente en nuestro país a través de un controlador reprogramable (UDOO) que es el cerebro de la maquina encargado de controlar la temperatura y recirculación del baño maría. Además, implementar políticas y parámetros de calidad para el producto terminado y establecer las características y medidas de seguridad para el usuario.

## **1.7 BAÑO SEROLÓGICO O MARÍA**

El baño maría o baño serológico para laboratorio es un equipo que se utiliza en laboratorios de química, este equipo se utiliza para el calentamiento indirecto, por convección térmica del medio y de sustancia, se basa en un método empleado para conferir la temperatura uniforme a una sustancia líquida o sólida, sumergiendo el recipiente que lo contiene en otro mayor con agua que se lleva hasta la ebullición.

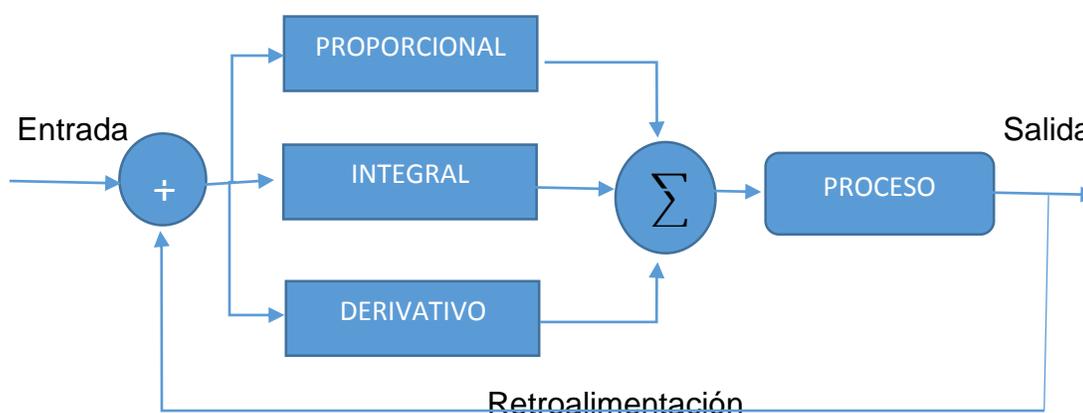
También es utilizado para realizar pruebas serológicas y procedimientos de incubación, agitación, inactivación y pruebas biomédicas.

Por lo general, se utilizan con agua, pero también se puede trabajar con aceite. Los rangos de temperatura en los cuales normalmente son utilizados están entre temperatura ambiente (20-22°C) y los 60°C. También se pueden seleccionar temperaturas de 90 - 100°C.

## 1.8 INTRODUCCIÓN AL MÉTODO DE CONTROL PID FUZZY

### 1.8.1 FUNDAMENTO DEL MÉTODO

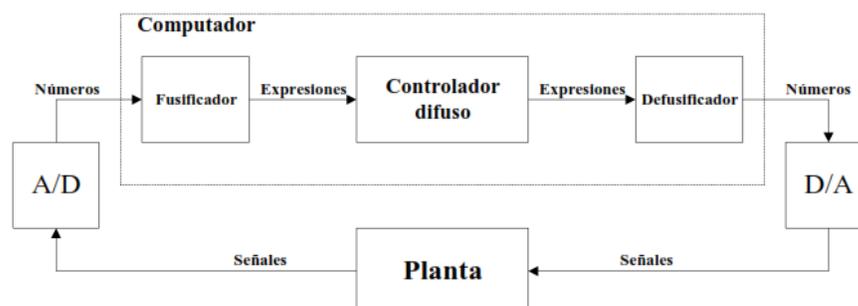
PID es un técnica de control por realimentación que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener, para aplicar una acción correctora que ajuste el proceso. El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. El valor proporcional determina la reacción del error actual. El Integral genera una corrección proporcional a la integral del error, esto nos asegura que aplicando un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero. El derivativo determina la reacción del tiempo en el que el error se produce. Figura1



**Figura 1. Diagrama del control PID.**

El control fuzzy es una opción que permite desarrollar sistemas de control robusto, sencillo, económico y de rápida implementación. El desarrollo del control fuzzy tiene, su origen en los sistemas basados en reglas para la toma de decisiones y en la fuzzy logic para la evaluación. Éste control puede ser expresado mejor como un control a través de palabras que interpretan el sentido común, en lugar de número, o bien sentencias en lugar de ecuaciones. Sin embargo, las variables de los procesos no se miden en sentido común, sino en

números. Por lo tanto se hace necesario realizar una adaptación precisa antes de introducir. En la figura 2 se aprecia las distintas transformaciones que sufren las variables y los datos en un lazo de control difuso.



**Figura 2. Diagrama del control Fuzzy.**

**Fuente:** Control Mediante Lógica Difusa, Samir Kouro 2000.

La etapa de fusificación, le otorga a los datos de entrada un grado de membresía dentro de las distintas expresiones posibles, para ello busca la correspondencia entre el estado de las variables, y las funciones de pertenencia definidas para dicho propósito. Desde luego, para un determinado valor de una variable, su grado de pertenencia será mayor en una expresión que en las demás. Una vez que se tienen expresados los estados de las variables en forma lingüística se pueden establecer relaciones lógicas entre ellas, típicamente a través de reglas tales como *si..entonces* (IF-THEN). Se definen una serie de relaciones que interpretan el sentido común, y permiten generar una actuación deseada (en estado lingüístico), que debe ser aplicada a la máquina o también llamada planta. Luego esta debe ser traducida a número (defusificación), para que luego el convertor digital-análogo la convierta a señal de tal modo que pueda ser aplicada a la planta.

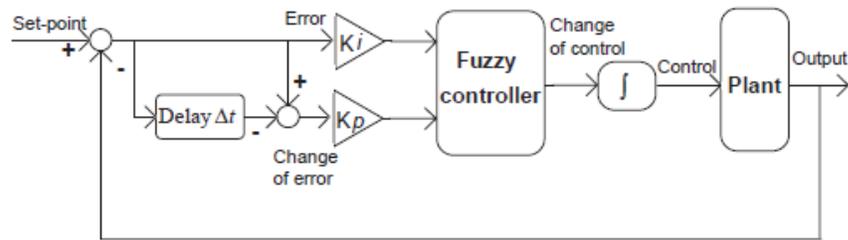
La lógica difusa puede ser descrita como un sistema interpretativo, en el cual los objetos o elementos son relacionados con conjuntos de fronteras no nítidamente definidas, otorgándoles un grado de pertenencia relativa o graduada

y no estricta como es de costumbre en la lógica tradicional. En un sentido más amplio se podría decir que existe una especie de interpolación entre una frontera y otra, o bien, entre un conjunto y otro.

Lo anterior ha permitido incorporar sentencias del lenguaje común, las que se caracterizan por ser un tanto indefinidas, para interpretar el estado de las variables de cierto proceso, asignándoles en cada momento un grado de pertenencia a estos conjuntos difusos. Esta interpretación puede ser fácilmente relacionada mediante operadores lógicos tradicionales con ciertas medidas de acción, también de naturaleza no exacta, que son diseñadas de tal manera que produzcan un cambio deseado en las variables de interés. En resumen se puede diseñar un controlador, que interprete en forma intuitiva (y no numéricamente exacta) el estado de ciertas variables, y en base a ello deduzca en forma lógica una actuación posible que permita llevar la variable al estado deseado.

Sin embargo, la metodología anterior introduce ciertos problemas de índole práctica. Por ejemplo, se puede atravesar por todo el proceso de diseño del controlador (definición de conjuntos, relaciones lógicas, etc.) y obtener resultados pobres, obligando a revisar el diseño en su totalidad. Para contrarrestar esta desventaja, se propone la incorporación de ciertas ganancias, que permiten ponderar el grado de pertenencia de las variables en los conjuntos difusos, incluso para controladores ya diseñados. Ello permite generar medidas correctivas, que pueden mejorar el desempeño del controlador. En particular, se aplican las ganancias a las mismas variables que se utilizan en el control clásico (PID), permitiendo incorporar el vasto conocimiento y sensibilidad que se posee de estos parámetros al control con lógica difusa.

La diferencia esencial es que no procesan ecuaciones ni tablas, procesan reglas para decidir cómo cambiar las salidas. Esto lo hace una tecnología muy accesible, ya que las reglas está más cerca del sentido común que de las ecuaciones y los modelos. Figura 3



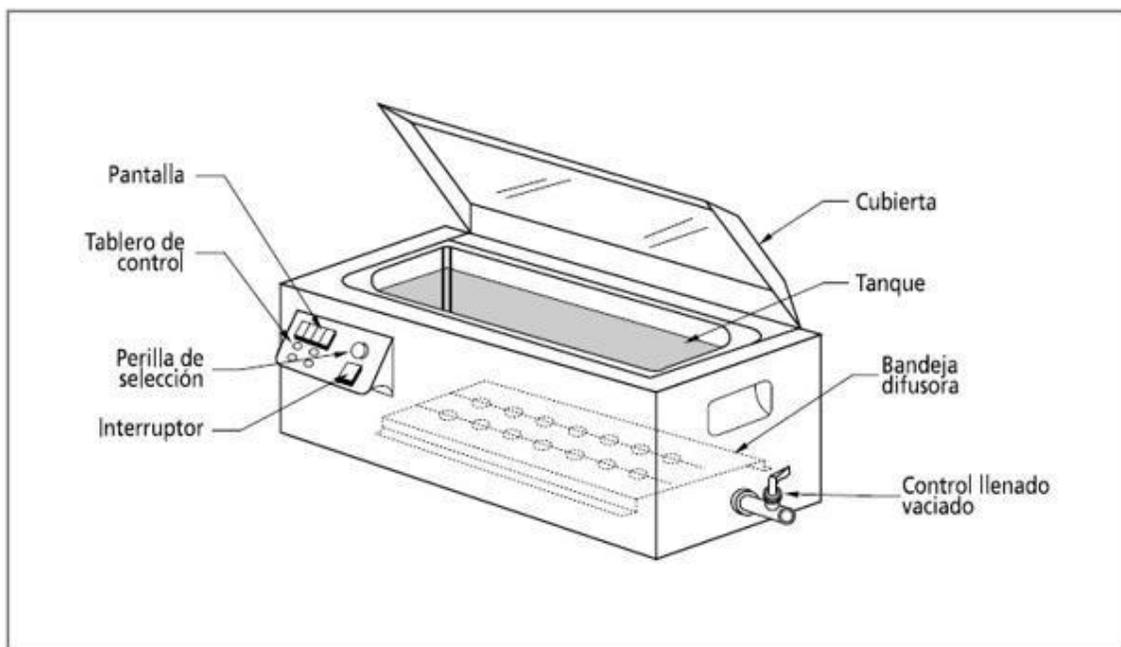
**Figura 3. Diagrama del control Fuzzy PID.**  
(InTech Tuning fuzzy pid controllers.)

Los controladores fuzzy, igual que otros controladores, toman el valor de las variables de entrada, procesan, y actúan sobre sus salidas a fin de controlar la planta. Para llevar a cabo el diseño del controlador PID difuso, primero se diseñaron controladores PID convencionales.

El control difuso tiene como objetivo realizar el análisis y diseño de sistemas de control basados en sistemas de inferencia difusos, los cuales permiten transformar el conocimiento sobre el control de una planta expresando en forma de regla.

## 1.9 INTRODUCCIÓN A LA MÁQUINA DE BAÑO MARÍA

El baño María es un equipo que se utiliza en el laboratorio para realizar pruebas serológicas y procedimientos de incubación, aglutinación, inactivación. Los rangos de temperatura en los cuales normalmente son utilizados están entre la temperatura ambiente y los 60 °C. También se pueden seleccionar temperaturas de 100 °C, utilizando una tapa de características especiales. Los baños María son fabricados con cámaras cuya capacidad puede seleccionarse entre los 2 y los 30 litros. Figura 4.



**Figura 4. Componentes de un baño maría.**

*Fuente: (Instrumentos de Laboratorio, Baño María, 2014)*

El concepto fundamental del de baño implica el calentamiento indirecto, por convección térmica del medio (agua del baño) y de la sustancia; ese medio (baño) puede ser aceite, agua pura o soluciones salinas de agua a diferentes concentraciones, etc., según la temperatura requerida.

Tabla 2

## Tipos de baño maría.

CLASE	RANGO DE TEMPERATURA
Baja temperatura	Temperatura ambiente hasta 60 °C
	Temperatura ambiente hasta 100 °C con cubierta
Alta Temperatura	<p>Temperatura ambiente hasta 275 °C. Cuando se requiere lograr temperaturas superiores a los 100 °C, es indispensable utilizar fluidos diferentes al agua, debido a que el punto de ebullición de la misma a condiciones normales es de 100 °C.</p> <p>Este tipo de baños utiliza generalmente aceites cuyos puntos de ebullición son mucho más elevados.</p>
Isotérmicos	Temperatura ambiente hasta 100 °C con accesorios y/o sistemas de agitación (con agua)

**Fuente:** (Instrumentos de Laboratorio, Baño María, 2014)

Los baños María, incluyen termostatos desde 25°C hasta 100°C, los más actuales poseen, bombas de circulación de agua que permiten mantener la temperatura uniforme en toda la superficie del equipo.

En el pozo es donde se deposita el agua y sus dimensiones son las que determinan el tamaño del equipo. Su construcción es de acero inoxidable o un

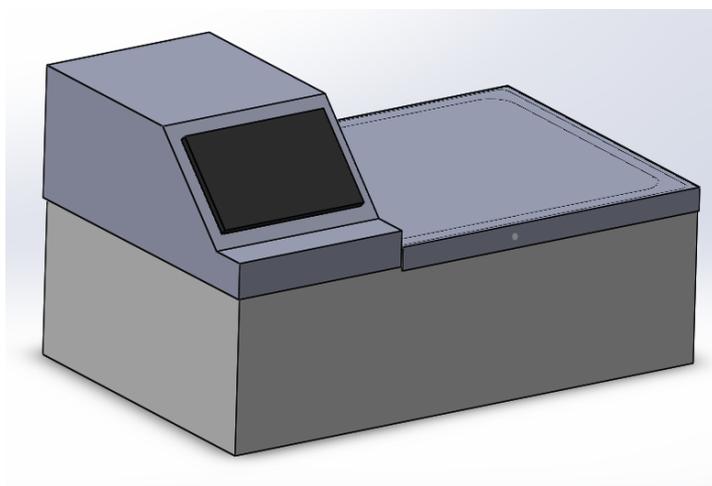
material muy resistente a las oxidaciones. Los elementos de calefacción son del tipo resistivo y por lo general níquel cromo aunque existen otros tipos.

### 1.9.1 DEFINICIÓN DEL PROTOTIPO DE BAÑO MARÍA

Un prototipo funcional, deberá ser elaborado con todas las características y que sean funcionales.

La máquina de baño maría ha sido desarrollada según los requerimientos que el Laboratorio de Inmunología de las Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE nos ha solicitado, obteniendo así un modelo funcional que consta con 5 partes fundamentales que son:

- Una bandeja interna con capacidad para 15 litros de agua
- Un sistema de calentamiento de agua
- Una bomba de recirculación de agua
- Una pantalla touch para que el usuario ingrese los parámetros necesarios para el baño.



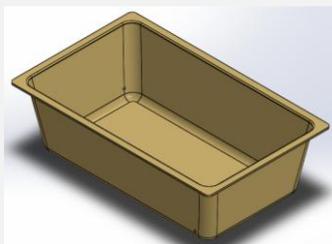
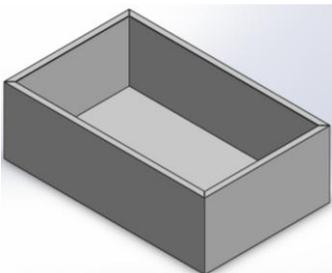
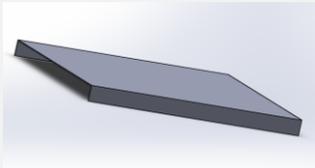
**Figura 5. Diseño de máquina de baño maría en SolidWorks.**

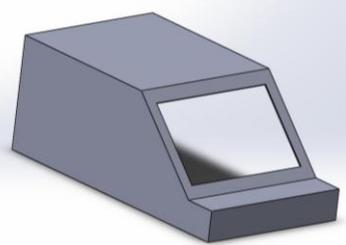
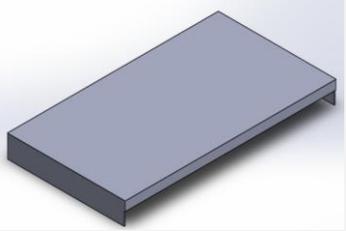
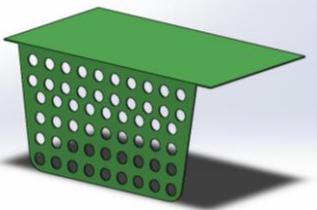
## 1.10 DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES MECÁNICOS

La máquina de baño maría consta con 3 principales materiales dentro de su estructura total, siendo éstos Acero Inoxidable, Chapa metálica y el Aislante Térmico.

**Tabla 3**

**Componentes mecánicos.**

Material	Componente	Imagen
Acero Inoxidable	Bandeja Interna	
Chapa Metálica 1.1 mm	Carcasa Externa	
	Tapa	

<b>Chapa Metálica 0.6 mm</b>	Soporte de Pantalla	
	Base Superior	
<b>Chapa Metálica 0.6 mm</b>	Malla Protectora	
<b>Aislante Térmico</b>	Interior de la Carcasa Externa	

### 1.10.1 INTRODUCCIÓN AL MECANISMO DE AGITACIÓN O RECIRCULACIÓN

Para lograr que la temperatura del agua se mantenga lo más homogénea se incorporó un mecanismo de recirculación, siendo éste una bomba de agua

para un volumen de 15 litros sumergible resistente a altas temperaturas y funcionamiento constante.

**Tabla 4**  
**Características de bomba de recirculación**

<b>Potencia</b>	<b>Electricidad</b>
<b>Estructura</b>	Bomba de una etapa
<b>Nombre de la marca</b>	Shysky Tech
<b>Presión</b>	Baja presión
<b>Aplicación</b>	Sumergible (máx. 4m)
<b>Uso</b>	Agua, aceite, acido, soluciones alcalinas, etc.
<b>Teoría</b>	Bomba centrífuga
<b>Número de Modelo</b>	DC50D-1240 A
<b>Tamaño</b>	101mmx85mmx65mm
<b>Peso</b>	600g
<b>Ruido</b>	Bajo (menos de 40 dB)
<b>Corriente</b>	3.8 A
<b>Max Caudal</b>	0-36L/min (Regulable)
<b>Potencia</b>	45.6W
<b>Voltaje</b>	5 – 12 Vdc



tabla sigue

<b>Trabajo</b>	Continuo
<b>Vida</b>	Larga (>3 Años)
<b>Temperatura de trabajo</b>	-10~100 Grados Centígrados

**Fuente:** *Datasheet Bomba Sumergible DC50D-1240.*



**Figura 6. Bomba de Recirculación.**

**Fuente:** *Datasheet Bomba Sumergible DC50D-1240 A.*

### 1.10.2 ANÁLISIS DE MATERIALES DEL PROTOTIPO

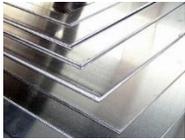
Un mecatrónico, busca el material ideal para el diseño de los elementos y por lo tanto, debe cumplir con características como:

- ✓ Disponibilidad para su reemplazo
- ✓ Economía
- ✓ Rigidez
- ✓ Estabilidad a diferentes temperaturas
- ✓ Estructura liviana
- ✓ Resistente a la corrosión y al desgaste
- ✓ y sin efectos sobre el medio ambiente o las personas

Seleccionar el tipo de material para una determinada aplicación, es una etapa fundamental en el diseño conceptual, donde se establecen el tipo y magnitud de los esfuerzos aplicados y la forma geométrica entre otras variables. Para el diseño selección y construcción de la máquina de baño maría, se propusieron como materiales los siguientes metales: Acero Inoxidable y chapa metálica de distintos espesores, como materiales aislantes: la fibra de vidrio y esponja aluminada, tomando como referencia las propiedades mecánicas de los materiales, es decir, la resistencia a la flexión, el cizallamiento, conductividad térmica, la dureza y la densidad del material. También se elaboró una tabla comparativa entre las propiedades mecánicas de los materiales preseleccionados (Tabla 5), y luego de comparar cada material y con base en el diseño, propuesto, se hicieron simulaciones mediante análisis por elementos finitos para determinar las cargas que pueden soportar las piezas.

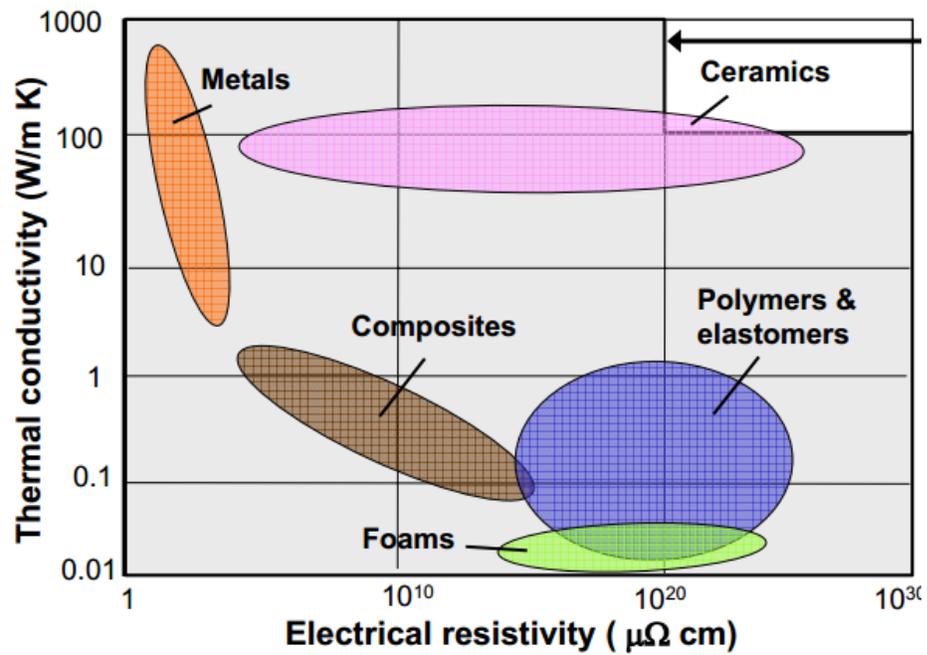
Tabla 5

## Propiedades mecánicas de los materiales preseleccionados

MATERIAL	Acero Inoxidable AISI 316	Chapa Metálica	Fibra de vidrio	Esponja aluminada (Thermolón)
Resistencia a la tracción	-	350 MPa	+1700 (N/mm <sup>2</sup> )	-
Módulo de elasticidad	190-210 (GPa)	2.05x10 <sup>11</sup> (N/m <sup>2</sup> )	35 GPa	-
Conductividad térmica	23C (W/m K)	52 (W/m K)	baja	0.004 (W/m K)
Dureza	160-190 Brinell	11-158 Brinell	-	-
Densidad	7.96 (g/cm <sup>3</sup> )	7858 (Kg/m <sup>3</sup> )	2.58 (g/cm <sup>3</sup> )	45 (Kg/m <sup>3</sup> )
Imagen				

- **Aislante Térmico**

El método gráfico se apoya en mapas de materiales, y sobre ellos se puede hacer una aproximación a la selección del material, teniendo como base la relación de las propiedades más sobresalientes que debe poseer el elemento por diseñar o fabricar. Por lo que dicho método fue utilizado para la selección del aislante térmico por medio del software (CES Edupack 2009 del libro de Materials Selection in Mechanical Design), en el cual como propiedades necesarias para el aislante fueron la resistencia eléctrica y la conductividad térmica.



**Figura 7. Selección de material aislante.**

*Fuente: Materials Selection in Mechanical Design*

Mediante la siguiente gráfica podemos concluir que el mejor aislante para reducir de una manera significativa el calor entre las paredes metálicas de máquina es la esponja.

## HOJA DE CÁLCULO DE AISLANTE TÉRMICO

### Simbología

**k**: Coeficiente de Conducción  $\left[ \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right]$

**T<sub>∞</sub>**: Temperatura del Ambiente [ $^\circ K$ ]

**R**: Resistencia Térmica  $\left[ \frac{^\circ K}{W} \right]$

**h**: Coeficiente de Convección  $\left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]$

**A**: área de contacto entre superficies [ $m^2$ ]

**q"**: Calor transmitido entre superficies  $\left[ \frac{W}{m^2} \right]$

**q<sub>c</sub>**: Calor por Conveccion [W]

**L**: Espesor [m]

**T<sub>s</sub>**: Temperatura de la Superficie [ $^\circ K$ ]

### Datos:

$$k_{AC} = 14 - 16 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}$$

$$k_{Chapa} = 81 - 116 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}$$

$$k_{Esponja} = 0.004 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}$$

$$h_{agua} = 3000 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

$$T_{agua} = 100^\circ C = 373 \text{ } ^\circ K$$

$$T_{\infty} = 25^\circ C = 298 \text{ } ^\circ K$$

### Fórmulas:

$$q_s = \frac{T_i - T_s}{R_c}$$

$$R_c = \frac{1}{h} \text{ (Para paredes planas)}$$

$$q_c = \frac{K}{L} (T_1 - T_2)$$

**Desarrollo:**

- Calculo del calor producido por el agua a 100°C transferido a la bandeja interna de acero inoxidable.

$$q_{cAC} = \frac{K_{AC}}{L_{AC}} (T_{\text{agua}} - T_{\infty})$$

$$q_{cAC} = \frac{15}{0.5 \times 10^{-3}} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}} (373 - 298)^\circ\text{K}$$

$$q_{cAC} = 2250000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

- Por motivos de diseño la temperatura ambiente dentro del laboratorio será de 17°C, la de la carcasa exterior de 15°C, y calculo el calor transmitido entre el ambiente y la carcasa exterior:

$$T_{S \text{ Chapa}} = 15 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (Dato supuesto para diseño)}$$

$$T_{\infty} = 17 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_{\text{Chapa}} = 20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}}$$

$$\infty q'' S_i = \frac{T_{\infty} - T_{si}}{R_c}$$

$$\infty q'' S_i = \frac{17 - 15}{\frac{1}{h_{\text{Chapa}}}}$$

$$\infty q'' S_i = \frac{2}{\frac{1}{20}}$$

$$\infty q'' S_i = 40 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

- Calculo el mínimo espesor que deberá tener el aislante térmico para que cumpla con el diseño propuesto.

$$S_i q'' S_0 = \frac{T_i - T_{s0}}{R_c \text{ Chapa} + R_c \text{ Esponja} + R_c \text{ AC}}$$

$$40 = \frac{15 - 100}{\frac{1.1 \times 10^{-3}}{98} + \frac{L_{\text{Esponja}}}{0.004} + \frac{0.5 \times 10^{-3}}{15}}$$

$$40 \left( \frac{1.1 \times 10^{-3}}{98} + \frac{L_{\text{Esponja}}}{0.004} + \frac{0.5 \times 10^{-3}}{15} \right) = -85$$

$$\left( 44.55 \times 10^{-6} + \frac{L_{\text{Esponja}}}{0.004} \right) = \frac{-85}{40}$$

$$\left( 44.55 \times 10^{-6} + \frac{L_{\text{Esponja}}}{0.004} \right) = -2.12$$

$$L_{\text{Esponja}} = \mathbf{0.0008 \text{ m}}$$

El mínimo espesor del aislante deberá ser de 8 mm para lo cual usaremos Thermolón de 10 mm ya que comercialmente existen de 5 y 10 mm, dándonos un margen de seguridad mayor.

A continuación se muestran cada una de las paredes relacionadas en la transferencia de calor del sistema del baño maría, sabiendo que la temperatura se transfiere desde la pared más caliente (Fluido Interno – Bandeja Interna) hasta la de menor temperatura (Carcasa Exterior – Medio Ambiente).

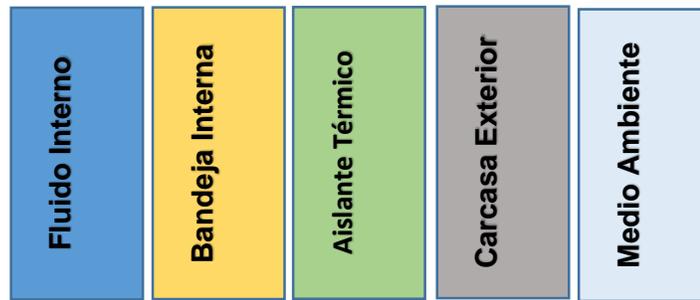
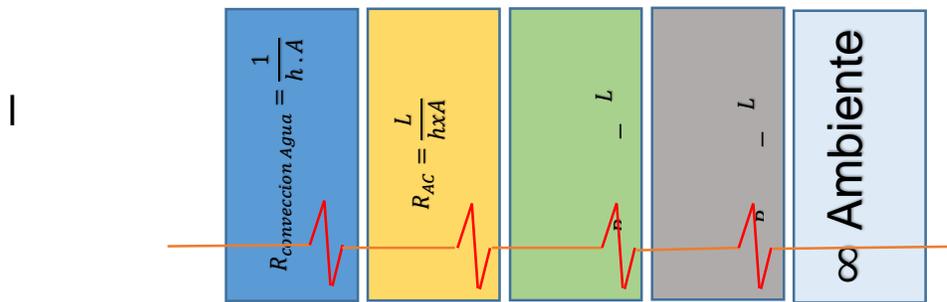


Figura 8. Paredes relacionadas en la Transferencia de Calor

La temperatura al ser transmitida por convección térmica se realiza una analogía con resistencias eléctricas en serie, cuyos valores de resistencia térmica son los mostrados a continuación:



Finalmente tenemos que la fórmula para obtener la transferencia de calor producida desde el fluido hasta la pared externa de la carcasa es:

$$q''_{\infty_2} - q''_{\infty_1} = \frac{T_{\infty_2} - T_{\infty_1}}{R_{C\ Agua} + R_{C\ AC} + R_{C\ Esponja} + R_{C\ Chapa}}$$

### Temperaturas en las paredes

Se obtiene las temperaturas en cada una de las paredes que componen el sistema del baño maría.

$$\infty_2 q'' \infty_1 = \frac{T_{\infty 2} - T_{\infty 1}}{R_{c \text{ Agua}} + R_{c \text{ AC}} + R_{c \text{ Esponja}} + R_{c \text{ Chapa}}}$$

$$R_{\text{conveccion Agua}} = \frac{1}{h \cdot A} = \frac{1}{3000 \times (0.28 \times 0.15)}$$

$$R_{\text{conveccion Agua}} = 0.008 \frac{\text{°K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{AC}} = \frac{0.5 \times 10^{-3}}{15 \times (0.28 \times 0.15)} = 0.0008 \frac{\text{°K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{Esponja}} = \frac{0.01}{0.004 \times (0.28 \times 0.15)} = 59.52 \frac{\text{°K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{Chapa}} = \frac{1.1 \times 10^{-3}}{98 \times (0.28 \times 0.15)} = 0.00026 \frac{\text{°K}}{\text{W}}$$

$$\infty_2 q'' \infty_1 = \frac{100 - 17}{0.008 + 0.0008 + 59.52 + 0.00026}$$

$$\infty_2 q'' \infty_1 = 1.39 \text{ W}$$

- Temperatura en la pared interna de la bandeja de Acero Inoxidable

$$\infty_2 q'' T_{\text{AC}} = \frac{T_{\infty 2} - T_{\text{AC}}}{R_{c \text{ Agua}}}$$

$$T_{\text{AC}} = -\infty_2 q'' T_{\text{AC}} \times R_{c \text{ Agua}} + T_{\infty 2}$$

$$T_{\text{interna AC}} = -1.39 \times 0.008 + 373$$

$$\mathbf{T_{\text{interna AC}} = 373.011 \text{ °K} = 100\text{ °C}}$$

- Temperatura en la pared interna del aislante térmico

$$T_{\text{interna}_{\text{Esponja}}} = T_{\text{interna}_{\text{AC}}} - R_{\text{AC}} \times q$$

$$T_{\text{interna}_{\text{Esponja}}} = 373.011 - (0.0008 \times 1.39)$$

$$\mathbf{T_{\text{interna}_{\text{Esponja}}} = 373.010 \text{ } ^\circ\text{K} = 100.010 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

- Temperatura en la pared interna de la carcasa de chapa metálica

$$T_{\text{interna}_{\text{Chapa}}} = T_{\text{Esponja}} - R_{\text{Esponja}} \times q$$

$$T_{\text{interna}_{\text{Chapa}}} = 373.010 - (59.52 \times 1.39)$$

$$\mathbf{T_{\text{interna}_{\text{Chapa}}} = 290.27 \text{ } ^\circ\text{K} = 17.27 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

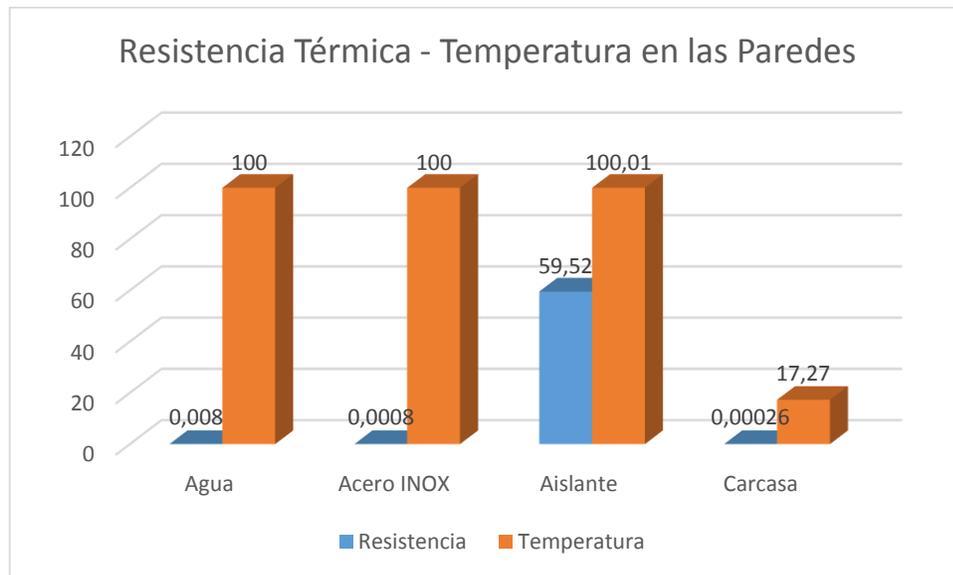
- Y finalmente la temperatura en la pared externa de la carcasa de chapa metálica.

$$T_{\text{externa}_{\text{Chapa}}} = T_{\text{interna}_{\text{Chapa}}} - R_{\text{Chapa}} \times q$$

$$T_{\text{externa}_{\text{Chapa}}} = 290.27 - (0.00026 \times 1.39)$$

$$\mathbf{T_{\text{externa}_{\text{Chapa}}} = 29.026 \text{ } ^\circ\text{K} = 17.26 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

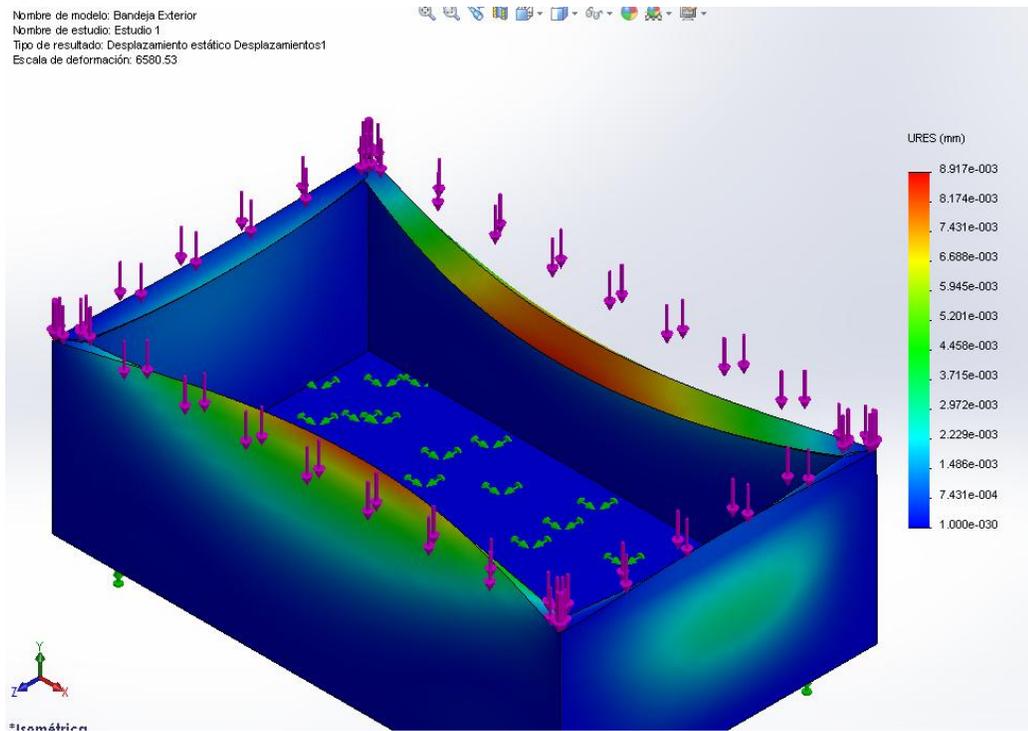
Obteniendo como resultado una temperatura de 17.26 °C, la cual es aceptable según el diseño y los requerimientos propuestos.



**Figura 9. Cambio de Temperatura en función de la Resistencia Térmica**

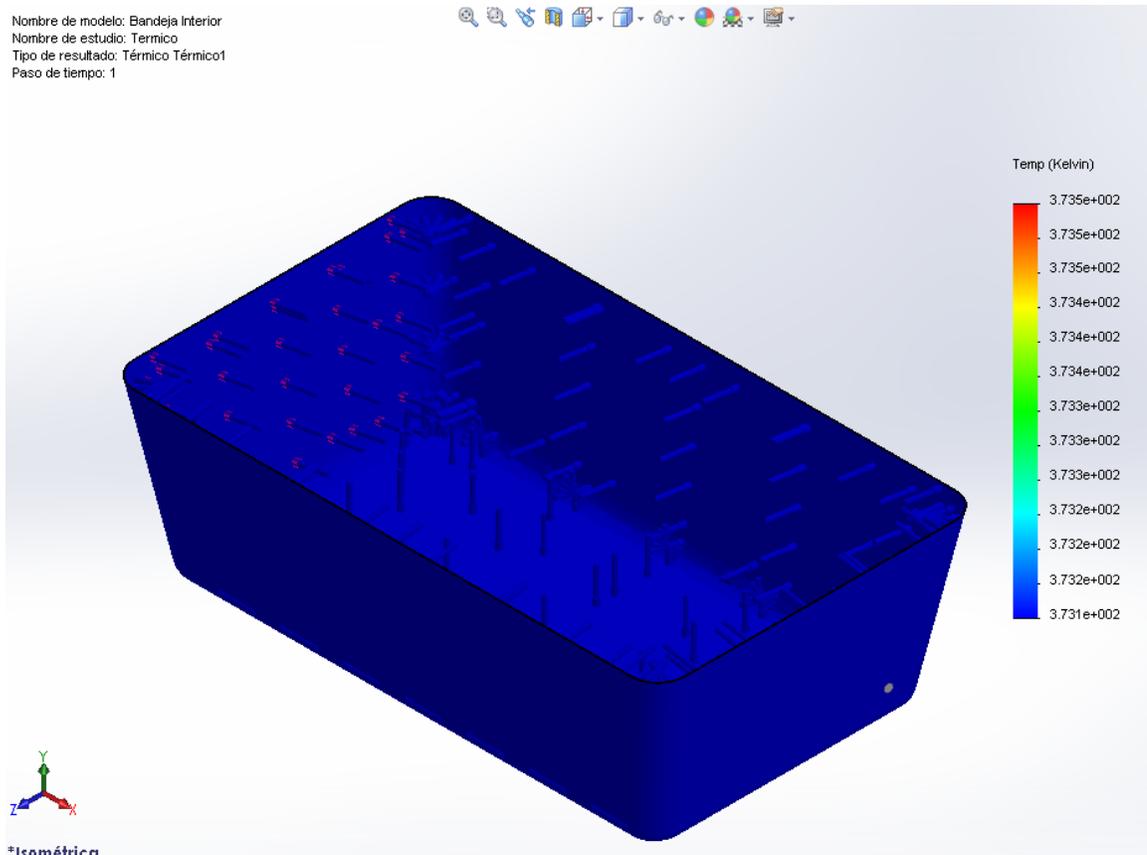
### 1.10.3 SIMULACIÓN DE ESFUERZOS EN LOS MATERIALES

Se realizó un análisis estático por medio de elementos finitos en el simulador SolidWorks tomando en consideración que la carcasa exterior deberá soportar el peso de 15 litros de agua es decir 150 Newtons aproximadamente, se tiene que los desplazamientos sufridos por la estructura están en el orden de las milésimas de milímetros por lo que la estructura soporta perfectamente dicho volumen.



**Figura 10. Análisis estático de carcasa exterior.**

En cuanto al análisis térmico realizado en la bandeja interior de acero inoxidable a una temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$  o  $373^{\circ}\text{K}$  se determinó que dicha temperatura no causa ninguna alteración significativa del material ni de la geométrica de la bandeja interna.



**Figura 11. Análisis térmico de la bandeja interior.**

#### 1.10.4 Análisis de resultados

Como ocurre con toda máquina de fabricación, es imprescindible conocer la precisión del equipo. Además, al tratarse de un método de fabricación en clara etapa de crecimiento, es necesario analizar detenidamente el proceso desde distintos puntos de vista físicos (materiales metálicos, transmisión de calor, diseño de máquinas, resistencia de materiales).

Por lo que para nuestra máquina concluimos que el material a utilizar como bandeja interior será acero inoxidable, transmite el calor de una manera efectiva lo cual nos permite calentar más rápidamente el fluido y tiene una alta durabilidad.

Para la carcasa externa y la tapa utilizamos chapa metálica con un espesor de 1.1 milímetros siendo un material de fácil adquisición, resistente y capaz de soportar todo el peso que proporciona los 15 litros de fluido dentro de la máquina. En la cubierta del circuito de control utilizamos el mismo material pero con un espesor de 0.6 milímetros ya que no debe soportar carga sino proteger el mencionado circuito.

Y finalmente el aislante térmico es una esponja aluminada (Thermolón), que debido a sus propiedades térmicas evita que el calor del agua se transmita a la carcasa externa, aparte que no es inflamable.

## **1.11 DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES ELÉCTRICOS / ELECTRÓNICOS**

### **1.11.1 DESCRIPCIÓN DE SENSORES**

Para el correcto funcionamiento de la estructura, se recomienda utilizar sensores que deberán cumplir las funciones siguientes:

- a) Medir el nivel de la solución que se ingresará en la bandeja interna.

Utilizando un sensor de nivel flotador de contacto modelo RG-0825P resistente hasta los 90 grados centígrados de tal manera que trabaja correctamente con la temperatura del agua dentro de la bandeja interna.



**Figura 12. Sensor de nivel flotador.**  
(*Datasheet Sensor de Nivel, RG-0825P*).

b) Medir la temperatura a la cual llegará la solución.

Para la correcta medición de la temperatura en toda la bandeja interior serán colocados 2 sensores digitales de temperatura DS18B20 colocados en cada extremo, de tal forma de obtener mediciones en la parte más caliente (cerca de las niquelinas) y en la parte más alejada de las mismas, logrando compararlas y obtener una temperatura promedio de todo el agua dentro del baño maría.



**Figura 13. Sensor de temperatura sumergible.**  
(*Datasheet Sensor de Temperatura, DS18B20*).

El sensor DS18B20 cumple con los requerimientos y presenta las siguientes características:

- c) Precisión: 9 -12 BITS
- d) Temperatura de trabajo: -55 +125 grados centígrados (+/- 0.5 Grados)
- e) Voltaje de alimentación: 3 – 5.5 Vdc

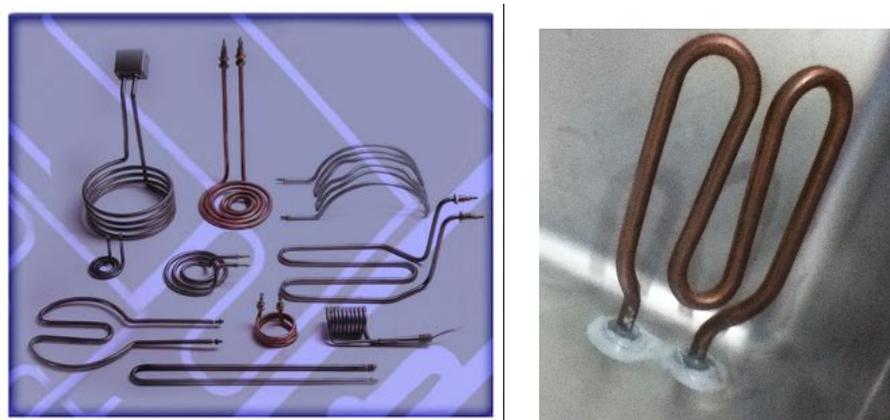
### **1.11.2 DESCRIPCIÓN DE ACTUADORES**

#### **Calefacción:**

La solución se calentará por medio de resistencias calefactoras sumergibles (Figura 12), las mismas que se activarán acorde a la cantidad de solución que tenga dentro de la bandeja interna.

Para el calentamiento hasta los de los 15 litros de solución dentro de la bandeja interna del baño maría se utilizará 2 niquelinas con una potencia de 1200W cada una, logrando así, calentar el agua hasta los 91 grados centígrados (Experimentalmente).

Los requerimientos del laboratorio de inmunología son de lograr que el agua se caliente de 60 a 70 grados centígrados por lo que los actuadores mencionados cumplen con dicho parámetro.



**Figura 14. Resistencia calefactora sumergible tipo M.  
(Resistencias Calefactoras Tipo M, 2015)**

## **1.12 DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES DE CONTROL**

### **Controladores:**

Como innovación, se desea probar un controlador más sofisticado, UDOO (figura 13.), el cual, además de controlar la temperatura y monitorear el proceso, brindará la posibilidad de realizar una interfaz amigable para el usuario, de esta manera dicho usuario ingresará los datos de manera táctil, con la pantalla correspondiente (Figura 14.).



**Figura 15. Controlador UDOO.  
(UDOO, 2015)**

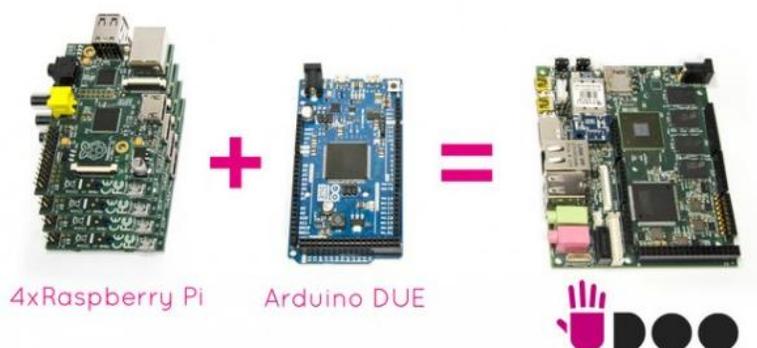


**Figura 16. Pantalla táctil  
(UDOO, Pantalla Táctil, 2015)**

### 1.12.1 DEFINICIÓN DE PLATAFORMA UDOO

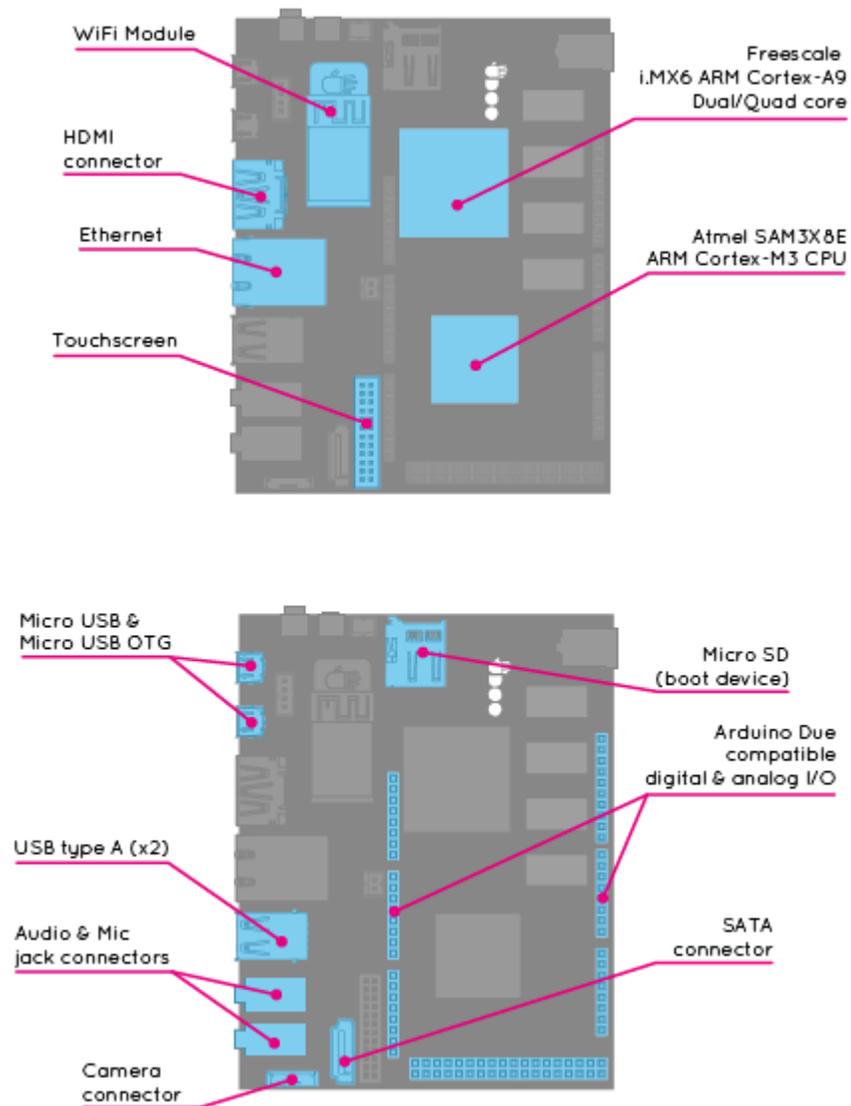
UDOO es una nueva minicomputadora combina el poder de Arduino y de la Raspberry Pi, pero con una potencia cuatro veces mayor. Se busca que sirva para crear prototipos rápidos de proyectos que contengan hardware y software. “UDOO tiene dos procesadores en una tarjeta de 11 x 8.5 cm. Usa un procesador con dos o cuatro núcleos, que puede correr Linux o Android, además de una tarjeta Arduino Due.”

Este es un sistema de hardware abierto, con 1 GB de RAM, con salida HDMI, conectividad WiFi, Mini USB y MicroSD. La máquina arranca de la tarjeta MicroSD, lo que significa que para arrancar con otro sistema operativo simplemente hay que cambiar de tarjeta.



**Figura 17. Comparación Raspberry y Arduino DUE (Raspberry, 2015)**

“UDOO es una solución de plataforma multidesarrollada para Android, Linux, Arduino™ y Google ADK 2012.” La placa está diseñada para proporcionar un entorno flexible que permite explorar las nuevas fronteras del internet.



**Figura 18. Componentes de plataforma UDOO (UDOO, Componentes, 2015)**

## CAPÍTULO II

### 2 DISEÑO DEL EQUIPO DE BAÑO MARÍA

En el presente capítulo se detalla todo el diseño mecánico, electrónico y de automatización para la fabricación de la máquina de baño maría para el laboratorio de inmunología de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Antes de introducirse en el ámbito del diseño conceptual del sistema, se realiza una introducción sobre el sistema mecánico actual al cual se requiere automatizar por sus falencias en la precisión al momento de realizar el resorte.

#### 2.1 DISEÑO MECÁNICO DEL EQUIPO

Una vez realizado el estudio de las máquinas actuales dentro del laboratorio de la universidad, se debe determinar las capacidades como una referencia para el diseño conceptual de la máquina es decir si se quiere automatizar el proceso se debe partir de las capacidades anteriores para mejorar las características en la nueva maquinaria automatizada.

El parámetro más importante para el diseño es la temperatura; es decir, obtener la temperatura deseada por el usuario en el menor tiempo posible; partiendo del baño maría existente en el laboratorio, éstos tardan alrededor de 20 minutos hasta lograr que el agua llegue a la temperatura requerida, por lo que este valor es el punto de partida de todo el diseño conceptual.

El segundo parámetro importante es el tipo de metales utilizados en la estructura metálica, es importante determinar la carga que deberán soportar cada pieza

para poder escoger el material y espesor adecuado; para este caso la carga que debe soportar la carcasa exterior es de 15 litros de agua o 150 N aproximadamente, mientras que la temperatura que deben soportar los materiales en contacto con el fluido es de 90 grados centígrados.

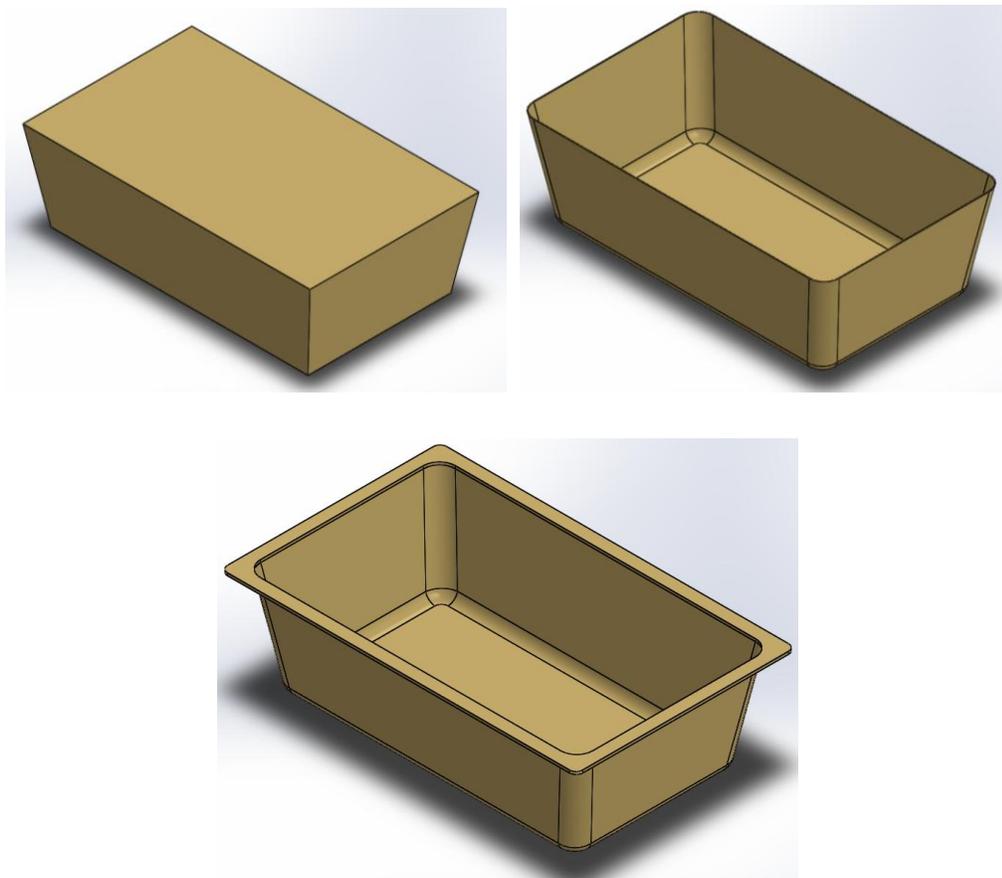
### 2.1.1 MODELAMIENTO TRIDIMENCIONAL EN SOFTWARE (CAD)

Para el modelamiento tridimensional del baño maría se partió tomando en consideración que la bandeja interior de acero inoxidable de 15 litros de capacidad fue adquirida previamente, es por lo que las medidas y diseños del resto de elementos que conforman la máquina fueron diseñada de tal forma que se acoplen correctamente a mencionada bandeja.



**Figura 19. Bandeja interior acero inoxidable.**

- Se procede a realizar el levantamiento con medidas originales de la bandeja interna de acero inoxidable adquirida en el software SolidWorks

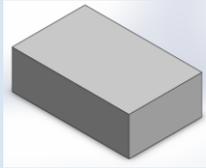
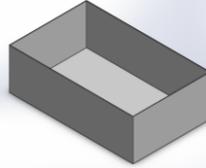
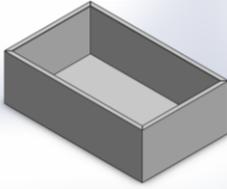
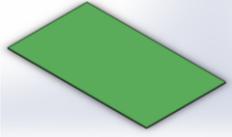
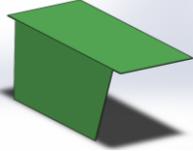
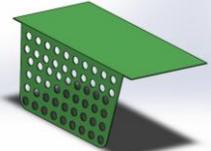
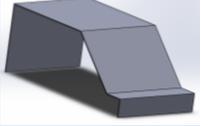
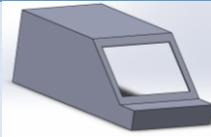
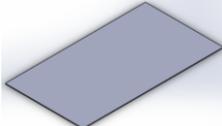
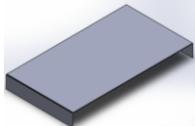
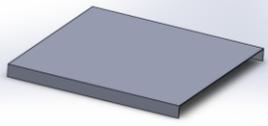


**Figura 20. Bandeja interior acero inoxidable SolidWorks.**

Una vez realizado el levantamiento de la bandeja interior se diseñan las 5 piezas mecánicas restantes tomando en cuenta sus dimensiones en el ANEXO 1 y su ensamble final con los respectivos materiales seleccionados en el capítulo anterior asignados a cada elemento, dándonos una muestra de cómo va a ser el producto terminado en su futura construcción.

Tabla 6

## Piezas mecánicas del baño maría en SolidWorks

ELEMENTO	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3
Carcasa Exterior, e=1.1mm			
Protector e=0.6mm			
Soporte pantalla e=0.6mm			-
Base superior e=0.6mm			-
Tapa exterior e=1.1mm		-	-

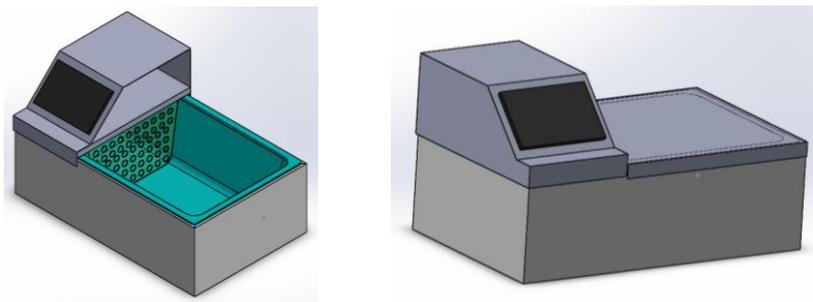


Figura 21. Ensamble Baño María, SolidWorks.

## 2.1.2 PROCESOS DE MECANIZADO UTILIZADOS EN CONSTRUCCIÓN

Para la elaboración de la máquina de baño maría se realizaron cuatro procesos diferentes como lo son: taladrado, doblado, corte por cizalla y soldadura.

- **Taladrado**

El taladrado es una operación de mecanizado por arranque de viruta en el cual se utilizan herramientas de desbaste como los son las brocas para desprender viruta de una pieza de trabajo y darle una forma tanque.

Es una operación limitada a hacer agujeros con viertas ventajas como:

- Operación rápida
- Posibilidad de realizar agujeros de diferentes diámetros
- Precisión y acabado superficial mejorados.



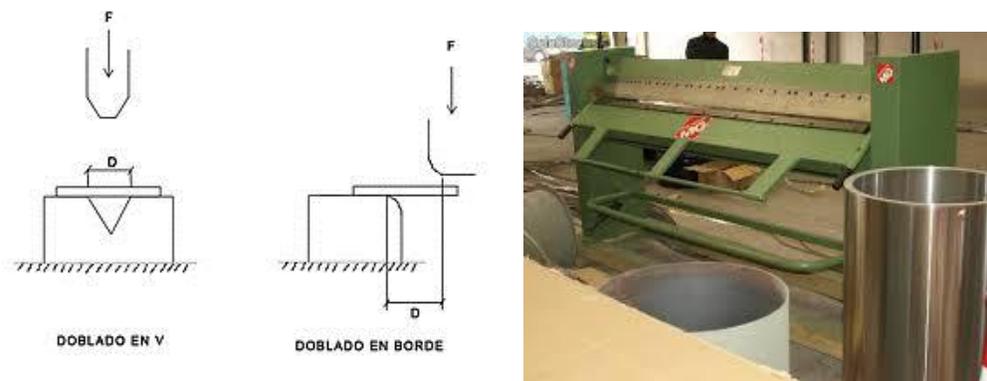
**Figura 22. Taladro de columna PRACTYL DP13A (LeroyMerlin, 2014)**

- **Doblado**

El doblado es un proceso de deformación plástica utilizado para dar forma a chapas metálicas. Su funcionamiento se basa en la utilización de una prensa con una y un punzón que puede o no tener forma impregnando una presión sobre la chapa. En el proceso, el material situado a un lado del eje neutro se comprimirá (zona interior) y el situado en el lado opuesto (zona exterior) será sometida a tracción como consecuencia de los esfuerzos aplicados.

A consecuencia de este estado de tracción-compresión el material tenderá a una pequeña recuperación elástica. Por tanto, si queremos realizar un doblado tendremos que hacerlo en un valor superior al requerido para compensar dicha recuperación elástica.

Según el ángulo o la forma que queramos dar al doblado existen matrices que nos proporcionan la forma deseada.



**Figura 23. Tipos de doblado y dobladora manual.**

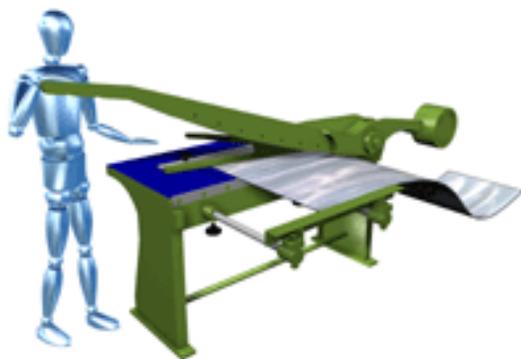
**Fuente:** Conformado de chapa, Universidad de País Vasco Eskal Herrico,PDF

- **Corte por cizalla o guillotina**

El cizallamiento es un proceso que se corta un material a través de herramientas de corte denominada cuchilla, el funcionamiento es igual al de unas tijeras, es decir se tiene los filos de ambas cuchillas de la cizalla se enfrentan presionando sobre la superficie a cortar hasta que vencen la resistencia de la superficie a la tracción rompiéndola y separándola en dos.

Son máquinas empleadas generalmente para cortar láminas de metal (hierro, acero, aluminio, etc.) y su aplicación se amplía a varios sectores industriales.

El procedimiento de uso es muy importante para un corte limpio. La cuchilla interior está sujeta a la mesa, y la superior al vástago móvil, cuenta con un brazo que sujeta la lámina metálica para evitar su movimiento libre sobre la mesa.



**Figura 24. Corte por cizalla.**  
(Catálogo *FABLAMP Guillotina Manual CMF-16*)

- **Soldadura de punto**

La soldadura por puntos consiste en "soldar piezas superpuestas de metal en pequeños puntos mediante la aplicación de presión y corriente eléctrica". La Soldadura por puntos ocurre en tres etapas:

- Los electrodos que se encuentran en el cabezal de soldadura son atraídos hacia la superficie de una de las piezas a unir y se aplica una fuerza.
- Se aplica una corriente a través de los electrodos y hacia la pieza de trabajo para fundir el material.
- Se elimina la corriente pero los electrodos permanecen en el lugar y conservan la fuerza para permitir que el material se seque y solidifique.

El tiempo de soldado varía entre 0.01 seg. a 0.63 seg., según el grosor del metal, la fuerza de los electrodos y el diámetro de los mismos.

El equipo básico que se usa en el proceso de soldado por puntos consiste de una estación de trabajo de escritorio, que incluye una fuente de poder para soldado, un cabezal de soldadura y electrodos.



**Figura 25. Soldadora de punto.**

### 2.1.3 FABRICACIÓN DE PARTES QUE CONFORMAN LA MÁQUINA

La construcción de los elementos mecánicos se los llevó a cabo siguiendo los planos realizados previamente (ANEXO 1).

- Construcción y comprobación de ensamble parcial de la carcasa exterior por medio de los procesos de doblado, corte, taladrado y soldadura de punto.



- Fabricación y ensamble parcial de la malla protectora.



- Fabricación y ensamble parcial del soporte de pantalla y circuito interno.



- Una vez terminada su construcción, las piezas son sometidas a una etapa de pintado al horno que tiene mejores resultados, obteniendo una pintura que no se desprende del material metálico fácilmente como sucedería con una pintura al aire libre.



- Obteniendo finalmente los siguientes resultados de las piezas mecánicas.



- Se integra el aislante térmico a las paredes internas de la carcasa exterior.



- Obteniendo finalmente el ensamble de la máquina de baño maría.



En la siguiente tabla se muestran los elementos mecánicos que componen la máquina de baño maría y se enumera las partes principales de la misma con sus respectivos pesos obtenidos por software.

**Tabla 7**

**Peso de los principales componentes de la máquina**

<b>Elemento</b>	<b>Código Plano</b>	<b>Material</b>	<b>Peso (kg)</b>
<b>Soporte de Pantalla</b>	100	Chapa Metálica	1.32
<b>Base Superior</b>	200	Chapa Metálica	0.64
<b>Protector</b>	300	Chapa Metálica	0.99
<b>Carcasa Exterior</b>	400	Chapa Metálica	4.16
<b>Tapa Exterior</b>	500	Chapa Metálica	2.25

<b>Bandeja Interior</b>	600	Acero Inoxidable AISI 316	1.04
<b>Bomba Sumergible</b>	-	-	0.6
<b>Resistencias Calefactoras</b>	-	Cobre	1.5
<b>Circuito Interno</b>	-	-	0.5
<b><i>TOTAL</i></b>			<b>13</b>

## 2.1.4. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS ACTUADORES

- Resistencias Calefactoras

### Datos Generales:

$$m_{\text{agua}} = 15 \text{ kg}$$

$$T_{\infty} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{agua}} = 60 - 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

(Sueguro por el laboratorio)

$$\text{tiempo} = 25 \text{ min}$$

### Simbología:

$T_{\infty}$ : Temperatura Ambiente

$T_{\text{agua}}$ : Temperatura del Agua

**Q**: Calor a Entregar por la niquelina

**m**: Masa del Agua

**c**: Calor específico del agua

$\Delta T$ : Diferencias de temperaturas

**P**: Potencia

### Procedimineto:

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

$$Q = 15 \text{ Kg} \times \left(1 \frac{\text{KCal}}{\text{Kg}}\right) \times (70 - 20) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q = 750 \text{ KCal}$$

$$P = \frac{Q}{\text{tiempo}}$$

$$P = \frac{750 \text{ KCal}}{25 \text{ min}}$$

$$P = 30 \frac{\text{KCal}}{\text{min}}$$

### Conversion de unidades:

$$1 \text{ KCal} = 4175 \text{ Joules}$$

$$1 \text{ Joule} = 1 \text{ W. seg}$$

$$P = 30 \frac{\text{KCal}}{\text{min}} \times \frac{4187 \text{ J}}{1 \text{ KCal}} \times \frac{1 \text{ W. seg}}{1 \text{ J}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}$$

$$\mathbf{P = 2093.5 W}$$

Las niquelinas comerciales seleccionadas son dos niquelinas Tipo M de 1200W en paralelo, obteniendo una potencia calorifica de **2400W**



**Figura 26. NIQUELINAS 2400 W INSTALADAS EN BANDEJA INTERNA**

- **BOMBA DE RECIRCULACIÓN**

La selección de la bomba de recirculación no se la realizó matemáticamente sino se utilizó una selección por descarte ya que ésta deberá cubrir una gran cantidad de características para que su funcionamiento sea válido en la aplicación deseada, siendo la bomba seleccionada una bomba sumergible resistente a altas temperaturas de caudal variable cuyas características se encuentran en la tabla 4. En la siguiente tabla se describen los requerimientos con sus respectivas importancias a cumplir de la bomba de recirculación.

**Tabla 8**

**Requerimientos para bomba de recirculación.**

Requerimiento técnico	IMPORTANTE	IMPORTANCIA MEDIA	NO IMPORTANTE
Sumergibilidad	X		
Potencia		X	
Uso (Agua, aceite, etc.)	X		
Tamaño		X	
Ruido		X	



tabla sigue

Tipo de Alimentación	X		
Vida útil	X		
Temperatura de trabajo	X		
Presión de trabajo		X	
Peso			X
Caudal			X
Adquisición			X
Precio		X	

## 2.2 DISEÑO ELECTRÓNICO DEL EQUIPO

### 2.2.1 ACOPLAMIENTO DE SEÑAL DE SENSORES

La señal de salida del sensor de un sistema de medición en general se debe procesar de una forma adecuada para la siguiente etapa de la operación. La señal puede ser, por ejemplo, demasiado pequeña, y sería necesario amplificarla; podría contener interferencias que eliminar; ser no lineal y requerir su linealización; ser analógica y requerir su digitalización; ser digital y convertirla en analógica; ser un cambio en el valor de la resistencia, y convertirla a un cambio en corriente; consistir en un cambio de voltaje y convertirla en un cambio de corriente de magnitud adecuada, etc. A todas estas modificaciones se les designa en general con el término acondicionamiento de señal.

- **Interconexión con un microprocesador**

Los dispositivos de entrada y de salida están conectados con un sistema de microprocesador mediante puertos. El término "interfaz" se refiere a un elemento que se usa para interconectar diversos dispositivos y un puerto. Existen así entradas de sensores, interruptores y teclados, y salidas para indicadores y actuadores. La más sencilla de las interfaces podría ser un simple trozo de alambre. En realidad, la interfaz cuenta con acondicionamiento de señal y protección; esta última previene daños en el sistema del microprocesador. Por ejemplo, cuando es necesario proteger las entradas de voltajes excesivos o de señales de polaridad equívoca. Los microprocesadores requieren entradas de tipo digital; por ello, cuando un sensor produce una salida analógica, es necesario una conversión de señal analógica a digital. Sin embargo, muchos sensores sólo producen señales muy pequeñas, a veces de unos cuantos milivoltios. Este tipo de señales es insuficiente para convertirla de analógica a digital en forma directa, por lo que primero se debe amplificar. En las señales digitales también es necesario acondicionar la señal para mejorar su calidad.

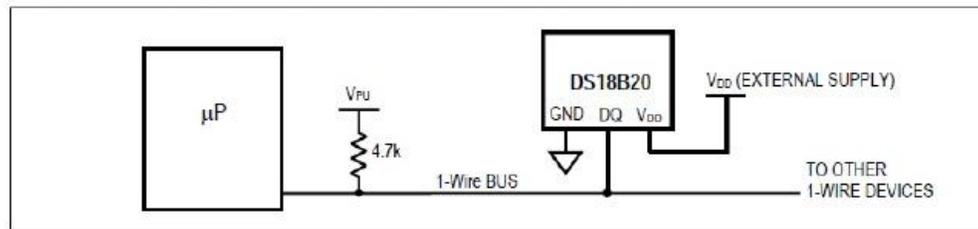
El sensor DS18B20 realiza mediciones mediante dos fuentes de tensión de banda prohibida generadas. Una de las fuentes de tensión tiene un coeficiente de alta temperatura y cambios de forma determinista a través de la temperatura. La otra fuente de tensión tiene un coeficiente de baja temperatura y no cambia a través de la temperatura. Un convertidor de analógico a digital (ADC) convierte la diferencia entre estas dos tensiones a un valor digital. Que representa la temperatura del dispositivo.

**Tabla 9****Descripción de PINES Sensor DS18B20**

<b>DESCRIPCIÓN DE LOS PINES</b>		
<b># DE PIN</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>FUNCIÓN</b>
<b>1</b>	GND	Es el pin que se conecta a la tierra del circuito.
<b>2</b>	DQ	Data Input/Output, Pin de interface de 1 hilo en drenaje abierto. También proporciona alimentación al dispositivo cuando se usa en modo de potencia parásito.
<b>3</b>	VDD	VDD opcional. VDD debe estar conectado a tierra para la operación en modo de potencia parásito.

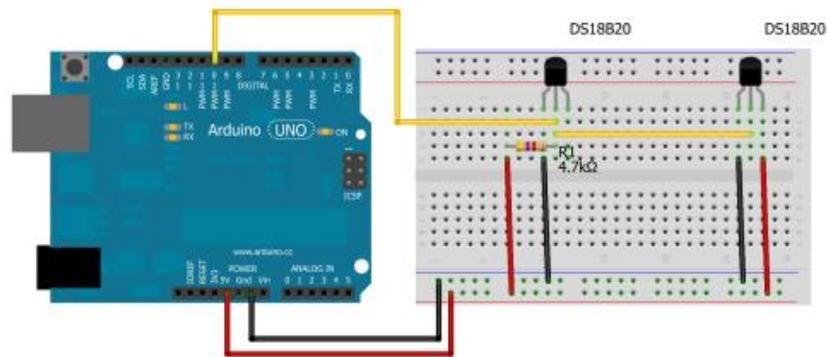
*Datasheet DS18B20*

El DS18B20 utiliza un protocolo de bus de datos de 1 hilo llamado 1-Wire que implementa la comunicación del bus mediante una señal de control. La línea de control requiere de una resistencia pull-up conectada como se muestra a continuación.



**Figura 27. Conexión DS18B20 al microprocesador**  
(*Datasheet DS18B20*)

En este sistema de bus, el microprocesador identifica y aborda los dispositivos en el bus con el código único, el número de dispositivos que pueden abordar en una DS18B20 de 3 pines es virtualmente ilimitado y para el caso de la máquina de baño maría no es la excepción con éste sensor evitando así el uso de un acondicionamiento externo ya que el mismo trae incorporado uno internamente, haciendo uso finalmente de 3 cables usados para Vcc, Gnd y un cable de transmisión de datos que van directamente conectados al microcontrolador como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 28. Conexión DS18B20 con Protoboard**

## **2.2.2 PROCESOS DE ACONDICIONAMIENTO**

Para definir los procesos de acondicionamiento se deben presentar en el acondicionamiento de una señal:

Protección para evitar daño al siguiente elemento, por ejemplo un microprocesador, como consecuencia de un voltaje o una corriente elevados. Para tal efecto, se colocan resistencias limitadoras de corriente, fusibles que se funden si la corriente es demasiado alta, circuitos para protección por polaridad y limitadores de voltaje, la eliminación o reducción del ruido.

Siendo los motivos mencionados en ésta etapa por los cuales no se ocuparon acondicionamientos externos en los sensores de temperatura, puesto que dicho acople de la señal se encuentran dentro del encapsulado permitiendo así una conexión directa con el micro controlador UDOO.

## **2.2.3. DISEÑO DEL CIRCUITO Y CONTROL DE TEMPERATURA**

Para el presente circuito de control de temperatura se tomó en cuenta la carga que se va a energizar para de ésta manera realizar la selección correcta de los componentes.

Como se muestra en la (Figura 27) el circuito tiene su origen en la red de 110V con un fusible de protección de 30 Amperios, mismos que ya cuentan las instalaciones de la universidad. Al momento de energizar el circuito se activará el circuito de control (UDOO) quien será el encargado de enviar la señal de control a la entrada de 0-5 Vdc del relé de estado sólido, el cual por medio de su conmutación enciende o apaga las niquelinas hasta llegar a la temperatura deseada.

Se ha seleccionado el relé de estado sólido y no uno electromecánico ya que éste cuenta con muchas mejores prestaciones para desempeñar una misma función en el circuito, siendo algunas ventajas:

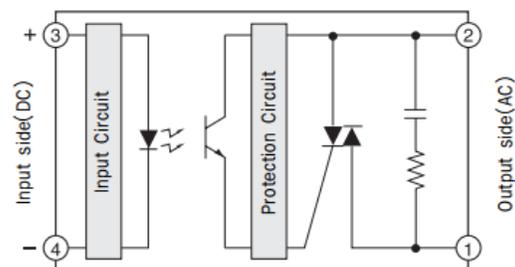
- Menor tamaño
- Mejor fiabilidad ya que no contiene piezas móviles o contactos que se degraden.
- Su conmutación no genera rebotes de señal.
- Utilizado en ambientes inflamables ya que su contacto no produce chispa.

El relé de estado sólido seleccionado es el HSR-2D402Z ya que tiene una entrada de activación de 4-32 Vdc lo cual nos ayuda para hacerlo desde el UDOO y un rango de salida de 100-240 Vac que va conectado a la línea. Cabe mencionar que el relé utilizado resiste a una corriente de 40 A por lo que es suficiente para no tener ningún problema con los 25 A que consumen las niquelinas por lo que para la conexión de las mismas se requiere de un cable multifilar #8.

Uno de los motivos por el cual el relé de estado sólido fue seleccionado es debido a que al no ser electromecánico, su velocidad de respuesta a la conmutación es mucho mayor, siendo ésta de 1ms (ANEXO 2), valor que es tomado en cuenta y por motivos de perdurar aún más la vida del relé, dentro de la programación se establecerá que la conmutación sea de medio segundo.

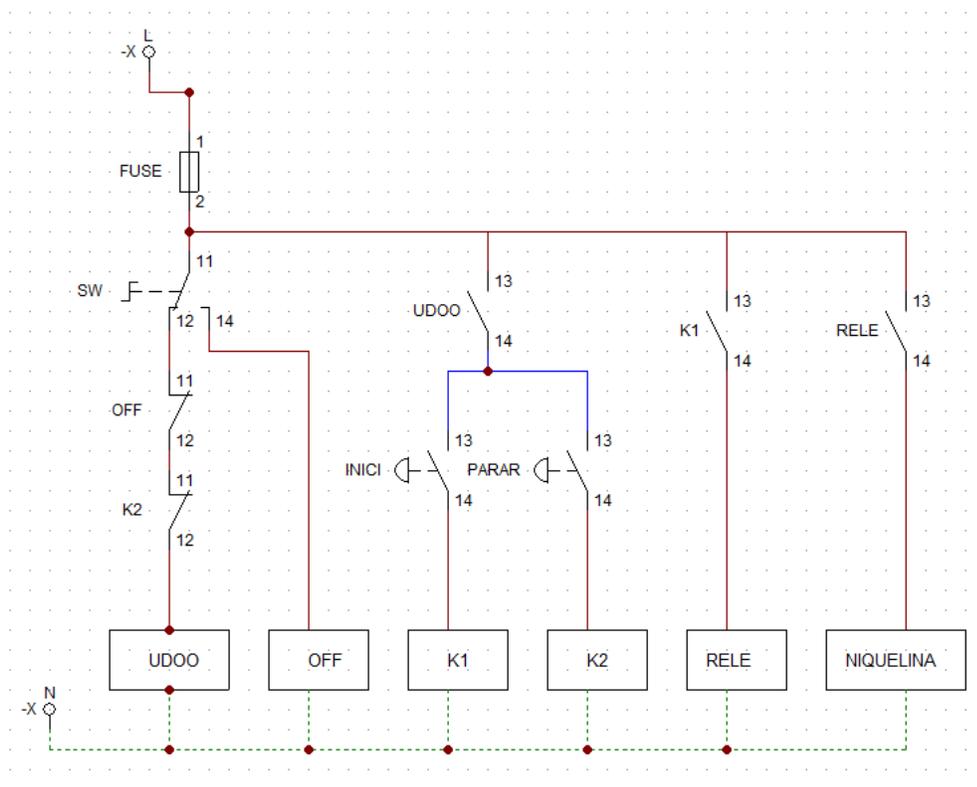


#### ■ DC Input Type



**Figura 29. HSR-2D402Z Datasheet**

*(HSR-2D402Z Datasheet)*



**Figura 30. Circuito de Control de Temperatura (Software CadeSimu)**

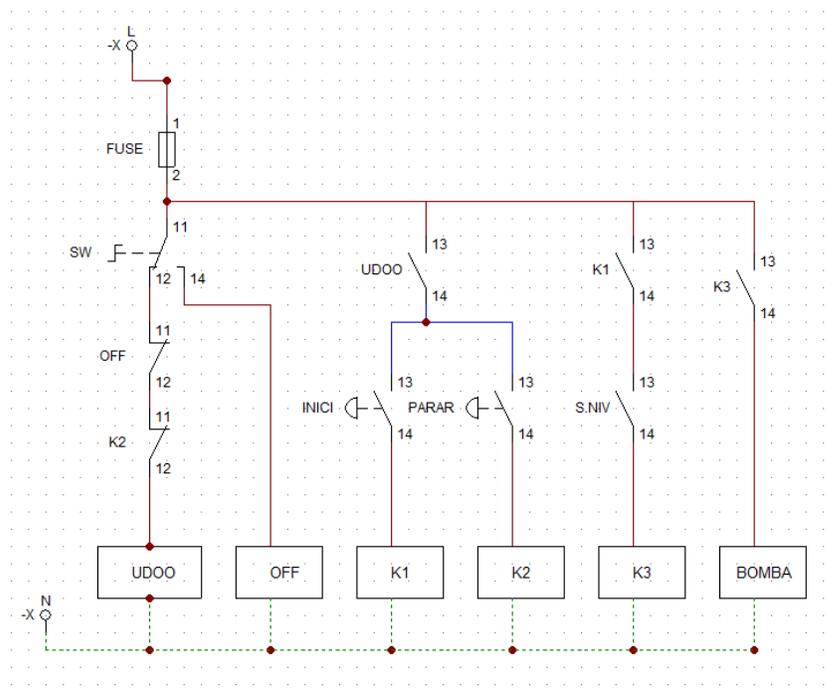
#### **2.2.4. DISEÑO DEL CIRCUITO Y CONTROL DE NIVEL Y RECIRCULACIÓN DEL FLUIDO**

El circuito de control de nivel está constituido por un sensor flotador mencionado en el capítulo anterior el cual soporta las temperaturas necesitadas en el baño maría. Este sensor no necesita de un acople para su señal por lo que es conectado directamente a la placa de control UD00.

Éste sensor es utilizado como medida de seguridad para las niquelinas sumergibles ya que éstas deben estar completamente cubiertas por el fluido (agua) previo al encendido de la máquina. La activación o desactivación del sensor se da cuando el nivel del agua supere o descienda la altura de las niquelinas respectivamente.



siendo un actuador que necesita de una señal proveniente del circuito de control para su posterior activación.



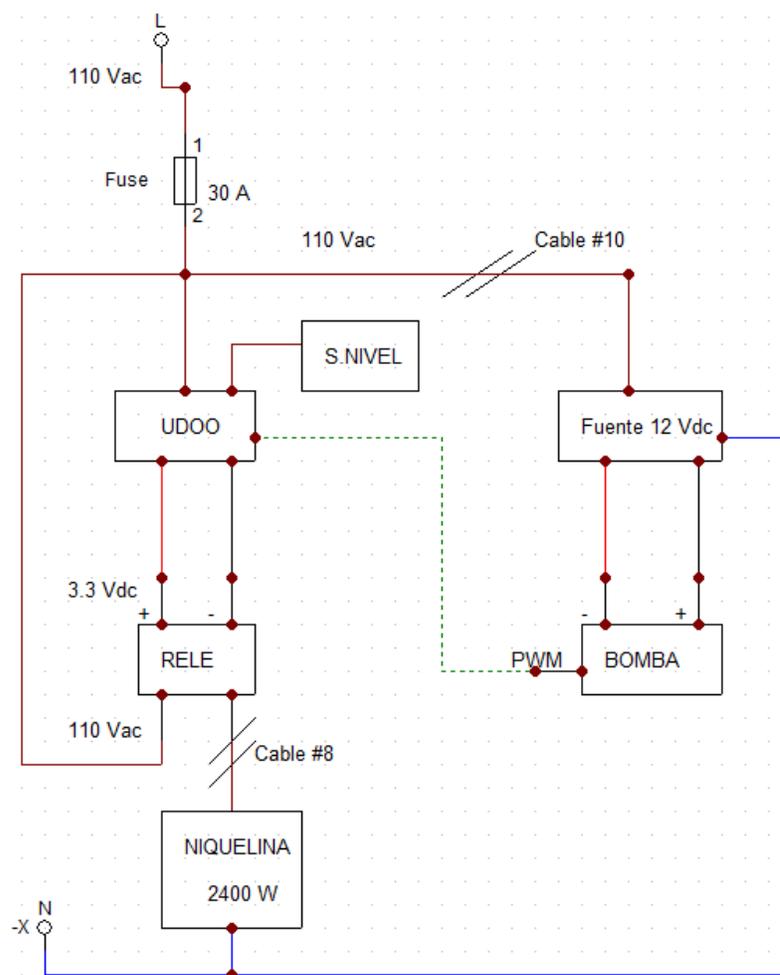
**Figura 32. Circuito de Control de Recirculación (Software CadeSimu)**

### 2.2.5. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

Todo el sistema de la planta está diseñado para trabajar con un voltaje de 110 voltios alternos teniendo un sistema de control representado por la placa reprogramable UDOO, ésta es energizada por la red permitiéndole su funcionamiento. La placa de control consta de entradas y salidas digitales que trabajan a 3.3 voltios continuos que nos ayudan a la conexión con cable de circuitos electrónicos de los sensores de entrada como: temperatura, nivel y activar (Salidas) el relé de estado sólido para el calentamiento de las níquelinas y la bomba de recirculación, la cual dependerá de una señal de control del controlador para el control del flujo de la misma, teniendo en cuenta que ésta trabaja a 12 voltios continuos por lo que se utiliza una fuente del mismo voltaje para su conexión.

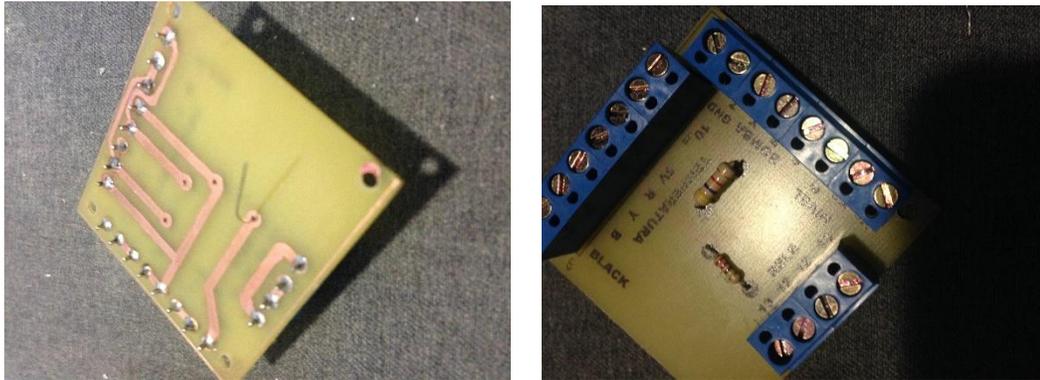
Las niquelinas al tener una potencia de 2400W consumen alrededor de 24 A, por lo que se utiliza un cable #8 multifilar para su conexión, evitando así el calentamiento del cable.

Todas las conexiones dentro del circuito de control se realizó con cable #22 (Cable de timbre) ya que solo se transmiten datos por los mismos, mientras que para el de potencia se utilizó cable #10 solido, excepto para la conexión de niquelinas que se utilizó el #8 multifilar como se mencionó anteriormente.



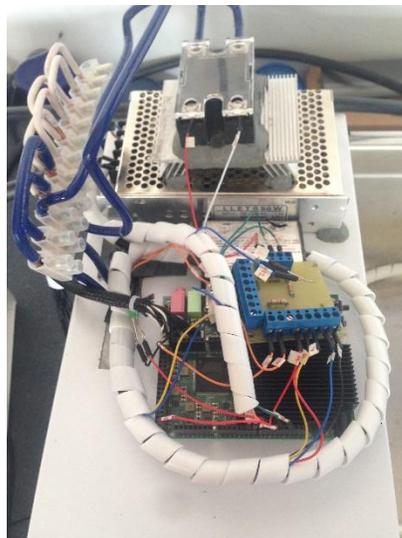
**Figura 33. Diagrama Unifilar de Control (Software CadeSimu)**

Para la interconexión de los diferentes actuadores y sensores se procedió a elaborar una placa PCB de tal manera de reducir la cantidad de cables aéreos y poder realizar de mejor manera las conexiones y futuras reparaciones si fuese el caso en el circuito.



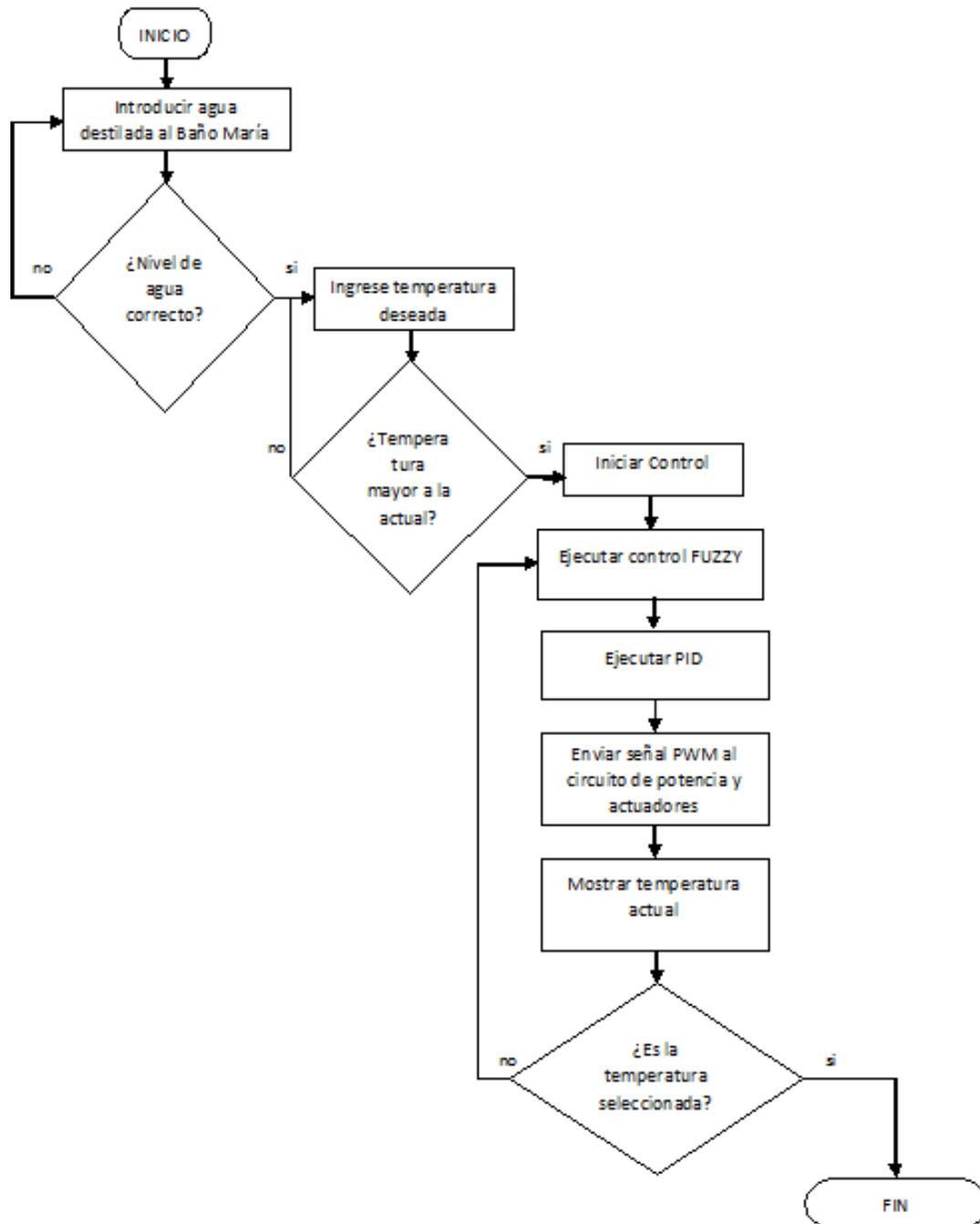
**Figura 34. Placa PCB**

Finalmente se realizó el peinado de todos los cables utilizados para la etapa de control y de potencia necesarios en la máquina de baño maría como se muestra en la siguiente imagen.



**Figura 35. Circuito de Potencia y Control**

## 2.2.4. DIAGRAMA DE FLUJO DEL CONTROL DE TEMPERATURA.



## 2.3 DISEÑO DEL CONTROLADOR PID FUZZY DE LAS VARIABLES

### 2.3.1. RECEPCIÓN DE DATOS

Para la recepción de los datos proporcionados por la máquina de baño maría se utilizó el respectivo programa en la plataforma Arduino que gracias a la librería one wire, se pudo adquirir datos de como varia la temperatura del agua ante una salida pwm (medición por ancho de pulso) con un valor de 100, cada segundo mientras se estabilice la misma, como se muestra a continuación:

```
#include <OneWire.h>

OneWire ds(10);
unsigned int pwm_1=100;

void setup(void)
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop(void) {
  analogWrite(12,pwm_1);
  byte i;
  byte present = 0;
  byte type_s;
  byte data[12];
  byte addr[8];
  float celsius, fahrenheit;

  if ( !ds.search(addr))
  {
    ds.reset_search();
    delay(250);
    return;
  }
  for ( i = 0; i < 8; i++)
  {
    {

  if (OneWire::crc8(addr, 7) != addr[7])
  {
    return;
  }
  Serial.println();
  switch (addr[0]) {
    case 0x10:
      type_s = 1;
```

```

    break;
case 0x28:
    type_s = 0;
    break;
case 0x22:
    type_s = 0;
    break;
default:
    return;
}

ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0x44, 1);

delay(1000);

present = ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0xBE);
for ( i = 0; i < 9; i++) {
    data[i] = ds.read();
}
int16_t raw = (data[1] << 8) | data[0];
if (type_s)
{
    raw = raw << 3;
    if (data[7] == 0x10)
    {
        raw = (raw & 0xFFFF0) + 12 - data[6];
    }
}
else {
    byte cfg = (data[4] & 0x60);
    if (cfg == 0x00) raw = raw & ~7;
    else if (cfg == 0x20) raw = raw & ~3;
    else if (cfg == 0x40) raw = raw & ~1;
}
celsius = ((float)raw / 16.0)*100;
Serial.print(celsius);
}

```

Para ello, el programa en Arduino manda los respectivos datos de temperatura a través de la compuerta serial, y haciendo uso del software LabVIEW recibe los datos, los guarda en archivos .xls según el sensor que se mida, entregando al mismo tiempo el pwm respectivo a la planta.

### 2.3.2. CÁLCULO DE LA PLANTA O REPRESENTACIÓN MATEMÁTICA DE LA MÁQUINA

Se procedió a utilizar el programa Matlab el mismo que consta con la herramienta “ident” que nos permite ingresar una tabla de datos y darnos como resultado una ecuación que represente a nuestra máquina de baño maría.

Seleccionamos la opción de señales en el dominio del tiempo, agregamos un nombre a las variables de entrada y salida, siendo éstas: PWM y T respectivamente, el tiempo de inicio será con un valor de cero y un intervalo de muestreo de 1 segundo. A continuación importamos los datos obtenidos previamente de temperatura.

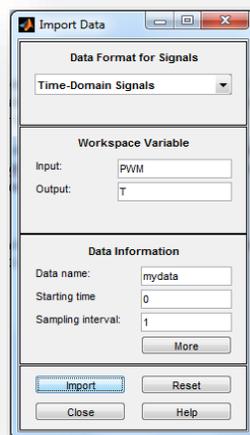
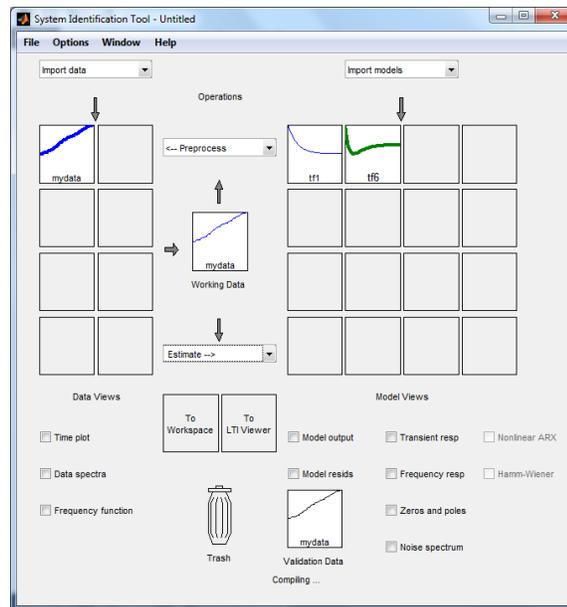
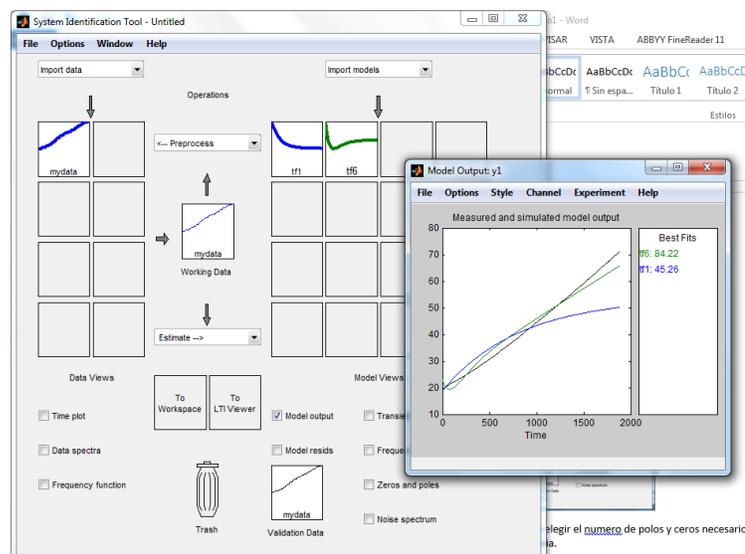


Figura 36. Ingreso de datos a “Ident”



**Figura 37. Gráfica de planta de Baño María**

Una vez ingresados los datos en el Ident, se procede a estimar la función de transferencia obteniendo la siguiente ventana y elegir el número de polos y ceros necesario de la ecuación, considerando la aproximación necesaria.

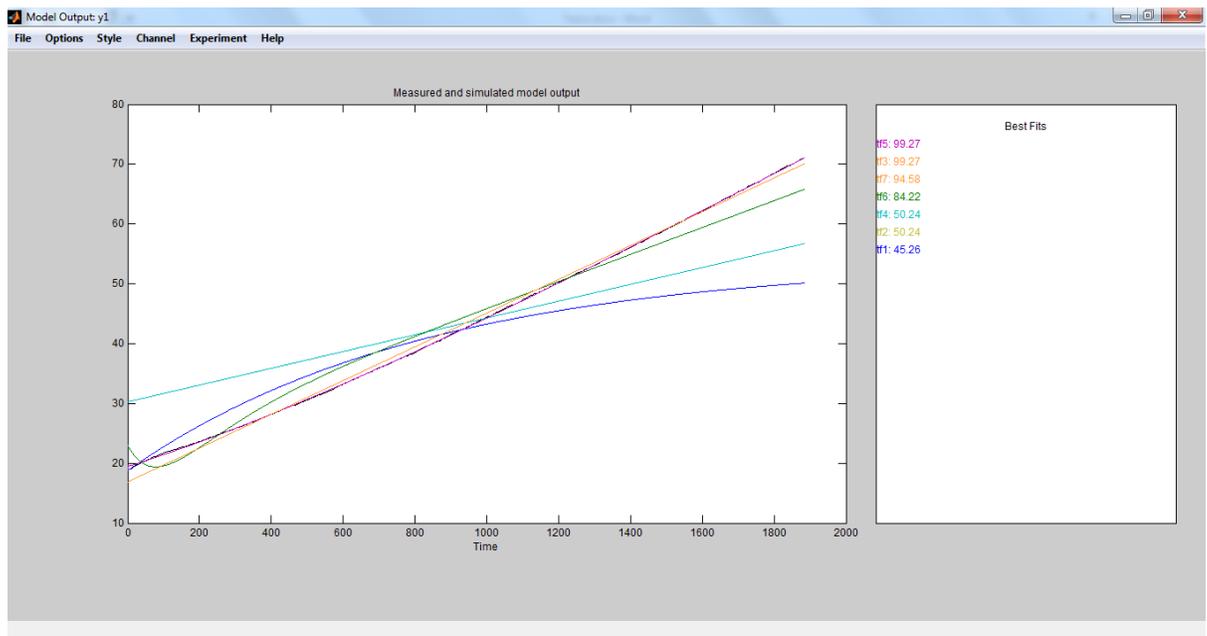


**Figura 38. Estimación de función de transferencia**

Conforme a la cantidad de polos y ceros del sistema se realiza la función de transferencia del mismo además se escoge la función que más similitud tiene a la toma de datos original, recordando también que a mayor cantidad de polos y ceros el sistema se vuelve más difícil de controlar.

Por tal motivo la función de transferencia seleccionada es por tanto la función de transferencia *tf7*, que tiene una aproximación del 94.56%, siendo ésta una ecuación de primer orden.

En la siguiente imagen se muestran las diferentes funciones de transferencia obtenidas por software:



**Figura 39. Gráfica de Función de Transferencia**

Seleccionando en la función de transferencia "*tf7*" el software nos devuelve la siguiente ecuación que representa la curva que mayor similitud tiene con la toma de datos real.

$$tf7 = \frac{0.0002823}{s + 6.051e^{-08}}$$

Por tanto la función de transferencia final sería:

$$tf = \frac{0.0002823}{s + 6.051e^{-08}}$$

- **Analogía Térmica**

Idealmente un sistema térmico es de la forma:

$$tf = \frac{R}{RCs + 1}$$

Donde:

*R: Resistencia térmica*

*C: Capacitancia térmica*

De esta forma, y, mediante las ecuaciones del caso se tiene análogamente que:

$$R = 4665.34$$

$$C = 3542.33$$

### 2.3.3. CONSTANTES PID

Para tener una idea de las constantes proporcional, integral y derivativa se usa la herramienta “pidtool” de Matlab que nos permite modificar manualmente cada una de las constantes del PID hasta lograr obtener una gráfica que cumpla con los requerimientos planteados en un inicio.

Se debe tomar en cuenta en el control que la planta no posee un actuador que enfríe el agua, por lo tanto se requiere el control no tenga sobrepicos, es decir se necesita una salida sobreamortiguada.

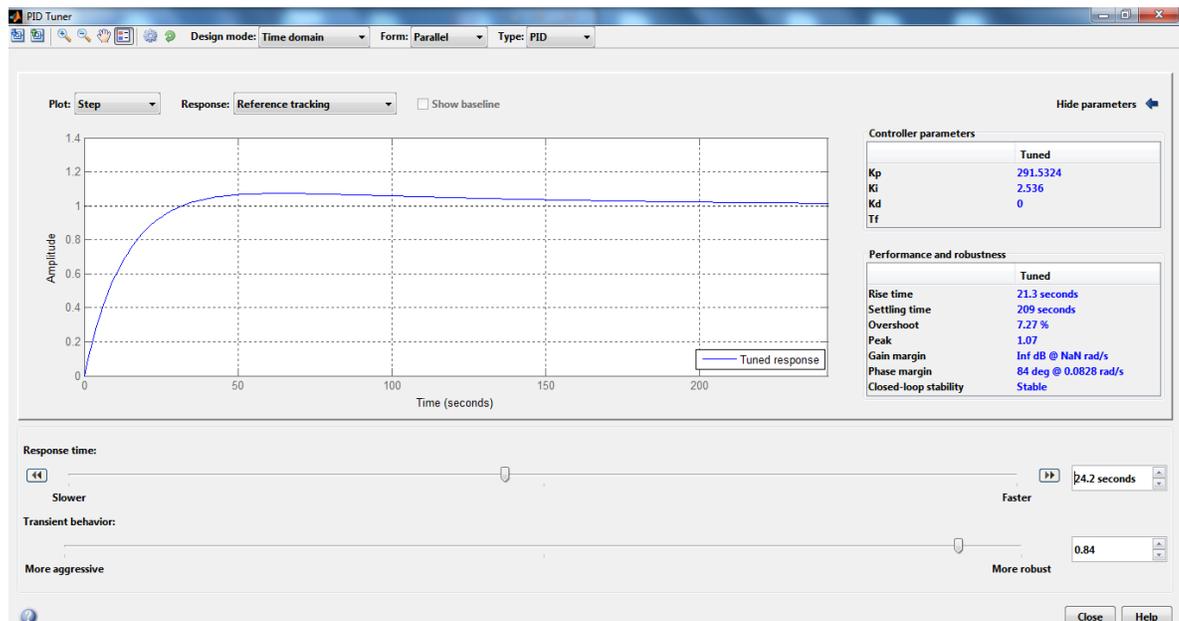


Figura 40. PID Tunner

Una vez en la ventana del “PID Tuner” seleccionamos el tipo de control PID, puesto que es nuestro controlador y variamos los parámetros hasta obtener una respuesta que se asimile a lo requerido.

Por otro lado, para una aproximación más acertada, vamos al entorno SIMULINK, donde simularemos el sistema, tomando en cuenta las consecuencias que lleva la modificación de cada una de las constantes.

**Colocamos un Kp alto para:**

1. El error en estado estacionario disminuye.
2. El proceso responde más rápidamente.
3. La sobreoscilación y las oscilaciones aumentan.

**Con un ki bajo se logra:**

1. El error en estado estacionario se elimina cuando ki tiene valores infinitos.
2. A mayor acción integral la respuesta se hace cada vez más oscilatoria, pudiendo en último término llegar a inestabilizar el sistema, por lo tanto lo ideal es tener un ki pequeño.

**Con un kd se logra:**

1. mejorar el amortiguamiento de un sistema oscilatorio además de aumentar la velocidad de respuesta del sistema.

Una vez tomado en cuenta éstos conceptos y la ayuda de una sintonización adecuada, se seleccionan los siguientes valores para cada una de las constantes, siendo los valores asignados los siguientes:

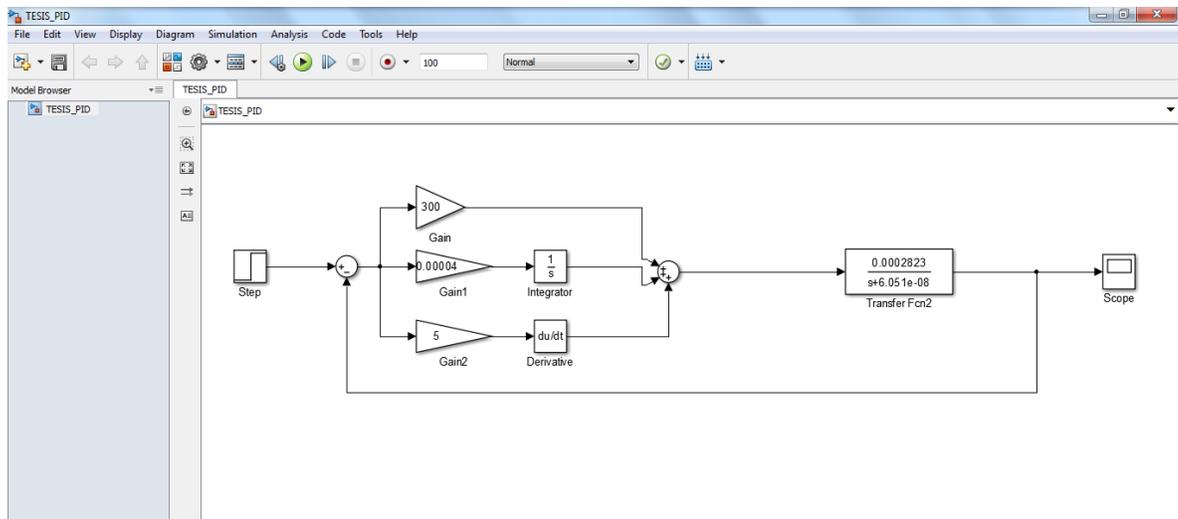
$$k_p = 300$$

$$k_i = 0.0004$$

$$k_d = 5$$

Colocamos cada uno de los bloques en la ventana del Simulink representando un lazo de control cerrado en los cuales se encuentran cada una de las

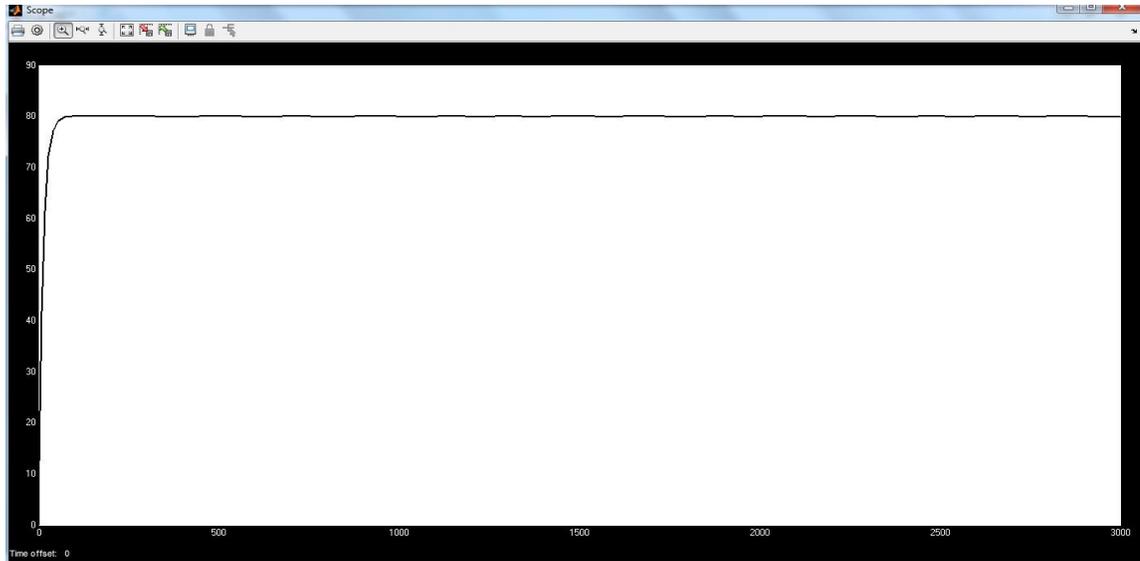
constantes anteriores, la entrada del sistema que es una señal constante de 80 que equivalen a los 80°C que se requiere, se colocan los bloques derivativos e integradores y finalmente la función de transferencia de la planta como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 41. PID Simulink (Software Matlab)**

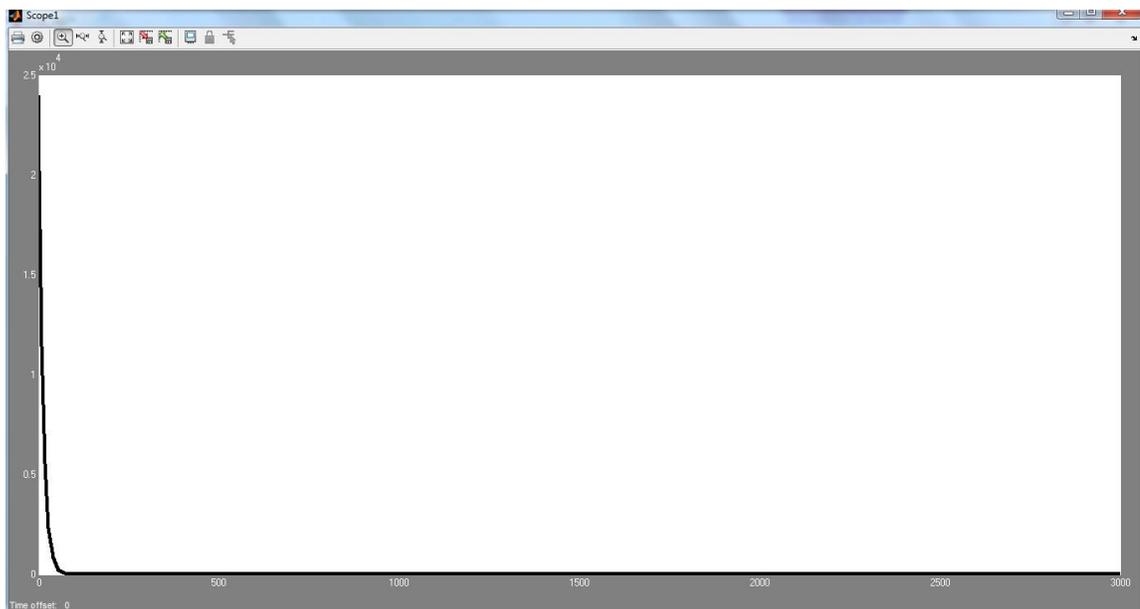
Recordando además, que para obtener la planta o representación matemática en la vida real se llegó hasta 80°C en aproximadamente 50 minutos, por lo que en los parámetros de simulación utilizaremos un tiempo de 3000 segundos.

Obteniendo la siguiente gráfica como resultado de lo citado previamente:



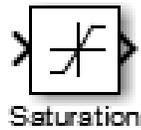
**Figura 42. PID 3000 Segundos (Software Matlab)**

Esta simulación es alejada de la realidad, puesto que se está suponiendo un actuador “ideal”, es decir, no se colocan límites físicos al mismo. Para mostrar lo referido se coloca un SCOPE a la salida del controlador.



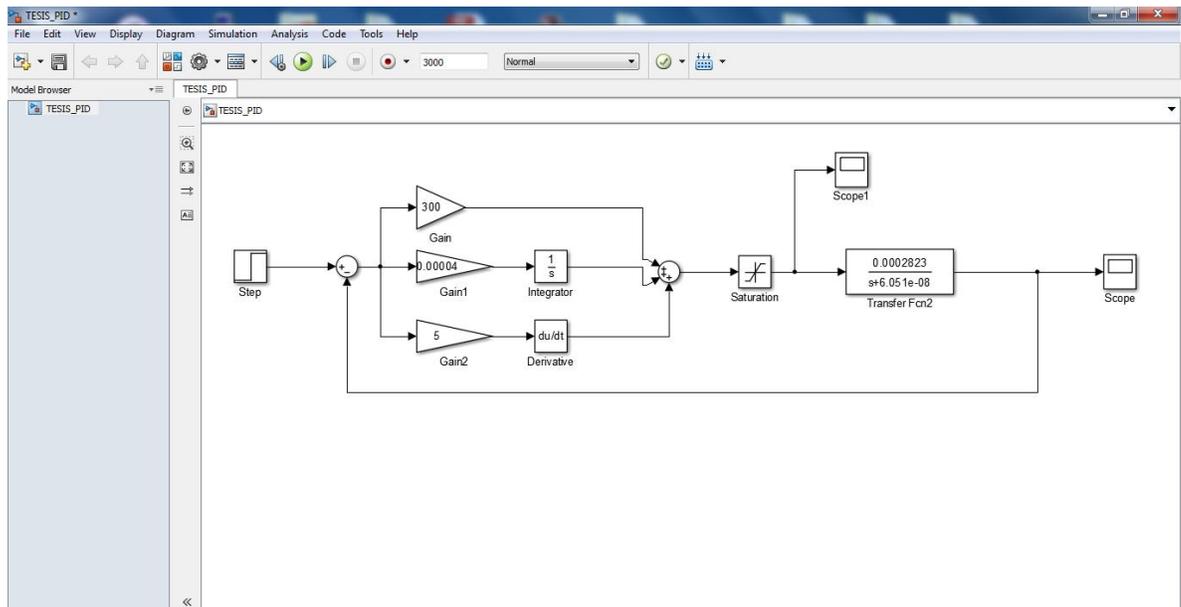
**Figura 43. SCOPE salida del controlador (Software Matlab)**

Esta simulación nos da a entender que necesitamos un actuador con mayor capacidad, o simplemente es necesario un saturador, nos inclinamos por lo segundo.



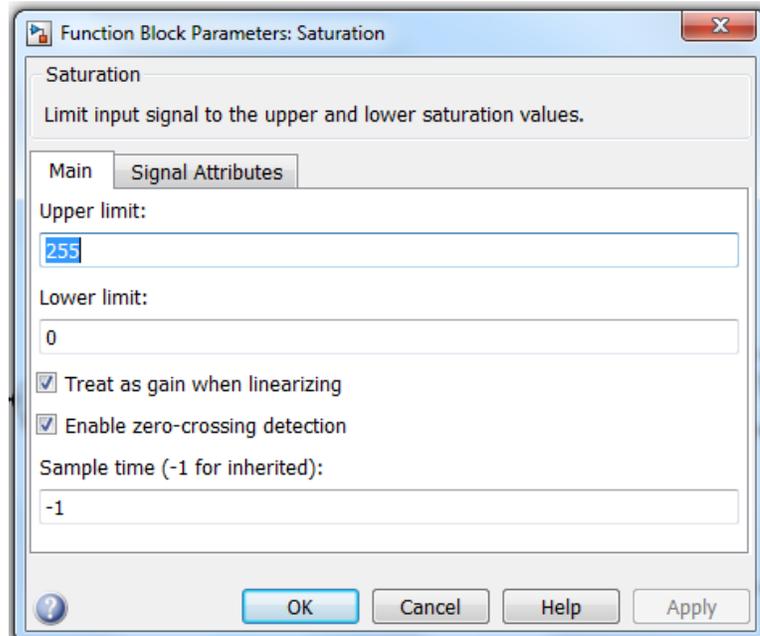
**Figura 44. Bloque Simulink Saturador (Software Matlab)**

Este saturador iría a la salida del controlador poniendo límites físicos al actuador, como se muestra a continuación.



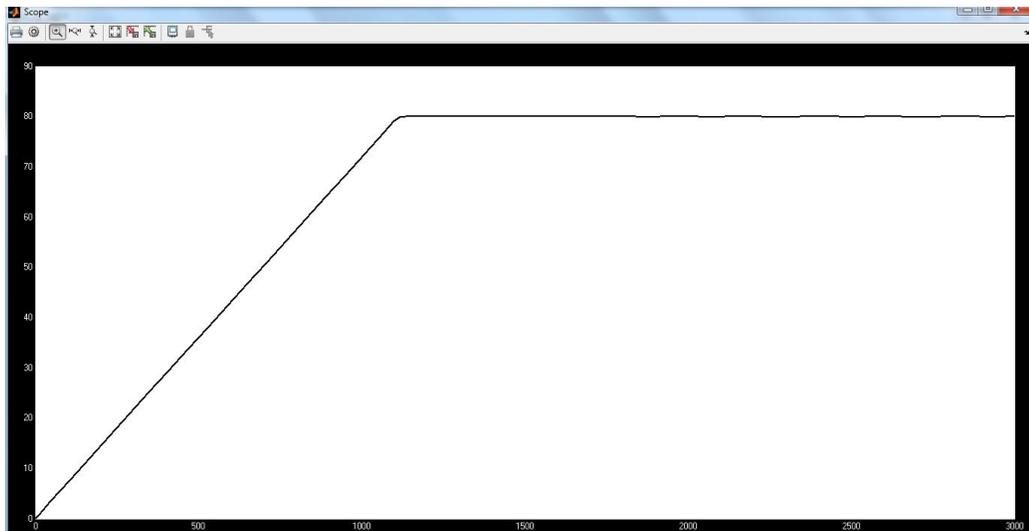
**Figura 45. PID Simulink con Saturador (Software Matlab)**

La señal que se dirige a dicho actuador proviene del UDOO y sus límites son de 0 a 255 de pwm, con la ayuda del relé de estado sólido activamos su entrada permitiendo que éste brinde la corriente necesaria para calentar las niquelinas respectivas.



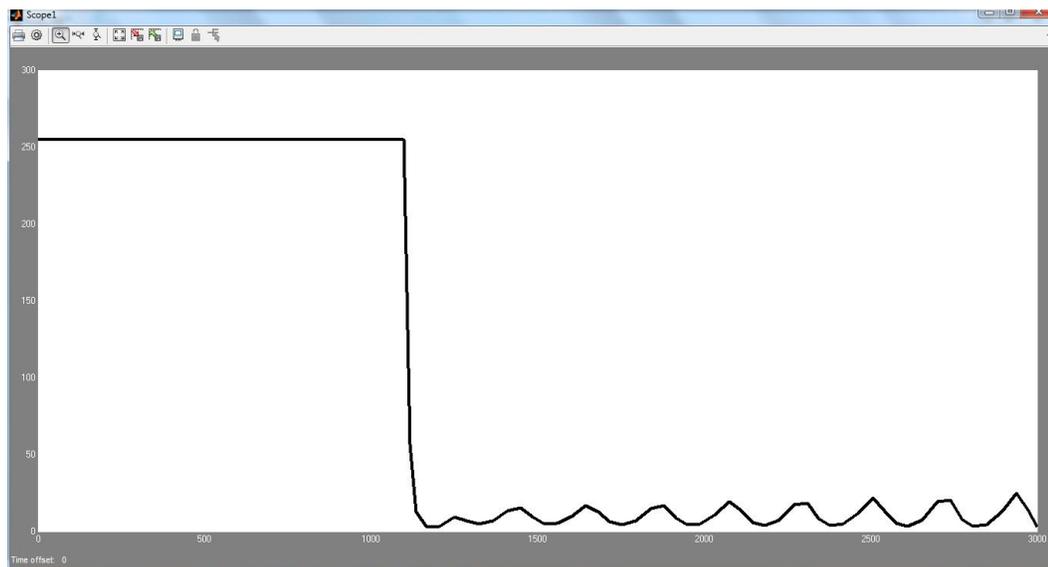
**Figura 46. Seteo del Saturador (Software Matlab)**

Con esta adecuación la simulación se tornará más precisa, así la salida del sistema es la mostrada:



**Figura 47. Salida del Sistema con Saturador (Software Matlab)**

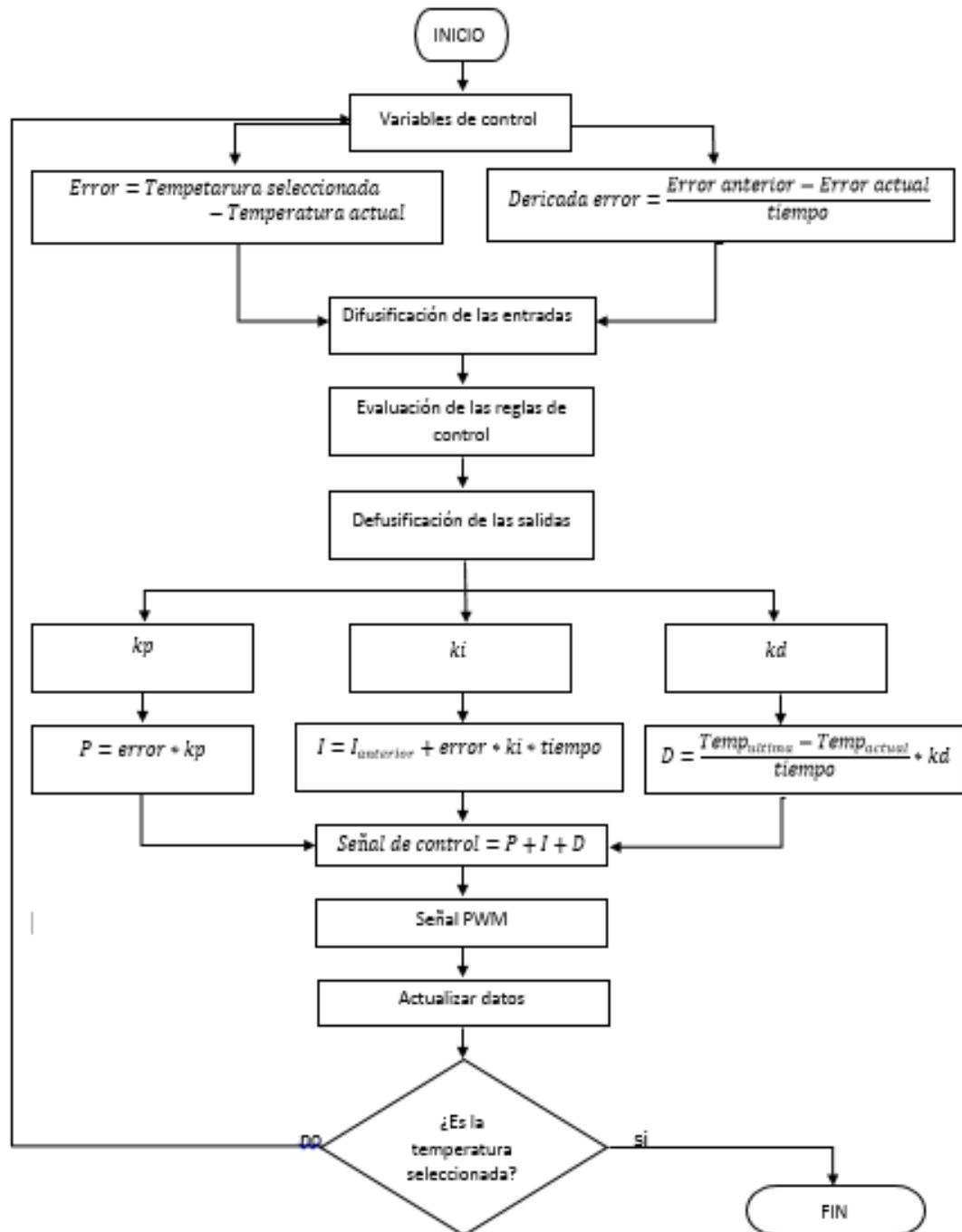
Evidenciamos lo anteriormente dicho con la señal de control respectiva.



**Figura 48. Señal de control con Saturador SCOPE (Software Matlab)**

Se debe tomar en cuenta que con esta adecuación se limita demás la velocidad de respuesta del sistema, por lo tanto la constante proporcional no tendría cabida.

### 2.3.4. DIAGRAMA DE FLUJO PID-FUZZY



### 2.3.5. PID-FUZZY

En base al error y a la derivada del error del sistema, se construye una serie de reglas para las constantes proporcional integral y derivativa, de tal forma que en base al error del sistema y su respectiva velocidad de respuesta del mismo se realiza una “auto-sintonización”.

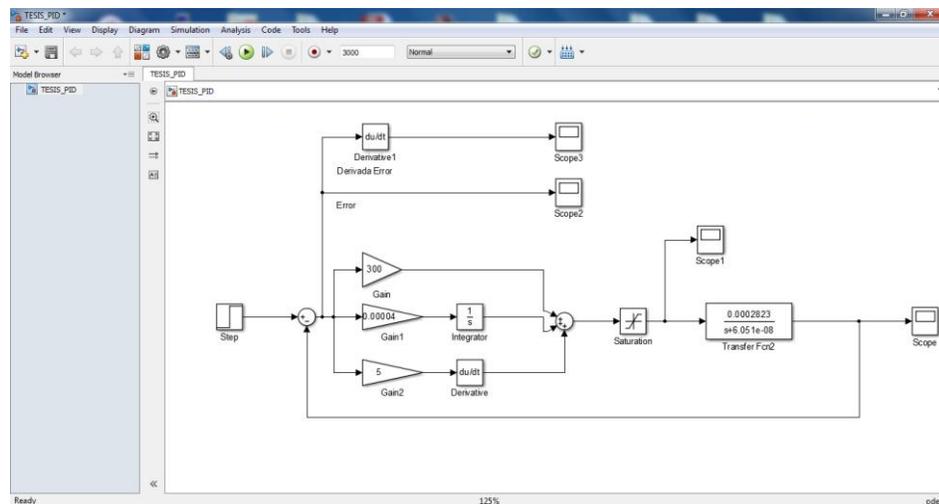
De tal forma se tiene un sistema MIMO (múltiples entradas-múltiples salidas).

**Tabla 10**

#### Sistema MIMO

Entradas	Salidas
*Error	Kp
*Derivada Error	Ki
	Kd

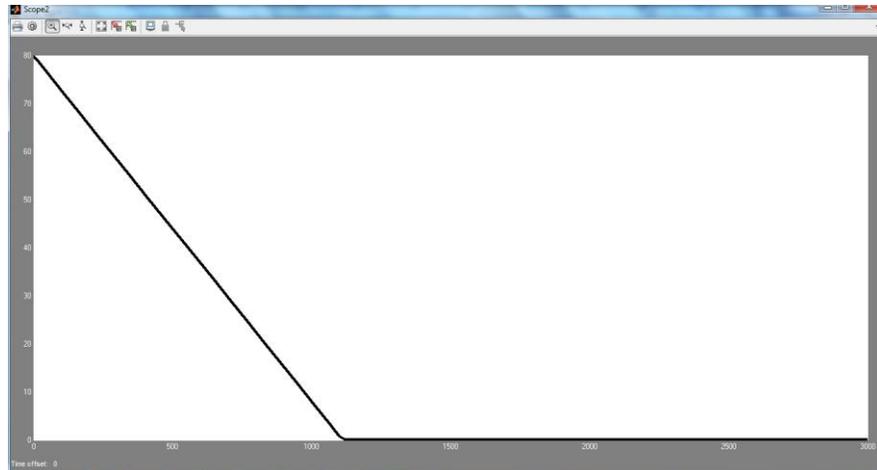
Para obtener los rangos de error y derivada del error, recurrimos al diagrama de bloques del sistema.



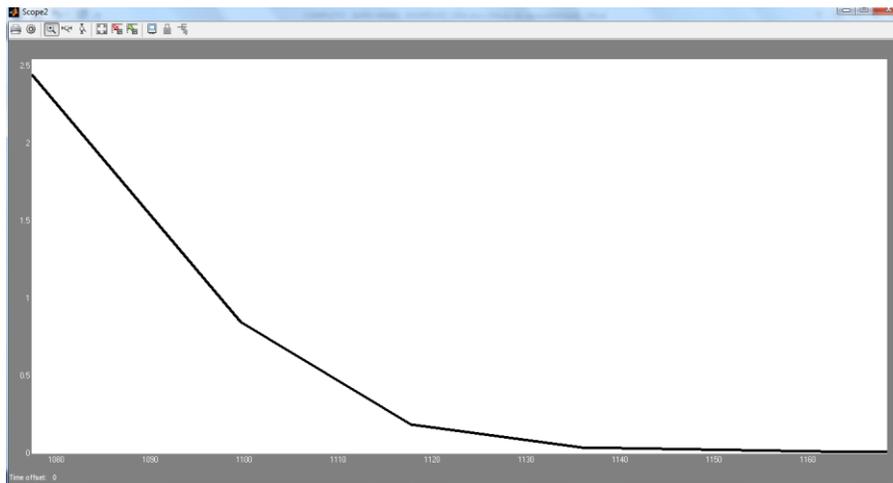
**Figura 49. Diagrama de bloques del Sistema (Software Matlab)**

- **Error y Derivada del Error**

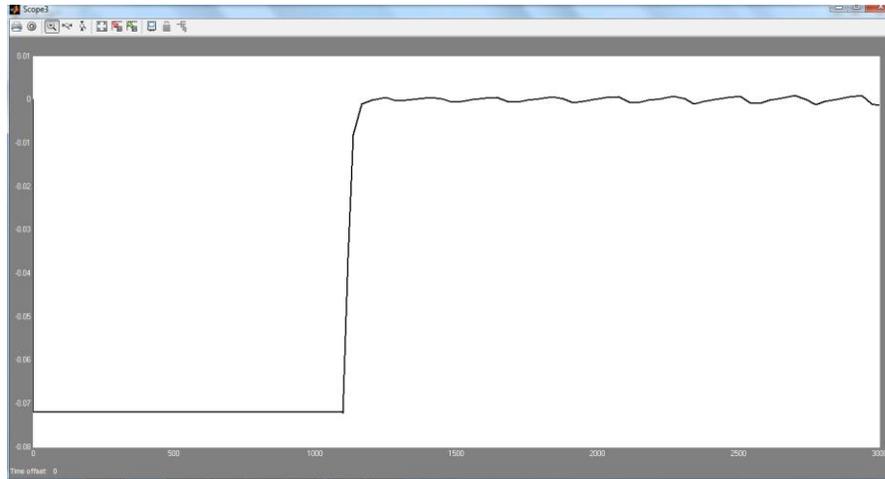
En cuanto a éstos dos parámetros observamos que presentan un parte no lineal en su trayecto por lo que nos enfocaremos en dicho intervalo, puesto que en la parte anterior al mismo el actuador está funcionando a su máxima capacidad.



**Figura 50. SCOPE del Error (Software Matlab)**

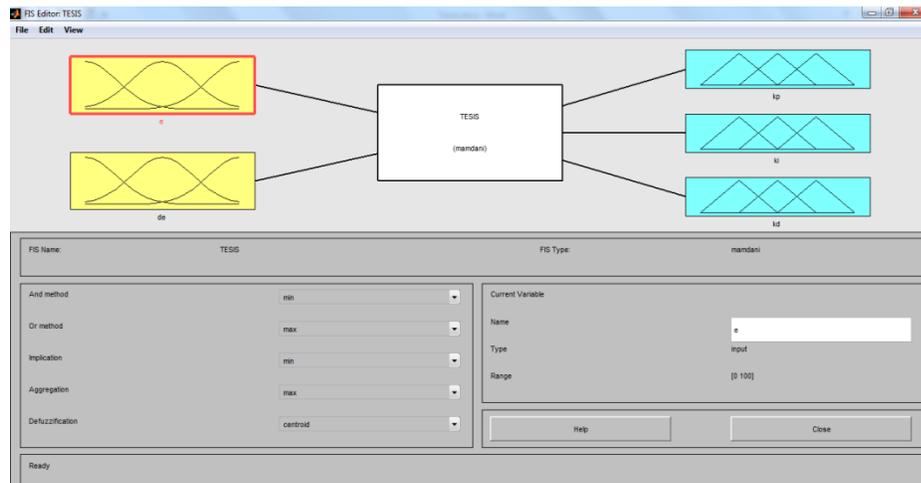


**Figura 51. Error parte no lineal (Software Matlab)**



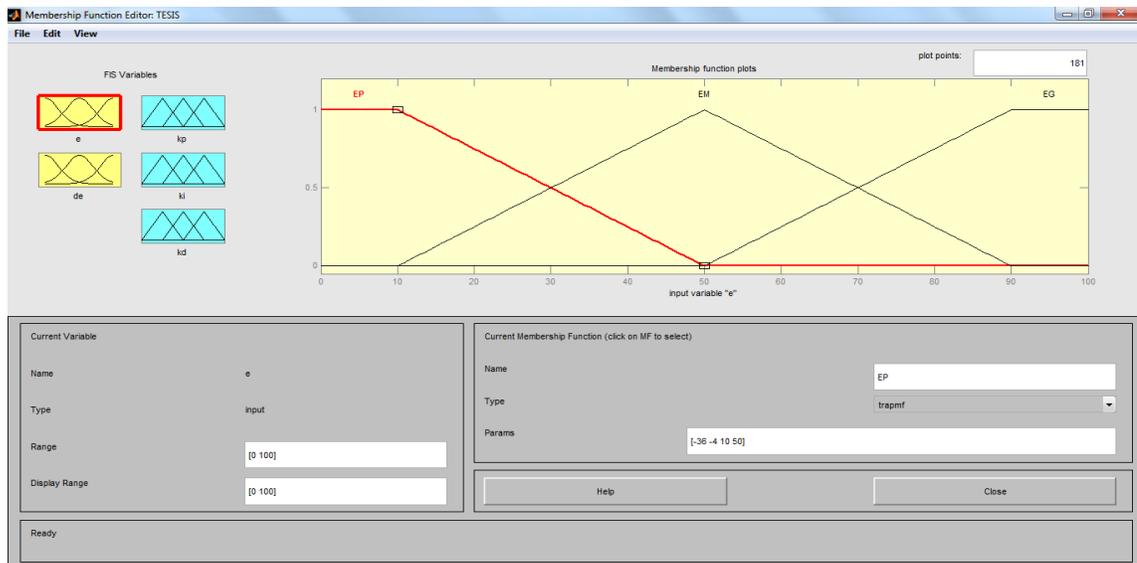
**Figura 52. SCOPE de Derivada del Error (Software Matlab)**

Para esto utilizamos Matlab y su herramienta “fuzzy” y como se mencionó es un sistema con dos entradas y tres salidas.



**Figura 53. Ingreso de Entradas y Salidas FUZZY (Software Matlab)**

Los límites correspondientes al error son dos trapecios y un triángulo cuyos valores se muestran en la gráfica:



**Figura 54. Rangos Error FUZZY (Software Matlab)**

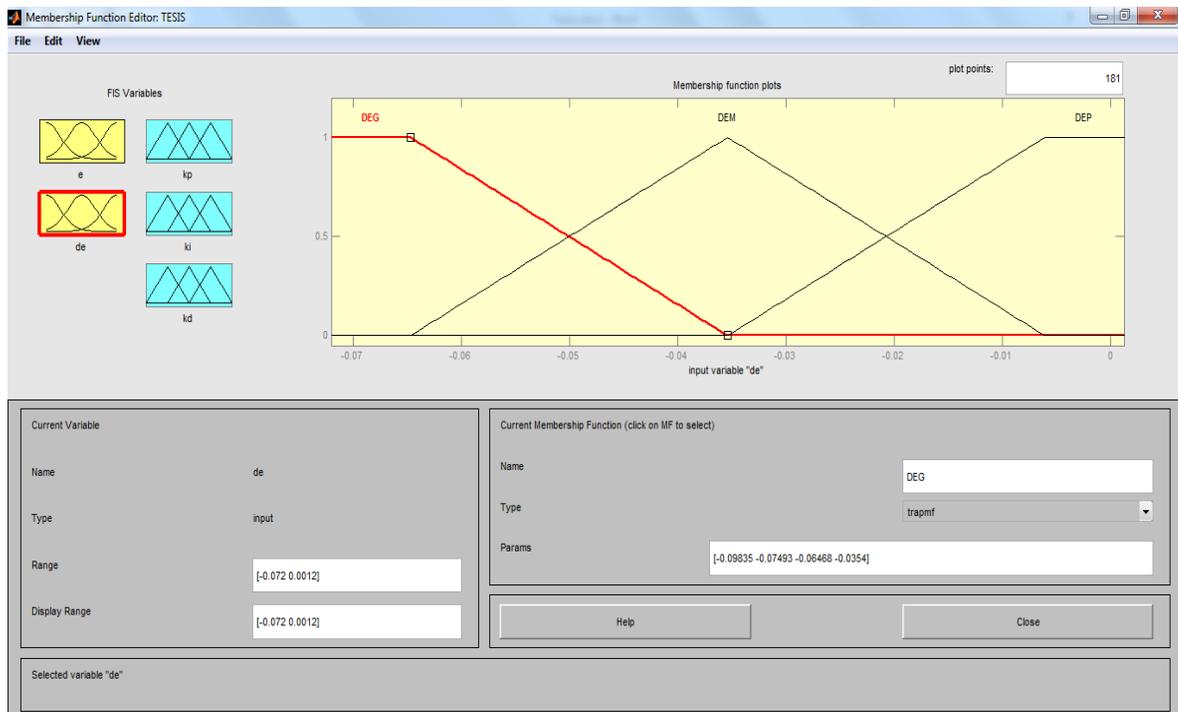
Estos valores se obtienen del SCOPE en el error. Y como se evidencia, existen:

*EP: error pequeño*

*EM: error mediano*

*EG: error grande*

De la misma manera para la derivada del error formulamos dos trapezios y un triángulo mostrando sus respectivos valores a continuación:



**Figura 55. Rangos Derivada Error FUZZY (Software Matlab)**

Estos valores se obtienen del SCOPE en la Derivada del error. Y como se evidencia, existen:

*DEG: derivada del error grande*

*DEM: derivada del error mediana*

*DEP: derivada del error pequeña*

Cada una de las salidas del FUZZY será conformada por 5 triángulos consecutivos cuyos límites son:

- Para el  $k_p$ :

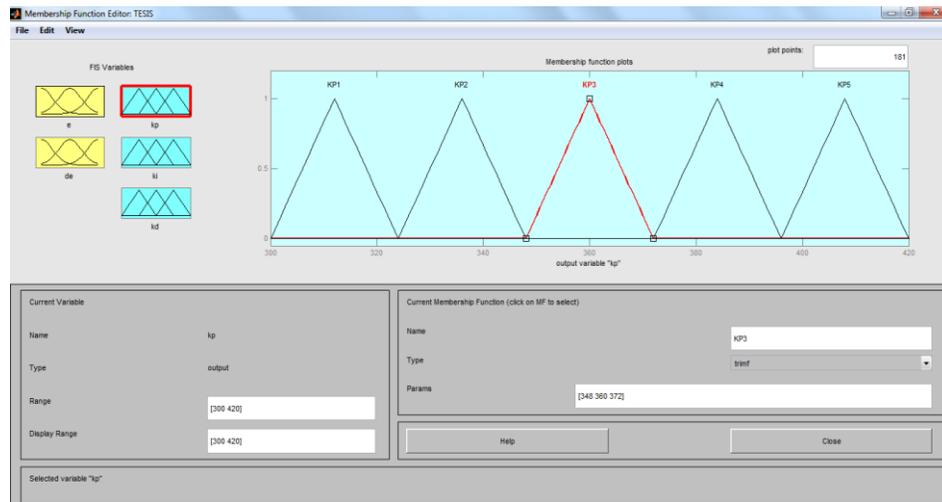


Figura 56. Límites de  $K_p$  (Software Matlab)

- Para el  $k_i$ :

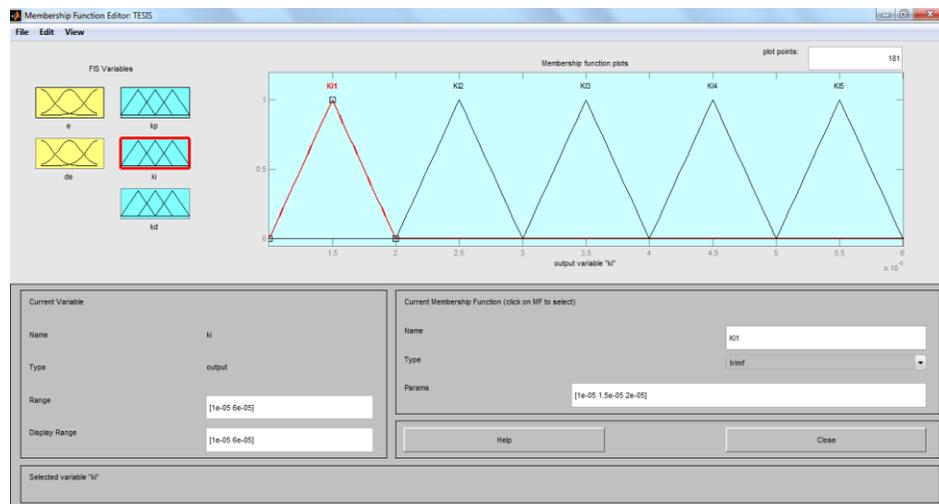
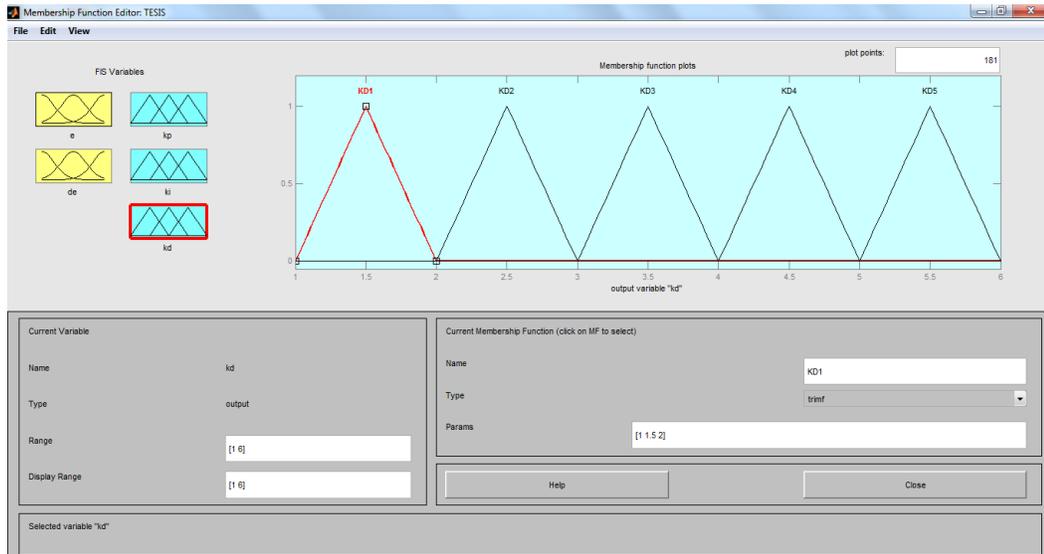


Figura 57. Límites de  $K_i$  (Software Matlab)

- Para el kd:



**Figura 58. Límites de Kd (Software Matlab)**

Con estos valores se procede a construir la tabla respectiva, considerando que:

**Tabla 11**

**Parámetros de constantes FUZZY**

	<b>kp aumenta</b>	<b>Ti disminuye</b>	<b>Td aumenta</b>
<b>Estabilidad</b>	disminuye	disminuye	aumenta
<b>Velocidad</b>	aumenta	aumenta	aumenta
<b>Error estado Estacionario</b>	no eliminado	eliminado	no eliminado

Con esta consideración, para cada constante se procede a realizar la tabla respectiva:

Tabla 12

## Reglas de PID-FUZZY

KP			
&	DEP	DEM	DEG
EP	KP2	KP2	KP1
EM	KP4	KP3	KP3
EG	KP5	KP5	KP4

KI			
&	DEP	DEM	DEG
EP	KI1	KI2	KI3
EM	KI4	KI4	KI4
EG	KI5	KI5	KI5

KD			
&	DEP	DEM	DEG
EP	KD1	KD2	KD5
EM	KD1	KD3	KD5
EG	KD1	KD4	KD5

Estas condiciones son colocadas en el programa, como reglas:

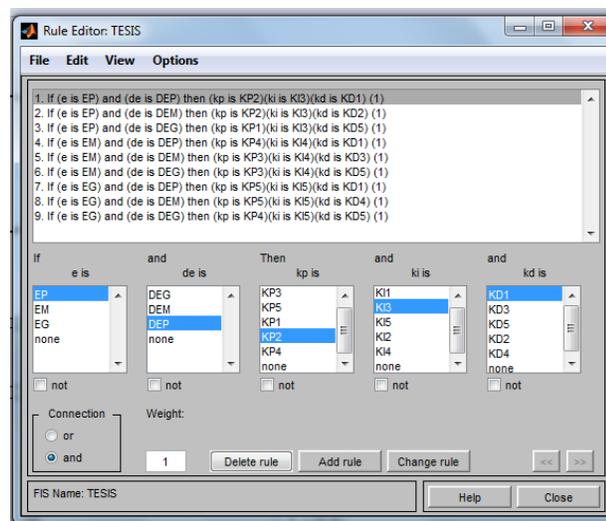
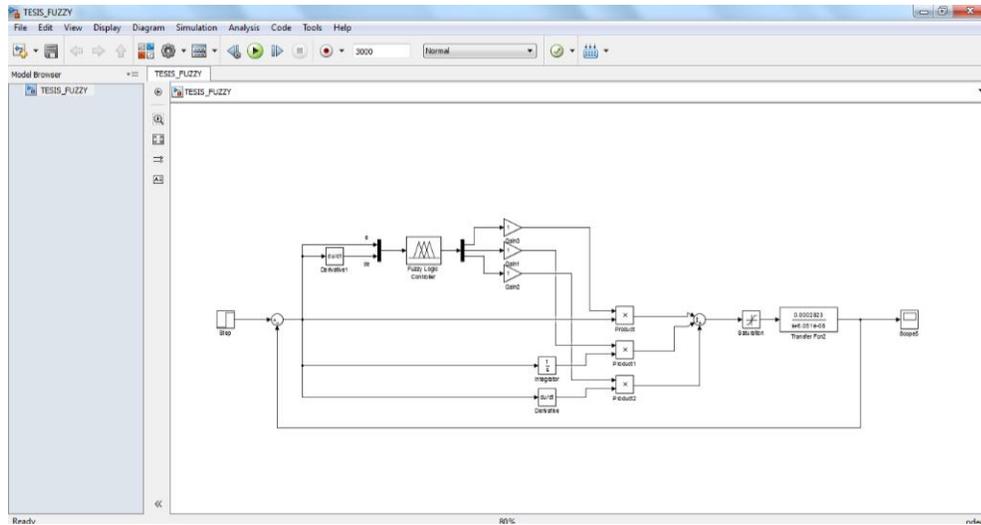


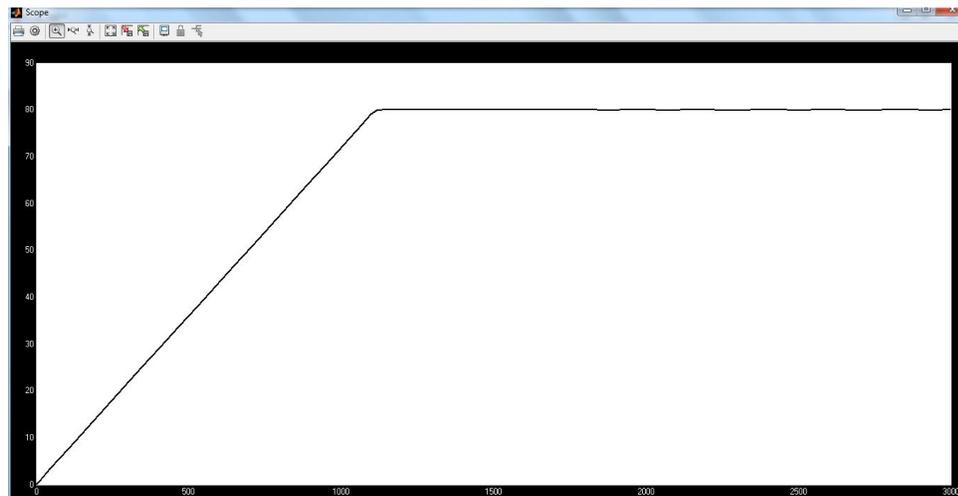
Figura 59. Reglas de PID-FUZZY en Software

Y exportamos los datos hacia el WORKSPACE:



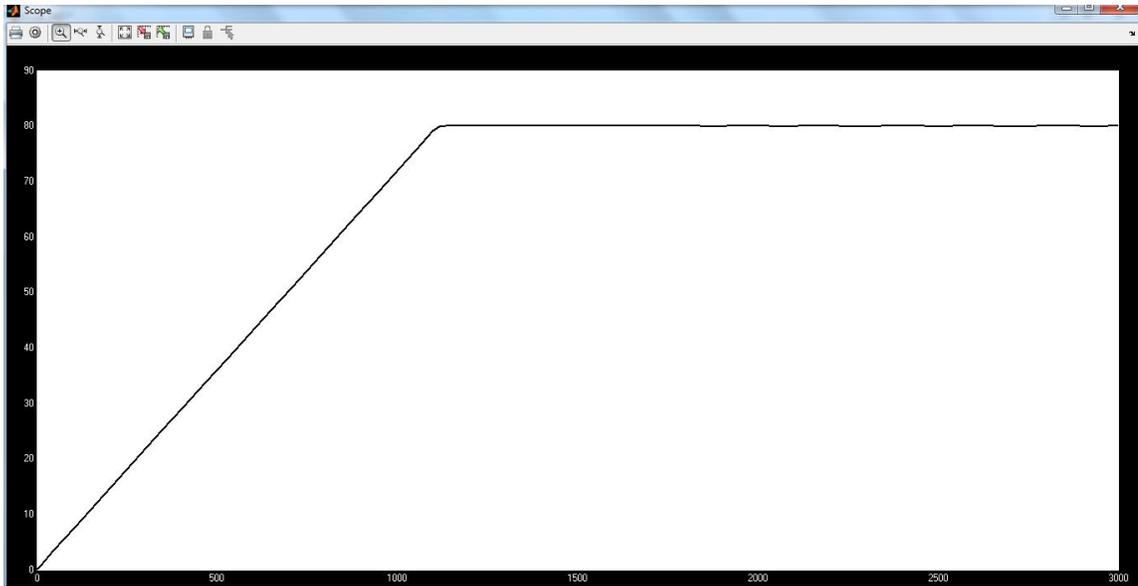
**Figura 60. Workspace PID-FUZZY (Software Matlab)**

Con esto el valor del SCOPE es:



**Figura 61. Scope PID-FUZZY (Software Matlab)**

Si comprobamos los valores del PID y del PID-FUZZY:



**Figura 62. Gráfica PID vs. PID- FUZZY (Software Matlab)**

Al ampliar la imagen se observa:



**Figura 63. Gráfica PID vs. PID- FUZZY Ampliación**

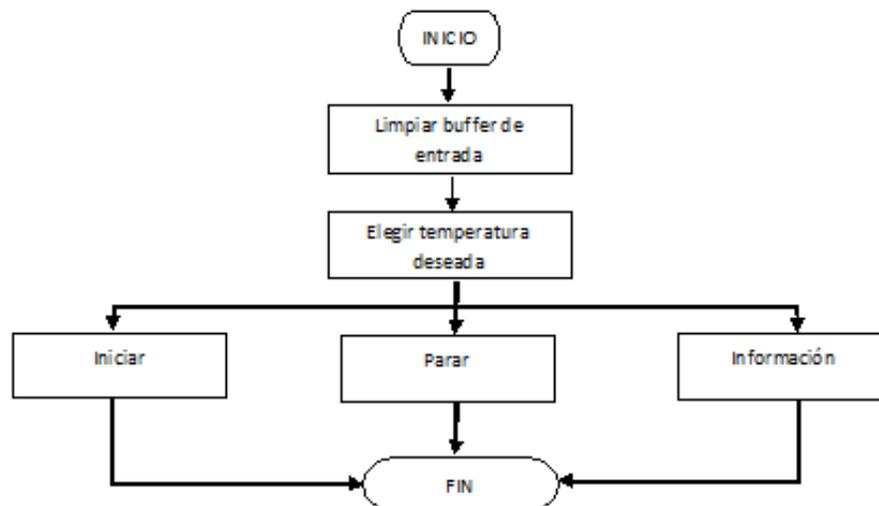
La planta con el controlador PID tiene un error en estado estacionario de 0.35 (80.35°C), en cambio con el controlador PID-FUZZY dicho error tiende a ser cero, puesto que es inferior al 0.05 (menor a 80.05°C) como se evidencia.

Con estos datos, se procede a realizar la programación respectiva, ANEXO 4.

## 2.4 DISEÑO DE INTERFÁZ GRÁFICA HMI (QT DESIGNER - PYTHON)

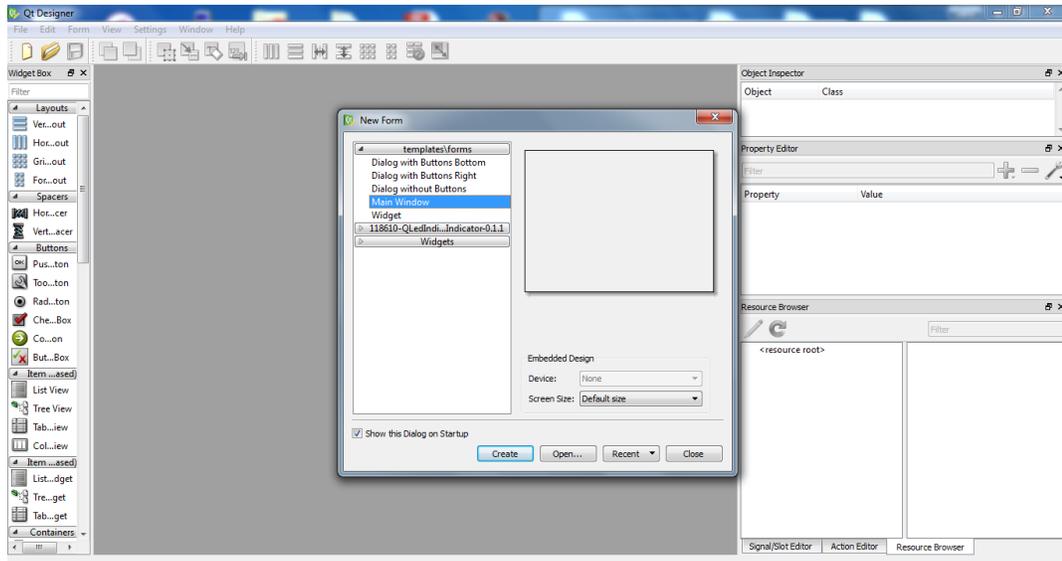
Se crea la interfaz gráfica utilizando binding PyQt de la biblioteca gráfica Qt. Esta herramienta de desarrollo GUI nos facilita la tarea de construir ventanas arrastrando botones, cuadros de textos, etiquetas, como también cambiar los tamaños, ubicación de los widgets y propiedades de los mismos.

### 2.4.1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL HMI



### 2.4.2. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

Al abrir Qt Designer visualizamos un cuadro de diálogo para crear un nuevo formulario. En nuestro caso elegimos **Main Window** porque la nuestra será una aplicación completa. Luego presionamos **Create**.



**Figura 64. Pantalla QT Designer (HMI)**  
Fuente: Software PyQt

Esto nos va a llevar a nuestra ventana, que en este momento está vacía, pero en breve tendrá los elementos necesarios de nuestra aplicación. A la izquierda de **Qt Designer** encontramos el **Widget Box**, donde figuran todos los widgets que podemos arrastrar a nuestra ventana, los cuales serán:

1.- Tres botones (Push Button), que serán:

-Iniciar: Inicialará el proceso una vez la temperatura se marque.

-Parar: Parará el proceso.

-Información

2.-Un dial donde el usuario marcará la temperatura a alcanzar.

3.-Tres lcds (IcdNumber), cuyo propósito será mostrar:

-La temperatura que marca el dial.

-La temperatura actual del sistema.

-El porcentaje de uniformidad.

4.- Un QProgressBar, el mismo que será un indicador de nivel apropiado de funcionamiento.

5.- Siete etiquetas (QLabel) para colocar los nombres de cada elemento.

6.-Un gráfico, donde se dibuja en tiempo real el cambio de temperatura.

Se dejará de la forma siguiente:

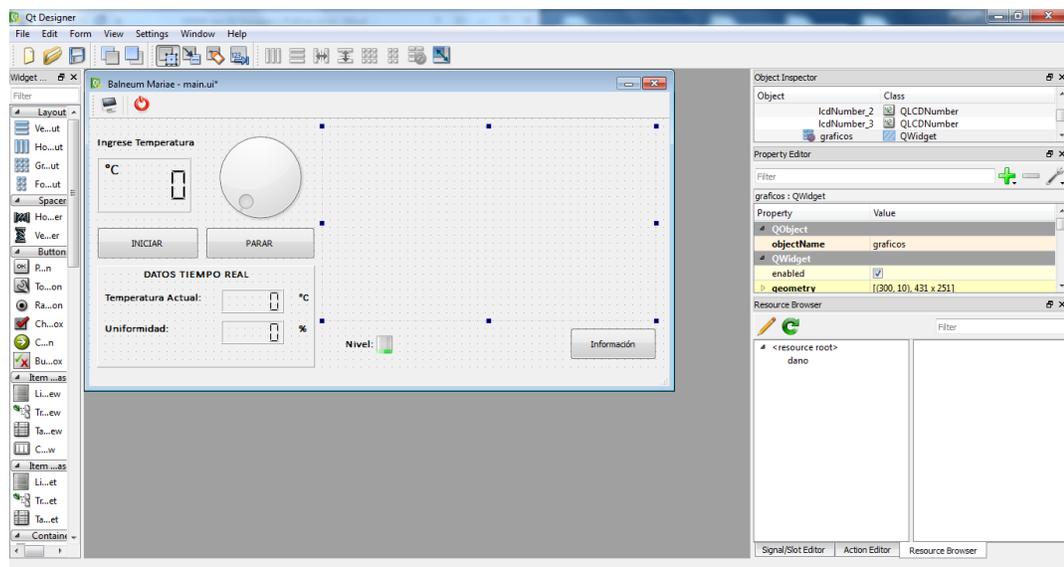


Figura 65. HMI Pantalla Touch

Una vez que los widgets estén en nuestra ventana, podremos cambiarlos de tamaño (arrastrar de un borde o esquina) o de ubicación (arrastrándolos). Cada vez que seleccionemos un widget, podremos **ver sus propiedades** en el Editor de propiedades que se encuentra a la derecha (**Property Editor**). La primera propiedad que encontramos es el nombre (**objectName**), que se utiliza para referirse al objeto en el código. Se acostumbra cambiar estos nombres para que sean más significativos y nosotros los cambiaremos de la siguiente forma:

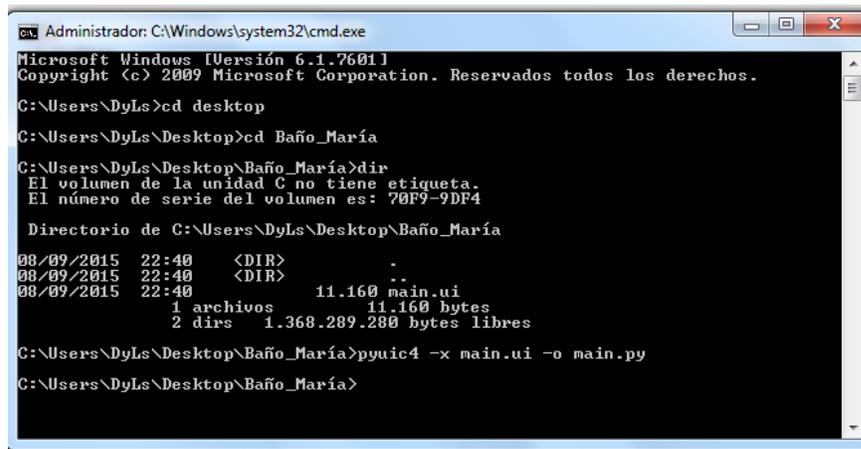
-El botón INICIAR será (btn\_enviar).

- El botón PARAR será (btn\_parar).
- El botón INFORMACIÓN será (btn\_info).
- El indicador de nivel será (bar\_nivel).
- El dial será (dial).

Guardamos nuestro proyecto con el nombre **main.ui** en una carpeta que puede ser llamada (Baño\_María), en el escritorio.

Lo que se realizó en Qt Designer se llevará a Python mediante un generador de código, para esto se va al cmd y se realizan los pasos siguientes:

```
cmd
cd desktop
cd Baño_María
dir
pyuic4 -x main.ui -o main.py
```



```
Administrador: C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Versión 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

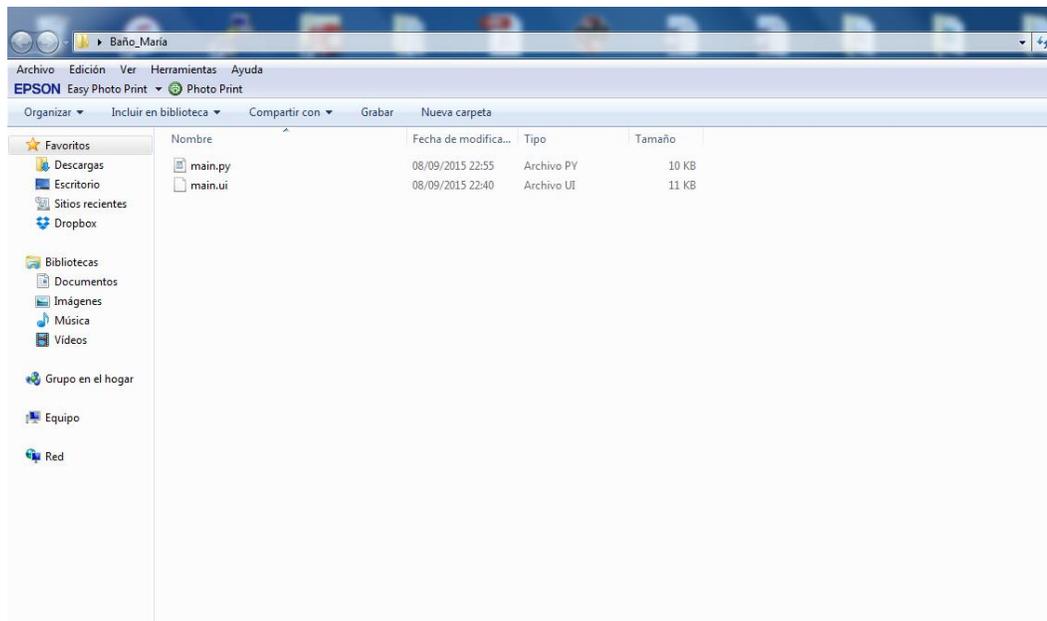
C:\Users\DyLs>cd desktop
C:\Users\DyLs\Desktop>cd Baño_María
C:\Users\DyLs\Desktop\Baño_María>dir
El volumen de la unidad C no tiene etiqueta.
El número de serie del volumen es: 70F9-9DF4

Directorio de C:\Users\DyLs\Desktop\Baño_María
08/09/2015  22:40    <DIR>          .
08/09/2015  22:40    <DIR>          ..
08/09/2015  22:40                11.160 main.ui
               1 archivos             11.160 bytes
               2 dirs             1.368.289.280 bytes libres

C:\Users\DyLs\Desktop\Baño_María>pyuic4 -x main.ui -o main.py
C:\Users\DyLs\Desktop\Baño_María>
```

**Figura 66. Generador de Código CMD**

Con esto se genera el archivo main.py.



**Figura 67. Archivo main.py**

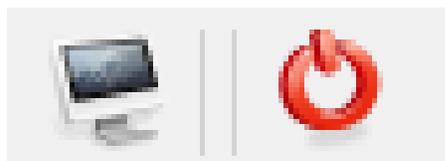
### 2.4.3. CÓDIGO PY-QT EN PYTHON

#### ANEXO 5

Esta parte del código indica los elementos y variaciones de los mismos en Qt Designer, es decir, en el caso de la Ventana Principal:

```
from PyQt4 import QtCore, QtGui
```

Esta línea de código permite importar todos los Widget utilizados, por ejemplo:



**Figura 68. Widgets del HMI**

El botón de aplicación y el de apagar, así como también todos los demás íconos usados.

```

class Ui_MainWindow(object):
    def setupUi(self, MainWindow):
        MainWindow.setObjectName(_fromUtf8("MainWindow"))
        MainWindow.resize(748, 379)
        icon = QtGui.QIcon()
        icon.addPixmap(QtGui.QPixmap(_fromUtf8(":/dano/cocinar-en-una-olla_318-698.jpg")),
QtGui.QIcon.Normal, QtGui.QIcon.Off)
        MainWindow.setWindowIcon(icon)

```

Con este código se crea la ventana principal, la misma que es una clase y todo lo creado en Qt Designer son objetos de dicha clase. Además el código indica el nombre de la ventana (MainWindow), el tamaño de la misma, que será el tamaño de la pantalla LVDS, el ícono del acceso directo que tendrá la aplicación y su ruta de acceso.

Para el caso del botón Iniciar, se genera el código siguiente:

```

self.btn_enviar = QtGui.QPushButton(self.centralwidget)
self.btn_enviar.setGeometry(QtCore.QRect(10, 140, 131, 41))
self.btn_enviar.setObjectName(_fromUtf8("btn_enviar"))

```

El programa dice que se creó un botón en el Widget Central, cuyas coordenadas serán (x,y) (10,140) y 131 de ancho con 41 de alto. Además del nombre por el cual Python identifica al botón.

Para el caso del dial se genera el código siguiente:

```

self.dial = QtGui.QDial(self.centralwidget)
self.dial.setGeometry(QtCore.QRect(140, 10, 161, 131))
self.dial.setMaximum(91)
self.dial.setObjectName(_fromUtf8("dial"))
self.btn_CtoF.clicked.connect(self.btn_CtoF_clicked)

```

De la misma forma, el programa dice que se creó un dial en el Widget Central, las coordenadas (x,y) son (140,10) con 161 de ancho y 131 de alto, con un rango de 0 a 91, que representara la temperatura máxima. Además del nombre por el cual Python identifica al dial.

De la misma manera se realiza para los demás objetos que se generó en Qt Designer.

#### 2.4.4. COMUNICACIÓN LINUX - ARDUINO

Como se mencionó anteriormente en UDOO encontramos 2 procesadores:

1. iMX6 - ARM CPU Dual / Quad Core:
2. SAM3x - Arduino Debido procesador compatible:

Ambos procesadores pueden escuchar y enviar datos a través de la línea serie, lo único que necesita es comprobar que se comuniquen a la misma velocidad de transmisión. Así, se puede enlazar a dos guiones diferentes o gestor de eventos, en los dos procesadores, y hacerlos reaccionar de la manera deseada.

```
import serial
Arduino = serial.Serial(
    port='/dev/ttymx3'
    baudrate=115200
)
Arduino.flushInput()
Arduino.setDTR(True)
```

Previamente importada la librería serial, se procede a abrir el puerto serie, que se le conocerá como *Arduino*, se abre el puerto respectivo de comunicación que en este caso será */dev/ttymx3'* así como la velocidad de comunicación, en este caso 115200 baudios. Limpiando también el puerto.

## 2.4.5. CONTROLADORES DE EVENTOS

Con lo previo, se procede a programar los controladores de eventos, es decir, la función que realizará cada botón.

```
self.btn_enviar.clicked.connect(self.btn_enviar_dato)
self.btn_parar.clicked.connect(self.cancelar)
self.btn_info.clicked.connect(self.infor)
```

La función **connect()** se usa para conectar eventos. Se toma un único parámetro, que es el nombre de la función. Notar que:

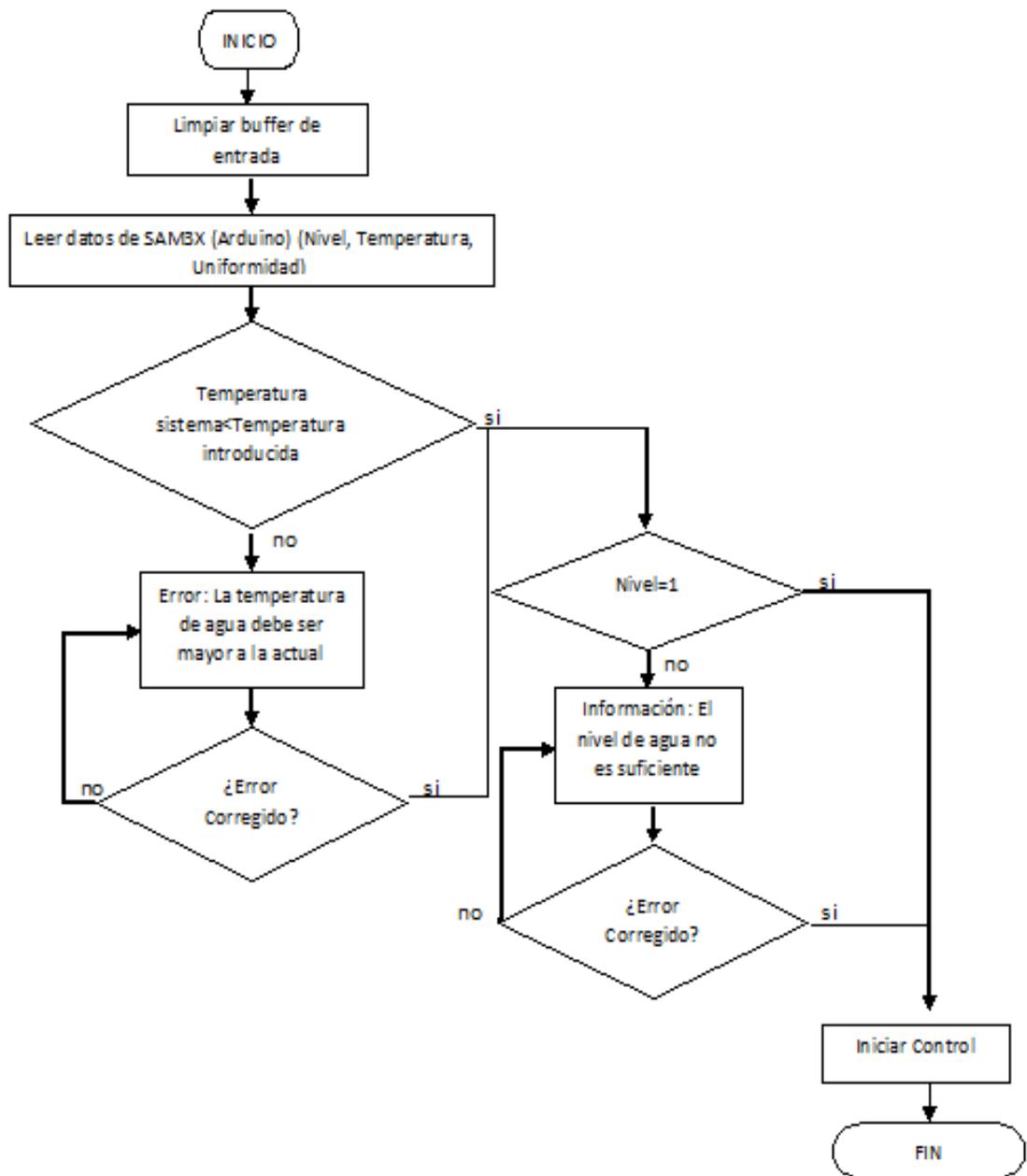
- **btn\_enviar** es el nombre del botón.
- El método **clicked.connect** es llamado cuando el botón es presionado.
- El nombre de la función de controlador de eventos es **btn\_enviar\_dato**.

Ahora resta crear las funciones que coincidirán con el nombre que hemos puesto en el método **connect()**: **btn\_enviar\_dato**, **cancelar** e **infor**. Las funciones serán definidas en nuestra clase.

Para el caso de **btn\_enviar** se tiene:

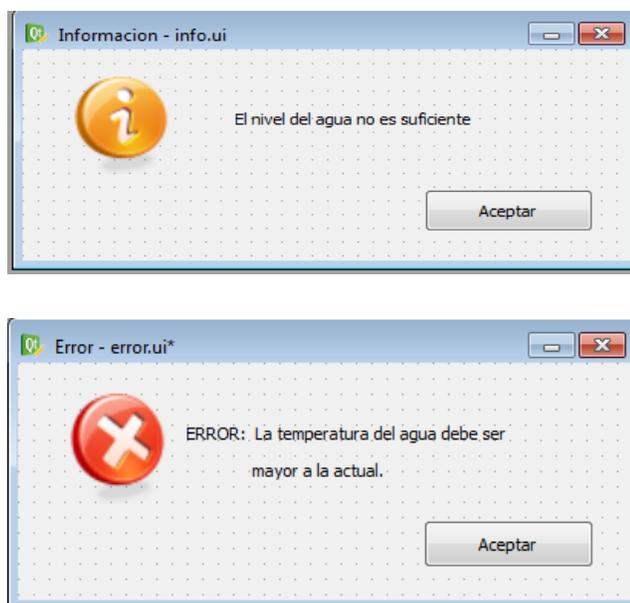
```
def enviar_dato(self):
    Arduino.flushInput() //Arduino.setDTR(True)

    paquete=Arduino.readline()
    dato1=float(paquete[6:11])
    dato2=float(paquete[14:18])
    nivel=int(paquete[2:3])
    print(paquete)
    if(dato1<self.dial.value()):
        if(nivel==1):
            self.FUN1.start(100)
        else:
            self.FUN1.stop()
            self.open_info()
    else:
        self.FUN1.stop()
        self.open_error()
```



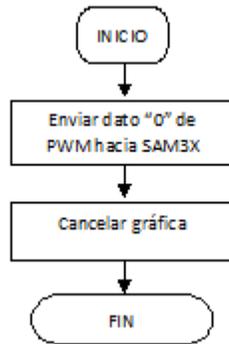
El presente código se encarga de, una vez limpiado el buffer de entrada, leer los datos provenientes del procesador SAM3x (Arduino), de dicho procesador se recibirá los datos del nivel, temperatura y la uniformidad, todo ello como un paquete, estos datos son clasificados para el posterior procesamiento.

Se realiza además una comparación entre el dato de temperatura recibido y la temperatura que el usuario quiere que el agua llegue (valor del dial respectivo), de esta manera, si la temperatura actual (dato1) es menor a la temperatura que el usuario desea y si el nivel de agua es el adecuado, se ejecutará el control, caso contrario aparecerá un mensaje de error, aclarando que el nivel de agua no es correcto, y, que la temperatura es inferior a la requerida, según sea el caso.



**Figura 69. Mensajes de “Error”**

Para el caso de *btn\_parar* se tiene:



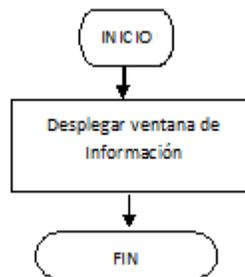
*def cancelar(self):*

```

    global enable
    enable=0
    paquete2="0;0"
    self.FUN1.stop()
    Arduino.write(paquete2.encode('ascii'))
    xdata=np.array([0],dtype='float64')
    self.curve.setData(xdata)
  
```

Al momento de presionar Cancelar ya no se habilita el muestreo además con esta función se manda un valor de 0 hacia el Arduino que corresponde al PWM para que no se realice el control respectivo, también se suspende la gráfica en tiempo real.

Para el caso de *btn\_info* se tiene:



*def infor(self):*  
*self.v1=WInfor()*  
*self.v1.show()*

Al momento de presionar Información se despliega la ventana respectiva:



**Figura 70. Ventana de Información (HMI)**

Es de suma importancia la función actualizar:

```
def actualizar(self):
    paquete=Arduino.readline()
    dato1=float(paquete[6:11])
    dato2=float(paquete[14:18])
    nivel=int(paquete[2:3])
    self.bar_nivel.setValue(nivel*100)
    data.append(dato1)
    xdata=np.array(data, dtype='float64')
    self.curve.setData(xdata)
    self.lcdNumber_2.display(dato1)
    self.lcdNumber_3.display(dato2)
    SP=self.dial.value()
    FUZZY_PID(SP,dato1)
```

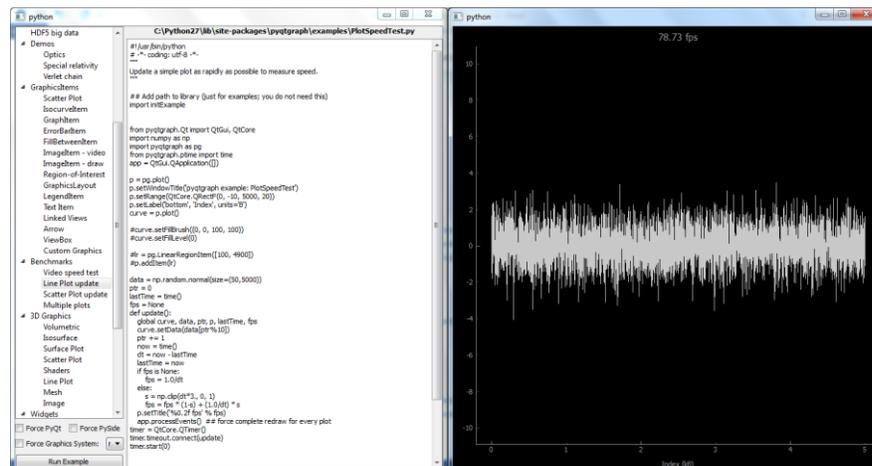
Esta función actualiza los datos constantemente, los mismos que se mostraran en el main principal, también se encarga de realizar la gráfica en tiempo real del sistema y de realizar el control respectivo, esto lo realiza con la función `FUZZY_PID(SP,dato1)`.

## 2.4.6. GRÁFICA EN TIEMPO REAL

Para el gráfico en tiempo real, se utilizó la ayuda proporcionada por el mismo programa, para esto se ejecuta el siguiente código en un .py nuevo.

```
import pyqtgraph.examples
pyqtgraph.examples.run()
```

Con este código se genera una ventana de ejemplos en el que seleccionaremos Line Plot Update, ya que es el caso en el que se acerca a nuestra necesidad.



**Figura 71. Ejemplo de Gráfica Tiempo Real (Software PyQt)**

El ejemplo que se presenta, se trata de actualizar el gráfico para medir la velocidad respectiva.

Para realizar el gráfico importamos las librerías correspondientes y ejecutamos el respectivo código:

```
from pyqtgraph.Qt import QtGui, QtCore
import numpy as np
import pyqtgraph as pg

self.caja = QtGui.QVBoxLayout()
```

```

self.btn_enviar.setObjectName(_fromUtf8("caja"))
self.graficos.setLayout(self.caja)
self.p = pg.plot()
self.p.setWindowTitle('live plot from serial')
self.caja.addWidget(self.p)
self.curve = self.p.plot(pen=(255,0,0))
self.FUN1 = QtCore.QTimer()
self.FUN1.timeout.connect(self.actualizar)

```

Establecemos un QVBoxLayout, el mismo que es un Layout (Cuadrícula imaginaria que divide en espacios o campos la página que se diseña para facilitar la distribución de elementos como textos ó gráficos en la misma) en donde enviaremos los datos provenientes de la función actualizar, con esto se graficará la temperatura actual cada segundo, la gráfica será de color rojo.

## 2.5 DISEÑO GENERAL DE ESTE PROTOTIPO

Tabla 13

Requerimientos generales de toda la máquina como sistema

	<b>Variables del Sistema</b>	<b>Selección de Alternativas</b>
<b>Sistema Mecánico</b>	Robustez de la carcasa exterior	Análisis mecánico de elementos de máquina
	Transferencia de calor en las paredes de la máquina	Análisis de transferencia de calor de elementos de máquina
	Bomba Sumergible	Análisis de selección
<b>Sistema Calorífico</b>	Niquelina Sumergible	Análisis de potencia y velocidad de respuesta



tabla sigue

<b>Sistema de Control</b>	Controlador UDOO	Determinación de tiempos de respuesta y programación flexible, entradas y salidas de control y periféricos.
<b>Interfaz Gráfica</b>	HMI	Interfaz amigable para el operador
<b>Medición de Variables</b>	Sensor de Nivel	Medición de variable como: si el agua cubre o no las niquelinas
	Sensor de Temperatura	Medición de variable como: temperatura homogénea del agua con respecto al tiempo

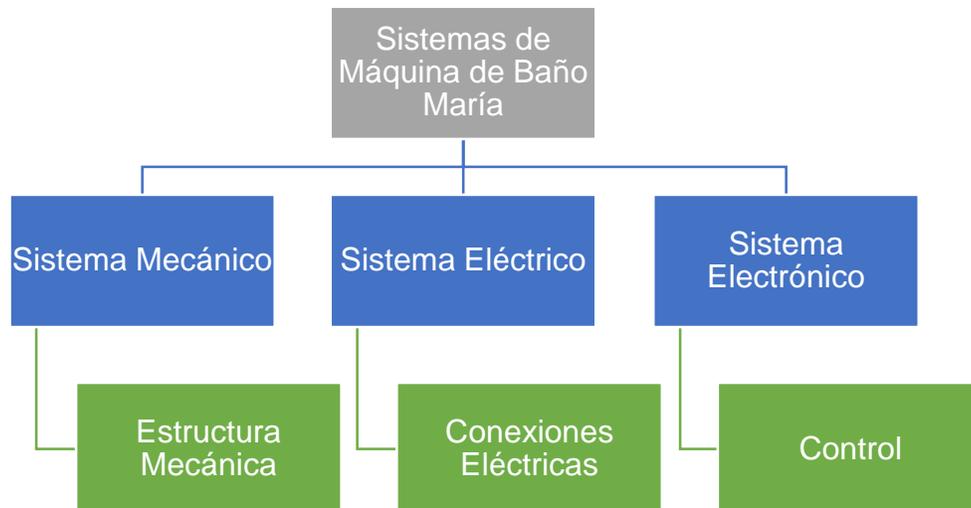
## CAPÍTULO III

### 3 IMPLEMENTACIÓN DE PRUEBAS DE OPERACIÓN

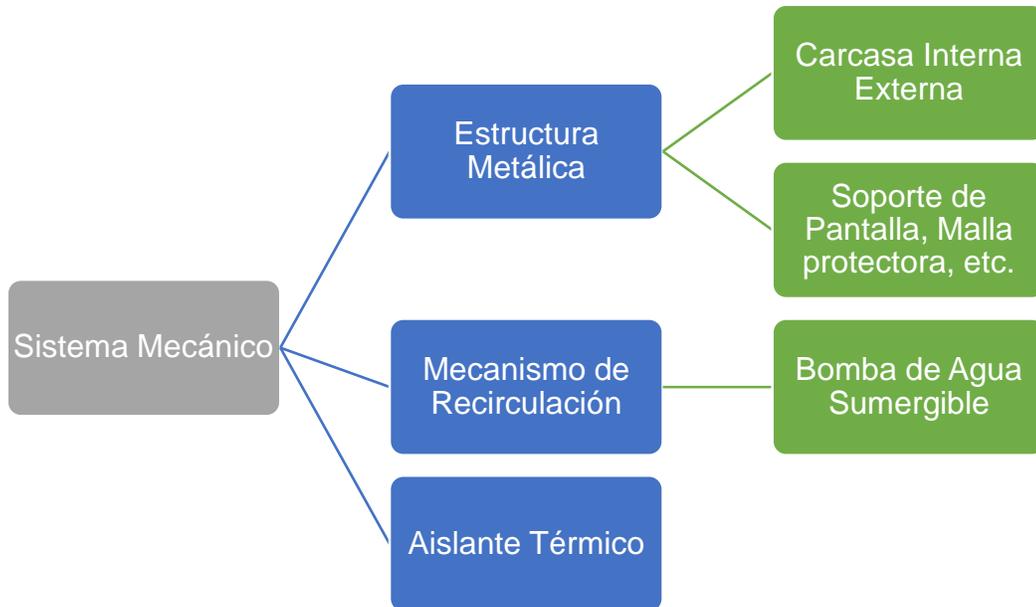
En este capítulo se abarca todo lo referente a la construcción del ensamble en conjunto (Sistema mecánico y Sistema Eléctrico/Electrónico), es decir después de haber seleccionado los materiales con sus respectivos maquinados y acoples se detalla la interacción de dichos sistemas de la máquina de baño maría con los sistemas que la conforman.

#### 3.1 INTEGRACIÓN DE TODOS LOS SISTEMAS

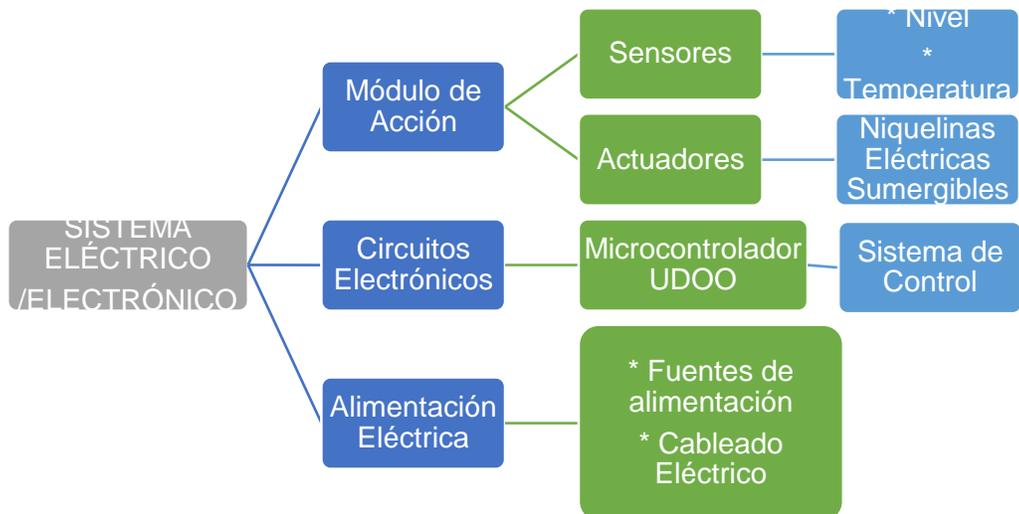
La máquina de baño maría consta de los siguientes sistemas como se muestran en la siguiente figura, los mismos que son detallados posteriormente.



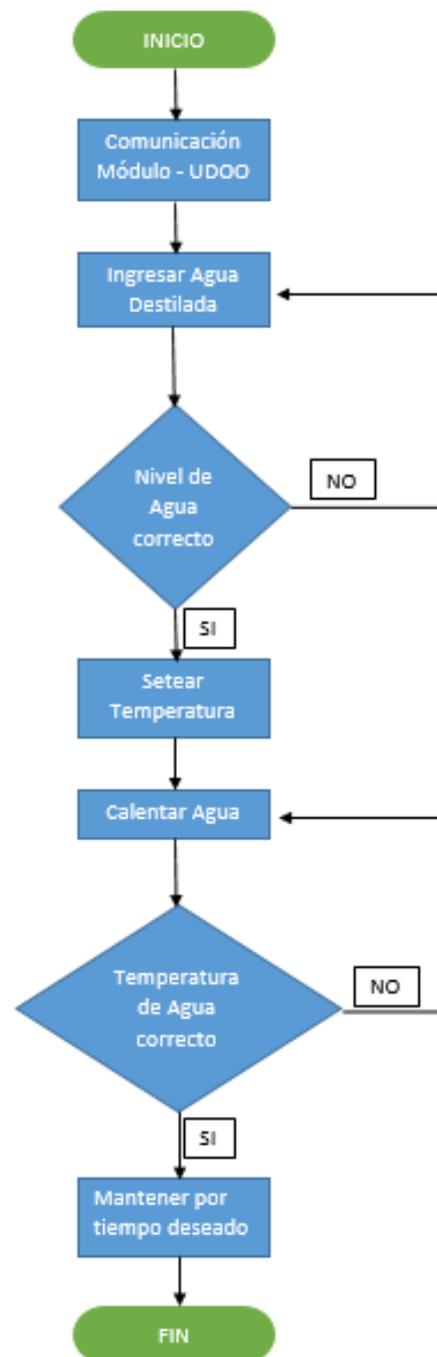
### 3.1.1. SISTEMA MECÁNICO



### 3.1.2. SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO



### 3.2. FUNCIONAMIENTO BASE



### **3.3. PRUEBAS Y RESULTADOS**

#### **3.3.1. DESARROLLO DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS**

Una vez q todos los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos fueron correctamente diseñados, seleccionados y ensamblados, procedemos con la verificación del funcionamiento de la máquina de baño maría, siguiendo el siguiente protocolo de pruebas:

- Verificamos que el programa realizado correctamente haya sido cargado al microcontrolador UDOO.
- Los sensores de temperatura a la placa UDOO, recordando tener una resistencia de 4500 Ohm entre ellos.
- Conexión del ventilador de enfriamiento, pantalla TOUCH y la bomba sumergible.
- Verificamos las salidas y entradas de voltajes del microcontrolador UDOO (3.3V), como en el relé de estado sólido (120VAC/24VDC).
- Utilizar la interfaz programada en el software PyQt para inicializar tanto la parte de hardware y software del módulo, verificando así que todos los parámetros referentes a la programación y conexión de periféricos se encuentren funcionando adecuadamente.
- Visualiza la temperatura de cada uno de los sensores sumergibles en la pantalla táctil permitiendo saber en cada extremo de la bandeja interna la temperatura del líquido para en un futuro aplicar su respectivo control.
- Programación tanto de sensores y actuadores se encuentren visibles y funcionales en la pantalla táctil, observando así la temperatura actual del líquido y el nivel del mismo.
- Encender el equipo ingresando por medio de la pantalla táctil la temperatura deseada y el tiempo de encendido deseado verificando el desempeño tanto mecánico como eléctrico del baño maría, es decir, que la estructura no presente fugas, que no existan caídas de tensión, que los

componentes que disipan calor en los circuitos no se encuentren demasiado calientes, entre otros factores.

### 3.3.2. PRUEBAS Y RESULTADOS DE COMPONENTES MECÁNICOS

Una vez concluida el ensamble de todos los componentes mecánicos, teniendo en cuenta la sujeción de los diferentes actuadores y sensores a la estructura en sí de la máquina, se procedió a verificar que toda la funcionalidad de la estructura sea la correcta, realizando así un ensayo no destructivo visual de los componentes mecánicos, mismos que se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 14**

#### **Resultados de Pruebas de Elementos Mecánicos**

<b>Elemento</b>	<b>Análisis Visual</b>
<b>Soporte de Pantalla</b>	La pantalla táctil no presenta ningún juego al ser utilizada por el usuario debido a la sujeción que presenta la misma con sus pestañas de anclaje y el refuerzo en la parte trasera de la pantalla.
<b>Base Superior</b>	Se observó que debido a las dimensiones que presenta éste elemento es capaz de soportar las cargas de los componentes eléctricos y electrónicos que se encuentran sobre él.



tabla sigue

<b>Protector</b>	Permitió la circulación del líquido fluidamente y a su vez impide correctamente el paso de los elementos a realizar el baño hacia la bomba de recirculación o las niquelinas sumergibles.
<b>Carcasa Exterior</b>	No presentó ninguna deformación al resistir el peso de la bandeja interior con 15 litros de agua.
<b>Tapa Exterior</b>	Cumple correctamente la función de permitir que el calentamiento del agua sea a una velocidad mayor.
<b>Bandeja Interior</b>	Se comprobó que la bandeja interior no presenta oxidación alguna debido a que es de un material inoxidable lo cual es bueno para el baño.
<b>Aislante Térmico</b>	Éste elemento no presentó deformaciones e impide correctamente la transferencia de calor entre las paredes metálicas de la máquina como se diseñó previamente.
<b>Tornillos</b>	Éstos no presentan oxidación alguna y cumplen con la



tabla sigue

	sujeción de los diferentes elementos mecánicos.
<b>Masilla y Silicona</b>	Tanto la masilla epóxica como la silicona utilizada son resistentes a altas temperaturas y a húmedas por lo que cumplen su función correctamente.

- Se realizó un análisis visual con la pintura realizada en la máquina de tal forma que no se vea afectada por las temperaturas alcanzadas.
- Se verificó que la velocidad de la bomba de recirculación de agua no afecten a la estructura ni a su sujeción debido a las vibraciones producidas por el motor.
- La máquina fue dimensionado para soportar y calentar una cantidad de 15 litros de agua en un tiempo máximo de 30 minutos, es posible trabajar con un mínimo de agua de 10 litros reduciendo así las cargas en la estructura y el tiempo de calentamiento del fluido.

**Tabla 15****Temperaturas con 15 litros de Agua**

Temp. (°C)	Intervalo	Comentario
19,5	0	Cond Inicial
21,56		
24,75		
27,94		
30,87		
34,13	5min	
37,25		
40,38		
43,5		
46,56		
49,56	10 min	Vapor
52,56		
55,63		
58,81		
61,88		
64,81	15 min	Sonido LEVE
66,69		
70,7		
73,75		Sonido de Burbujas
76,37		
79,56	20 min	El Agua hierve
82,25		
85,19		
87,94		
90,44		
91	25 min	

Tabla 16

## Temperaturas con 10 litros de Agua

Temp. (°C)	Intervalo	Comentario
17,44		Cond Inicial
19,5		
21,75		
24,87		
28,81		
30	5min	
35,19		
48,38		
53,63		
58,63		
69,69	10 min	Vapor
72,63		
75,73		
80,06		
82,81		
85,81	15 min	Sonido LEVE
88,19		
90,62		
90,7	18 min	El Agua hierve

Tabla 17

## Gráficas de Temperatura VS. Tiempo

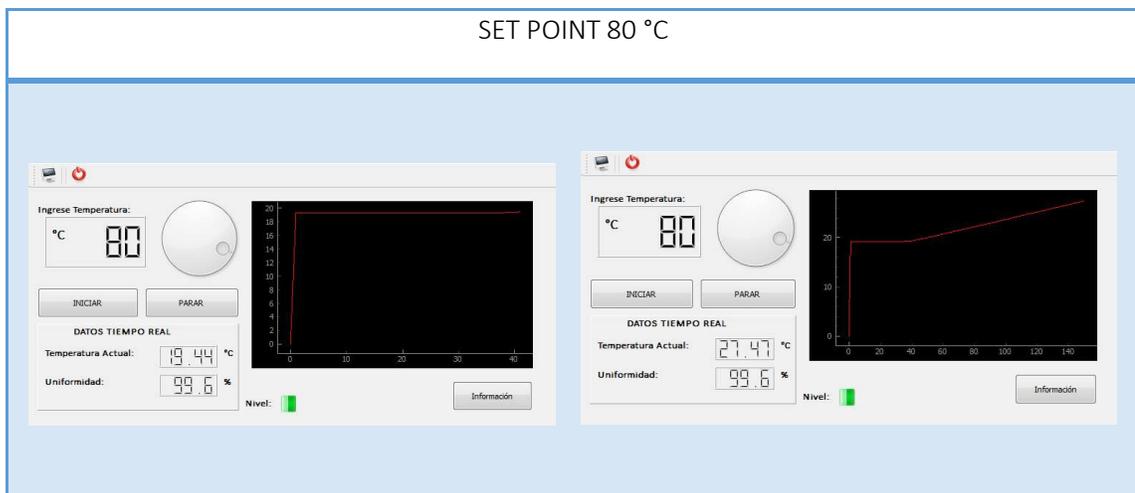
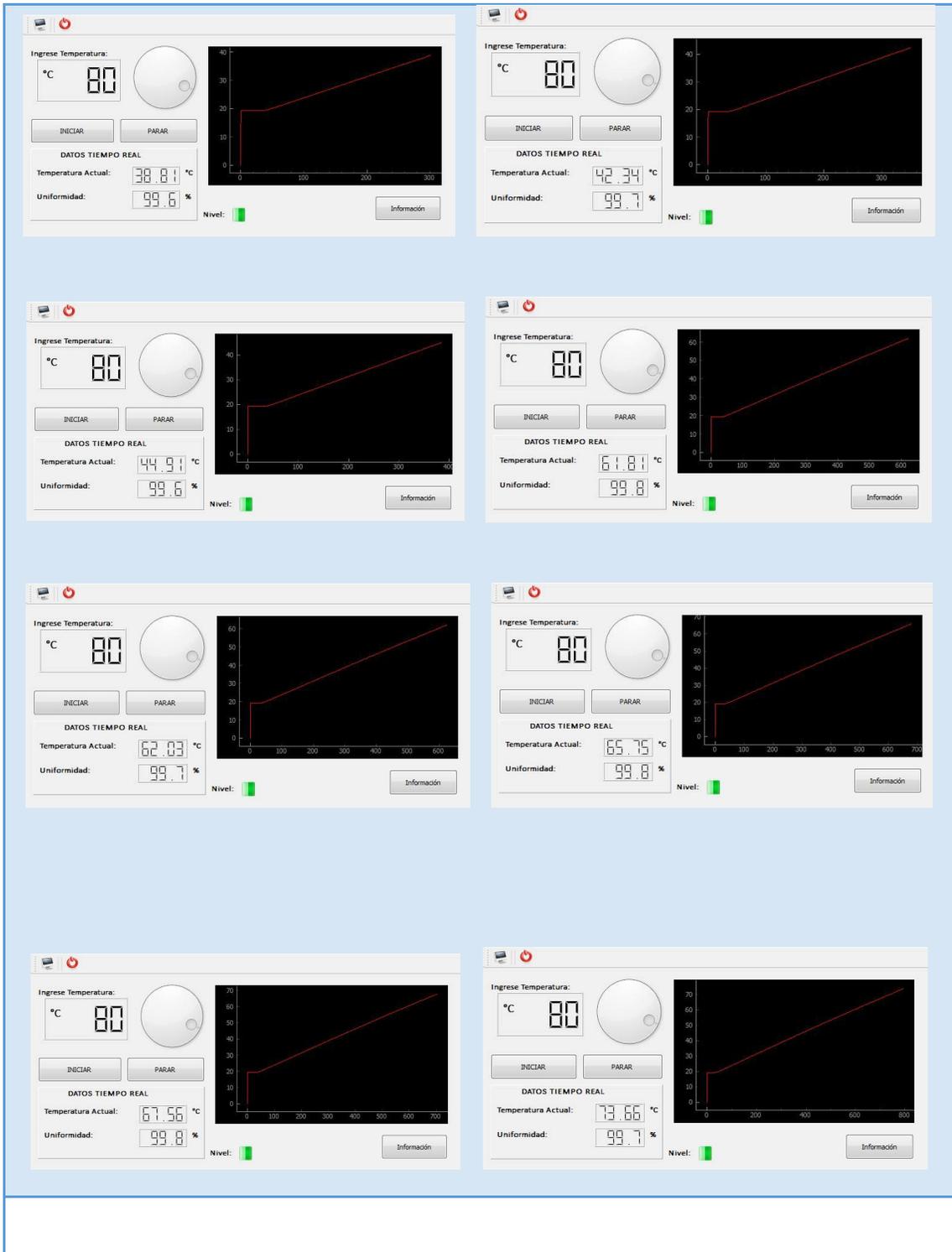
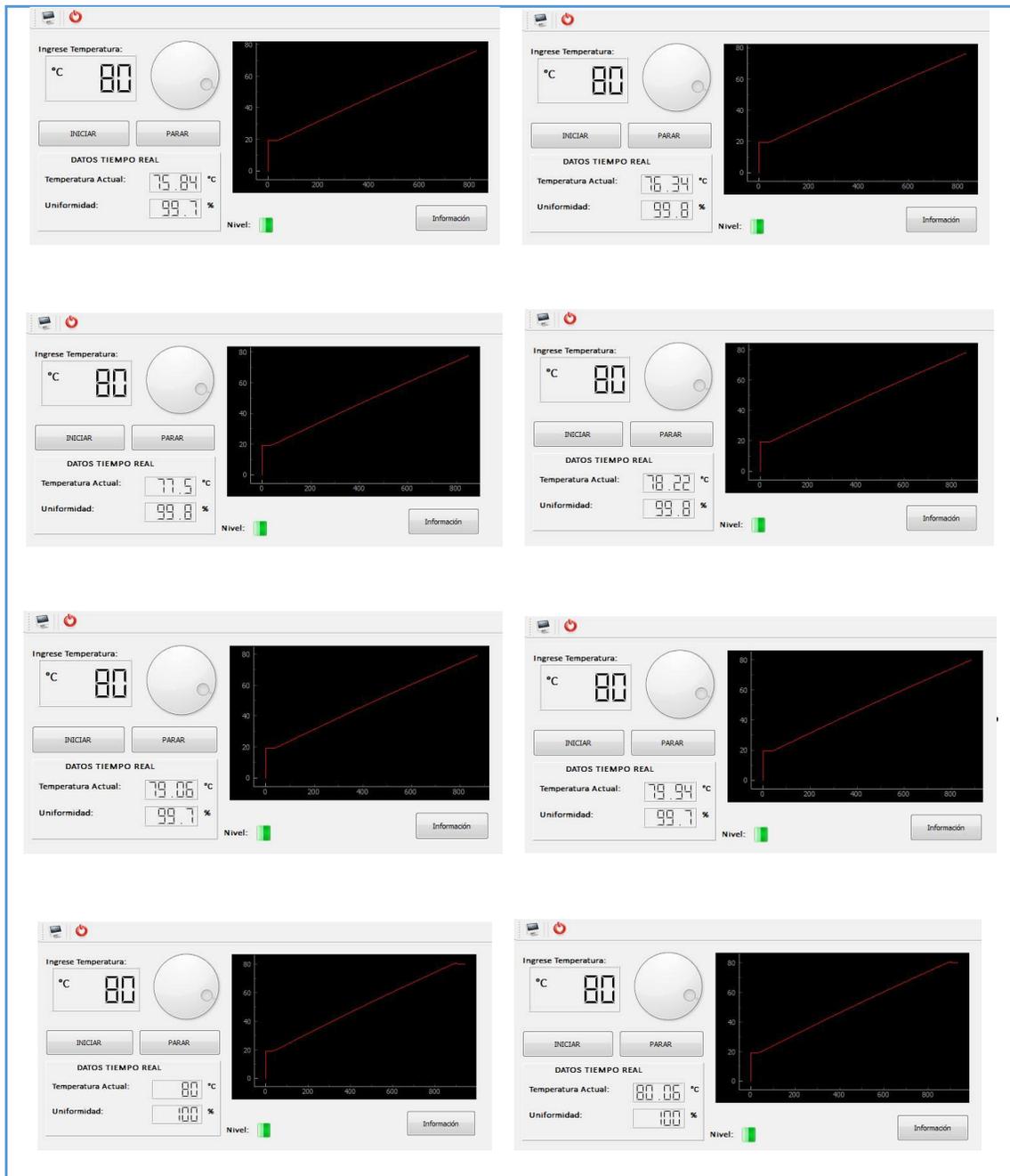


tabla sigue



→  
tabla sigue



Como se puede observar en la comparación anterior, la Tabla 17, nos muestra un tiempo menor de calentamiento del agua y eso es debido a que la cantidad de fluido es menor mientras que en la Tabla 18 demora alrededor de 25 min el llevar

al fluido a la temperatura máxima permitida por la máquina, cumpliendo así con los parámetros establecidos por la universidad.

### **3.3.3. PRUEBAS Y RESULTADOS DE COMPONENTES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS**

Una vez concluida la selección de los controladores y elementos electrónicos que la máquina de baño maría utilizará, se procedió a comprobar la compatibilidad entre la placa del controlador UDOO con el software PyQt , de tal manera que las comunicaciones entre el entorno gráfico y el sistema presenten una comunicación estable, robusta y sencilla.

Se verificó el funcionamiento del controlador UDOO , a su vez se revisó que todos sus pines utilizados para el control como toma de datos y transmisión funcionen correctamente, teniendo en mente que para que esto pueda llevarse a cabo, se realizó el estudio previo del controlador y como es su programación.

Una vez adquiridas las niquelinas sumergibles fue necesario realizar la adaptación para su control puesto que éstas trabajan a 110VAC, por lo que se utilizó un relé de estado sólido el cual puede activarse con 3.3VDC del controlador UDOO permitiendo su conmutación para comprobar que el funcionamiento de las niquelinas sea el correcto.

Se validó los voltajes tanto en la bomba sumergible como en el ventilador para la disipación de calor dentro del espacio eléctrico, en dicho campo se prestó fundamental atención a la fuente de voltaje utilizada ya que ésta será la encargada de proveer voltaje a la bomba y el ventilador.

De igual manera se comprobó que el desempeño, conexión del sensor de temperatura hacia el controlador y los datos obtenidos por los mismos sean válidos mediante el uso de un termómetro analógico para su comparación.

Para la validación de todo el circuito eléctrico/electrónico se probó el desempeño de la máquina de baño maría a su máxima capacidad, es decir, con 15 litros de agua a una temperatura de 90 grados centígrados durante 30 minutos, obteniendo así los siguientes datos que se muestran en la Tabla 19.

**Tabla 18**

**Datos Reales del Baño María al 100%.**

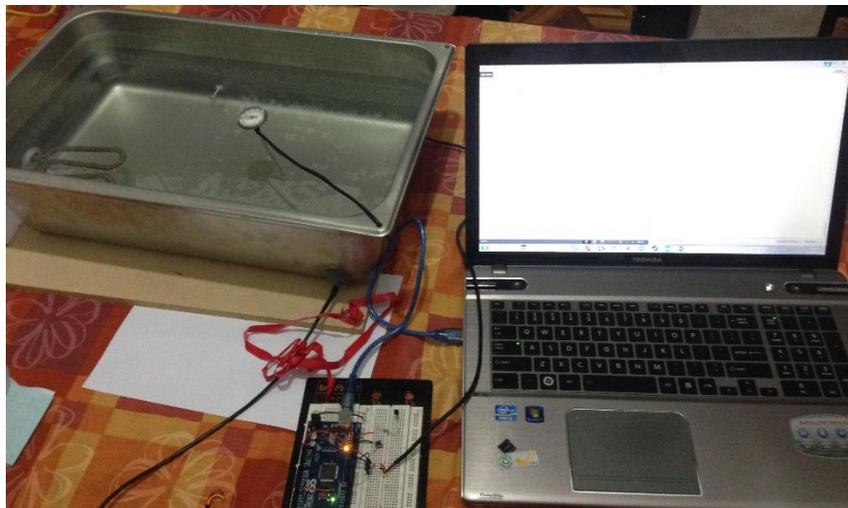
<b>Parámetro Medido</b>	<b>Valor</b>
<b>Voltaje AC</b>	110 V
<b>Corriente AC</b>	22 A
<b>Potencia Eléctrica</b>	2400 W

### **3.3.4. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE CONTROL**

Una vez realizadas las pruebas tanto mecánicas, eléctricas y electrónicas de la máquina de baño maría, se procede a comprobar que el control PID FUZZY diseñado y programado funciona de manera adecuada, es decir, la verificación de que la comunicación entre las niquelinas sumergibles, la bomba de recirculación, los sensores de temperatura y de nivel trabajen conjuntamente con el controlador UDOO y de forma eficiente.

Inicialmente se comprobó que el sistema bajo ninguna circunstancia funcione si éste no se encuentra lleno de líquido hasta que el sensor de nivel flotador se encuentre activo (min 10 – máx. 15 litros), ya que si esto llegase a ocurrir, las niquelinas empiezan a calentarse y al no estar cubiertas por el fluido, éstas pueden llegar a quemarse y dejar de funcionar.

Posteriormente se comprobó la conexión y transmisión de información (temperatura) entre los sensores de temperatura y el controlador, para ello se elaboró un pequeño programa para la lectura de temperatura de los sensores que se muestra en el ANEXO 3, y con la ayuda de un termómetro analógico se observó que las temperaturas variaban en sus decimales y que la comunicación entre los elementos era correcta.



**Figura 72. Conexión con Sensor Analógico**

Se procedió a elaborar un programa de activación de las niquelinas por modulación de ancho de pulso (PWM), es decir, por medio del teclado del ordenador logramos activar con menor o mayor rapidez la salida digital del controlador UDOO enviando pequeños pulsos hacia el relé de estado sólido, siendo éste el encargado de encender o apagar las niquelinas hasta lograr que el agua se caliente más o menos rápido.

Una vez comprobado el funcionamiento de los dos programas previos, se creó un código que permita realizar el control PID FUZZY de toda la planta y funcionamiento de cada uno de los sensores y actuadores presentes en la máquina, éste programa consiste en que el usuario por medio del uso de la pantalla táctil puede ingresar la temperatura deseada y el tiempo que sea necesario mantener el líquido en dicha temperatura, mientras que la temperatura existente en el fluido es menor a la ingresada por el usuario, se activarán las niquelinas hasta lograr calentar el líquido de forma continua y efectiva.

### **3.3.5. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL HMI**

Partiendo de que una Interfaz Hombre Máquina es una ventaja que permite a la máquina comunicarse con el usuario proporcionándole información y los controles necesarios para que el usuario lleve a cabo una tarea satisfactoriamente, se realizó las pruebas del correcto funcionamiento de la misma, tomando en cuenta ciertos parámetros que se enuncian a continuación:

- Indicadores de conexión con los sensores y actuadores
- Comunicación rápida entre la planta y el HMI
- Colores y distribución de los elementos agradables con el usuario
- Visualización de alarmas durante el proceso de uso de la máquina
- Control de la variable de temperatura a lo largo del proceso
- Envío y recepción de datos entre el HMI y la máquina
- Manual de usuario (ANEXO 4)

La HMI cuenta con un botón de emergencia el cual sirve como mecanismo de protección en caso de accidentes, por lo que se verificó por repetidas ocasiones que su funcionamiento sea el adecuado, evitando así posibles daños futuro en la máquina o a los operadores.

Por último se incorporó a la interfaz un cuadro en tiempo real de temperatura en función del tiempo con el cual podemos monitorear mediante una gráfica como está variando la temperatura del agua dentro de la planta en cualquier instante del tiempo, haciendo al proceso más dinámico y amigable con el operador.

Con ésas pruebas realizadas satisfactoriamente podemos decir que el HMI desarrollado para la máquina de baño maría es funcional y adaptable para cualquier operador.

### **3.3.6. MEJORAS POSIBLES DE LA MÁQUINA DE BAÑO MARÍA**

En ésta máquina de baño maría lo que se busca es lograr la sinergia tanto de la parte mecánica como eléctrica/electrónica en un espacio reducido y a su vez lograr una máquina silenciosa apta para el uso dentro del laboratorio de la Universidad.

Tomamos en cuenta 3 factores importantes siendo éstos:

- Corriente consumida
- Tamaño
- Costo de mano de obra
- Interfaz amigable

Por éstos motivos hemos podido observar que un factor importante al momento de usar la máquina es la corriente que consume y esto se debe al dimensionamiento de las niquelinas recordando que éstas fueron calculadas para calentar la cantidad máxima de 15 litros de agua a 90 °C, por tal motivo el aspecto a intervenir para lograr una disminución significativa de la corriente utilizada viene a ser las dimensiones de la bandeja interior del baño, logrando disminuir la potencia requerida en las niquelinas.

Tomando en cuenta que el controlador UDOO tiene conexión WI-FI, se puede desarrollar una aplicación por control remoto de tal manera de poder controlar y monitorear el proceso del baño desde un dispositivo móvil.

Y por último pero no por eso menos importantes una mejora en la tapa externa ayudará a que el fluido sea calentado en un mayor tiempo, y evitando la salida de los vapores producidos por el agua a alta temperatura.

## CAPÍTULO IV

### 4 ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

Como antecedente debemos tener en cuenta que el uso de los conocimientos y herramientas tecnológicas actualmente es de una ayuda significativa para el desarrollo de éstas maquinarias que formarán parte del laboratorio de Inmunología de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Actualmente el laboratorio de Inmunología ya consta con una máquina de baño maría la cual no abastece para los ensayos que la demandan para sus prácticas, llegándose a convertir en uno de los motivos principales por los cuales se llevó a cabo su diseño y construcción ya que el costo actual de éstos equipos es muy elevado como se detalló en el inicio del documento y sobre todo tener un sistema automatizado del control de temperatura y control de nivel de agua.

A través del diseño y construcción de la máquina de baño maría, se logra la realización de este prototipo que va a ayudar a mejorar la matriz productiva del país mejorando costos.

#### 4.1. COSTO DE MATERIA PRIMA

Los costos de materia prima hacen referencia a todos aquellos materiales que fueron necesarios para la construcción de la estructura mecánica de la máquina de baño maría, los cuales son detallados en la siguiente tabla:

Tabla 19

**Costo de Materia Prima**

ITEM	DETALLE	COSTO UNIT.	CANTIDAD	SUB TOTAL (\$)
1	Bandeja interior - Acero Inox.	42,35	1	42,35
2	Planchas de tol - Estructura Externa	45	1	45
3	Tornillos - Sujeción estructura	0,19	20	3,8
4	Aislante Térmico - Thermolon 12mm	10	1	10
5	Agarradera	3,6	1	3,6
			TOTAL	104,75

**4.2. COSTO DE EQUIPOS, MATERIALES Y HERRAMIENTAS****4.2.1. COSTO DE EQUIPOS DE CONTROL**

Los costos del equipo de control se describen en la siguiente tabla:

Tabla 20

**Costo de Equipos de Control**

ITEM	DETALLE	COSTO UNIT.	CANTIDAD	SUB TOTAL (\$)
1	Micro controlador UDOO	80	1	80
2	Pantalla Touch 7"	204,85	1	204,85
3	Sensor de Temperatura - DS18B20	5	2	10
4	Bomba de Agua Sumergible	156,26	1	156,26
5	Sensor de Nivel	6,15	1	6,15
6	Fuente Conmutada - 12V	26,88	1	26,88
			TOTAL	484,14

#### 4.2.2. COSTO DE EQUIPOS DE POTENCIA

Los materiales de potencia empleados en la máquina de baño maría son:

**Tabla 21**

##### Costo de Equipos de Potencia

ITEM	DETALLE	COSTO UNIT.	CANTIDAD	SUB TOTAL (\$)
1	Niquelina Tipo M 1200W 110V	30	2	60
2	Cable Multifilar N10	2,58	1	2,58
3	Relé de Estado Solido - 40A	31,36	1	31,36
4	Bornera - 30A	4,98	1	4,98
			TOTAL	98,92

#### 4.2.3. COSTO DE MATERIALES

**Tabla 22**

##### Costo de Materiales

ITEM	DETALLE	COSTO UNIT.	CANTIDAD	SUB TOTAL (\$)
1	Silicona Alta Temperatura	7	2	14
2	Masilla Alta Temperatura	7,2	2	14,4
3	Spray	2,18	1	2,18
4	Mica 7"	10	1	10
5	Bases Antideslizantes	4	1	4
			TOTAL	44,58

#### 4.2.4. OTROS MATERIALES DE PRUEBA

Son los elementos tanto mecánicos como eléctricos que fueron adquiridos para la etapa de prueba de la máquina, los mismos que fueron descartados por no cumplir con los requerimientos solicitados:

**Tabla 23**

#### Otros Materiales de Prueba

<b>COSTO DE MATERIALES DE PRUEBA</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DETALLE</b>	<b>COSTO UNIT.</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>SUB TOTAL (\$)</b>
1	Calentador de Agua 200W	16,8	1	16,8
2	Cable solido N10	5	1	5
3	Espiral para cables	2,33	1	2,33
4	Niquelinas electrónicas	4	2	8
5	Pernos	1,2	1	1,2
			TOTAL	33,33

#### 4.3. COSTO DE MANO DE OBRA

En la siguiente tabla se muestran los costos de los diferentes maquinados y operaciones en las que no fueron realizados en su totalidad por los autores del trabajo, y se necesitó la colaboración de personal calificado como se muestra:

Tabla 24

## Costo de Mano de Obra

COSTO DE MANO DE OBRA				
ITEM	DETALLE	COSTO UNIT.	CANTIDAD	SUB TOTAL (\$)
1	Manufactura de piezas mecánicas	55	1	55
2	Pintura al Horno	50	1	50
3	Perforaciones Adicionales	15	1	15
4	Rotulado	10	1	10
			TOTAL	130

## 4.4. COSTO TOTAL

Como muestra en el costo total de la máquina de baño maría, comprobamos que para la elaboración de ésta, se necesitó de un capital menor a la mitad del costo de una máquina adquirida en el extranjero, la cual fue elaborada con materiales y mano de obra ecuatorianas.

Tabla 25

## Costo Total

DETALLE	COSTO (\$)
COSTO DE MATERIA PRIMA	104,75
COSTO DE EQUIPOS DE CONTROL	484,14
COSTO DE EQUIPOS DE POTENCIA	98,92
COSTO DE MATERIALES	44,58
COSTO DE MATERIALES DE PRUEBA	33,33
COSTO DE MANO DE OBRA	130
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>895,72</b>

## CAPÍTULO V

### 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- Se pudo evidenciar que el controlador PID-FUZZY es un controlador demasiado robusto para una planta “simple” como la de temperatura, así pues con un control on-off se cumpliría los requerimientos.
- El circuito idóneo para la etapa de potencia del Baño María sería un “Dimmer”, sin embargo el circuito es demasiado robusto y, para la cantidad de energía eléctrica necesaria se necesitaría un disipador de calor muy grande, por eso se optó por un relee de estado sólido cuyo tiempo de conmutación es de 1 milisegundos.
- La comunicación serie entre los dos procesadores del controlador UDOO, así como también la asignación de tareas del mismo permite que ningún procesador se sobrecargue con las tareas asignadas, de esta forma el procesador SAM3X se encargará de recibir información y enviar el PWM necesario, y el iMX6 realizará la lógica de control respectiva, es decir el PID-FUZZY.
- El costo total de la máquina, más la mano de obra del caso, no cubre ni el 50% del costo del Baño María del mercado, dando vialidad a la construcción de más prototipos si se requiere.

#### CONCLUSIONES DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Como conclusión de la selección de los diferentes elementos tenemos que los de más importancia para la máquina de baño maría son el sistema de calentamiento sumergible, debido a que con las niquelinas se tiene una mayor

rapidez de calentamiento para la cantidad requerida de agua y se puede controlar la velocidad de activación con el relé de estado sólido y un control desde el controlador UDOO.

El segundo parámetro importante es el tipo de sistema eléctrico de control que se va a utilizar, los dos tipos de control fueron el controlador Arduino MEGA y el UDOO siendo el seleccionado ya que como se mencionó en sus características es prácticamente una computadora de tamaño reducido de gran velocidad y memoria expandible siendo una ventaja importante la posibilidad de crear aplicaciones y pasarlas desde Linux hasta la placa de Arduino incorporado sin la necesidad de cables lo cual nos permite tener una eficaz y no tan complicada comunicación con la pantalla touch para el HMI, siendo mucho más amigable para el usuario.

El tercer parámetro importante es la bomba de recirculación sumergible resistente a altas temperaturas, este es un parámetro importante ya que de esta forma logrará que la temperatura dentro del sistema se mantenga homogénea en cada parte de su volumen permitiendo así un sensado de temperatura más estable, seguidamente de un control de encendido de las niquelinas para llegar a la temperatura deseada por el usuario.

Los elementos de importancia secundaria necesitaron de un análisis mecánico que se realizaron previamente en el capítulo1.

Haciendo un llamado a la tabla inicial en la que comparábamos la máquina WCB-11 que es una de las máquinas que consta el laboratorio de biotecnología con el producto a fabricar obtuvimos que la máquina de baño maría elaborada es mucho más eficiente y económica ya que consta con una mayor capacidad de fluido en su interior, el rango de trabajo son 10 grados menos y su consumo energético es mayor, pero lo son compensados que su costo es mucho menos del 50% de lo que cuesta la máquina WCB-11.

La máquina fabricada cuenta con opciones adicionales como la conexión a internet y la posibilidad de realizar un control remoto de la aplicación que controla el proceso del baño maría otorgándole a nuestra máquina puntos favorables y ventajosos con respecto a la existente.

<b>Características</b>		<b>WCB-11</b>	<b>Producto Fabricado</b>
<b>Dimensiones</b>		302*240*150	300*500*250
<b>Consumo energético (kW)</b>		1	2.4
<b>Capacidad (litros)</b>		11	15
<b>Temperatura:</b>	Rango (°C)	Ambiente-100	Ambiente-90
	Exactitud (°C)	±0,1	±1
	Uniformidad (°C)	±0,2	±0.5
<b>Dispositivos de seguridad</b>		Sensor de error de nivel bajo.	Sensores de nivel.
		Contra temperatura.	Contra temperatura.
<b>Material</b>	Interno	Acero Inoxidable 304.	Acero Inoxidable 304.
	Externo	Acero Recubierto.	Chapa Metálica e=1.1 mm
<b>Alimentación (V)</b>		120	120
<b>Costo \$</b>		2500	895.72

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Para un mejor rendimiento en el Baño María, se puede cambiar los actuadores por otros de mayor consumo energético, ayudando con esto a llegar a la temperatura adecuada en menos tiempo posible.
- Se podría utilizar un sensor análogo de nivel para mejorar el equipo al igual que el control puesto que se podría calcular un tiempo exacto de funcionamiento.
- El equipo puede conectarse a internet y tener acceso remoto si se requiriera.
- Se puede realizar equipos como estos, a precio inferior y con las mismas prestaciones que el mercado requiere con el apoyo económico respectivo.

## Bibliografía

- 2221, N. I. (s.f.). *Norma Ansi diseño PCB*.
- Ashby, M. F. (2009). *Materials Selection in Mechanical Design*. London, UK.
- Canela, M. A. (2009). *Gestion de la Calidad*. Ediciones UPC.
- Diseño y Desarrollo de Prototipos*. (27 de Abril de 2009). Obtenido de <http://dideprototipos.blogspot.com/>
- Equipos y Laboratorio de Colombia. (2011-2015). *Baño de Maria*. Obtenido de [http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos\\_mo.php?it=918](http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=918)
- ESPE, U. d. (25 de 12 de 2014). *Biotecnología*, . Obtenido de <http://www.espe.edu.ec/portal/portal/main.do?sectionCode=177>
- GoodFellow. (1946). *Todos los materiales para Investigación Científica y Fabricación*. Obtenido de <http://www.goodfellow.com/S/Acero-Inoxidable-AISI-316.html>
- Instrumentos de Laboratorio, Baño María*. (28 de 12 de 2014). Obtenido de <http://www.instrumentosdelaboratorio.net/2012/05/bano-de-maria.html>
- Jantzen, J. (2013). Tuning Of Fuzzy PID Controllers.
- LeroyMerlin, C. (2014). *Taladro de Columna*. Obtenido de <http://www.instrumentosdelaboratorio.net/2012/05/>
- M., S. K. (1998). Control Mediante Logica Difusa. *Tecnicas Modernas en Automatica*, 7.
- METAL Actual. (2005). *Condiciones Tecnicas para un Correcto Doblado*. Obtenido de <http://www.metalactual.com/revista/15/doblado.pdf>
- Raspberry. (2015). *Raspberry/Arduino*. Obtenido de <http://www.unocero.com/2013/04/19/udoo-lo-mejor-de-los-dos-mundos-raspberry-pi-y-arduino/>
- Resistencias Calefactoras Tipo M*. (2015). Obtenido de <http://www.mundialderesistencias.com/productos.html>
- Routio, P. (3 de Agosto de 2007). *Evaluación en desarrollo de productos*. Obtenido de <http://www2.uiah.fi/projekti/metodi/23c.htm>
- SHIGLEY J., M. L. (2002). *Manual de Diseño Mecánico. Traducido del inglés por Francisco Paniagua*. 3era Ed., McGraw-Hill.

SHIGLEY, J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica*. Monterrey: McGraw Hill.

Toledo, William E. Díaz Moreno y Nelson F. Velasco. (s.f.). *METODOLOGÍA PARA SELECCIONAR MATERIALES EN INGENIERÍA MECATRÓNICA* . Obtenido de [http://www.umng.edu.co/documents/10162/1299317/ART\\_16.pdf](http://www.umng.edu.co/documents/10162/1299317/ART_16.pdf)

Triturados Barcelona. (2001). *Fibras de Vidrio TribarVID*. Obtenido de [http://www.concretonline.com/pdf/06aditivos/art\\_tec/Ficha-Descripci-n-y-Usode-fibra-de-vidrio.pdf](http://www.concretonline.com/pdf/06aditivos/art_tec/Ficha-Descripci-n-y-Usode-fibra-de-vidrio.pdf)

UDOO. (2015). Obtenido de <http://shop.udoo.org/other/product/udoo-quad.html>

UDOO. (2015). *Componentes*. Obtenido de <http://www.udoo.org/udoo-dual-quad/>

UDOO. (2015). *Pantalla Táctil*. Obtenido de <http://shop.udoo.org/other/accessories/video-kit-7-touch.html>

UDOO. (2015). *UDOO*. Obtenido de <http://www.udoo.org/>

# **ANEXOS**

## **ANEXO 1. Planos Mecánicos**

## **ANEXO 2. Datasheets**

### **ANEXO 3. Manual de Usuario**

## ANEXO 4. Programación PID Fuzzy

```
def defuz(a1,a2,z1,z2):
    R=(a1*z1+a2*z2)/(a1+a2)
    return R

def defuz2(a1,a2,a3,a4,z1,z2,z3,z4):
    R=(a1*z1+a2*z2+a3*z3+a4*z4)/(a1+a2+a3+a4)
    return R

def L1(error):
    alpha1=1
    return alpha1

def L2(error):
    alpha2=-0.025*error+1.25
    return alpha2

def L3(error):
    alpha3=0.025*error-0.25
    return alpha3

def L4(error):
    alpha4=-0.025*error+2.25
    return alpha4

def L5(error):
    alpha5=0.025*error-1.25
    return alpha5

def L6(error):
    alpha6=1
    return alpha6

def L7(derror):
    alpha7=1
    return alpha7

def L8(derror):
    alpha8=-34.153*derror-1.209
    return alpha8

def L9(derror):
    alpha9=34.153*derror+2.209
    return alpha9

def L10(derror):
    alpha10=-34.153*derror-0.209
    return alpha10
```

```

def L11(derror):
    alpha11=34.153*derror+1.209
    return alpha11

def L12(derror):
    alpha12=1
    return alpha12

def FUZZY_PID(setpoint,output):
    global after_error
    global after_output
    global I
    global kp
    global ki
    global kd
    error=setpoint-output
    derror=(error-after_error)/0.5
    if(error>0 and error<=10):
        ep=1
        if(derror>-0.072 and derror<=-0.06468):
            ddg=1
            kp=312
            ki=0.000035
            kd=5.5

    if(error>0 and error<=10):
        ep=1
        if(derror>-0.06468 and derror<=-0.0354):
            up1=L8(derror)
            up2=L9(derror)
            a1=min(ep,up1)
            a2=min(ep,up2)
            kp=defuz(a1,a2,312,336)
            ki=defuz(a1,a2,0.000035,0.000025)
            kd=defuz(a1,a2,5.5,2.5)

    if(error>0 and error<=10):
        ep=1
        if(derror>-0.0354 and derror<=-0.00612):
            up1=L10(derror)
            up2=L11(derror)
            a1=min(ep,up1)
            a2=min(ep,up2)
            kp=defuz(a1,a2,336,336)
            ki=defuz(a1,a2,0.000025,0.000015)
            kd=defuz(a1,a2,2.5,1.5)

    if(error>0 and error<=10):
        ep=1
        if(derror>-0.00612 and derror<=0):
            dep=1

```

```

kp=336
ki=0.000015
kd=1.5

```

```

if(error>10 and error<=50):

```

```

    ut1=L2(error)
    ut2=L3(error)
    if(derror>-0.072 and derror<=-0.06468):
        deg=1
        a1=min(ut1,deg)
        a2=min(ut2,deg)
        kp=defuz(a1,a2,312,360)
        ki=defuz(a1,a2,0.000035,0.000045)
        kd=defuz(a1,a2,5.5,5.5)

```

```

if(error>10 and error<=50):

```

```

    ut1=L2(error)
    ut2=L3(error)
    if(derror>-0.06464 and derror<=-0.0354):
        up1=L8(derror)
        up2=L9(derror)
        a1=min(ut1,up1)
        a2=min(ut1,up2)
        a3=min(ut2,up1)
        a4=min(ut2,up2)
        kp=defuz2(a1,a2,a3,a4,312,336,360,360)
        ki=defuz2(a1,a2,a3,a4,0.000035,0.000025,0.000045,0.000045)
        kd=defuz2(a1,a2,a3,a4,5.5,2.5,5.5,3.5)

```

```

if(error>10 and error<=50):

```

```

    ut1=L2(error)
    ut2=L3(error)
    if(derror>-0.0354 and derror<=-0.00612):
        up1=L10(derror)
        up2=L11(derror)
        a1=min(ut1,up1)
        a2=min(ut1,up2)
        a3=min(ut2,up1)
        a4=min(ut2,up2)
        kp=defuz2(a1,a2,a3,a4,336,336,360,384)
        ki=defuz2(a1,a2,a3,a4,0.000025,0.000015,0.000045,0.000045)
        kd=defuz2(a1,a2,a3,a4,2.5,1.5,3.5,1.5)

```

```

if(error>10 and error<=50):

```

```

    ut1=L2(error)
    ut2=L3(error)
    if(derror>-0.00612 and derror<=0):
        dep=1
        a1=min(ut1,dep)
        a2=min(ut2,dep)
        kp=defuz(a1,a2,336,384)
        ki=defuz(a1,a2,0.000015,0.000045)

```

```
kd=defuz(a1,a2,1.5,1.5)
```

```
if(error>50 and error<=90):
```

```
ut1=L4(error)
```

```
ut2=L5(error)
```

```
if(derror>-0.072 and derror<=-0.06468):
```

```
deg=1
```

```
a1=min(ut1,deg)
```

```
a2=min(ut2,deg)
```

```
kp=defuz(a1,a2,360,384)
```

```
ki=defuz(a1,a2,0.000045,0.000055)
```

```
kd=defuz(a1,a2,5.5,5.5)
```

```
if(error>50 and error<=90):
```

```
ut1=L4(error)
```

```
ut2=L5(error)
```

```
if(derror>-0.06468 and derror<=-0.0354):
```

```
up1=L8(derror)
```

```
up2=L9(derror)
```

```
a1=min(ut1,up1)
```

```
a2=min(ut1,up2)
```

```
a3=min(ut2,up1)
```

```
a4=min(ut2,up2)
```

```
kp=defuz2(a1,a2,a3,a4,360,360,384,408)
```

```
ki=defuz2(a1,a2,a3,a4,0.000045,0.000045,0.000055,0.000055)
```

```
kd=defuz2(a1,a2,a3,a4,5.5,3.5,5.5,4.5)
```

```
if(error>50 and error<=90):
```

```
ut1=L4(error)
```

```
ut2=L5(error)
```

```
if(derror>-0.0354 and derror<=-0.00612):
```

```
up1=L10(derror)
```

```
up2=L11(derror)
```

```
a1=min(ut1,up1)
```

```
a2=min(ut1,up2)
```

```
a3=min(ut2,up1)
```

```
a4=min(ut2,up2)
```

```
kp=defuz2(a1,a2,a3,a4,360,384,408,408)
```

```
ki=defuz2(a1,a2,a3,a4,0.000045,0.000045,0.000055,0.000055)
```

```
kd=defuz2(a1,a2,a3,a4,3.5,1.5,4.5,1.5)
```

```
if(error>50 and error<=90):
```

```
ut1=L4(error)
```

```
ut2=L5(error)
```

```
if(derror>-0.00612 and derror<=0):
```

```
dep=1
```

```
a1=min(ut1,dep)
```

```
a2=min(ut2,dep)
```

```
kp=defuz(a1,a2,384,408)
```

```
ki=defuz(a1,a2,0.000045,0.000055)
```

```
kd=defuz(a1,a2,1.5,1.5)
```

```

if(error>90 and error<=100):
    eg=1
    if(derror>-0.072 and derror<=-0.06468):
        ddg=1
        kp=384
        ki=0.000055
        kd=5.5

if(error>90 and error<=100):
    eg=1
    if(derror>-0.06468 and derror<=-0.0354):
        up1=L8(derror)
        up2=L9(derror)
        a1=min(eg,up1)
        a2=min(eg,up2)
        kp=defuz(a1,a2,384,408)
        ki=defuz(a1,a2,0.000055,0.000055)
        kd=defuz(a1,a2,5.5,4.5)

if(error>90 and error<=100):
    eg=1
    if(derror>-0.0354 and derror<=-0.00612):
        up1=L10(derror)
        up2=L11(derror)
        a1=min(eg,up1)
        a2=min(eg,up2)
        kp=defuz(a1,a2,408,408)
        ki=defuz(a1,a2,0.000055,0.000055)
        kd=defuz(a1,a2,4.5,1.5)

if(error>90 and error<=100):
    eg=1
    if(derror>-0.00612 and derror<=0):
        dep=1
        kp=408
        ki=0.000055
        kd=1.5

P=error*kp
I+=error*ki*0.5
D=((output-after_output)*kd)/0.5
after_error = error
after_output = output
PID=P+I+D
if (PID>255):
    PID=255
if(PID<0):
    PID=0
print(str(int(PID))+";1")
paquete2=str(int(PID))+";1"
Arduino.write(paquete2.encode('ascii'))

```

## **ANEXO 5**

### **CÓDIGO PY-QT EN PYTHON**

```
from PyQt4 import QtCore, QtGui

try:
    _fromUtf8 = QtCore.QString.fromUtf8
except AttributeError:
    def _fromUtf8(s):
```

```

    return s

try:
    _encoding = QtGui.QApplication.UnicodeUTF8
    def _translate(context, text, disambig):
        return QtGui.QApplication.translate(context, text, disambig, _encoding)
except AttributeError:
    def _translate(context, text, disambig):
        return QtGui.QApplication.translate(context, text, disambig)

class Ui_MainWindow(object):
    def setupUi(self, MainWindow):
        MainWindow.setObjectName(_fromUtf8("MainWindow"))
        MainWindow.resize(748, 379)
        icon = QtGui.QIcon()
        icon.addPixmap(QtGui.QPixmap(_fromUtf8(":/dano/cocinar-en-una-olla_318-698.jpg")),
QtGui.QIcon.Normal, QtGui.QIcon.Off)
        MainWindow.setWindowIcon(icon)
        self.centralwidget = QtGui.QWidget(MainWindow)
        self.centralwidget.setObjectName(_fromUtf8("centralwidget"))
        self.btn_enviar = QtGui.QPushButton(self.centralwidget)
        self.btn_enviar.setGeometry(QtCore.QRect(10, 140, 131, 41))
        self.btn_enviar.setObjectName(_fromUtf8("btn_enviar"))
        self.dial = QtGui.QDial(self.centralwidget)
        self.dial.setGeometry(QtCore.QRect(140, 10, 161, 131))
        self.dial.setMaximum(91)
        self.dial.setObjectName(_fromUtf8("dial"))
        self.lcdNumber = QtGui.QLCDNumber(self.centralwidget)
        self.lcdNumber.setGeometry(QtCore.QRect(10, 50, 121, 71))
        self.lcdNumber.setObjectName(_fromUtf8("lcdNumber"))
        self.label = QtGui.QLabel(self.centralwidget)
        self.label.setGeometry(QtCore.QRect(10, 20, 171, 21))
        font = QtGui.QFont()
        font.setFamily(_fromUtf8("Calibri Light"))
        font.setPointSize(10)
        font.setBold(True)
        font.setWeight(75)
        self.label.setFont(font)
        self.label.setObjectName(_fromUtf8("label"))
        self.label_5 = QtGui.QLabel(self.centralwidget)
        self.label_5.setGeometry(QtCore.QRect(20, 50, 51, 31))
        font = QtGui.QFont()
        font.setFamily(_fromUtf8("Calibri Light"))
        font.setPointSize(14)
        font.setBold(True)
        font.setWeight(75)
        self.label_5.setFont(font)
        self.label_5.setObjectName(_fromUtf8("label_5"))
        self.frame_2 = QtGui.QFrame(self.centralwidget)
        self.frame_2.setGeometry(QtCore.QRect(10, 190, 281, 131))
        self.frame_2.setStatusTip(_fromUtf8(""))
        self.frame_2 setFrameShape(QtGui.QFrame.Panel)

```

```
self.frame_2.setFrameShadow(QtGui.QFrame.Raised)
self.frame_2.setObjectName(_fromUtf8("frame_2"))
self.label_2 = QtGui.QLabel(self.frame_2)
self.label_2.setGeometry(QtCore.QRect(10, 30, 161, 21))
font = QtGui.QFont()
font.setFamily(_fromUtf8("Calibri Light"))
font.setPointSize(10)
font.setBold(True)
font.setWeight(75)
self.label_2.setFont(font)
self.label_2.setObjectName(_fromUtf8("label_2"))
self.label_4 = QtGui.QLabel(self.frame_2)
self.label_4.setGeometry(QtCore.QRect(260, 30, 31, 21))
font = QtGui.QFont()
font.setFamily(_fromUtf8("Calibri Light"))
font.setPointSize(10)
font.setBold(True)
font.setWeight(75)
self.label_4.setFont(font)
self.label_4.setObjectName(_fromUtf8("label_4"))
self.label_7 = QtGui.QLabel(self.frame_2)
self.label_7.setGeometry(QtCore.QRect(260, 70, 31, 21))
font = QtGui.QFont()
font.setFamily(_fromUtf8("Calibri Light"))
font.setPointSize(10)
font.setBold(True)
font.setWeight(75)
self.label_7.setFont(font)
self.label_7.setObjectName(_fromUtf8("label_7"))
self.lcdNumber_2 = QtGui.QLCDNumber(self.frame_2)
self.lcdNumber_2.setGeometry(QtCore.QRect(160, 30, 81, 31))
self.lcdNumber_2.setObjectName(_fromUtf8("lcdNumber_2"))
self.lcdNumber_3 = QtGui.QLCDNumber(self.frame_2)
self.lcdNumber_3.setGeometry(QtCore.QRect(160, 70, 81, 31))
self.lcdNumber_3.setObjectName(_fromUtf8("lcdNumber_3"))
self.label_6 = QtGui.QLabel(self.frame_2)
self.label_6.setGeometry(QtCore.QRect(10, 70, 101, 21))
font = QtGui.QFont()
font.setFamily(_fromUtf8("Calibri Light"))
font.setPointSize(10)
font.setBold(True)
font.setWeight(75)
self.label_6.setFont(font)
self.label_6.setObjectName(_fromUtf8("label_6"))
self.label_3 = QtGui.QLabel(self.frame_2)
self.label_3.setGeometry(QtCore.QRect(60, 0, 161, 21))
font = QtGui.QFont()
font.setFamily(_fromUtf8("Calibri Light"))
font.setPointSize(10)
font.setBold(True)
font.setWeight(75)
self.label_3.setFont(font)
```

```

self.label_3.setObjectName(_fromUtf8("label_3"))
self.graficos = QtGui.QWidget(self.centralwidget)
self.graficos.setGeometry(QRect(300, 10, 431, 251))
self.graficos.setObjectName(_fromUtf8("graficos"))
self.btn_parar = QtGui.QPushButton(self.centralwidget)
self.btn_parar.setGeometry(QRect(150, 140, 141, 41))
self.btn_parar.setObjectName(_fromUtf8("btn_parar"))
self.btn_info = QtGui.QPushButton(self.centralwidget)
self.btn_info.setGeometry(QRect(620, 270, 111, 41))
self.btn_info.setObjectName(_fromUtf8("btn_info"))
self.bar_nivel = QtGui.QProgressBar(self.centralwidget)
self.bar_nivel.setGeometry(QRect(370, 280, 21, 23))
self.bar_nivel.setProperty("value", 24)
self.bar_nivel.setOrientation(QtCore.Qt.Vertical)
self.bar_nivel.setObjectName(_fromUtf8("bar_nivel"))
self.label_8 = QtGui.QLabel(self.centralwidget)
self.label_8.setGeometry(QRect(330, 280, 51, 21))
font = QtGui.QFont()
font.setFamily(_fromUtf8("Calibri Light"))
font.setPointSize(10)
font.setBold(True)
font.setWeight(75)
self.label_8.setFont(font)
self.label_8.setObjectName(_fromUtf8("label_8"))
MainWindow.setCentralWidget(self.centralwidget)
self.statusbar = QtGui.QStatusBar(MainWindow)
self.statusbar.setObjectName(_fromUtf8("statusbar"))
MainWindow.setStatusBar(self.statusbar)
self.toolBar = QtGui.QToolBar(MainWindow)
self.toolBar.setObjectName(_fromUtf8("toolBar"))
MainWindow.addToolBar(QtCore.Qt.TopToolBarArea, self.toolBar)
self.actionGraficos = QtGui.QAction(MainWindow)
icon1 = QtGui.QIcon()
icon1.addPixmap(QtGui.QPixmap(_fromUtf8(":/dano/Loading.png")), QtGui.QIcon.Normal,
QtGui.QIcon.Off)
self.actionGraficos.setIcon(icon1)
self.actionGraficos.setObjectName(_fromUtf8("actionGraficos"))
self.actionSalir = QtGui.QAction(MainWindow)
icon2 = QtGui.QIcon()
icon2.addPixmap(QtGui.QPixmap(_fromUtf8(":/dano/Exit.png")), QtGui.QIcon.Normal,
QtGui.QIcon.Off)
self.actionSalir.setIcon(icon2)
self.actionSalir.setObjectName(_fromUtf8("actionSalir"))
self.toolBar.addAction(self.actionGraficos)
self.toolBar.addSeparator()
self.toolBar.addSeparator()
self.toolBar.addAction(self.actionSalir)

self.retranslateUi(MainWindow)
QtCore.QObject.connect(self.dial, QtCore.SIGNAL(_fromUtf8("valueChanged(int)")),
self.lcdNumber.display)

```

```

    QtCore.QObject.connect(self.actionSalir, QtCore.SIGNAL(_fromUtf8("triggered()")),
MainWindow.close)
    QtCore.QObject.connect(self.btn_enviar, QtCore.SIGNAL(_fromUtf8("pressed()")),
MainWindow.showFullScreen)
    QtCore.QObject.connect(self.btn_info, QtCore.SIGNAL(_fromUtf8("pressed()")),
MainWindow.showMaximized)
    QtCore.QObject.connect(self.btn_parar, QtCore.SIGNAL(_fromUtf8("pressed()")), self.bar_nivel.reset)
    QtCore.QMetaObject.connectSlotsByName(MainWindow)

```

```
def retranslateUi(self, MainWindow):
```

```

    MainWindow.setWindowTitle(_translate("MainWindow", "Balneum Mariae", None))
    self.btn_enviar.setText(_translate("MainWindow", "INICIAR", None))
    self.label.setText(_translate("MainWindow", "Ingrese Temperatura", None))
    self.label_5.setText(_translate("MainWindow", "°C", None))
    self.label_2.setText(_translate("MainWindow", "Temperatura Actual:", None))
    self.label_4.setText(_translate("MainWindow", "°C", None))
    self.label_7.setText(_translate("MainWindow", "%", None))
    self.label_6.setText(_translate("MainWindow", "Uniformidad:", None))
    self.label_3.setText(_translate("MainWindow", "DATOS TIEMPO REAL", None))
    self.btn_parar.setText(_translate("MainWindow", "PARAR", None))
    self.btn_info.setText(_translate("MainWindow", "Información", None))
    self.label_8.setText(_translate("MainWindow", "Nivel:", None))
    self.toolBar.setWindowTitle(_translate("MainWindow", "toolBar", None))
    self.actionGraficos.setText(_translate("MainWindow", "Graficos", None))
    self.actionGraficos.setToolTip(_translate("MainWindow", "Visor Variables", None))
    self.actionSalir.setText(_translate("MainWindow", "Salir", None))
    self.actionSalir.setToolTip(_translate("MainWindow", "Salir del programa", None))

```

```
import iconos_rc
```

```
if __name__ == "__main__":
```

```

    import sys
    app = QtGui.QApplication(sys.argv)
    MainWindow = QtGui.QMainWindow()
    ui = Ui_MainWindow()
    ui.setupUi(MainWindow)
    MainWindow.show()
    sys.exit(app.exec_())

```

