



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

“DISEÑO, MODELACIÓN, SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA LA DUCHA ELÉCTRICA”

**AYALA ROJAS LUIS EDUARDO
DONOSO REAL ROLANDO BOLÍVAR**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

**RIOBAMBA – ECUADOR
2015**

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2014-10-22

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

ROLANDO BOLÍVAR DONOSO REAL

Titulada:

**“DISEÑO, MODELACIÓN, SIMULACIÓN E
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COTROL DE
TEMPERATURA PARA LA DUCHA ELÉCTRICA”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Jorge Lema
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Lenyn Aguirre
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2014-10-22

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

LUIS EDUARDO AYALA ROJAS

Titulada:

**“DISEÑO, MODELACIÓN, SIMULACIÓN E
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COTROL DE
TEMPERATURA PARA LA DUCHA ELÉCTRICA”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Jorge Lema
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Lenyn Aguirre
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ROLANDO BOLÍVAR DONOSO REAL

TÍTULO DE LA TESIS: **“DISEÑO, MODELACIÓN, SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA LA DUCHA ELÉCTRICA”**

Fecha de Examinación: 2015-08-07

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán Gallegos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Jorge Lema DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Lenyn Aguirre ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Santillán Gallegos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LUIS EDUARDO AYALA ROJAS

TÍTULO DE LA TESIS: **“DISEÑO, MODELACIÓN, SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA LA DUCHA ELÉCTRICA”**

Fecha de Examinación: 2015-08-07

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán Gallegos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Jorge Lema DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Lenyn Aguirre ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Santillán Gallegos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que se presenta, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Luis Eduardo Ayala Rojas

Rolando Bolívar Donoso Real

DEDICATORIA

En primer lugar al Divino niño Jesús por regalarme la vida y una familia maravillosa.

Con mucho cariño principalmente a mis Padres, esposa y a mi hermosa hija que me apoyaron incondicionalmente en cada momento, gracias por sus consejos que fortalecieron mi espíritu para cada día luchar por conseguir mis sueños. Les agradezco de todo corazón por darme una carrera para mi futuro y por confiar siempre en mí.

A mi hermana gracias por estar conmigo y apoyarme siempre.

Como una madre le he podido ver durante mi vida, gracias abuelita María por su sabiduría que influyeron en mí la madurez para cumplir los objetivos que me he propuesto, es para usted esta tesis en agradecimiento por su amor.

Luis Ayala Rojas

Primero a Dios y a la Virgen los cuales me conceden la dicha de vivir una vida tranquila y sin enfermedades para seguir cumpliendo mis sueños.

Con todo el respeto y el amor del mundo a mis padres los cuales me han inculcado buenos valores desde pequeño para poder saber que todo esfuerzo tiene su recompensa, por creer en mí y nunca quitarme su apoyo para poder realizar mis sueños

Rolando Bolívar Donoso

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Mecánica y de manera especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por permitirnos realizar nuestros estudios en esta noble institución y convertirnos en unos profesionales útiles para la sociedad.

De la misma manera mi gratitud al Ingeniero Jorge Lema y al Ingeniero Lenyn Aguirre por haber confiado en mi persona, por la paciencia y dirección en el proceso de elaboración de la tesis, pues estos recuerdos quedarán grabados de forma indeleble en mi corazón.

Luis Ayala Rojas

Un agradecimiento enorme a mis familiares por su apoyo y consejos, para enfrentar las diferentes etapas que la vida me ha presentado. Y a esas personas que me brindaron su amistad, su cariño a lo largo de la carrera.

Rolando Donoso Real

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos:</i>	2
1.4 Alcance.....	2
2. ESTADO DEL ARTE.....	3
2.1 Temperatura de confort.	3
2.2 Importancia del ahorro de agua y energía.	3
3. MARCO TEÓRICO.....	5
3.1 Descripción del funcionamiento del sistema hidráulico	5
3.2 Propuesta de soluciones del sistema.....	7
3.3 Sistemas de control	8
3.3.1 El control automático	8
3.3.1.1 <i>Sistemas de control de lazo abierto.</i>	9
3.3.1.2 <i>Sistema de control en lazo cerrado.</i>	9
3.4 Sistema on/off.....	10
3.5 Control PID (Control Proporcional Integral Derivativo)	10
4. MODELACIÓN MATEMÁTICA Y SIMULACIÓN.....	11
4.1 Análisis hidráulico	11
4.1.1 <i>Análisis del tanque presurizado</i>	11
4.1.2 <i>Datos generales de las instalaciones.</i>	13
4.1.3 <i>Modelación matemática del sistema físico hidráulico flujo permanente</i>	16
4.1.4 <i>Modelación matemática del sistema físico hidráulico flujo transitorio.</i>	19
4.1.5 <i>Modelación matemática considerando el flujo permanente y descarga</i>	24
4.1.6 <i>Modelación matemática considerando el flujo transitorio con descarga.</i>	32
4.2 Modelación térmico	40
4.2.1 <i>Análisis de la resistencia eléctrica</i>	42
4.3 Simulación.....	50
5. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL	54
5.1 Introducción.....	54
5.2 Diseño del sistema de control.....	54
5.2.1 <i>Diagrama del sistema de control</i>	56
5.3 Diseño hidráulico y mecánico	56
5.3.1 <i>Bomba y tanque</i>	57
5.3.2 <i>Llave de paso. Válvula de compuerta</i>	57
5.3.3 <i>Tubería. ½ pulgada PVC</i>	57
5.3.4 <i>Válvula motorizada</i>	57
5.4 Diseño eléctrico y electrónico	58
5.4.1 <i>Diseño eléctrico</i>	58
5.4.1.1 <i>Fuente de alimentación DC</i>	60
5.4.2 <i>Diseño electrónico</i>	64
5.4.2.1 <i>Controlador de temperatura.</i>	65
5.4.2.2 <i>Servomotor.</i>	66
5.4.2.3 <i>Sensor de presencia.</i>	67

5.4.3	<i>Circuito de control</i>	68
5.4.3.1	<i>Microcontrolador Atmega328</i>	70
5.4.3.2	<i>Software de desarrollo</i>	71
6.	EXPERIMENTACIÓN	73
6.1	<i>Interpretación de las gráficas</i>	79
7.	MANUAL DE OPERACIÓN Y PLAN DE MANTENIMIENTO	81
7.1	Introducción.....	81
7.2	Normas de seguridad	81
7.3	Recomendaciones a tener en cuenta antes de iniciar a utilizar el equipo	82
7.4	Suministro de energía eléctrica	83
7.5	Suministro de agua.....	83
7.6.	Conexiones del microcontrolado.....	83
7.7.	Puesta a punto del sistema de control de temperatura	84
7.8	Puesta en marcha del sistema de control de temperatura	85
7.9	Lista de fallas, causas y soluciones	86
7.10	Detector digital pasivo infrarrojo (PIR) con inmunidad a mascotas	87
7.10.1	<i>Instalación típica</i>	87
7.10.2	<i>Montaje del detector</i>	88
7.10.3	<i>Instalación del detector. Conexiones del bloque de terminales</i>	89
7.10.4	<i>Configuración del detector</i>	90
7.10.4.1	<i>Ajuste del alcance del sensor PIR ("SENS")</i>	91
7.10.4.2	<i>Requisitos de tamaño de los cables</i>	91
7.10.5	<i>Prueba de desplazamiento</i>	91
7.10.6	<i>Controlador de temperatura</i>	93
8.	ANÁLISIS DE COSTOS	98
8.1	Costos directos.....	98
8.1.1	<i>Análisis de costos del sistema de control</i>	98
8.2	Costos Indirectos.....	99
8.3	Costos Total del proyecto	100
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
9.2	Conclusiones.....	101
9.3	Recomendaciones.....	102

BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1. Propiedades del fluido (agua)	14
2. Propiedades del material	14
3. Propiedades de los accesorios	15
4. Valores de K a diferentes diferenciales de Presiones	15
5. Variaciones de altura	40
6. Propiedades del aire.....	44
7. Propiedades del plástico.....	46
8. Propiedades del agua.....	48
9. Valores de viscosidad.....	50
10. Características del relé de estado solido	59
11. Consumo en voltaje y corriente	61
12. Especificaciones servomotor Estándar Parallax	66
13. Especificaciones técnicas del sensor de presencia	67
14. Características microcontrolador Atmega328	70
15. Pines utilizados del Atmega328.....	71
16. Barra de herramientas de Arduino IDE	72
17. Características microcontrolador Atmega328	83
18. Lista de fallas, causas y soluciones	86
19. Tabla de costos del sistema de control de temperatura	98
20. Costos Indirectos.....	100
21. Costos Totales.....	100

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 Plano hidráulico de la instalación.....	6
2 Componentes básicos de un sistema de control.....	8
3 Sistema de lazo abierto.....	9
4 Sistema lazo cerrado.....	9
5 Grafica de un controlador on/off.....	10
6 Dimensiones tanque presurizado.....	11
7 Plano de instalación con accesorios.....	13
8 Ducha eléctrica.....	40
9 Resistencia eléctrica.....	42
10 Diagrama de bloque del sistema.....	50
11 Simulación en el Simulink.....	51
12 Grafica temperatura vs tiempo.....	52
13 Simulación en el Simulink.....	52
14 Temperatura vs tiempo - control proporcional.....	53
15 Diseño del sistema de control.....	55
16 Diagrama de bloques lazo cerrado.....	56
17 Diseño hidráulico y mecánico del sistema.....	57
18 Válvula motorizada.....	58
19 Conexión del SSR al controlador de temperatura.....	58
20 Curva de funcionamiento T vs A.....	59
21 Dimensiones del relé de estado solido.....	60
22 Elementos de una fuente de alimentación DC.....	60
23 Fuente de 12V y 5A.....	61
24 Principales componentes de un regulador de voltaje.....	62
25 Regulador de voltaje alta corriente.....	63
26 Diseño electrónico del sistema.....	64
27 Dimensiones del controlador de temperatura.....	65
28 Diagrama de conexión del controlador de temperatura.....	65
29 Ancho de pulso para Servomotor Parallax.....	67
30 Vista frontal circuito de control.....	68
31 Vista real circuito de control.....	68
32 Ruteo de la tarjeta de control.....	69
33 PCB a ser transferida.....	69
34 Sensor de presencia.....	87
35 Patrón de la lente.....	88
36 Instalación del soporte.....	89
37 Orificios troquelados.....	89
38 Bloque terminales.....	90
39 Diseño PCB.....	90

LISTA DE ANEXOS

- A** Modelo de encuesta
- B** Características técnicas de la ducha
- C** Programación del microcontrolador
- D** Grados de protección IP-¡Error! Marcador no definido.
- E** Elementos y equipos utilizados en el sistema

LISTA DE SÍMBOLOS

V_T = Volumen del tanque de presión [m^3]

D_T = Diámetro del tanque de presión [m]

H = Altura del tanque de presión [m]

h_i = Nivel inicial del agua [m]

A_T = Área del tanque [m^2]

V_A = Volumen de agua [m^3]

V_{Aire} = Volumen de aire

T_a = Temperatura de agua [$^{\circ}C$]

ρ = Densidad [$\frac{kg}{m^3}$]

g = Gravedad [$\frac{m}{s^2}$]

μ = Viscosidad dinámica

γ = Viscosidad cinématica

ξ = Rugosidad

Q = Caudal [$\frac{m^3}{s}$]

D_{Tub} = Diámetro de tubería [m]

P_i = Presión inicial [Psi]

L_A = Longitud tubería A [m]

L_B = Longitud tubería B [m]

L_C = Longitud tubería C [m]

L_T = Longitud total de la tubería [m]

R_e = Reynolds

z = Elevación con respecto a la referencia [m]

v = Velocidad del flujo [$\frac{m}{s}$]

E_e = Energía que entra

E_s = Energía que sale

ΔE_t = Variación de energía térmica

E_{tr} = Energía de trasvase

T_a = Temperatura ambiente [$^{\circ}C$]

T_f = Temperatura agua fría [$^{\circ}C$]

T_t = Temperatura interna de la ducha [$^{\circ}C$]

T_c = Temperatura de agua caliente [$^{\circ}C$]

Q_e = Caudal entregado [$\frac{m^3}{s}$]

$Q_s =$ Caudal de salida [$\frac{m^3}{s}$]

$P_e =$ Potencia entregada [W]

$C_p =$ Calor específico [$\frac{kJ}{kg}$]

$U =$ Coeficiente global de transferencia de calor [$\frac{W}{m^2}$]

$R_{TH} =$ Resistencia térmica

$N_u =$ N° de Nusselt

$h_\infty =$ Coeficiente convectivo

$R_a =$ N° de Rayleigh

$\beta =$ N° de Biot

$P_r =$ N° Prandtl

$P =$ Potencia en watts [W]; energía potencial [N.m]

$V =$ Voltaje en voltios [V]; volumen [m^3]

$\Delta t =$ Intervalo de tiempo [s]

$C_p =$ Calor específico [$\frac{kJ}{kg}$]

$I =$ Intensidad de corriente en amperes [A]

$R =$ Resistencia eléctrica en ohmios [Ω]

$\rho =$ Resistividad del material [$\Omega \cdot m$]; densidad [$\frac{kg}{m^3}$]

$L =$ Longitud [m]

$Q =$ Calor expresado en calorías [Ca]

$q_x =$ Calor transferido en watts [W]

$q'' =$ Flujo de calor por convección por unidad de área [$\frac{W}{m^2}$]

$\frac{dT}{dx} =$ Gradiente de temperatura [$^{\circ}C/m$]

$K =$ Conductividad térmica [$\frac{W}{m^{\circ}C}$]

$T =$ Temperatura correspondiente a la superficie [$^{\circ}C$]

$A_s =$ Área de transferencia perpendicular a la dirección x [m^2]

$\sigma =$ Constante de Stefan Boltzman

$h =$ Coeficiente de convección

$R_{tot} =$ Resistencia térmica total [$\frac{1}{W}$]

LISTA DE ABREVIACIONES

PID	Proporcional Integral Derivativo
PI	Control Proporcional Integral
PD	Control Proporcional Derivativo
ASSE	Sociedad Americana del grupo de Ingeniería Sanitaria
INEC	Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos
RTD	Dispositivo Termo Resistivo
SSR	Relé de Estado Sólido
CONELC	Consejo Nacional de Electricidad
EERSA	Empresa Eléctrica Riobamba S.A.
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y Cultura
PIR	Pasivo Infrarrojo
GPM	Galones por Minuto
HP	Caballo de Potencia
PWM	Pulsos de Salida de Voltaje
VSL	Velocidad de Flujo en el Tanque

GLOSARIO

Energía eléctrica. Es la energía que se origina de la diferencia de potencial entre dos puntos, lo que forma una corriente eléctrica que fluye por un conductor localizado entre dichos puntos, con la finalidad de obtener trabajo.

Energía térmica. Es aquella energía liberada en forma de calor, pasa de un cuerpo más caliente a otro que posee una temperatura menor. Puede ser transformada tanto en energía eléctrica como en energía mecánica.

Efecto joule. Este límite asegura que la temperatura que pueden conseguir los cables no pueda producir un incendio. Una manera de asegurar que no supere el límite es utilizando un fusible: un dispositivo formado por un hilo de metal que va conectado en serie al circuito general de la instalación eléctrica.

Resistencia eléctrica. Es la oposición que tienen los electrones al desplazarse a través de un conductor, la unidad de medida de la resistencia en el Sistema Internacional es el ohmio Ω . Cualquier dispositivo conectado representa una resistencia u obstáculo para el paso de corriente eléctrica.

Señal de salida. Es la variable que se desea controlar (posición, velocidad, presión, temperatura, etc.). También se denomina variable controlada.

Error. Es la diferencia entre la señal de referencia y la señal de salida real.

Señal de control. Es la señal que produce el controlador para modificar la variable controlada de tal forma que se disminuya, o elimine, el error.

Señal análoga. Es una señal continua en el tiempo.

Señal digital. Es una señal que solo toma valores de 1 y 0. El PC sólo envía y/o recibe señales digitales.

Sensor. Es un dispositivo que convierte el valor de una magnitud física (presión, flujo, temperatura, etc.) en una señal eléctrica codificada ya sea en forma analógica o digital

RESUMEN

Con el presente trabajo se pretende ahorrar agua en las duchas eléctricas puesto que en un futuro tendrán una gran demanda como un medio de calentamiento instantáneo debido a que en el país existe una política energética de ir eliminando el subsidio al gas (GLP), por lo que implicaría una menor utilización de calefones.

La forma de ahorro de agua se lo realiza con la implementación de un sistema de control automático de lazo cerrado cuyas variables físicas son temperatura y flujo, la razón de implementar este sistema de control es debido a que existe variación en la temperatura de agua ya sea por la modificación de la presión del sistema de la red hidráulica o por la evacuación del agua en inodoros y/o lavamanos.

Durante el desarrollo de este trabajo se ha analizado tres alternativas de funcionamiento del sistema de control; una de ellas es fijando la apertura de la válvula de control manual y que el controlador ordene la activación de la fuente de calor en lapsos de tiempo, la otra alternativa es manteniendo el 100% de funcionamiento de la resistencia eléctrica y la variación de apertura de la válvula de control ordenada por un microcontrolador y finalmente la alternativa que combine los dos sistemas anteriores.

A través de la modelación matemática del sistema físico termo hidráulico correspondiente a la ducha eléctrica y la simulación respectiva en el programa Simulink se verificó que la respuesta de la temperatura de agua a la salida de la regadera es similar a la obtenida experimentalmente. Además se elaboran curvas de comportamiento de la temperatura del agua con diferentes acciones de control como el ON –OFF y acción proporcional.

Finalmente con las alternativas propuestas se obtuvo que el flujo de agua necesaria para mantener una temperatura constante de 35°C es de 2,2 LTM, este valor de caudal permite un ahorro de volumen de agua de aproximadamente 30 por ciento.

ABSTRACT

With the present work is pretended to save water in the electric showers since a near future will have a big demand as a means of instant heating due to in the country exists an energetic policy to eliminate gradually the subsidy to gas (GLP) , for which would involve a less usage of water-heaters.

The form of water saving is made with the implementing of an automatic control system of closed loops whose physical variables are temperature and flow, the reason is implementing this control system is due to that a variation exists in the water temperature in regardless of the pressure modification of the hydraulic network or for the evacuation of water in toilets and/or washbasins.

During the development of this work has been analyzed three alternatives of functioning of the control system; one of them is fixing the opening of the valve of the manual control and that the controller orders the activation of the heat source in periods of time, the other alternative is keeping the 100% of functioning of the electric resistance and the variation of opening of the control valve ordinated by a micro-controller and finally alternative that combined both previous systems.

Through the mathematic modeling of the thermo-hydraulic physical system corresponding to the electric shower and the according simulation in the program Simulink was verified that the answer of water temperature to the outlet to the shower is similar to the obtained experimentally. Furthermore, the behavior curves of the water temperature were elaborated with different actions of control such as: ON-OFF and the proportional action.

Finally with the proposed alternatives were obtained that the necessary water flow to maintain a constant temperature of 35 ° C is of 2.2 LTM, this value of flow rate permits a saving of water volume of approximately 30%.

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN.

1.1 Antecedentes

En la actualidad, el Gobierno Nacional está impulsando el desarrollo de energía eléctrica a través de grandes centrales hidroeléctricas con el propósito de ir disminuyendo el consumo de gas, el mismo que es utilizado entre otras aplicaciones para el calentamiento de agua para el baño respectivo de las personas.

Con esta medida se logrará que existan más usuarios que adquieran duchas eléctricas para el calentamiento de agua que hasta la fecha según datos del Ministerio de Electricidad en el año 2011 existen en el país alrededor de 1800000 duchas.

También es conocido que el flujo de agua que pasa a través de las duchas no es constante por cuanto el nivel del líquido de los reservorios cambian con el tiempo ; sean estos con sistemas de bombeo presurizado o con sistema de tanque elevado y debido a esta variación de flujo hace que el usuario manipule la válvula reguladora de flujo que está instalada en cada ambiente (baño) pero previamente esta persona se retira de su posición normal de duchada incidiendo esto en un desperdicio de agua que según mediciones preliminares previas a desarrollar este proyecto son de 2 a 3 litros hasta obtener la temperatura de confort que es comprendida entre 30 a 40 grados centígrados.

Ante este problema de desperdicio de agua el presente trabajo busca desarrollar un sistema de control de temperatura en donde la variable a manipular sea el flujo de agua o la variación del tiempo de encendido de la resistencia eléctrica.

1.2 Justificación

En los últimos años el gobierno ha desarrollado programas que eviten la destrucción del medio ambiente basados en la no contaminación ambiental entonces una de las causas es el uso del GLP que se utiliza para los calefones entonces la utilización de duchas eléctricas sería lo más aconsejable para el medio ambiente.

El gobierno piensa en la economía del país por lo tanto uno de los parámetros para mejorar la misma es la eliminación del subsidio al GLP por lo tanto las personas van a preferir lo más económico para satisfacer sus necesidades que en nuestro caso sería la utilización de la energía eléctrica reemplazando calefones por duchas eléctricas.

La utilización del GLP para el calentamiento de las duchas es peligroso por lo tanto si se puede reemplazar este sistema con la ducha eléctrica da más seguridad al beneficiario, se podrá obtener un ahorro de agua puesto que el sistema regulará la temperatura sin necesidad de manipular el mismo, lo cual permitirá una temperatura constante para un mejor confort del usuario y evitar el desperdicio de agua y también podrán hacer uso de este sistema las personas con discapacidades físicas.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Diseñar, modelar simular e implementar un sistema de control de temperatura para la ducha eléctrica domiciliaria.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Establecer los parámetros del sistema de acuerdo a los requerimientos necesarios y suficientes para el desarrollo del tema.

Estudio del arte de los modelos matemáticos de la ducha eléctrica.

Desarrollar un modelo matemático de la ducha eléctrica (Térmico e Hidráulico) y realizar la simulación.

Desarrollar e implementar un sistema de control de lazo cerrado de temperatura (analizando parámetros principales como son la regulación del caudal y la resistencia eléctrica).

1.4 Alcance

Se pretende buscar mediante una investigación la utilización de un sistema de control de temperatura para la ducha eléctrica domiciliaria para el calentamiento de agua, puesto que a futuro el consumo de duchas eléctricas será mayor que la de calefones por cuanto el subsidio del gas será eliminado a través del gobierno ecuatoriano.

CAPÍTULO II

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Temperatura de confort.

ENERGY STAR publica en su página web lo siguiente; un valor de temperatura agradable para ducharse es aproximadamente de 38 a 42 °C y manifiesta que el agua caliente sea de uso exclusivo para este fin y de esta manera lograr una eficiencia energética en los domicilios. (ENERGY STAR, 2013).

Se realizó un modelo de encuesta básica a los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Mecánica en la ciudad de Riobamba en la cual una de las preguntas formuladas fue ¿Cuál es la temperatura de confort a la cual usted se ducha?

El resultado promedio obtenido de los estudiantes es que se duchan a una temperatura promedio de 35°C ver ANEXO A

2.2 Importancia del ahorro de agua y energía.

La UNESCO a través de sus publicaciones señala que es importante el ahorro de agua en el mundo ya que a futuro existirán conflictos por este recurso de suma importancia para la humanidad y sugiere que exista una disminución gradual y sostenida de este recurso.

En general la población que se encuentra en las ciudades, no es consciente de la gravedad de los temas del agua, conoce los acontecimientos que son noticia, tal como las inundaciones y sequias, pero cuantas personas ajenas al sector tienen alguna idea de los principales problemas vinculados al agua o de qué forma nos puede afectar en los próximos veinte a treinta años.

En la actualidad, mucha gente parece convencida de la urgencia de hacer algo sobre los problemas del cambio climático. (UNESCO, 2010)

Debido a la importancia que tiene el ahorro de agua y energía existen universidades y organizaciones internacionales que han desarrollado proyectos de investigación

Con este propósito, llegando incluso a investigar los cabezales de la regadera como elemento esencial. Dentro de los parámetros de importancia que tienen que ver con la satisfacción y confort al ducharse una persona son presión, temperatura, caudal del agua, así como también la fuerza de impacto sobre la piel.

En todo cuarto de baño existen instalaciones del inodoro y lavamanos que al ser actuados modifican el normal flujo de agua que va a la regadera y como consecuencia de este se produce una variación de la temperatura durante el tiempo de duchado, para citar varios ejemplos se puede mencionar a Liverpool John Moores University quienes aseguran que manejan caudales de duchado de aproximadamente 8,4 LTM.

Debido a la importancia que tiene el ahorro de agua y energía ha provocado que se formen organizaciones vinculantes al tema como ejemplo se puede citar a la ASSE, Sociedad Americana del grupo de Ingeniería sanitaria.

En nuestro país a través de la universidad de Cuenca se realizar estudios sobre el consumo de agua donde se menciona que el consumo de energía eléctrica según las encuestas se ha obtenido los siguientes datos: potencia promedio de la ducha eléctrica 3000W, número de integrantes de la familia 4 personas, tiempo estimado de baño 10 min, con estos datos se tiene que la energía eléctrica (E.E) consumida por familia para calentamiento de agua es de 2kWh/día.

Con la implementación del sistema en el 70% de clientes con consumo eléctrico para calentamiento de agua, se tendría una reducción diaria de 34,80 MWh/día, siendo 27,79 MWh/día, en las horas de máximo consumo de mañana y 7,00 MWh/día en la noche. (CELEC, 2012).

Estudios realizados en la tesis "MONITORIZACIÓN, ANÁLISIS Y DIFUSIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO ELÉCTRICO DE MODELO DE VIVIENDA SE SECTOR RESIDENCIAL DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA" en la ESPOCH mencionan algunos datos como el tiempo de duchado que es igual a 10 minutos por persona utilizando la ducha 31 minutos diarios haciendo referencia a 3 personas en el hogar con un consumo eléctrico diario de 1,656 kWh lo que significa que mensualmente se consume 49,68 kWh

CAPÍTULO III

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Descripción del funcionamiento del sistema hidráulico

El sistema hidráulico se encuentra instalado en un domicilio el cual cumple con las condiciones de ser un domicilio estándar de acuerdo a información proporcionada por el censo del año 2010, posee dos plantas de construcción y un sistema hidráulico con tanque presurizado (INEC, 2010).

El sistema hidráulico para el estudio a realizarse empieza con la toma del agua de la red a un tanque de almacenamiento de 1000 litros de este se desprende una tubería de 1 pulgada la cual sirve como tubería de succión a la bomba de $\frac{1}{2}$ HP la cual va a proporcionar agua y presión al tanque presurizado por medio de una tubería de 1 pulgada , para poder controlar la presión en el tanque se encuentra instalado un presostato y un manómetro el cual esta calibrado a una presión de apagado de 52 Psi y a una presión de encendido de 40 Psi.

El tanque presurizado según su diseño tiene una capacidad de almacenamiento de 30 galones, de este se desprende una tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada la cual va a ser constante para toda la distribución hidráulica.

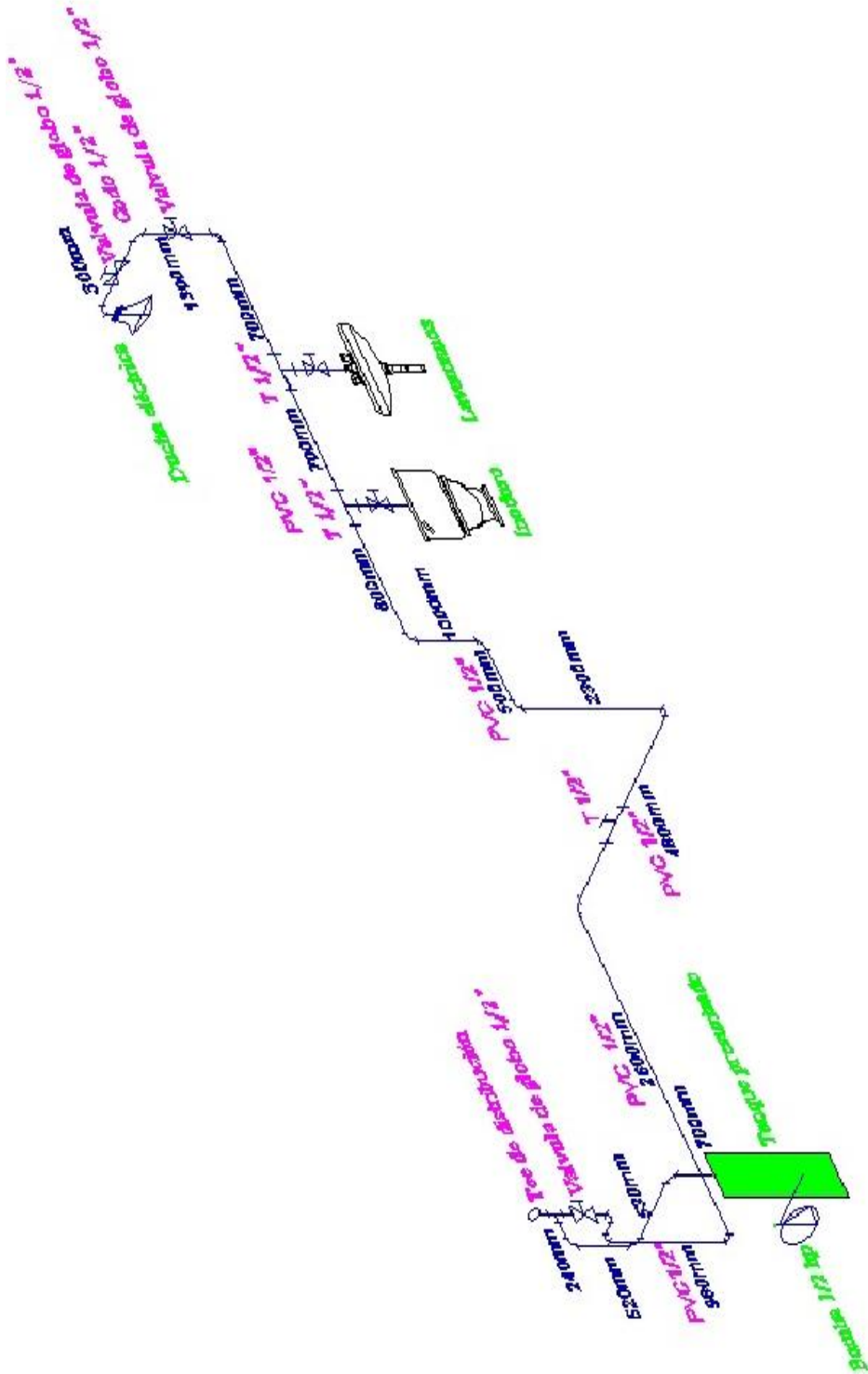
Para poder llegar la tubería hasta la regadera tiene varios metros de instalación en los cuales estarán instalados otros accesorios como codos, válvulas, tes , uniones, etc.

La ducha eléctrica instalada en el sistema tiene los siguientes datos técnicos (ver anexo A).

- Caudal de 4 lt/min
- Potencia eléctrica de 5500 W
- Amperaje 75 A

Diagrama de la instalación

Figura 1. Plano hidráulico de la instalación



Fuente Autores

3.2 Propuesta de soluciones del sistema

Para poder mantener la temperatura constante y que no exista mucho desperdicio de caudal provocado por variaciones de la presión o desfogue de líquido en la regadera se propone las siguientes alternativas:

- **Manipulación del servo con flujo eléctrico constante:**

En este caso se toma en cuenta lo que las personas hacen a diario el rato de ducharse lo cual consiste en regular el caudal en la regadera a través de una válvula para obtener una temperatura de confort, si en medio de su baño hay una pérdida de caudal la persona procede a abrir la válvula para retomar la temperatura mencionada caso contrario si existe una ganancia de caudal la persona procede a cerrar la válvula hasta llegar a la misma temperatura.

En este parámetro se pierde un promedio alrededor de 2 a 3 litros mencionado anteriormente. Para evitar que la persona manipule la válvula se propone que este trabajo lo realice un mecanismo el cual estará conformado con un servomotor y un sensor de caudal el cual le manda una señal al servomotor y este a su vez regulará el caudal si hay ganancia o pérdida del mismo

- **Flujo de la válvula constante con porcentaje de resistencia eléctrica**

En este caso se analiza la resistencia eléctrica que es uno de los parámetros que calienta el agua. La propuesta es de dar continuidad de corriente a la misma mediante un controlador de temperatura y un relé los cuales al detectar una temperatura que sobrepase la temperatura de confort van a neutralizar la corriente en la resistencia la misma que procederá a apagarse caso contrario al detectar una temperatura por debajo de la temperatura de confort van a dar paso a la corriente eléctrica en la resistencia la misma que tenderá a prenderse. (en pulsos)

- **Manipulación del servo y con porcentaje de resistencia eléctrica**

En este caso se da como propuesta combinar los dos casos anteriores mediante los instrumentos antes mencionados con lo cual se podría lograr controlar los parámetros tanto caudal y temperatura para ver qué resultados se pueden obtener tomando en

cuenta a una persona discapacitada con amputación de sus brazos, el sistema será automático por lo cual en todos los casos constará de un sensor de presencia el cual va a encender el sistema sin necesidad de manipular ninguna acción.

3.3 Sistemas de control

Un sistema de control es el conjunto de elementos que actúan juntos para lograr un objetivo de control, su finalidad es conseguir mediante la manipulación de las variables de control un dominio sobre las variables de salida de manera que estas alcancen los valores de referencia.

Figura 2.Componentes básicos de un sistema de control



Fuente: (Kuo, 1996)

3.3.1 El Control Automático. Es un proceso mediante el cual se busca pretende mantener en funcionamiento un sistema dentro de parámetros establecidos sin participación del operario.

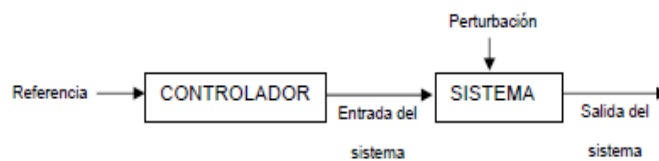
El control automático le permite a un sistema alcanzar una señal de salida conforme a lo establecido en las entradas sin la participación de un factor externo que modifique los errores.

En esta clase de control el operario fija un valor predeterminado el cual es comparado con la salida del sistema mientras que un actuador rectifica el error existente entre las dos señales, todo esto sin participación del operario en el proceso.

Los sistemas de control se clasifican de acuerdo a la acción de control, que es la que activa el sistema para producir la salida, éstos son:

3.3.1.1 *Sistemas de Control de Lazo Abierto.* Aquellos en los que la acción de control es independiente de la variable de salida, es decir que la variable controlada no tiene efecto sobre la variable de control. La acción de control se calcula con previo conociendo la dinámica del sistema, los valores de referencia y estimando las perturbaciones. La precisión de un sistema de lazo abierto depende de la calibración del elemento de control y de la ausencia de alteraciones externas ya que ante la presencia de estas el sistema de control no realiza la tarea deseada.

Figura 3. Sistema de lazo abierto



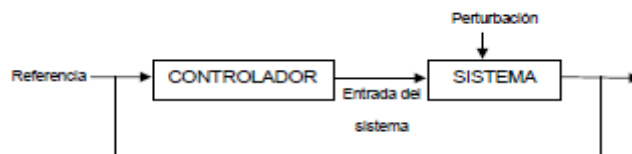
Fuente:(Kuo, 1996)

El control en lazo abierto por lo general se lo usa en dispositivos con control secuencial, donde no existe regulación de variables.

3.3.1.2 *Sistema de Control en Lazo Cerrado.* Llamado también sistema de control realimentado, son aquellos en los que la acción de control es de alguna manera dependiente de la salida, es decir, la variable controlada tiene un efecto directo sobre la variable de control.

La acción de control es calculada en función del error medido entre la variable controlada y el valor de referencia deseado. La ventaja de este sistema de control en lazo cerrado es que la realimentación hace que la respuesta del sistema sea insensible a perturbaciones externas y a las variaciones internas de los parámetros del sistema.

Figura 4. Sistema Lazo Cerrado



Fuente:(Kuo, 1996)

En la investigación se tomara este tipo de control puesto que se va realizar en un bucle de repeticiones sin la intervención de la mano del hombre.

3.4 Sistema on/off

También conocido como un controlador todo/nada, es muy utilizado en algunas industrias, es el más simple de implementar ya que es muy sencillo el control de un proceso, posee una señal de referencia o conocido como set point, el cual es la señal deseada del proceso. Este controlador posee comúnmente una banda diferencial o zona neutra dentro de la cual la salida se mantiene en su valor actual. La banda diferencial minimiza la frecuencia de oscilación de la salida pero aumenta la amplitud de la misma, por tal motivo el controlador todo/nada no es tan preciso.

Figura 5. Gráfica de un controlador on/off



Fuente: (www.dspace.espol.edu.ec/, 2010)

3.5 Control PID (Control Proporcional Integral Derivativo)

El control PID considera tres parámetros: el proporcional, integral y derivativo. El valor proporcional tiene relación con el error actual, el valor integral depende de errores pasados y el derivativo es una predicción de los errores futuros. En el caso de nuestra investigación existen datos preliminares los cuales indican que el mejor sistema de control es con proporcional por lo cual se hace referencia a dicho parámetro.

Acción Proporcional: (P) genera una señal proporcional al error instantáneo para tratar de corregir la salida: a más error, más señal de corrección cuanto más alta sea esta acción proporcional más rápidamente tienden a corregirse los errores pero mayores son los riesgos de inestabilidad en el sistema controlado.

CAPÍTULO IV

4. MODELACIÓN MATEMÁTICA Y SIMULACIÓN

4.1 Análisis hidráulico

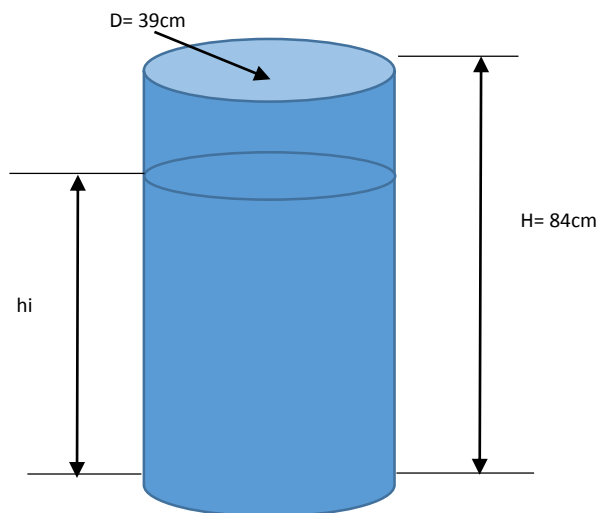
4.1.1 Análisis del tanque presurizado. El tanque presurizado que se muestra a continuación tiene las siguientes dimensiones mediante las cuales se procede a calcular la altura de agua así como la altura del aire debido a que estos datos son necesarios para remplazarlos en el modelo de flujo transitorio tomando en cuenta que la presión varía de acuerdo a la altura de los mismos.

Datos

$$D_T = 39\text{cm}$$

$$H = 84\text{cm}$$

Figura 6. Dimensiones tanque presurizado



Fuente: Autores

Con los datos obtenidos se procede a calcular el volumen del tanque

$$V_T = A_T H \quad (1)$$

$$V_T = \frac{\pi * D_T^2 * H}{4} \quad (2)$$

$$V_T = \frac{\pi * (39cm)^2 * (84cm)}{4}$$

$$V_T = 100345,61cm^3$$

Volumen de agua en el tanque:

Este dato se toma de forma experimental el cual tiene un valor de:

$$V_A = 87502,63 cm^3$$

Volumen del aire comprimido:

$$V_T = V_A + V_{Aire} \quad (3)$$

$$V_{Aire} = V_T - V_A$$

$$V_{Aire} = 100345,61cm^3 - 87502,63cm^3$$

$$V_{Aire} = 12842,98cm^3$$

Altura inicial:

$$V_A = \frac{\pi * D_T^2 * h_i}{4}$$

$$h_i = \frac{V_A * 4}{\pi * D_T^2}$$

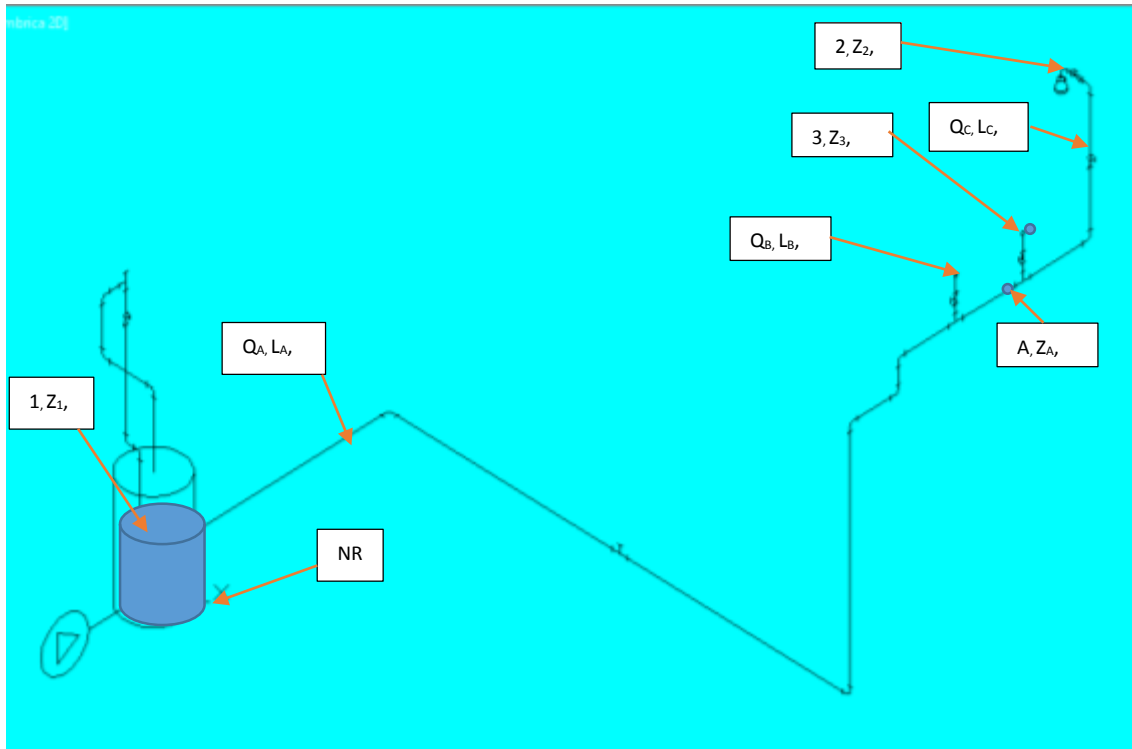
$$h_i = \frac{87502,63cm^3 * 4}{\pi * (39cm)^2}$$

$$h_i = 73,25cm$$

Plano de instalación:

En el siguiente plano se podrá observar todos los parámetros de los modelos matemáticos puesto que las ecuaciones están en base a las siguientes consideraciones

Figura 7.Plano de Instalación con accesorios



Fuente: Autores

4.1.2 *Datos generales de las instalaciones.* Los datos generales fueron tomados en el domicilio en el cual está instalado el sistema.

$$P_i = 52 \text{ Psi} = 358527,37 \text{ Pa}$$

$$D_{Tub} = 0,01m \text{ (material PVC)}$$

$$K = 1,3$$

$$L_A = 16,37 m$$

$$L_B = 0,54 m$$

$$L_C = 2,3 m$$

$$L_T = 18,67 m$$

Propiedades del fluido

El fluido es agua a una temperatura de 15 °C que es la de la temperatura ambiente con propiedades físicas

T= 15°C

$$\rho = 999,1 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu = 1,307 \times 10^{-3} \frac{Ns}{m^2}$$

$$Y = 1,139 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

Que se indican en la siguiente tabla

Tabla 1. Propiedades del fluido (agua)

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA							
Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m³)	Densidad (kg/m³)	Módulo de elasticidad (kN/m²)	Viscosidad dinámica (N·s/m²)	Viscosidad cinemática (m²/s)	Tensión superficial (N/m)	Presión de vapor (kN/m²)
0	9,805	999,8	1,98 · 10 ⁶	1,781 · 10 ⁻³	1,785 · 10 ⁻⁶	0,0765	0,61
5	9,807	1000,0	2,05 · 10 ⁶	1,518 · 10 ⁻³	1,519 · 10 ⁻⁶	0,0749	0,87
10	9,804	999,7	2,10 · 10 ⁶	1,307 · 10 ⁻³	1,306 · 10 ⁻⁶	0,0742	1,23
15	9,798	999,1	2,15 · 10 ⁶	1,139 · 10 ⁻³	1,139 · 10 ⁻⁶	0,0735	1,70
20	9,789	998,2	2,17 · 10 ⁶	1,102 · 10 ⁻³	1,003 · 10 ⁻⁶	0,0728	2,34
25	9,777	997,0	2,22 · 10 ⁶	0,890 · 10 ⁻³	0,893 · 10 ⁻⁶	0,0720	3,17
30	9,764	995,7	2,25 · 10 ⁶	0,708 · 10 ⁻³	0,800 · 10 ⁻⁶	0,0712	4,24
40	9,730	992,2	2,28 · 10 ⁶	0,653 · 10 ⁻³	0,658 · 10 ⁻⁶	0,0696	7,38
50	9,689	988,0	2,29 · 10 ⁶	0,547 · 10 ⁻³	0,553 · 10 ⁻⁶	0,0679	12,33
60	9,642	983,2	2,28 · 10 ⁶	0,466 · 10 ⁻³	0,474 · 10 ⁻⁶	0,0662	19,92
70	9,589	977,8	2,25 · 10 ⁶	0,404 · 10 ⁻³	0,413 · 10 ⁻⁶	0,0644	31,16

Fuente:(<http://www.miliarium.com/Paginas/Prontu/Tablas/Aguas/Propiedades>, 2010)

Para el análisis hidráulico se requiere disponer de datos de los coeficientes de pérdida por accesorios como se muestra a continuación en la tabla 4.2

Tabla 2. Propiedades del material

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	ε (mm)	Material	ε (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3-3,0

Fuente:(<http://www.miliarium.com/Prontuario/MedioAmbiente/Aguas/PerdidaCarga.asp>, 2012)

$$\xi = 0,0000015m$$

Tabla 3. Propiedades de los accesorios

Accesorios	L/D	Diámetro nominal (en pulgadas)												
		1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2-3	4	6	8-10	12-16	18-24	
Válv.de compuerta(abierta)	8	0.22	0.2	0.18	0.18	0.15	0.15	0.14	0.14	0.12	0.11	0.1	0.1	
Válv.de globo(abierta)	340	9.2	8.5	7.8	7.5	7.1	6.5	6.1	5.8	5.1	4.8	4.4	4.1	
Válv.de retención horizontal(check)	100	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	1.9	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	
Válv.de retención horizontal oscilatoria(check)	50	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.75	0.7	0.65	0.6	
Válv.de pie de disco(de huso)con colador	420	11.3	10.5	9.7	9.3	8.8	8.0	7.6	7.1	6.3	5.9	5.5	5.0	
Válv.de pie de disco con bisagra	75	2	1.9	1.7	1.7	1.7	1.4	1.4	1.3	1.1	1.1	1.0	0.9	
Codós estándar	90°	30	0.81	0.75	0.69	0.66	0.63	0.57	0.54	0.51	0.45	0.42	0.39	0.36
	45°	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
	90° radio largo	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
	180°	50	1.35	1.25	1.15	1.10	1.05	0.95	0.9	0.85	0.75	0.7	0.65	0.6
Curvas de 90°	20	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3	0.28	0.26	0.24	
T en línea (con derivación en la línea principal y lateral cerrada)	20	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3	0.28	0.26	0.24	
T en línea (con circulación por derivación)	60	1.62	1.5	1.38	1.32	1.26	1.14	1.08	1.02	0.9	0.84	0.78	0.72	

Fuente:(<http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/HIDRAULICA2013.pdf>, 2013)

Constante del codo

$$k_1 = 0,43$$

Válvula de compuerta totalmente abierta

$$k_v = 0,22$$

Constante T con derivación en la línea principal

$$k_2 = 0,54$$

Constante T con derivación a 90°

$$k_3 = 1,62$$

Tabla 4. Valores de K a diferentes diferenciales de Presiones

Diferencial de Presión	K
11	199,52
18	366,35
19	454,97
20	598,05
21	673,9
22	724,63
23	747,73
24	874,39

Fuente. Autores

Para el diseño se utilizan las siguientes constantes de pérdida dependiendo de su colocación en la red hidráulica.

$$K= 199,52$$

$$K=874,39$$

Las constantes del inodoro y de la ducha las encontramos en el libro de “Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones de Yunus. A Cengel” las mismas que toman los valores de:

$$\text{Constante del inodoro: } K= 14$$

$$\text{Constante de la ducha } K= 12$$

4.1.3 Modelación matemática del sistema físico hidráulico considerando que el flujo sea permanente. En la primera modelación se va a considerar que no existe variación de flujo ni de presión, tampoco se considera una descarga al inodoro por lo cual el caudal va a permanecer constante en la regadera.

Mediante la ecuación de Bernoulli se puede relajar un balance de energías tomando en consideración los puntos mencionados a continuación.

Balance de energía entre el punto 1 y el Punto 2:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + h_{r_{1-2}} \quad (4)$$

La velocidad 1 y la velocidad 2 se eliminan puesto que son las mismas, la presión 2 se elimina ya que es la presión atmosférica, en el cálculo se toma en cuenta las presiones manométricas.

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 = Z_2 + h_{r_{1-2}}$$

$$hr_{1-2} = \left(\lambda_A \frac{l_A}{d_A} + \epsilon Km_A \right) \frac{v_A^2}{2g} \quad (5)$$

Remplazando la ecuación 3.2 en la ecuación 3.1 se obtiene la velocidad en el punto A.

$$\frac{P_i}{\rho g} + Z_1 = Z_2 + \left(\lambda_A \frac{l_A}{D_{Tub}} + \epsilon Km_A \right) \frac{v_A^2}{2g}$$

$$\frac{P_i}{\rho g} + Z_1 - Z_2 = \left(\lambda_A \frac{l_A}{D_{Tub}} + \epsilon Km_A \right) \frac{v_A^2}{2g}$$

$$v_A = \sqrt{\frac{2g \left(\frac{P_i}{\rho g} + Z_1 - Z_2 \right)}{\left(\lambda_A \frac{l_A}{D_{tub}} + \epsilon km_A \right)}} \quad (6)$$

Solución:

Para poder resolver el sistema se debe proceder a realizar un método iterativo por lo cual se asume la velocidad A y se procede a calcular:

Primera iteración:

Asumir la velocidad A

$$v_A = 0,81 \frac{m}{s}$$

Calcular Reynolds

$$Re_A = \frac{\rho V_{A \text{ asumida}} D_{Tub}}{\mu} \quad (7)$$

$$Re_A = \frac{999,1 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \left(0,81 \frac{m}{s} \right) (0,01m)}{0,001307 \frac{kgms}{s^2m^2}}$$

$$Re_A = 6191,82$$

Calcular lambda A

Como Reynolds es mayor a 4000 se utiliza la ecuación de

$$\lambda_A = \left\{ -1.8 \log \left[\frac{6.9}{Re_A} + \left(\frac{\frac{\varepsilon}{D_{Tub}}}{3.7} \right)^{1.11} \right] \right\}^{-2} \quad (8)$$

$$\lambda_A = \left\{ -1.8 \log \left[\frac{6.9}{6191,82} + \left(\frac{\frac{0,0000015m}{0,01m}}{3.7} \right)^{1.11} \right] \right\}^{-2}$$

$$\lambda_A = 0,0347$$

Calcular velocidad A

$$v_A = \sqrt{\frac{2g \left(\frac{P_i}{\rho g} + Z_1 - Z_2 \right)}{\left(\lambda_A \frac{L_A}{D_{Tub}} + \epsilon k m_A \right)}}$$

$$\epsilon k m_A = 15 * 0,43 + 2 * 0,54 + 1 * 874,39 + 2 * 0,22 + 1 * 12 + 2 * 1,62$$

$$\epsilon k m_A = 897,6$$

$$v_A = \sqrt{\frac{2 \left(9,8 \frac{m}{s} \right) \left(\frac{358527,37 \frac{kg}{ms^2}}{\left(999,1 \frac{kg}{m^3} \right) \left(9,8 \frac{m}{s} \right)} + 0,7325m - 4,6m \right)}{\left((0,0347) \left(\frac{18,67m}{0,01m} \right) + 897,6 \right)}}$$

$$v_A = 0,81666 \frac{m}{s}$$

Segunda iteración:

Se obtiene el valor real de la velocidad A

$$v_A = 0,816 \frac{m}{s}$$

Cuando las velocidades v_A asumida es igual a v_A calculada entonces el sistema está resuelto por lo tanto se procede a encontrar el caudal.

Área de la tubería A

$$A_A = \frac{\pi * D_{Tub}^2}{4} \quad (9)$$

$$A_A = \frac{\pi * (0.01m)^2}{4}$$

$$A_A = 0,0000785m^2$$

Caudal A

$$Q_A = A_A * v_A \quad (10)$$

$$Q_A = 0,0000785m^2 * 0,816 \frac{m}{s}$$

$$Q_A = 6,4144 * 10^{-5} \frac{m^3}{s}$$

$$Q_A = 3,84 \frac{lits}{min}$$

4.1.4 *Modelación matemática del sistema físico hidráulico considerando que el flujo sea transitorio.* Para la segunda modelación no se va a tomar en cuenta la descarga al inodoro pero si se toma en cuenta la variación de altura del agua en el tanque presurizado por lo cual va a variar la presión y el caudal no va a permanecer constante en la regadera.

Puesto que la presión varía de acuerdo con la altura de nivel del agua e el tanque de presión se procede a calcula la misma.

$$\frac{P_1}{P_i} = \left(\frac{H-h_i}{H-h} \right)^k \quad (11)$$

Realizando un balance de energías se entre el punto 1 y 2 se obtiene

$$\frac{P_i}{\rho g} + \frac{v_{sl}^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{2g} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + hr_{1-2} \quad (12)$$

$$\frac{P_i}{\rho g} + \frac{v_{sl}^2}{2g} + Z_1 = Z_2 + hr_{1-2}$$

$$hr_{1-2} = \left(\lambda_A \frac{l_A}{d_A} + \epsilon Km_A \right) \frac{v_A^2}{2g} \quad (13)$$

Se toma en cuenta también que el caudal que se pierde en el tanque es igual al caudal que recorre la tubería.

$$Q_T = Q_{tub} \quad (14)$$

$$v_{SL} A_T = V_A A_{tub}$$

$$v_{SL} = \frac{A_{tub}}{A_t} v_A \quad (15)$$

Remplazando la ecuación 14 y la ecuación 15 en la ecuación 12

$$\frac{P_i}{\rho g} + \frac{\left(\frac{A_{tub}}{A_t} v_A \right)^2}{2g} + Z_1 = Z_2 + \left(\lambda_A \frac{l_A}{d_A} + \epsilon Km_A \right) \frac{v_A^2}{2g}$$

$$\frac{P_i}{\rho g} + \left(\frac{A_{tub}}{A_T} \right)^2 \frac{v_A^2}{2g} + Z_1 = Z_2 + \left(\lambda_A \frac{l_A}{d_A} + \epsilon Km_A \right) \frac{v_A^2}{2g}$$

$$\left(\frac{A_{tub}}{A_T} \right)^2 \frac{v_A^2}{2g} - \left(\lambda_A \frac{l_A}{d_A} + \epsilon Km_A \right) \frac{v_A^2}{2g} = Z_2 - \frac{P_i}{\rho g} - Z_1$$

$$\frac{v_A^2}{2g} \left[\left(\frac{A_{tub}}{A_T} \right)^2 - \left(\lambda_A \frac{l_A}{d_A} + \epsilon Km_A \right) \right] = Z_2 - \frac{P_i}{\rho g} - Z_1$$

$$v_A = \sqrt[2]{\frac{2g \left(-\frac{P_i}{\rho g} - Z_1 + Z_2 \right)}{\left[\left(\frac{A_{tub}}{A_T} \right)^2 - \left(\lambda_A \frac{l_A}{d_{Tub}} + \epsilon km_A \right) \right]}} \quad (16)$$

Solución:

Para poder resolver el sistema se procede a realizar un modo iterativo.

Primera iteración:

Como la presión varía de acuerdo a la altura del nivel del agua se procede a calcular la misma

$$\frac{P_1}{P_i} = \left(\frac{H - h_i}{H - h}\right)^k$$

$$P_1 = P_i \left(\frac{H - h_i}{H - h}\right)^k$$

$$P_1 = (358527,3791) \left(\frac{0,84 - 0,735}{0,84 - 0,735}\right)^{1,3}$$

$$P_1 = 358527,3791 \text{ Pa}$$

Se procede a asumir una velocidad a la cual va a ser comparada con la calculada para resolver el sistema.

Asumir la velocidad A

$$v_A = 0,816 \frac{m}{s}$$

Calcular Reynolds

$$Re_A = \frac{\rho V_{A \text{ asumida}} D_{Tub}}{\mu}$$
$$Re_A = \frac{999,1 \left(\frac{kg}{m^3}\right) (0,816 \frac{m}{s}) (0,01m)}{0,001307 \frac{kgms}{s^2m^2}}$$

$$Re_A = 6237,68$$

Calcular lambda A

Como Reynolds es superior a 4000 se utiliza la ecuación de

$$\lambda_A = \left\{ -1.8 \log \left[\frac{6.9}{Re_A} + \left(\frac{\frac{\varepsilon}{D_{Tub}}}{3.7} \right)^{1.11} \right] \right\}^{-2}$$

$$\lambda_A = \left\{ -1.8 \log \left[\frac{6.9}{6237,68} + \left(\frac{\frac{0,0000015m}{0,01m}}{3.7} \right)^{1.11} \right] \right\}^{-2}$$

$$\lambda_A = 0,0354$$

Calcular velocidad A

$$v_A = \sqrt{\frac{2g \left(-\frac{P_i}{\rho g} - Z_1 + Z_2 \right)}{\left[\left(\frac{A_A}{A_T} \right)^2 - \left(\lambda_A \frac{l_A}{D_{Tub}} + \epsilon k m_A \right) \right]}}$$

Área de la tubería A

$$A_A = 0,0000785m^2$$

Área del tanque:

$$A_T = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A_T = \frac{\pi * (0.39m)^2}{4}$$

$$A_T = 0,1194m^2$$

$$km_A = 15 * 0,43 + 2 * 0,54 + 1 * 874,39 + 2 * 0,22 + 1 * 12 + 2 * 1,62$$

$$\epsilon km_A = 897,6$$

$$v_A = \sqrt{\frac{2(9,8 \frac{m}{s}) \left(-\frac{358527,37 \frac{kg}{ms^2}}{(999,1 \frac{kg}{m^3})(9,8 \frac{m}{s})} - 0,7325m + 4,6m \right)}{\left(\frac{0,0000785m^2}{0,1194m^2} \right)^2 - ((0,0354) \left(\frac{18,67m}{0,01m} \right) + 897,6)}$$

$$v_A = 0,816 \frac{m}{s}$$

Cuando las velocidades v_A asumida es igual a v_A calculada entonces el sistema está resuelto por lo tanto

Calcular V_{sl}

La velocidad V_{sl} es la que va a tener el fluido al interior del tanque por lo que esta será menor en comparación a la velocidad en la tubería debido al diámetro de las mismas

$$v_{SL} = \frac{A_A}{A_T} v_A$$

$$v_{SL} = \frac{0,0000785m^2}{0,1194m^2} (0,81 \frac{m}{s})$$

$$v_{SL} = 0,00536 \frac{m}{s}$$

Se procede a calcular el caudal

Calcular el caudal A

$$Q_A = A_A * v_A$$

$$Q_A = 0,0000785m^2 * 0,816 \frac{m}{s}$$

$$Q_A = 6,409 * 10^{-5} \frac{m^3}{s}$$

$$Q_A = 3,845 \frac{lits}{min}$$

Por lo tanto en la siguiente tabla se va a mostrar los diferentes resultados para las diferentes variaciones de altura

Variación de altura	Presión	Velocidad en la tubería	Velocidad en el tanque	Caudal
H (m)	P (Pa)	V (m/s)	V _{sl} (m/s)	Q (lt/ min)
0,73	358527,47	0,81	0,00053	3,84
0,7	254323,79	0,68	0,00045	3,23
0,67	197592,22	0,58	0,00038	2,77
0,64	159961,12	0,51	0,00033	2,42
0,61	133385,08	0,45	0,00029	2,13

4.1.5 Modelación matemática del sistema físico hidráulico considerando que el flujo sea permanente y con descarga al inodoro. En el tercer análisis se toma en cuenta que la altura del agua permanece constante por lo cual la presión y el caudal serán constantes.

Balance de energía entre los puntos 1 y A

Se toma en cuenta para el punto uno el nivel de líquido de agua en el tanque mientras que el punto A esta relacionado en la desviación de la T en la cual el caudal se divide al inodoro y a la ducha.

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} - Hr_{1 \rightarrow A} = \frac{P_A}{\rho g} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} \quad (17)$$

$$Hr_{1 \rightarrow A} = \lambda_A \frac{L_A}{D_A} \frac{V_A^2}{2g} + \sum K_{m_A} \frac{V_A^2}{2g}$$

$$Hr_{1 \rightarrow A} = \left(\lambda_A \frac{L_A}{d_A} + \sum K_{m_A} \right) \frac{V_A^2}{2g} \quad (18)$$

$$\frac{P_A}{\rho g} = \frac{P_1}{\rho g} + Z_1 - \frac{V_A^2}{2g} - Z_A - Hr_{1 \rightarrow A}$$

Remplazando la ecuación 18 en la ecuación 17

$$\frac{P_A}{\rho g} = \frac{P_1}{\rho g} + (Z_1 - Z_A) - \frac{V_A^2}{2g} - \left(\lambda_A \frac{L_A}{d_A} + \sum K_{m_A} \right) \frac{V_A^2}{2g}$$

$$\frac{P_A}{\rho g} = \frac{P_1}{\rho g} + (Z_1 - Z_A) - \left[1 + \left(\lambda_A \frac{L_A}{d_A} + \sum K_{m_A} \right) \right] \frac{V_A^2}{2g} \quad (19)$$

Balance de energía entre los puntos A y 2

$$\frac{P_A}{\rho g} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} - Hr_{A \rightarrow 2} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\frac{P_A}{\rho g} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} = Hr_{A \rightarrow 2} + Z_2 \quad (20)$$

Balance de energía entre los puntos A y 3

$$\frac{P_A}{\rho g} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} - Hr_{A \rightarrow 3} = \frac{P_3}{\rho g} + Z_3 + \frac{V_3^2}{2g}$$

$$\frac{P_A}{\rho g} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} = Hr_{A \rightarrow 3} + Z_3 \quad (21)$$

Iguando las ecuaciones 20 y 21 se obtiene:

$$Hr_{A \rightarrow 2} + Z_2 = Hr_{A \rightarrow 3} + Z_3 \quad (22)$$

$$Hr_{A \rightarrow 2} = \left(\lambda_C \frac{L_C}{d_C} + \sum K_{m_C} \right) \frac{V_C^2}{2g} \quad (23)$$

$$Hr_{A \rightarrow 3} = \left(\lambda_B \frac{L_B}{d_B} + \sum K_{m_B} \right) \frac{V_B^2}{2g} \quad (24)$$

Remplazando la ecuación 23 y 24 en la ecuación 21 se obtiene

$$\left(\lambda_C \frac{L_C}{d_C} + \sum K_{m_C} \right) \frac{V_C^2}{2g} + Z_2 = \left(\lambda_B \frac{L_B}{d_B} + \sum K_{m_B} \right) \frac{V_B^2}{2g} + Z_3$$

$$\frac{V_C^2}{2g} = \frac{(Z_3 - Z_2) + \left(\lambda_B \frac{L_B}{d_B} + \sum K_{m_B} \right) \frac{V_B^2}{2g}}{\left(\lambda_C \frac{L_C}{d_C} + \sum K_{m_C} \right)}$$

$$V_C = \sqrt{\frac{\left\{ (Z_3 - Z_2) + \left(\lambda_B \frac{L_B}{d_B} + \sum K_{m_B} \right) \frac{V_B^2}{2g} \right\} 2g}{\left(\lambda_C \frac{L_C}{d_C} + \sum K_{m_C} \right)}} \quad (25)$$

Por la ecuación de continuidad

$$Q_A = Q_B + Q_C \quad (26)$$

También

$$\frac{P_A}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} + (Z_A - Z_3) = \left(\lambda_B \frac{L_B}{d_B} + \sum K_{m_B} \right) \frac{V_B^2}{2g}$$

Por lo tanto el valor de P_A

$$P_A = \rho g \left\{ \frac{P_1}{\rho g} + (Z_1 - Z_a) - [1 + \left(\lambda_A \frac{L_A}{d_A} + \sum K_{m_A} \right)] \frac{V_A^2}{2g} \right\}$$

La ecuación de la velocidad V_B

$$V_B = \sqrt{\frac{\left[\frac{P_A}{\rho g} + \frac{v_A^2}{2g} + (Z_A - Z_3) \right] 2g}{\left(\lambda_B \frac{L_B}{d_B} + \sum K_{m_B} \right)}} \quad (27)$$

Solución:

Para resolver el sistema se procede a realizar el método iterativo por medio del cual al final obtendremos el dato deseado

Primera iteración:

Se procede a asumir la velocidad B puesto que el conjunto de ecuaciones encontradas está en función de un orden lógico empezando por la misma.

Asumir la velocidad B

$$v_B = 2,9 \frac{m}{s}$$

Calcular Reynolds B

$$Re_B = \frac{\rho V_{B \text{ asumida}} d_B}{\mu}$$

$$Re_B = \frac{(998,2 \frac{kg}{m^3})(2,9 \frac{m}{s})(0,01m)}{0,001102 \frac{kg}{ms}}$$

$$Re_B = 26268,42$$

Calcular Ianda B

Puesto que Reynolds es mayor que 4000 se utiliza la fórmula de

$$\lambda_B = \left\{ -1.8 \log \left[\frac{6.9}{26268,42} + \left(\frac{0,0000015m}{\frac{0,01m}{3.7}} \right)^{1.11} \right] \right\}^{-2}$$

$$\lambda_B = 0,024$$

Calcular velocidad C

$$V_C = \sqrt{\frac{\left\{ (Z_3 - Z_2) + \left(\lambda_B \frac{L_B}{d_B} + \sum K_{m_B} \right) \frac{V_{B\text{asumida}}^2}{2g} \right\} 2g}{\left(\lambda_C \frac{L_C}{d_C} + \sum K_{m_C} \right)}}$$

$$\sum K_{m_B} = 0,9 * 1 + 0,9 * 1 + 14 * 1 + 2,1 * 1$$

$$\sum K_{m_B} = 17,9$$

$$\sum K_{m_C} = 0,9 * 1 + 0,9 * 3 + 12 * 1 + 366,35 * 1 + 2,1 * 1$$

$$\sum K_{m_C} = 384,05$$

Asumir landa C

Se procede a asumir landa c puesto que neta parte del ejercicio se debe realizar una doble iteración.

$$\lambda_C = 0,033$$

$$V_C = \sqrt{\frac{\left\{ (4m - 4,6m) + \left(0,024 \left(\frac{16,37m}{0,01m} \right) + 17,9 \right) \frac{\left(\frac{2,9m}{s} \right)^2}{2 \left(\frac{9,8m}{s^2} \right)} \right\} 2 \left(\frac{9,8m}{s^2} \right)}{\left((0,033) \frac{2,3m}{0,01m} + 384,05 \right)}}$$

$$v_c = 0,63 \frac{m}{s}$$

Calcular Reynolds C

$$Re_c = \frac{(998,2 \frac{kg}{m^3})(0,63 \frac{m}{s})(0,01m)}{0,001102 \frac{kg}{ms}}$$

$$Re_c = 5706,58$$

Calcular landa C

En tanto landa c asumido sea igual a landa c calculado se procede con el cálculo.

$$\lambda_c = \left\{ -1,8 \log \left[\frac{6,9}{5706,58} + \left(\frac{\frac{0,0000015m}{0,01m}}{3,7} \right)^{1,11} \right] \right\}^{-2}$$

$$\lambda_c = 0,36$$

Como landa C calculado es igual a landa C asumido entonces la velocidad c es la obtenida

Calcular velocidad A

$$Q_B + Q_C = Q_A$$

$$A_B * V_B + A_C * V_C = A_A * V_A$$

Como las áreas son las mismas se simplifican

$$V_B + V_C = V_A$$

$$2,9 \frac{m}{s} + 0,63 \frac{m}{s} = V_A$$

$$V_A = 3,53 \frac{m}{s}$$

Calcular Reynolds A

$$Re_A = \frac{(998,2 \frac{kg}{m^3})(3,53 \frac{m}{s})(0,01m)}{0,001102 \frac{kg}{ms}}$$

$$Re_A = 31975$$

Calcular landa A

$$\lambda_A = \left\{ -1,8 \log \left[\frac{6,9}{31975} + \left(\frac{0,0000015m}{\frac{0,01m}{3,7}} \right)^{1,11} \right] \right\}^{-2}$$

$$\lambda_A = 0,023$$

Calcular la presión en A

$$P_A = \rho g \left\{ \frac{P_1}{\rho g} + (Z_1 - Z_a) - \left[1 + \left(\lambda_A \frac{L_A}{d_A} + \sum K_{mA} \right) \right] \frac{V_A^2}{2g} \right\}$$

$$\sum K_{mA} = 0,9 * 3 + 0,9 * 12 + 2,1 * 1$$

$$\sum K_{mA} = 15,6$$

$$P_A = \left(998,2 \frac{kg}{m^3} \right) \left(9,8 \frac{m}{s} \right) \left\{ \frac{358527,37 Pa}{\left(998,2 \frac{kg}{m^3} \right) \left(9,8 \frac{m}{s} \right)} + (0,735m - 3,3m) \right. \\ \left. - \left[1 + \left(0,023 \frac{16,37m}{0,01m} + 15,6 \right) \right] \frac{\left(3,53 \frac{m}{s} \right)^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}} \right\}$$

$$P_A = 86987,6642 Pa$$

Calcular la velocidad B

$$V_{Bcalculada} = \sqrt{\frac{\left[\frac{P_A}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} + (Z_A - Z_3)\right] 2g}{\left(\lambda_B \frac{L_B}{d_B} + \sum K_{m_B}\right)}}$$

$$V_{Bcalculada} = \sqrt{\frac{\left[\frac{86987,6642 P_A}{998,2 \frac{kg}{m^3} (9,8 \frac{m}{s^2})} + \frac{(3,53 \frac{m}{s})^2}{2(9,8 \frac{m}{s^2})} + (3,3m - 4m)\right] 2(9,8 \frac{m}{s^2})}{\left(0,066 \frac{0,64m}{0,01m} + 17,9\right)}}$$

$$V_{Bcalculada} = 3 \frac{m}{s}$$

Como la velocidad asumida y la velocidad calculada son las mismas por lo tanto están correctas las respuestas.

Caudales:

$$Area = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$Area = 0,0000785m^2$$

Caudal A : $Q_A = V_A * A_A$

$$Q_A = 3,53 \frac{m}{s} * (0,0000785m^2)$$

$$Q_A = 0,00027 \frac{m^3}{s}$$

Caudal B : $Q_B = V_B * A_B$

$$Q_B = 3 \frac{m}{s} * (0,0000785m^2)$$

$$Q_B = 0,0002355 \frac{m^3}{s}$$

Caudal C : $Q_C = V_C * A_C$

$$Q_C = 0,63 \frac{m}{s} * (0,0000785m^2)$$

$$Q_C = 0,000049455 \frac{m^3}{s}$$

4.1.6 Modelación matemática del sistema físico hidráulico considerando que el flujo transitorio con descarga al inodoro. En el cuarto caso se toma en cuenta que la variación de altura del tanque va a provocar que tanto la presión como el caudal sean variables.

Balance de energía entre los puntos 1 y A

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{V_{SL}^2}{2g} - Hr_{1 \rightarrow A} = \frac{P_A}{\rho g} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} \quad (28)$$

$$Hr_{1 \rightarrow A} = \lambda_A \frac{L_A}{D_A} \frac{V_A^2}{2g} + \sum K_{m_A} \frac{V_A^2}{2g}$$

$$Hr_{1 \rightarrow A} = \left(\lambda_A \frac{L_A}{d_A} + \sum K_{m_A} \right) \frac{V_A^2}{2g} \quad (29)$$

$$\frac{P_A}{\rho g} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} = \frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{V_{SL}^2}{2g} - Hr_{1 \rightarrow A}$$

$$\frac{P_A}{\rho g} = -Z_A - \frac{V_A^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{V_{SL}^2}{2g} - Hr_{1 \rightarrow A} \quad (30)$$

Como el caudal en el tanque es igual al caudal en la tubería

$$Q_T = Q_A \quad (31)$$

$$A_T * v_{SL} = A_A * v_A$$

$$v_{SL} = \frac{A_A}{A_T} v_A \quad (32)$$

Remplazando la ecuación 32 y 30 en la ecuación 31 se obtiene

$$\frac{P_A}{\rho g} = -Z_A - \frac{V_A^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{\left(\frac{A_A}{A_T} v_A\right)^2}{2g} - \left(\lambda_A \frac{L_A}{d_A} + \sum K_{m_A} \right) \frac{V_A^2}{2g}$$

$$P_A = \rho g \left[\frac{P_1}{\rho g} + (Z_1 - Z_4) + \left(\left(\frac{A_A}{A_T} \right)^2 - \left(\lambda_A \frac{L_A}{d_A} + \sum K_{m_A} \right) - 1 \right) \frac{V_A^2}{2g} \right] \quad (33)$$

Balance de energía entre los puntos A y 2

$$\frac{P_A}{\rho g} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} - Hr_{A \rightarrow 2} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\frac{P_A}{\rho g} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} = Hr_{A \rightarrow 2} + Z_2 \quad (34)$$

Balance de energía entre los puntos A y 3

$$\frac{P_A}{\rho g} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} - Hr_{A \rightarrow 3} = \frac{P_3}{\rho g} + Z_3 + \frac{V_3^2}{2g}$$

$$\frac{P_A}{\rho g} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} = Hr_{A \rightarrow 3} + Z_3 \quad (35)$$

Iguando la ecuación 3.31 con la ecuación 3.32

$$Hr_{A \rightarrow 2} + Z_2 = Hr_{A \rightarrow 3} + Z_3$$

$$Hr_{A \rightarrow 2} = \left(\lambda_C \frac{L_C}{d_C} + \sum K_{m_C} \right) \frac{V_C^2}{2g}$$

$$Hr_{A \rightarrow 3} = \left(\lambda_B \frac{L_B}{d_B} + \sum K_{m_B} \right) \frac{V_B^2}{2g}$$

$$\left(\lambda_C \frac{L_C}{d_C} + \sum K_{m_C} \right) \frac{V_C^2}{2g} + Z_2 = \left(\lambda_B \frac{L_B}{d_B} + \sum K_{m_B} \right) \frac{V_B^2}{2g} + Z_3$$

$$\frac{V_C^2}{2g} = \frac{(Z_3 - Z_2) + \left(\lambda_B \frac{L_B}{d_B} + \sum K_{m_B} \right) \frac{V_B^2}{2g}}{\left(\lambda_C \frac{L_C}{d_C} + \sum K_{m_C} \right)}$$

Entonces

$$V_C = \sqrt{\frac{\left\{ (Z_3 - Z_2) + \left(\lambda_B \frac{L_B}{d_B} + \sum K_{mB} \right) \frac{V_B^2}{2g} \right\} 2g}{\left(\lambda_C \frac{L_C}{d_C} + \sum K_{mC} \right)}} \quad (36)$$

Por la ecuación de continuidad

$$Q_A = Q_B + Q_C \quad (37)$$

También

$$\frac{P_A}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} + (Z_A - Z_3) = \left(\lambda_B \frac{L_B}{d_B} + \sum K_{mB} \right) \frac{V_B^2}{2g}$$

$$V_B = \sqrt{\frac{\left[\frac{P_A}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} + (Z_A - Z_3) \right] 2g}{\left(\lambda_B \frac{L_B}{d_B} + \sum K_{mB} \right)}} \quad (38)$$

Solución:

Primera iteración:

Para poder dar solución al sistema se debe calcular como primer punto la presión a la cual se va a trabajar por lo tanto.

Expansión isotrópica de los gases:

$$\frac{P_1}{P_i} = \left(\frac{H - h_i}{H - h} \right)^k$$

$$P_1 = P_i \left(\frac{H - h_i}{H - h} \right)^k$$

$$P_1 = (358527,3791) \left(\frac{0,84 - 0,735}{0,84 - 0,735} \right)^{1,3}$$

$$P_1 = 358527,3791 \text{ Pa}$$

Asumir la velocidad B

Se procede con el modo iterativo asumiendo la velocidad b

$$v_B = 2,615 \frac{m}{s}$$

Calcular Reynolds B

$$Re_B = \frac{\rho V_{Basumida} D_{Tub}}{\mu}$$

$$Re_B = \frac{(999,1 \frac{kg}{m^3})(2,615 \frac{m}{s})(0,01m)}{0,001307 \frac{kg}{m \cdot s}}$$

$$Re_B = 19989,64$$

Calcular lambda B

$$\lambda_B = \left\{ -1.8 \log \left[\frac{6.9}{19989,64} + \left(\frac{0,0000015m}{0,01m} \right)^{1.11} \right] \right\}^{-2}$$

$$\lambda_B = 0,0259$$

Calcular velocidad C

$$V_C = \sqrt{\frac{\{(Z_3 - Z_2) + (\lambda_B \frac{L_B}{D_{Tub}} + \sum K_{m_B}) \frac{V_{Basumida}^2}{2g}\} 2g}{(\lambda_C \frac{L_C}{D_{Tub}} + \sum K_{m_C})}}$$

$$\sum K_{m_B} = 0,43 * 1 + 0,54 * 1 + 14 * 1 + 0,22 * 1$$

$$\sum K_{m_B} = 15,19$$

$$\sum K_{m_c} = 0,54 * 1 + 0,43 * 3 + 12 * 1 + 199,92 * 1 + 0,22 * 1$$

$$\sum K_{m_c} = 213,97$$

Asumir landa C

$$\lambda_c = 0,1136$$

$$V_c = \sqrt{\frac{\left\{ (4m - 4,6m) + \left(0,0259 \left(\frac{16,37m}{0,01m} \right) + 15,19 \right) \frac{\left(2,615 \frac{m}{s} \right)^2}{2 \left(9,8 \frac{m}{s^2} \right)} \right\} 2 \left(9,8 \frac{m}{s^2} \right)}{\left((0,1136) \frac{2,3m}{0,01m} + 213,97 \right)}}$$

$$v_c = 0,706 \frac{m}{s}$$

Calcular Reynolds C

$$Re_c = \frac{(999,1 \frac{kg}{m^3})(0,706 \frac{m}{s})(0,01m)}{0,001307 \frac{kg}{ms}}$$

$$Re_c = 5402,34$$

Calcular landa C

$$\lambda_c = \left\{ -1,8 \log \left[\frac{6,9}{5402,34} + \left(\frac{0,0000015m}{0,01m} \right)^{1,11} \right] \right\}^{-2}$$

$$\lambda_c = 0,1136$$

Como landa C calculado es igual a landa C asumido entonces la velocidad c es la obtenida.

Calcular velocidad A

$$Q_B + Q_C = Q_A$$

$$A_B * V_B + A_C * V_C = A_A * V_A$$

Como las áreas son las mismas se simplifican

$$V_B + V_C = V_A$$

$$2,615 \frac{m}{s} + 0,706 \frac{m}{s} = V_A$$

$$V_A = 3,32 \frac{m}{s}$$

Calcular Reynolds A

$$Re_A = \frac{(999,1 \frac{kg}{m^3})(3,32 \frac{m}{s})(0,01m)}{0,001307 \frac{kg}{ms}}$$

$$Re_A = 25391,99$$

Calcular landa A

$$\lambda_A = \left\{ -1,8 \log \left[\frac{6,9}{25391,99} + \left(\frac{0,0000015m}{\frac{0,01m}{3,7}} \right)^{1,11} \right] \right\}^{-2}$$

$$\lambda_A = 0,024$$

Calcular la presión en A

$$P_A = \rho g \left[\frac{P_1}{\rho g} + (Z_1 - Z_4) + \left(\left(\frac{A_A}{A_T} \right)^2 - \left(\lambda_A \frac{L_A}{d_A} + \sum K_{m_A} \right) - 1 \right) \frac{V_A^2}{2g} \right]$$

$$\sum K_{m_A} = 0,54 * 3 + 0,43 * 12 + 0,22 * 1$$

$$\sum K_{m_A} = 7$$

$$P_A = \left(999,1 \frac{kg}{m^3} \right) \left(9,8 \frac{m}{s} \right) \left\{ \frac{358527,37 P_a}{\left(999,1 \frac{kg}{m^3} \right) \left(9,8 \frac{m}{s} \right)} + (0,735m - 3,3m) \right. \\ \left. + \left[\left(\frac{0,0000785}{0,1194} \right)^2 - 1 - \left(0,024 \frac{16,37m}{0,01m} + 7 \right) \right] \frac{\left(3,32 \frac{m}{s} \right)^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}} \right\}$$

$$P_A = 61767,41 Pa$$

Calcular la velocidad B

$$V_{Bcalculada} = \sqrt{\frac{\left[\frac{P_A}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} + (Z_A - Z_3) \right] 2g}{\left(\lambda_B \frac{L_B}{D_{Tub}} + \sum K_{m_B} \right)}}$$

$$V_{Bcalculada} = \sqrt{\frac{\left[\frac{61767,41 P_a}{999,1 \frac{kg}{m^3} \left(9,8 \frac{m}{s^2} \right)} + \frac{\left(3,32 \frac{m}{s} \right)^2}{2 \left(9,8 \frac{m}{s^2} \right)} + (3,3m - 4m) \right] 2 \left(9,8 \frac{m}{s^2} \right)}{\left(0,0259 \frac{0,64m}{0,01m} + 15,19 \right)}}$$

$$V_{Bcalculada} = 2,61 \frac{m}{s}$$

Como la velocidad asumida y la velocidad calculada son las mismas por lo tanto están correctas las respuestas.

Caudales:

$$Area = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$Area = 0,0000785m^2$$

Caudal A:

$$Q_A = V_A * A_A$$

$$Q_A = 3,32 \frac{m}{s} * (0,0000785m^2)$$

$$Q_A = 0,0002609 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_A = 15,65 \frac{lits}{min}$$

Caudal B:

$$Q_B = V_B * A_B$$

$$Q_B = 2,615 \frac{m}{s} * (0,0000785m^2)$$

$$Q_B = 0,0002055 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_B = 12,32 \frac{lits}{min}$$

Caudal C:

$$Q_C = V_C * A_C$$

$$Q_C = 0,706 \frac{m}{s} * (0,0000785m^2)$$

$$Q_C = 0,0000555 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_C = 3,33 \frac{lits}{min}$$

Velocidad Vsl

$$v_{SL} = \frac{0,0000785}{0,1194} * 3,32$$

$$v_{SL} = 0,00218 \frac{m}{s}$$

Por lo tanto en la siguiente tabla se va a mostrar los diferentes resultados para las diferentes variaciones de altura

Tabla 5. Variaciones de altura

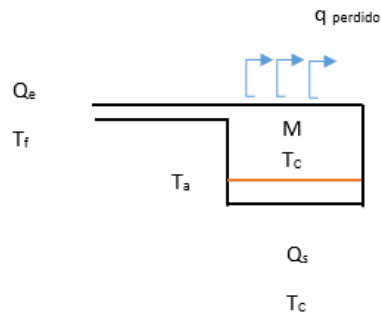
h (m)	P (Pa)	V _A (m/s)	V _B (m/s)	V _C (m/s)	V _{SL} (m/s)	Q _A (l/min)	Q _B (l/min)	Q _C (l/min)
0,73	358527,37	3,32	2,61	0,7	0,0021	15,67	12,32	3,33
0,7	259024,91	2,72	2,14	0,57	0,0017	12,83	10,1	2,73
0,67	207997,89	2,37	1,86	0,5	0,0015	11,14	8,77	2,37

Fuente Autores

4.2 Modelación térmico

Para poder realizar el análisis térmico se va a considerar que la ducha es un cilindro hueco por tanto.

Figura 8. Ducha eléctrica



Fuente: Autores

Balace de Energía

$$E_e = E_s + \Delta E_t + E_{trabase} \quad (38)$$

$$mC_p T_f + P_e = mC_p T_c + q_{perdido} + m_{H_2O} C_p \frac{dT}{dt}$$

$$Q_e = Q_s = Q$$

$$m = \rho Q$$

$$P_e = q_{entregado}$$

$$q_{perdido} = UA(T_t - T_a) \quad (39)$$

$$m_{H_2O} = M$$

$$q_{entregado} + \rho Q C_p T_f - \rho Q C_p T_c - UA(T_t - T_a) = MC_p \frac{dT}{dt}$$

$$\text{Considerando } T_f = T_a \wedge T_t = T_c$$

$$q_{entregado} + \rho Q C_p T_f - \rho Q C_p T_c - UA(T_c - T_f) = MC_p \frac{dT}{dt}$$

$$q_{entregado} + \rho Q C_p T_f - \rho Q C_p T_c - UA(T_c - T_f) = MC_p ST_c$$

$$UA = \frac{1}{R_{TH}}$$

$$q_{entregado} + \rho Q C_p T_f - \rho Q C_p T_c - \frac{T_c}{R_{TH}} + \frac{T_f}{R_{TH}} = MC_p ST_c$$

$$q_{entregado} + \rho Q C_p T_f + \frac{T_f}{R_{TH}} = MC_p ST_c + \rho Q C_p T_c + \frac{T_c}{R_{TH}}$$

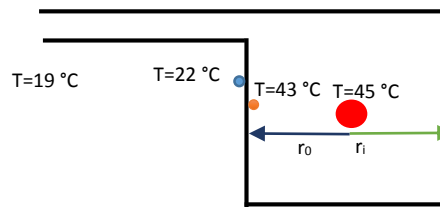
$$q_{entregado} + \left(\rho Q C_p + \frac{1}{R_{TH}}\right) T_f = \left(M C_p S + \rho Q C_p + \frac{1}{R_{TH}}\right) T_c$$

$$q_{entregado} = P_{elec} \Lambda \quad M C_p = C_{TH}$$

$$\frac{T_c}{P_{elec}} = \frac{1 + \frac{T_f}{P_{elec}} \left[\rho Q C_p + \frac{1}{R_{TH}}\right]}{\left[C_{TH} + \rho Q C_p + \frac{1}{R_{TH}}\right]}$$

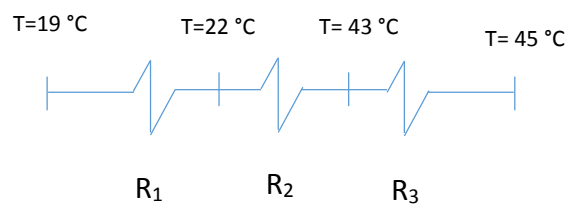
4.2.1 Análisis de la resistencia eléctrica. Las temperaturas presentadas a continuación fueron tomadas en el lugar de la instalación mediante un medidor de temperatura

Figura 9. Resistencia eléctrica



Fuente: Autores

Por lo tanto para el análisis de la resistencia térmica se procede a aplicar las leyes de la termodinámica



Datos preliminares:

$$r_o = 64mm$$

$$r_i = 65mm$$

$$l = 40mm$$

Calculo de la resistencia 1 por convección natural:

Se considera convección natural puesto que en medio ambiente no existe ninguna fuente de calor para variar la temperatura del mismo.

$$R_1 = \frac{1}{h_{\infty i} A_i} \quad (40)$$

$$A_i = 2\pi r_i l$$

$$A_i = 2\pi(0,065m)(0,04m)$$

$$A_i = 0,016m^2$$

$$N_u = \frac{h_{\infty} l_c}{K_{fluido}} \quad (41)$$

$$h_{\infty} = \frac{N_u K_{fluido}}{l_c}$$

$$N_u = C Ra^n \quad (42)$$

$$Ra = \frac{gB(T_s - T_{\infty})l^3}{\alpha \nu} \quad (34)$$

Temperaturas:

$$T_s = 22^{\circ}C = 295,15^{\circ}K$$

$$T_{\infty} = 19^{\circ}C = 292,15^{\circ}K$$

$$T_m = 20^{\circ}C = 293,15^{\circ}K$$

Datos del fluido a 20 °C:

Tabla 6. Propiedades del aire

T (°C)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^6$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
-150	2.867	0.982	8.64	3.013	11.71	4.157	0.7246
-100	2.039	0.965	11.90	5.835	15.82	8.034	0.7263
-90	1.927	0.975	12.49	6.482	16.62	8.842	0.7330
-80	1.828	0.983	13.07	7.153	17.42	9.692	0.7381
-70	1.738	0.990	13.64	7.850	18.22	10.59	0.7414
-60	1.656	0.995	14.20	8.572	19.01	11.53	0.7433
-50	1.582	0.999	14.74	9.317	19.79	12.52	0.7440
-40	1.514	1.002	15.27	10.08	20.57	13.56	0.7436
-30	1.452	1.004	15.79	10.88	21.34	14.65	0.7425
-20	1.394	1.005	16.30	11.69	22.11	15.78	0.7408
-10	1.341	1.006	16.80	12.52	22.88	16.96	0.7387
0	1.292	1.006	17.29	13.38	23.64	18.17	0.7362
5	1.269	1.006	17.54	13.82	24.01	18.80	0.7350
10	1.247	1.006	17.78	14.26	24.39	19.44	0.7336
15	1.225	1.007	18.02	14.71	24.76	20.08	0.7323
20	1.204	1.007	18.25	15.16	25.14	20.74	0.7309
25	1.184	1.007	18.49	15.61	25.51	21.40	0.7296
30	1.164	1.007	18.72	16.08	25.88	22.08	0.7282

Fuente: (<http://oa.upm.es/6935/1/amd-apuntes-transmision-calor.pdf>, 2013)

$$\rho = 1,204 \frac{kg}{m^3}$$

$$\nu = 15,16 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$K_{fluido} = 25,14 * 10^{-3} \frac{W}{m^{\circ}K}$$

$$\alpha = 20,74 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$B = \frac{1}{T_m} = 3,42^{\circ}K$$

Remplazando datos:

$$Ra = \frac{9,8 \frac{m}{s} \left(3,41 * 10^{-3} \frac{1}{^{\circ}K} \right) (295,15 - 292,15)^{\circ}K (0,04m)^3}{(20,74 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}) (15,16 * 10^{-6} \frac{m^2}{s})}$$

$$Ra = 20405,22$$

Por lo tanto:

$$C = 0,85 \quad \Lambda \quad n = \frac{1}{4}$$

$$Nu = 0,85(20405,22)^{\frac{1}{4}}$$

$$Nu = 10,15$$

$$h_{\infty} = \frac{10,15(25,14 * 10^{-3} \frac{W}{m^{\circ}K})}{0,04m}$$

$$h_{\infty} = 6,37 \frac{W}{m^2 \circ K}$$

$$R_1 = \frac{1}{\left(6,37 \frac{W}{m^2 \circ K}\right) (0,016m^2)}$$

$$R_1 = 9,81 \frac{\circ K}{W}$$

Calculo de la resistencia 2 por conducción:

Se lo realiza por conducción debido a que solo existe un material el cual va a conducir el calor a través de su espesor.

$$R_2 = \frac{\ln \frac{r_i}{r_o}}{2\pi k l} \quad (44)$$

Propiedades del material:

Tabla 7. Propiedades del plástico

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

<i>Propiedades Térmicas</i>	
Calor Específico (J K ⁻¹ kg ⁻¹)	1000-1500
Coeficiente de Expansión Térmica (x10⁻⁶ K⁻¹)	75-100
Conductividad Térmica a 23C (W m ⁻¹ K ⁻¹)	0,12-0,25
Temperatura Máxima de Utilización (C)	50-75
Temperatura Mínima de Utilización (C)	-30
Temperatura de Deflación en Caliente - 0.45MPa (C)	70
Temperatura de Deflación en Caliente - 1.8MPa (C)	67

Coeficiente de dilatación

Densidad	1,37 a 1,42 Kg/dm. ³
Coeficiente de dilatación lineal	0,000.060 a 0.000.080 m/°C/m.
Temperatura de ablandamiento	> 80 °C.
Módulo de elasticidad a 20° C	> 28.000 Kg./cm. ²
Tensión de rotura a tracción	> 500 Kg./cm. ²

Fuente:(<http://www.plasticbages.com/caracteristicaspvc.html>, 2013)

$$K = 0,25 \frac{W}{m^{\circ}K}$$

Remplazando datos:

$$R_2 = \frac{\ln \frac{0,065m}{0,064m}}{2\pi(0,25 \frac{W}{m^{\circ}K})(0,04m)}$$

$$R_2 = 2,46 \frac{^{\circ}K}{W}$$

Calculo de la resistencia 3 por convección forzada:

Se utiliza la convección forzada debido a que en este caso existe una fuente de calor que es la resistencia térmica la cual va a forzar a que el líquido se caliente.

$$R_3 = \frac{1}{h_{\infty 0} A_i} \quad (45)$$

$$A_0 = 2\pi r_0 l$$

$$A_0 = 2\pi(0,064m)(0,04m)$$

$$A_0 = 0,016m^2$$

$$N_u = \frac{h_{\infty 0} l_c}{K_{fluido}}$$

$$h_{\infty 0} = \frac{N_u K_{fluido}}{l_c}$$

$$N_u = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) (Re - 1000) Pr}{1 + 12,7 \left(\frac{f}{8}\right)^{\frac{1}{2}} (Pr^{\frac{2}{3}} - 1)}$$

$$f = (0,79 \ln(Re) - 1,64)^{-2}$$

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

Datos del fluido a 40 °C

Tabla 8. Propiedades del agua

T (°C)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^6$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	$\beta \cdot 10^3$ (1/K)	Pr
0.001	1005	4.213	1766	1.757	567.2	0.1339	-0.08021	13.12
5	1004	4.201	1506	1.500	574.8	0.1363	0.01135	11.00
10	1003	4.191	1300	1.297	583.0	0.1387	0.08744	9.348
15	1001	4.184	1135	1.134	591.4	0.1412	0.15230	8.033
20	999.5	4.180	1001	1.001	599.8	0.1436	0.20900	6.975
25	997.9	4.176	890.1	0.8920	608.0	0.1459	0.25940	6.114
30	996.2	4.175	797.6	0.8007	616.0	0.1481	0.3051	5.406
35	994.3	4.174	719.6	0.7238	623.6	0.1503	0.3470	4.817
40	992.4	4.174	653.3	0.6583	630.7	0.1523	0.3859	4.323
45	990.3	4.175	596.3	0.6022	637.4	0.1542	0.4225	3.906

Fuente:(<http://oa.upm.es/6935/1/amd-apuntes-transmision-calor.pdf>, 2013)

$$\rho = 992,4 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu = 653,3 * 10^{-6} \frac{kg}{ms}$$

$$Pr = 4,323$$

$$K = 630,7 * 10^{-3} \frac{W}{m^{\circ}K}$$

Remplazando datos

$$Q_{entra} = Q_{sale} \quad (46)$$

$$A_1 v_c = A_1 v_1$$

$$v_1 = \frac{\frac{\pi D_1^2}{4}}{\frac{\pi D_2^2}{4}} v_c$$

$$v_1 = \frac{\frac{\pi}{4} (0,01m)^2}{\frac{\pi}{4} (0,128)^2} (0,81 \frac{m}{s})$$

$$v_1 = 0,198 \frac{m}{s}$$

$$Re = \frac{992,4 \frac{kg}{m^3} (0,198 \frac{m}{s}) (0,128m)}{653,3 * 10^{-6} \frac{kg}{ms}}$$

$$Re = 38498,93$$

$$f = (0,79 \ln(38498,93) - 1,64)^{-2}$$

$$f = 0,022$$

$$N_U = \frac{(\frac{0,022}{8})(38498,93 - 1000)(4,323)}{1 + 12,7 \left(\frac{0,022}{8}\right)^{\frac{1}{2}} (4,323^{\frac{2}{3}} - 1)}$$

$$N_U = 320,85$$

$$h_{\infty} = \frac{320,85 \left(630,7 * 10^{-3} \frac{W}{m^2K}\right)}{0,04m}$$

$$h_{\infty} = 5059 \frac{W}{m^2K}$$

$$R_3 = \frac{1}{5059 \frac{W}{m^2K} (0,016m^2)}$$

$$R_3 = 0,012 \frac{K}{W}$$

Encontradas las tres resistencias térmicas se realiza el cálculo de la resistencia equivalente.

$$R_{TH} = R_1 + R_2 + R_3 \tag{47}$$

$$R_{TH} = 9,81 \frac{K}{W} + 2,46 \frac{K}{W} + 0,012 \frac{K}{W}$$

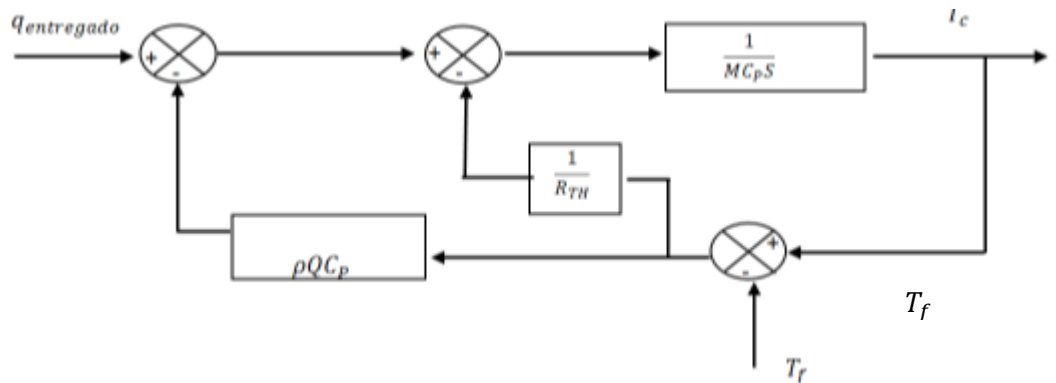
$$R_{TH} = 12,282 \frac{K}{W}$$

4.3 Simulación

El diagrama de bloque está desarrollado a partir de la ecuación de balance de energía en el sistema por lo tanto:

$$q_{entregado} + \rho Q C_p (T_f - T_c) - \frac{(T_c - T_f)}{R_{TH}} = M C_p S T_c$$

Figura 10. Diagrama de bloque del sistema



Fuente: Autores

En el primer caso del análisis se procede a realizar el mismo sin tomar en cuenta el controlador de temperatura el controlador por lo tanto se procede a encontrar los parámetros en la siguiente tabla a 35°C.

Tabla 9. Valores de viscosidad

T (°C)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^6$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	$\beta \cdot 10^3$ (1/K)	Pr
0.001	1005	4.213	1766	1.757	567.2	0.1339	-0.08021	13.12
5	1004	4.201	1506	1.500	574.8	0.1363	0.01135	11.00
10	1003	4.191	1300	1.297	583.0	0.1387	0.08744	9.348
15	1001	4.184	1135	1.134	591.4	0.1412	0.15230	8.033
20	999.5	4.180	1001	1.001	599.8	0.1436	0.20900	6.975
25	997.9	4.176	890.1	0.8920	608.0	0.1459	0.25940	6.114
30	996.2	4.175	797.6	0.8007	616.0	0.1481	0.3051	5.406
35	994.3	4.174	719.6	0.7238	623.6	0.1503	0.3470	4.817
40	992.4	4.174	653.3	0.6583	630.7	0.1523	0.3859	4.323
45	990.3	4.175	596.3	0.6022	637.4	0.1542	0.4225	3.906

Fuente: (<http://oa.upm.es/6935/1/amd-apuntes-transmision-calor.pdf>, 2012)

Por lo tanto:

$$\rho = 994,3 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_p = 4,174 \frac{KJ}{kg^{\circ}K}$$

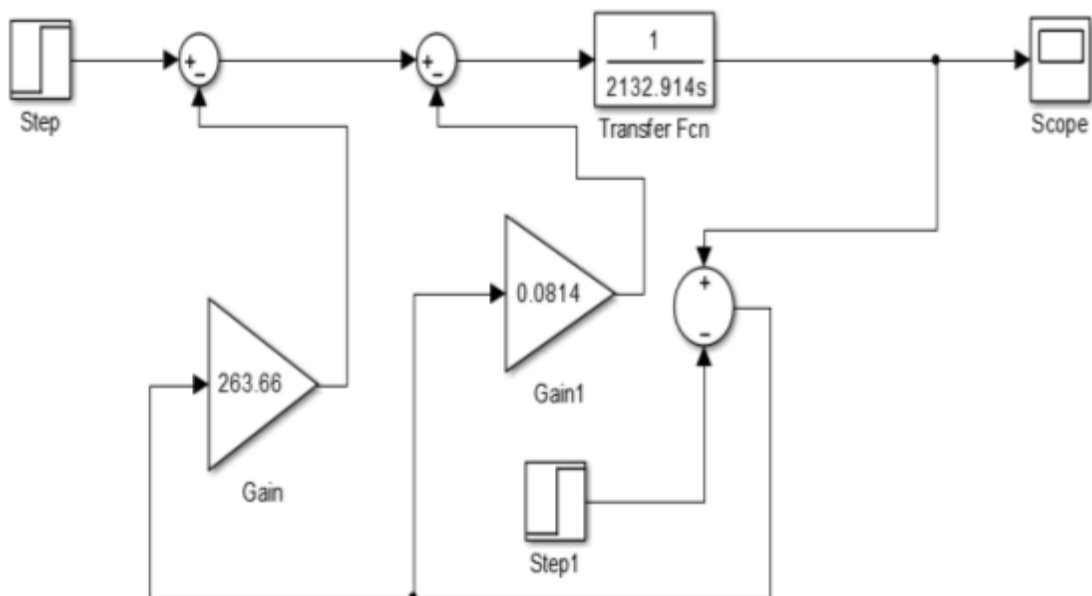
El parámetro M o masa acumulada se lo obtiene de manera experimental llenando la ducha luego se la vacía en un recipiente y se procede a medir su volumen el cual es igual a

$$M = 0,11Kg$$

El caudal utilizado es el caudal practico que es igual a $2,22 \frac{lit}{min}$

Entonces con los parámetros encontrados se procede a abrir el Simulink en el Matlab Y desarrollar el diagrama obteniendo la siguiente figura.

Figura 11. Simulación en el Simulink



Fuente: Autores

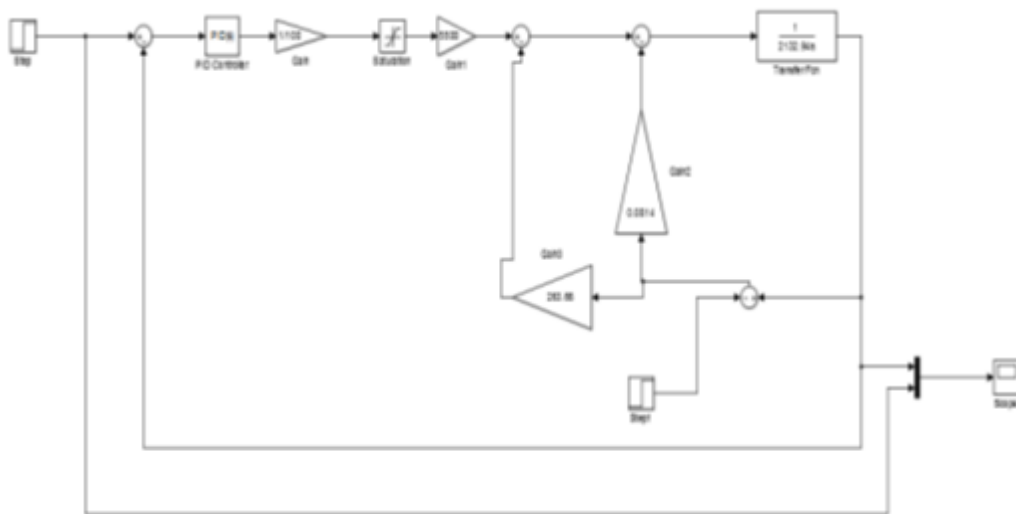
Como resultado de la misma se obtiene la gráfica:

Figura 12. Gráfica temperatura vs tiempo



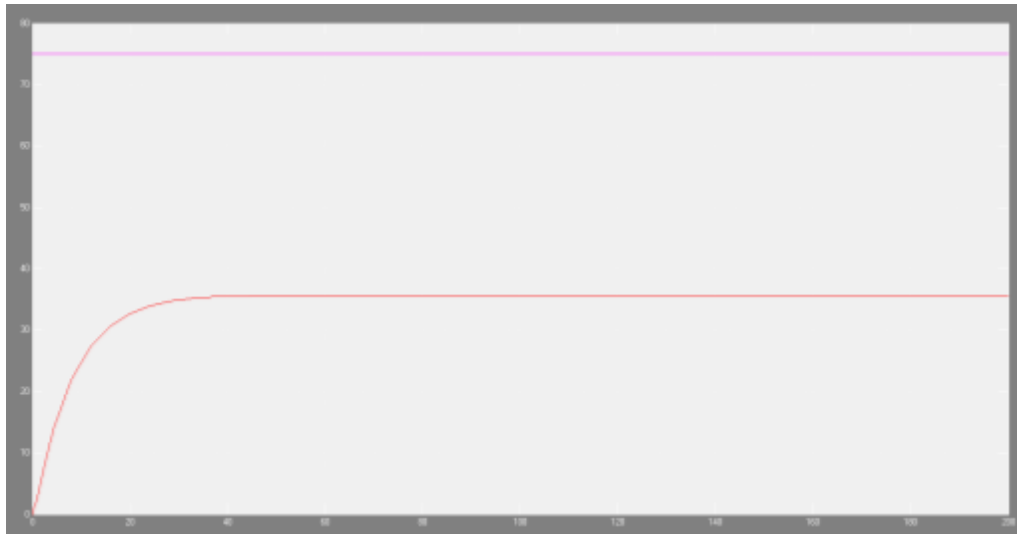
Fuente: Autores

Figura 13. Simulación en el Simulink



Fuente: Autores

Figura 14. Temperatura vs tiempo - control proporcional



Fuente: Autores

CAPÍTULO V

5. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

5.1 Introducción

Para la presente investigación el sistema de control de temperatura de agua se va a instalar en un departamento que cuenta con una bomba y un tanque de presión para garantizar un caudal constante de agua, sus instalaciones eléctricas se encuentran en buen estado. El departamento no cuenta con ningún tipo de control de temperatura ni caudal que facilite al usuario de seleccionar la temperatura de agua o que se active automáticamente al detectar la presencia de una persona.

El sistema que se diseñará en este proyecto cuenta con todos los actuadores y sensores que se requiere para cumplir con los objetivos planteados. A continuación se describen cada uno de los elementos que se utilizan para la construcción del sistema y la razón por la que se seleccionó cada elemento.

El diseño del prototipo para el control eficiente de temperatura de agua, consta de tres partes fundamentales:

5.2 Diseño del sistema de control

En la actualidad los sistemas automáticos juegan un papel importante en los hogares mejorando nuestra calidad de vida, desde una lavadora hasta un control inteligente de edificios (domótica), en automoción es de todos conocidos los limpiaparabrisas inteligentes, etc. Como se puede observar las aplicaciones son innumerables. De esta manera surge toda una teoría, de la regulación automática, dedicada al estudio de los sistemas automáticos de control.

Para encontrar una solución al problema que se presenta y cumplir con los objetivos trazados para este proyecto se ha considerado que el sistema a diseñarse conste de los siguientes elementos:

- Controlador de temperatura, como dispositivo principal realiza el trabajo de precisión ya que incorpora algoritmos de control de temperatura como ON – OFF, PID, etc. Un LCD en el controlador de temperatura muestra la temperatura actual y la deseada.
- Una termocupla tipo T, que se configura automáticamente en el controlador de temperatura.
- Un sensor de presencia PIR para que el sistema se active automáticamente cuando detecte la presencia de una persona.
- Elementos de control como pulsadores e indicadores para seleccionar el modo de funcionamiento entre manual y automático.
- Un sistema mecánico que se encargue de controlar el caudal mediante un servomotor conectado a la válvula de paso.
- Un relé de estado sólido de 100A, que es el elemento de alta potencia que controla la resistencia eléctrica de la ducha.
- Una tarjeta de control que sirva de interfaz entre el controlador de temperatura y todos los actuadores, además se encarga de controlar los diferentes periféricos, analizar los datos obtenidos de los sensores y procesar esta información. Este dispositivo debe ser autónomo y estará constituido por un microcontrolador.

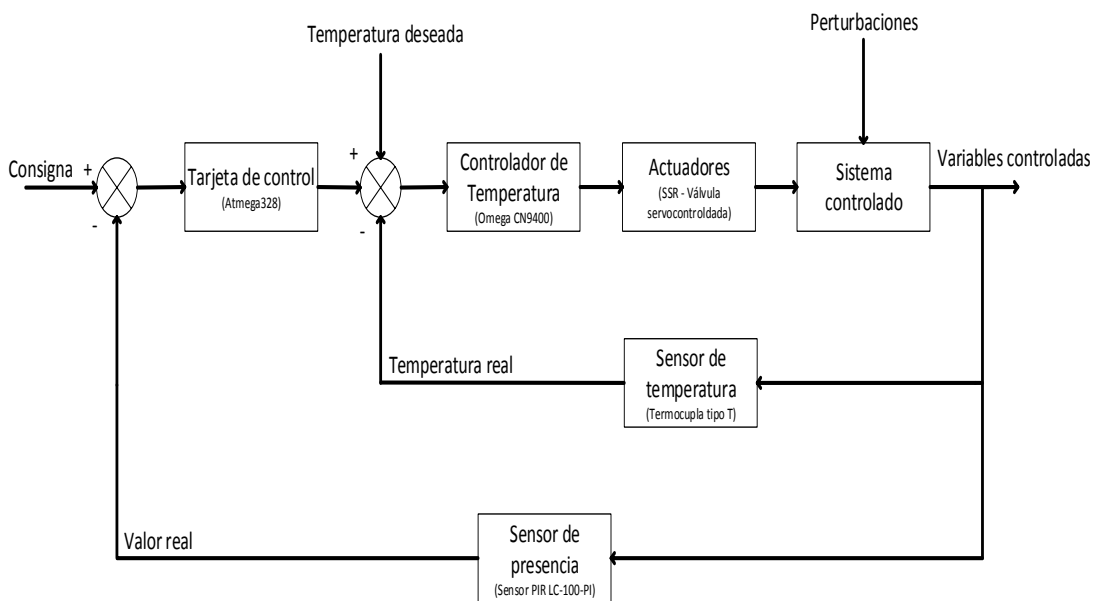
Figura 15.Diseño del Sistema de Control



Fuente: Autores

5.2.1 Diagrama del sistema de control. Un sistema de control de lazo cerrado es el que mejor se adapta a este proyecto ya que la acción de control depende de la salida. La señal de salida influye en la entrada. Para esto es necesario que la entrada sea modificada en cada instante en función de la salida. Esto se consigue por medio de realimentación o feedback. La realimentación es la propiedad de un sistema en lazo cerrado por la cual la salida se compara con la entrada del sistema, de manera que la acción de control se establece en función de ambas. Por lo tanto se define también al sistema de control en lazo cerrado como aquel sistema en el que existe una realimentación de la señal de salida, de manera que ésta ejerce un efecto sobre la acción de control. El diagrama de bloques correspondiente a este sistema de control en lazo cerrado es:

Figura 16. Diagrama de bloques lazo cerrado

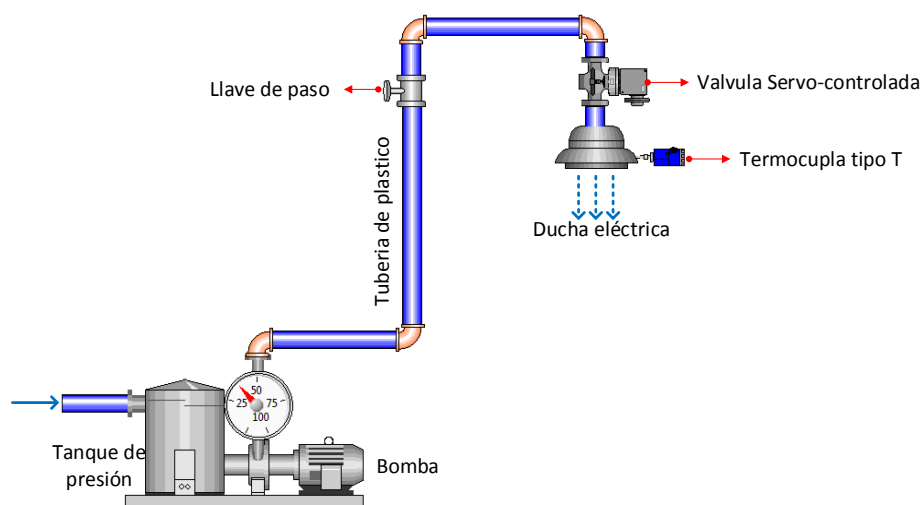


Fuente: Autores

5.3 Diseño hidráulico y mecánico

En el ámbito hidráulico se busca garantizar condiciones estables de caudal, mediante el dimensionamiento de tuberías y una bomba que proporciones un caudal constante para el rendimiento del sistema, algunos elementos que se deben tomar en cuenta se detallan a continuación:

Figura 17. Diseño hidráulico y mecánico del sistema



Fuente: Autores

5.3.1 *Bomba y tanque.* Bomba de 0,5 HP y tanque hidroneumático de 30 galones

5.3.2 *Llave de paso.* Válvula de compuerta

5.3.3 *Tubería.* ½ pulgada PVC

5.3.4 *Válvula motorizada.* Es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el paso de un fluido por un conducto o tubería. El mecanismo de la válvula se mueve mediante un motor y un juego de engranes que aumentan el torque, un sensor de posición permite controlar el grado de apertura para obtener otras posiciones intermedias entre todo y nada. Las válvulas servo-controladas se usan en multitud de aplicaciones para controlar el flujo de todo tipo de fluidos.

Una electroválvula tiene dos partes fundamentales: motor actuador y la válvula. El motor convierte energía eléctrica en energía mecánica para actuar la válvula. Existen varios tipos de válvulas motorizadas. En algunas válvulas el motor actúa directamente sobre la válvula dando la energía necesaria para su movimiento. También es posible construir válvulas motorizadas acoplando un servomotor para abrir y cerrar la válvula con una señal PWM aprovechar el sensor de posición con el que cuenta un servomotor. Este elemento ingresa dentro del diseño mecánico ya que se debe buscar la mejor opción para asegurar una variación de caudal dentro de los valores requeridos.

Figura 18. Válvula motorizada



Fuente:(http://www.resol.de/Produktfotos/VA22_500x500.jpg, 2010)

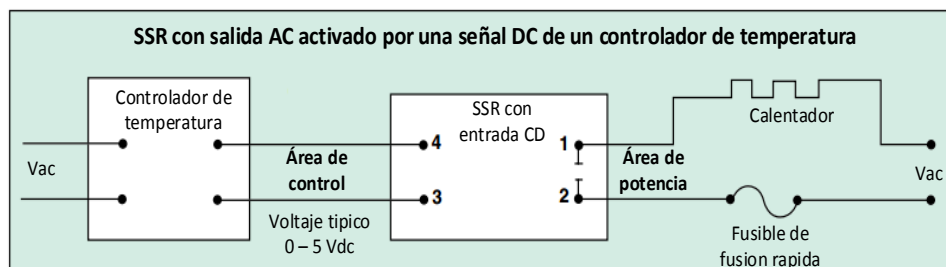
5.4 Diseño eléctrico y electrónico

5.4.1 Diseño eléctrico. Para el diseño de la etapa eléctrica es necesario conocer las características y funcionamiento de cada elemento que se va a ocupar en la parte eléctrica y electrónica, es por ello que se decidió trabajar con los siguientes elementos:

- **Relé de estado sólido:** Es un elemento interruptor que permite cortar o instalar corriente eléctrica a la carga que se encuentre conectada, accionado mediante una pequeña corriente. Tiene la capacidad de manejar cargas de alta potencia.

Este elemento presta las condiciones adecuadas para controlar de manera electrónica una carga de alta potencia como es la resistencia eléctrica de la ducha que consume 5500W. El control de este elemento se realizará a través del diseño de un circuito electrónico que envíe el voltaje y la corriente necesaria para activar este elemento. La conexión se realiza en base al siguiente esquema.

Figura 19. Conexión del SSR al controlador de temperatura



Fuente: Autores

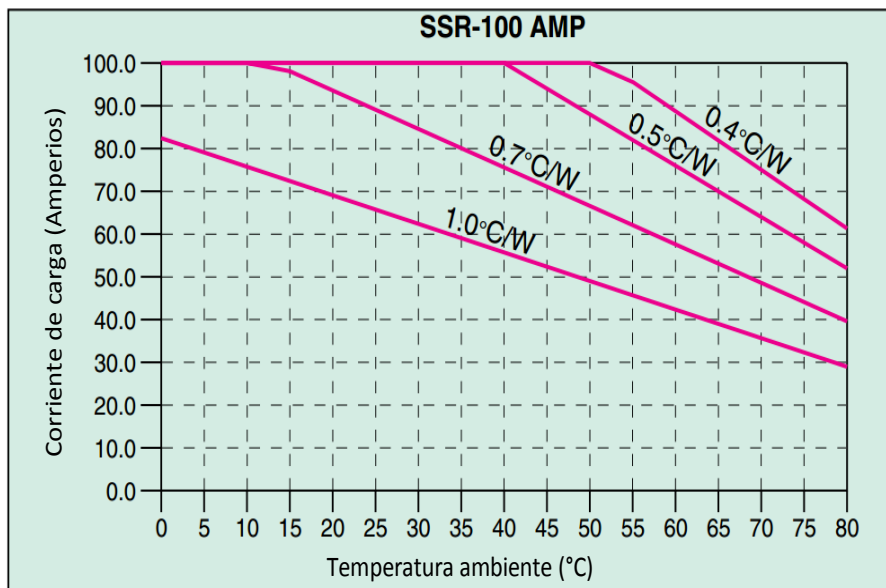
Las características fundamentales del relé de estado sólido utilizado se describen en la siguiente tabla.

Tabla 10. Características del relé de estado solido

Relé de estado sólido marca OMEGA, modelo SSRL660DC100		
Entrada	Tipo de control	Señal de control DC
	Voltaje de la señal de control	4 – 32V
	Señal de control activada	4 Vdc
	Señal de control desactivada	1 Vdc
	Corriente máxima de entrada	14mA
Entrada	Voltaje AC de línea nominal	48 – 660V
	Pico de voltaje (60s MAX)	1200V
	Corriente de carga nominal	100A
	Caída de tensión	1,6V
	Fuga máxima en estado inactivo	0.25mA para 120Vac, 240Vac y 440Vac

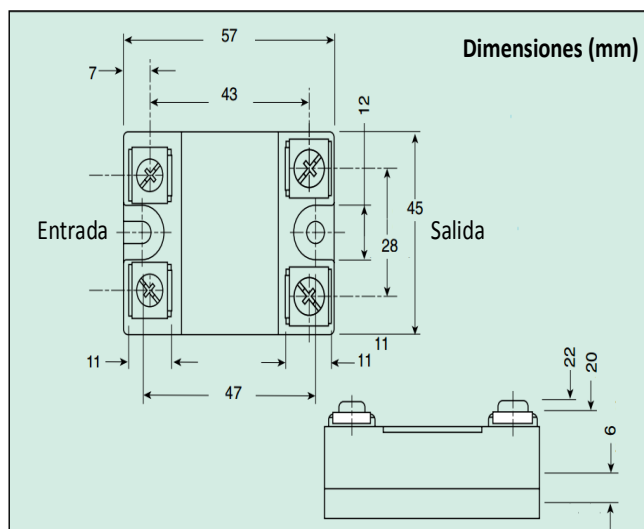
Fuente: Autores

Figura 20. Curva de funcionamiento T vs A



Fuente: Autores

Figura 21. Dimensiones del relé de estado solido

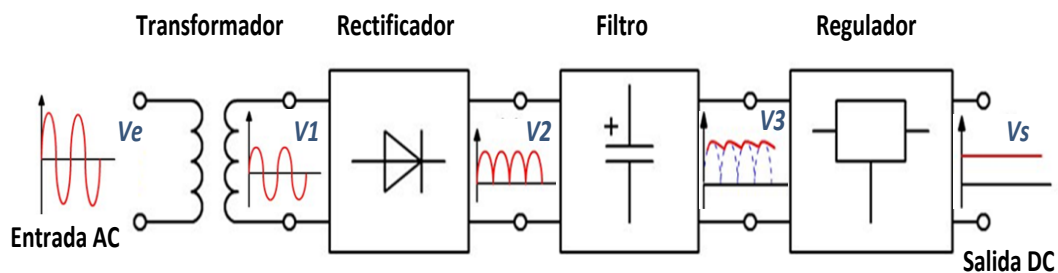


Fuente: Autores

5.4.1.1 Fuente de alimentación DC. Una fuente de alimentación DC proporciona una tensión constante en el tiempo y lo más estable posible, si la generación se basa en una tensión alterna, la salida presenta un rizado sobre el nivel de continua. En las fuentes de alimentación como una pila, un cargador, una fuente de alimentación de PC, etc., existe limitación en la corriente máxima que proporciona la fuente a la carga. Dentro de las características importantes de esta fuente:

- Provee un voltaje estable y corriente estable para el circuito de control y de más periféricos.
- Mediante reguladores de voltaje se obtiene diversos niveles de voltajes necesarios para este proyecto.
- Corriente de alto amperaje para ciertos elementos necesarios como el servomotor, que se ocuparán para en este proyecto.

Figura 22. Elementos de una fuente de alimentación DC



Fuente: Autores.

La capacidad de corriente de la fuente de alimentación debe ser igual o superior a la suma de corrientes de las cargas conectadas.

$$I_F \geq I_T \quad (48)$$

$$I_T = I_{c1} + I_{c2} + I_{c3} + \dots + I_{cn} \quad (49)$$

Se dimensionó una fuente de alimentación que abastezca a todas las cargas tanto en voltaje como en corriente, considerando los valores de corriente máximos de cada carga. Aplicando la ecuación (3.14) se puede determinar corriente nominal que debe tener la fuente.

Tabla 11. Consumo en voltaje y corriente de las cargas conectadas a una fuente

Carga	Voltaje	Corriente Máxima
Servomotor estándar parallax	6V	1200mA
Circuito de control	5V	1000mA
Sensor de proximidad	12V	100mA

Fuente: Autores

$$I_T = I_{\text{Servomotor}} + I_{\text{Control}} + I_{\text{SensorPIR}}$$

$$I_T = 1200\text{mA} + 1000\text{mA} + 100\text{mA}$$

$$I_T = 2.3 \text{ A}$$

Es necesaria una fuente de alimentación externa con una corriente igual o superior a 2.3 A, se utilizó una fuente de 12V y 5A y con ayuda de reguladores de voltaje se obtuvo 6V y 5V necesarios para el servomotor y la tarjeta de control.

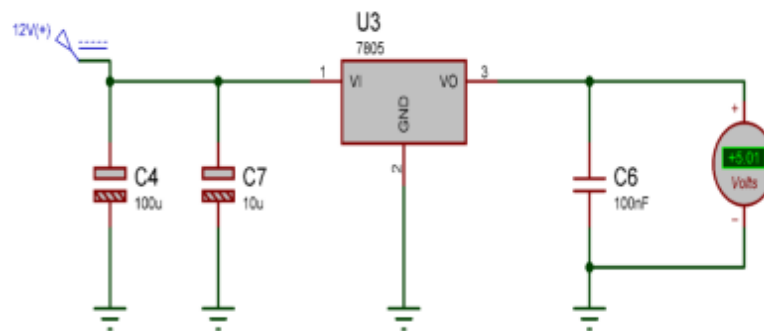
Figura 23. Fuente de 12V y 5A



Fuente: Autores

- REGULADOR DE VOLTAJE:** El circuito de control funciona a 5v, por lo que resulta necesario incorporar un regulador de voltaje a partir de la fuente de alimentación de 12v. el regulador de voltaje 7805 estabiliza en 5v dc y 1a una entrada de hasta 35 v dc, el resto de elementos son capacitores que filtran y rectifican la señal de voltaje. la siguiente imagen ilustra los componentes principales de un regulador de voltaje.

Figura 24. Principales componentes de un regulador de voltaje

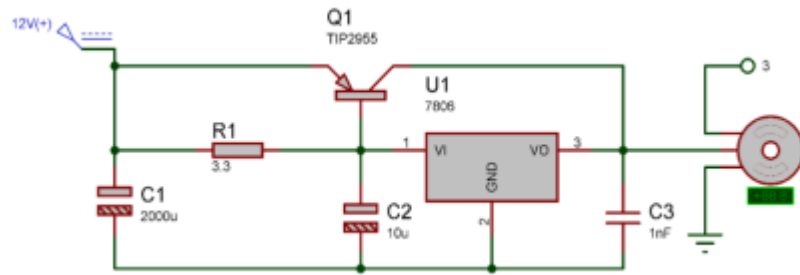


Fuente: Autores

- REGULADOR DE VOLTAJE DE ALTA CORRIENTE:** El servomotor que acciona la llave de control de caudal trabaja a 6v dc y consume una corriente superior a 1.2a. la tensión se puede obtener con un regulador de voltaje 7806 partiendo de los 12v de la fuente principal, pero por características internas propias del elemento regulador la corriente máxima que puede entregar es 1 A.

Por esta razón se incorpora una etapa de potencia al circuito regulador de voltaje, la etapa que maneja altas corrientes se forma por un transistor TIP2955 y una resistencia de potencia de 3.3Ω a 10W que dejan circular hasta 3A directamente de la fuente.

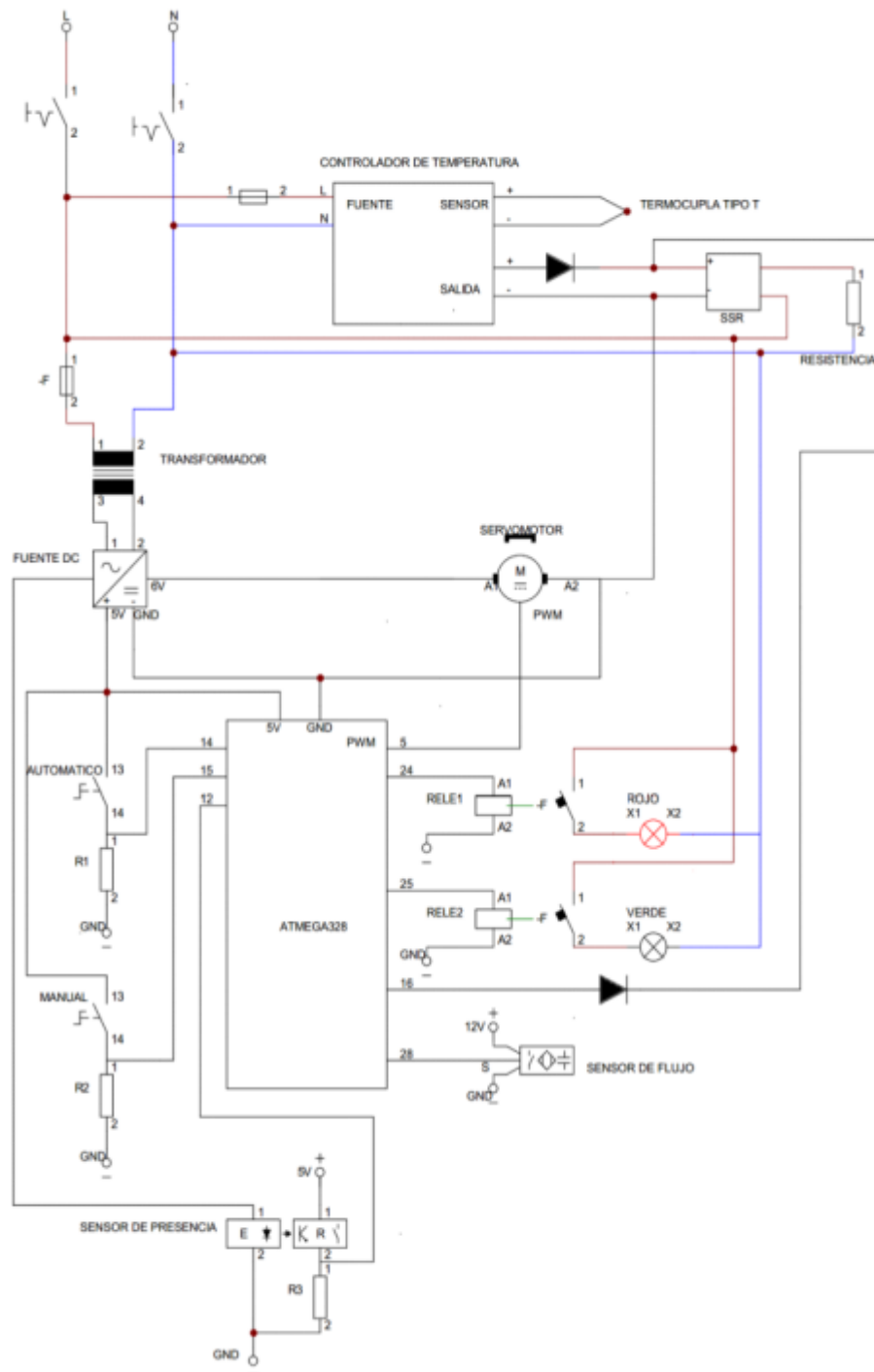
Figura 25. Regulador de voltaje alta corriente



Fuente: Autores

5.4.2 Diseño electrónico. En el diseño electrónico, se incorpora el controlador de temperatura, y un microcontrolador encargado de controlar todas las funciones tanto de la parte mecánica como electrónica, esta parte está provisto del sensor de temperatura y de presencia que servirán para automatizar el sistema.

Figura 26. Diseño electrónico del sistema

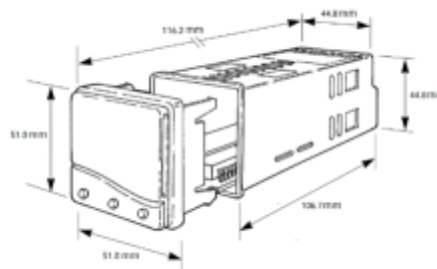


Fuente: Autores

5.4.2.1 Controlador de temperatura. El controlador de temperatura omega modelo cn9412 posee una pantalla lcd donde se muestra el valor actual y el valor deseado, además cuenta con salida dual con control pid.

El control puede ser optimizado con un solo disparo, ya sea en el auto ajuste inicial de calentamiento o al punto de ajuste. El segundo punto de ajuste se puede configurar en una variedad de modos de alarma o PID.

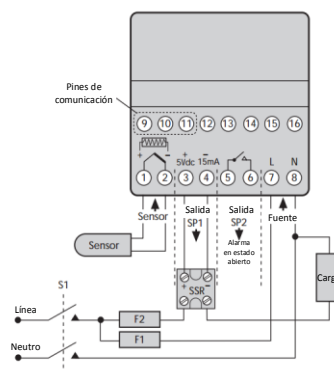
Figura 27. Dimensiones del controlador de temperatura



Fuente:(Catálogo Omega, 2015)

El controlador de temperatura funciona a 110V AC, es recomendable diferenciar la asignación de Línea y Neutro de la instalación eléctrica del domicilio antes de conectar a los pines 7 y 8 el controlador, por protección se instala un fusible de respuesta rápida a través de la Línea que alimenta el controlador.

Figura 28. Diagrama de conexión del controlador de temperatura



Fuente:(Catálogo Omega, 2015)

El controlador posee 2 salida una para conectar un relé de estado sólido y la otra es una salida de relé normalmente abierto, en la salida de relé de estado sólido se debe tener

en cuenta la polaridad de los pines 3 y 4 que se van a conectar a la tarjeta de control para activar el relé de estado sólido de la carga.

5.4.2.2 Servomotor. Un servomotor es un motor eléctrico DC con un juego de engranajes para reducir la velocidad y aumentar el torque, un potenciómetro conectado al eje de salida permite determinar la posición angular y un pequeño circuito electrónico permite el control de velocidad y sentido de giro. Esta clase de motores cuentan con un control proporcional entre la velocidad y la distancia angular. Si la distancia angular es pequeña, la velocidad angular es baja y si la distancia angular es grande, la velocidad angular es alta.

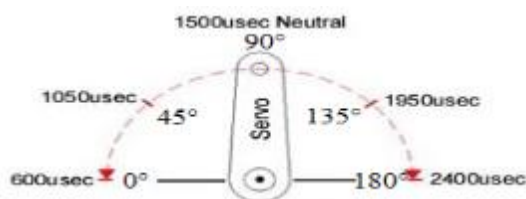
Los actuadores son parte fundamental en el diseño del sistema de control para la ducha eléctrica, este proyecto consta de un servomotor estándar acoplado a una llave de paso para regular el caudal y tener un mayor control del sistema. Es necesario evaluar las especificaciones técnicas para seleccionar el que mejor se adapte a los requerimientos.

Tabla 12. Especificaciones servomotor Estándar Parallax

Sistema de Control	Control por ancho de pulso	
Voltaje de pulsos requerido	De 3 a 5 V de una señal PWM	
Tipo de motor	3 polos	
Rango de temperatura de operación	-20 °C a +60 °C	
Rango de voltaje de operación	De 4.8 V	A 6.0 V
Velocidad de operación	0.19 sec/60° sin carga	0.14 sec/60° sin carga
Torque	2.7 kg/cm	4.7 kg/cm
Corriente de consumo	700 mA sin carga	830 mA sin carga
Corriente máxima	1200 mA	
Rotación	180°	
Ciclo de pulso	20 ms	
Ancho de pulso	600 – 2400 µs	
Dirección	Sentido horario	
Longitud de cable del conector	300mm	
Dimensiones	66 x 30 x 57.6mm	
Peso	152g	

Fuente: Autores.

Figura 29. Ancho de pulso para servomotor Parallax



Fuente: Autores.

5.4.2.3 Sensor de presencia. El detector Ic-100-pi utiliza una lente óptica especialmente diseñada junto con un sensor pir especial quad (de cuatro elementos) y un circuito integrado de aplicación específica (asic) optimizado para eliminar las falsas alarmas provocadas por pequeños animales y mascotas y proporciona un grado de inmunidad contra la luz visible. El detector aporta un grado de detección y de estabilidad para iniciar el sistema de control cuando el usuario ingrese a la ducha.

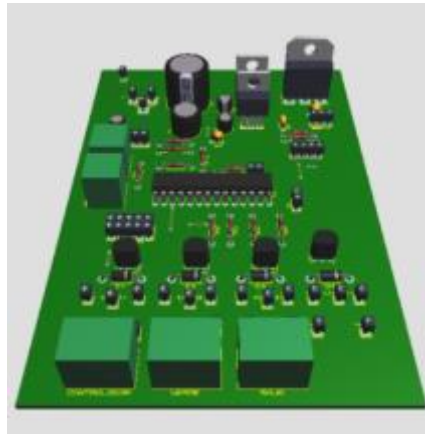
Tabla 13. Especificaciones técnicas del sensor de presencia

Método de detección	Sensor PIR Quad (de cuatro elementos)
Alimentación	Entre 8,2 y 16 V CC
Consumo de corriente	Activo: 100 mA ($\pm 5\%$) Reposo: 8 mA ($\pm 5\%$)
Compensación de temperatura	Si
Período de alarma	2 s ($\pm 0,5$ s)
Salida de la alarma	LC-100-PI - Forma A - NC 28Vdc 0.1 A con 10 Ohm Resistencia de protección en serie
Periodo de calentamiento	60 s (± 5 s)
Indicador LED	LED activado (ON) durante la alarma
Inmunidad a radiofrecuencia	10 V/m más 80% AM de 80 MHz a 1 GHz
Inmunidad a electricidad estática	8 kV en contacto, 15 kV en el aire Inmunidad transitoria, 2,4 kV a 1,2 joule
Inmunidad transitoria	2.4kV a 1.2 joules
Temperatura de funcionamiento	-10°C ~ +50°C (14°F ~ 122°F)
Dimensiones	92 mm x 62,5 mm x 40 mm (3.62" x 2.46" x 1.57")
Peso	61 g (2,15 oz.)

Fuente: Autores

5.4.3 Circuito de control. El circuito de control basado en un microcontrolador Atmega328 sirve de interfaz entre el controlador de temperatura y los actuadores que son el servomotor y el relé de estado sólido, incorpora también los elementos de activación y monitoreo del estado del programa.

Figura 30. Vista frontal circuito de control



Fuente: Autores

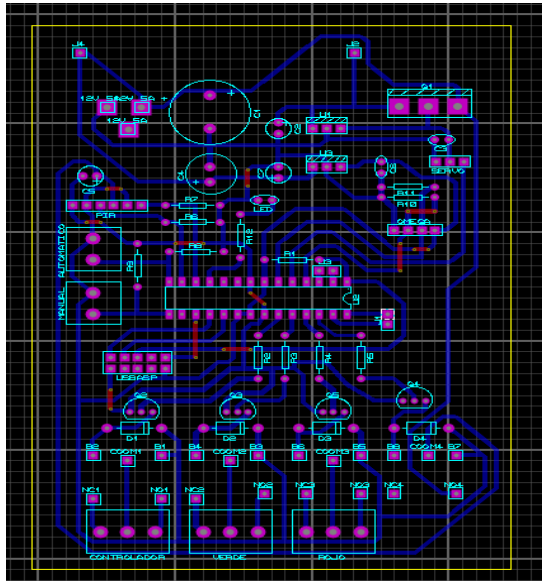
Figura 31. Vista real circuito de control



Fuente: Autores

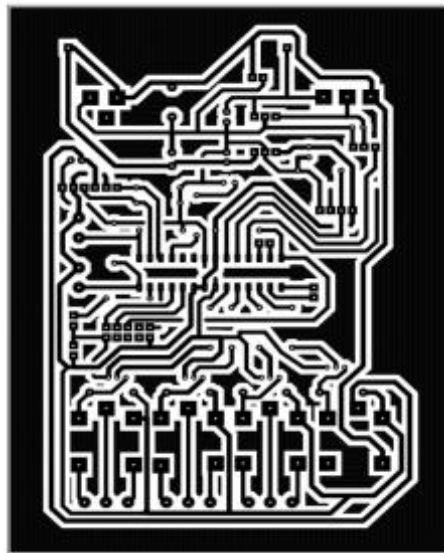
El diseño de la tarjeta de circuito impreso PCB se realiza en la aplicación Proteus 8.0 Profesional, donde se realiza la simulación, identificación y conexión de los elementos para el circuito de control. Se utiliza el proceso de transferencia térmica para trasladar el diseño impreso en papel termo-sensible a la baquelita normal. Antes de soldar, se verifica la correcta ubicación de los elementos y se asegura que coincida con el diseño realizado.

Figura 32. Ruteo de la tarjeta de control



Fuente: Autores

Figura 33. PCB a ser transferida



Fuente: Autores

5.4.3.1 Microcontrolador atmega328. Es un microcontrolador marca Atmel de gama media sus características más importantes se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 14. Características microcontrolador Atmega328

Tensión de funcionamiento	5V
Velocidad del reloj	8 Mhz oscilador interno
Pines digitales Entrada/salida	14 (6 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	6 con 10 bits de resolución
Corriente DC por Pin E/S	40 mA
Memoria Flash	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB

Fuente: Autores

Cada pin digital del Atmega328 se puede utilizar como una entrada o salida, utilizando las funciones pinMode(), digitalWrite(), y digitalRead() y funcionan a 5 voltios. Algunos pines tienen funciones especializadas:

- **Pines de comunicación serial:** Se utiliza para recibir y transmitir datos TTL en serie con un ordenador, u otros microcontroladores. Los Pines 0 y 1 corresponden a los pines de comunicación serial.
- **Interrupciones externas:** Estos pines pueden configurarse para activar una interrupción en un valor bajo, un flanco ascendente o descendente, o un cambio en el valor. Los pines 4 y 5 corresponden a los pines de interrupción.
- **Salidas PWM:** El posicionamiento de los servomotores se realiza mediante una señal PWM, que es una técnica de modulación, la cual modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica, el ancho de pulso de la señal determina la posición angular del servomotor.

Para el control del servomotor que controla el caudal se necesita de un pin digital configurado como salida PWM en el microcontrolador. El Atmega328 proporciona una salida PWM de 8 bits con la función analogWrite.

- **Entradas analógicas:** El microcontrolador Atmega328 posee 6 entradas analógicas, cada uno con una resolución de 10 bits, es decir, 1,024 valores diferentes. Por defecto se miden desde GND a 5 voltios.

Tabla 15. Pines utilizados del Atmega328

Pin	Configuración	Descripción
4	Entrada digital	Controlador de temperatura 5V - 15mA
5	Salida PWM	Servomotor para controlar el caudal
6	Entrada digital	Salida de relé del controlador de temperatura
11	Salida digital	Led indicador de estado del programa
12	Entrada digital	Sensor de presencia
13	Entrada digital	Sensor de alerta en la tapa del sensor PIR
14	Entrada digital	Selector para el modo automático del programa
15	Entrada digital	Selector para el modo manual del Programa
16	Salida digital	Activa el relé de estado solido
17	Pin ICSP	MOSI del programador USBasp
18	Pin ICSP	MISO del programador USBasp
19	Pin ICSP	SCK del programador USBasp
23	Salida digital	Relé para activar el controlador de temperatura
24	Salida digital	Relé para activar la luz piloto verde
25	Salida digital	Relé para activar la luz piloto roja
26	Salida digital	Relé para activar el sensor de presencia PIR







Fuente: Autores

5.4.3.2 Software de desarrollo. Arduino IDE es un lenguaje de programación de código abierto basado en Java, uno de los lenguajes de programación más extendidos disponible en la actualidad. Java es un lenguaje de programación multiplataforma orientado a objetos.

Arduino IDE es una aplicación multiplataforma, una IDE es un programa diseñado para facilitar el desarrollo de software. Arduino IDE incluye un editor de código fuente con

resaltado de sintaxis y sangría automática y un compilador que convierte el código escrito en instrucciones legibles para la máquina para subirlos a la tarjeta con un solo clic. La siguiente tabla ofrece una descripción de todos los botones que se encuentran en la barra de herramientas.

Tabla 16. Barra de herramientas de Arduino IDE

Símbolo	Descripción
	<p><u>Verificar</u></p> <p>Comprueba los errores en el código</p>
	<p><u>Compilar</u></p> <p>Compila el código y lo carga en la placa Arduino</p>
	<p><u>Nuevo</u></p> <p>Crea un nuevo programa</p>
	<p><u>Abrir</u></p> <p>Presenta un menú con todos los programas. Al hacer clic en uno se abrirá en una nueva ventana.</p>
	<p><u>Guardar</u></p> <p>Guarda el programa actual.</p>
	<p><u>Serial Monitor</u></p> <p>Abre el monitor serie.</p>

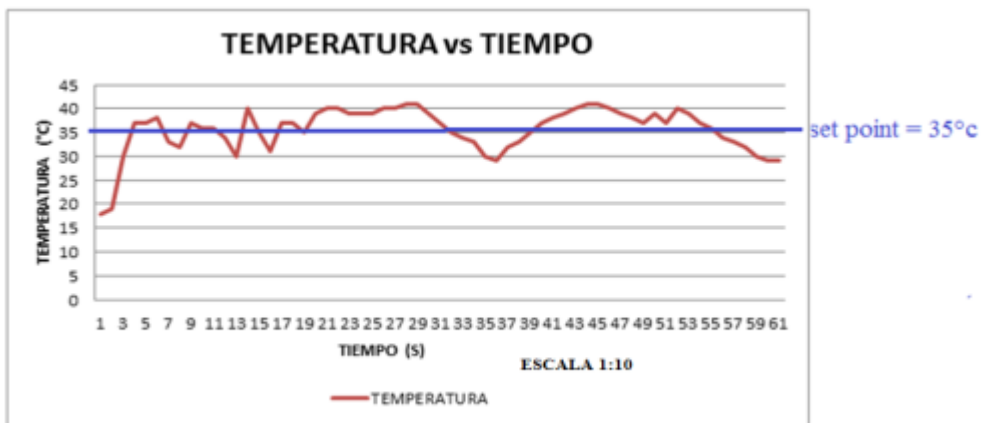
Fuente: Autores

CAPÍTULO VI

6. EXPERIMENTACIÓN

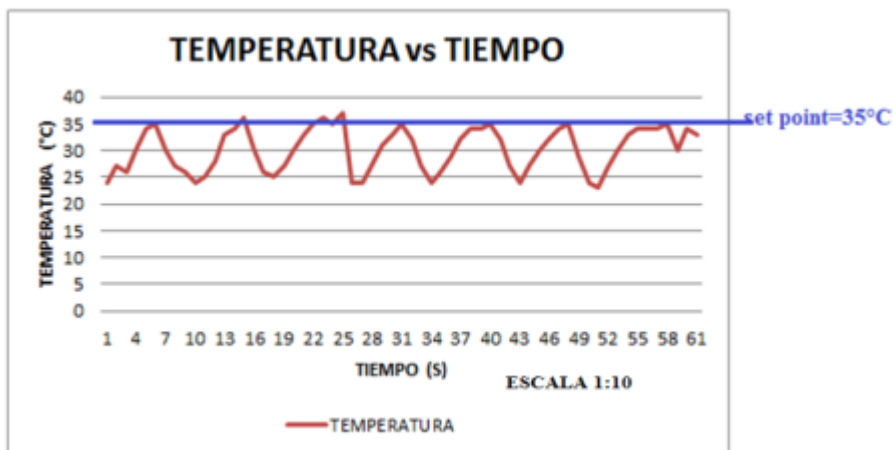
A continuación se procede a obtener las curvas de comportamiento de la temperatura del agua con respecto al tiempo, tomando de base los 10 minutos que según los estudios realizados correspondientes señalan como tiempo promedio de duchado, fijando un set point de 35 °C. También se realiza el comportamiento de la temperatura del agua de la regadera descargando el agua del inodoro con una apertura de válvula de 100% y de 50%.

- Sin instrumentos de medición y control de temperatura



- Con instrumentos de medición y control

Acción de Control ON- OFF

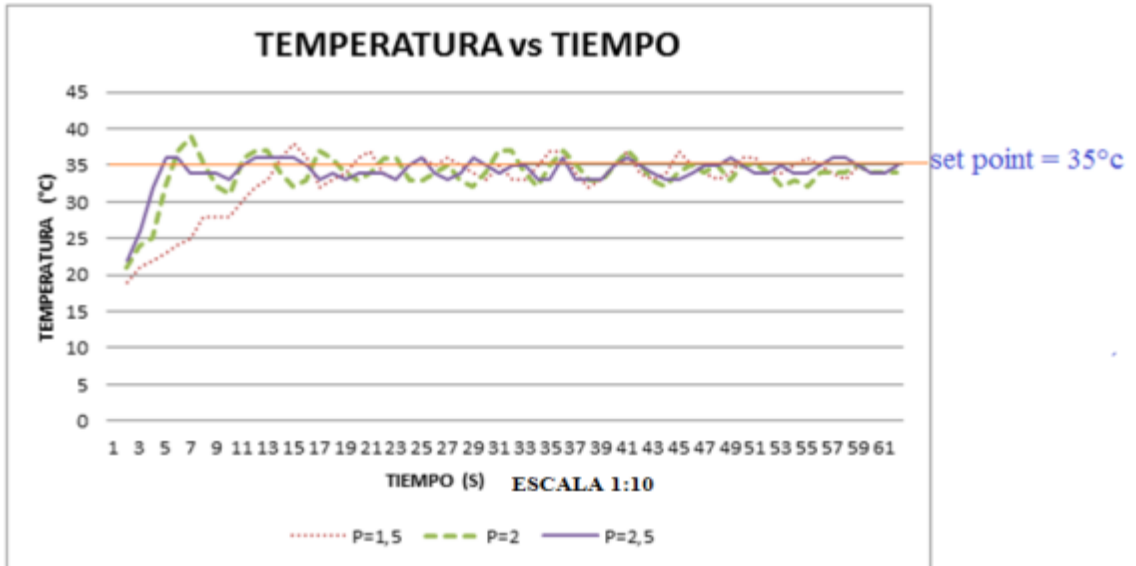


ACCIÓN DE CONTROL PROPORCIONAL

Caso 1

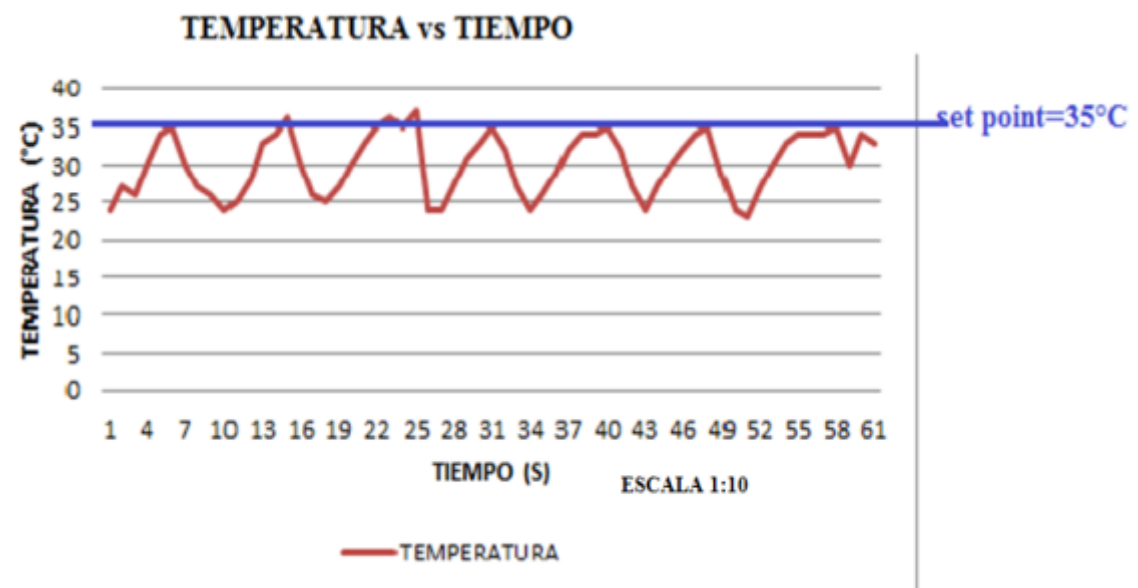
PORCENTAJE DE FUNCIONAMIENTO DE LA POTENCIA ELÉCTRICA CON APERTURA DE VÁLVULA CONSTANTE

SIN DESCARGA DE AGUA DEL INODORO - VALORES DE P



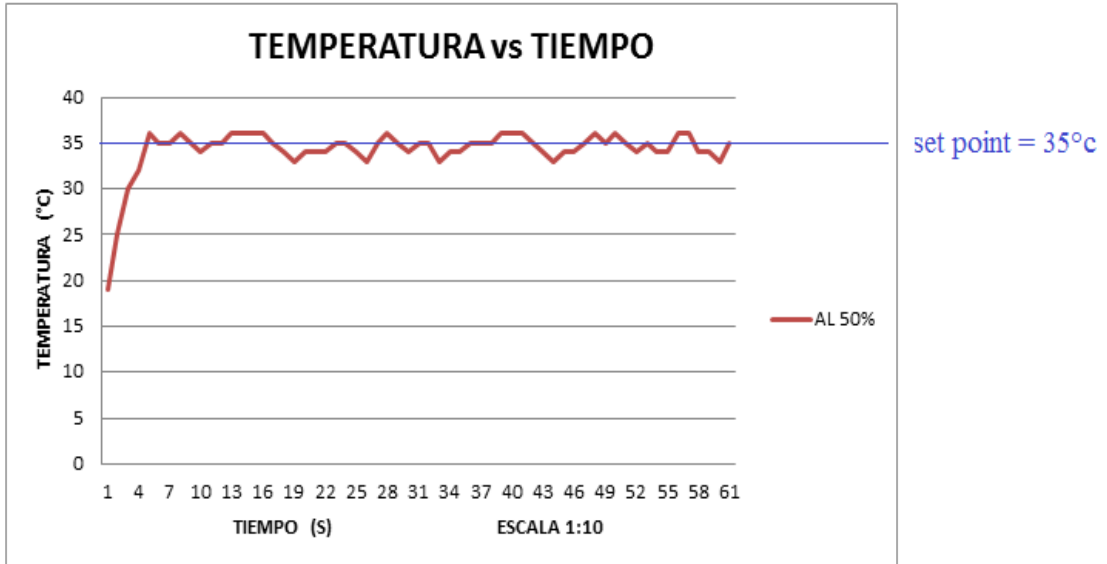
PORCENTAJE DE FUNCIONAMIENTO DE LA POTENCIA ELÉCTRICA CON APERTURA DE VÁLVULA CONSTANTE CON DESCARGA DE AGUA DEL INODORO

VALOR DE P= 2,5 VALVULA DEL INODORO 100% ABIERTA



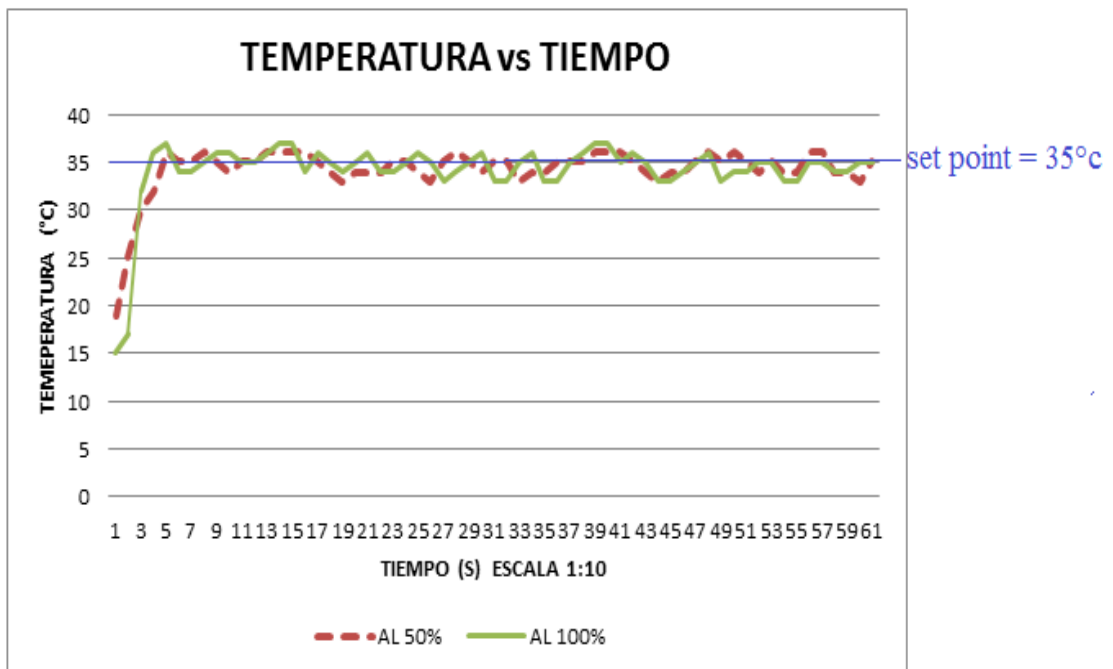
**PORCENTAJE DE FUNCIONAMIENTO DE LA POTENCIA ELÉCTRICA
CON APERTURA DE VÁLVULA CONSTANTE CON DESCARGA DE AGUA DEL
INODORO**

VALOR DE P= 2,5 VALVULA DE INODORO 50% ABIERTA



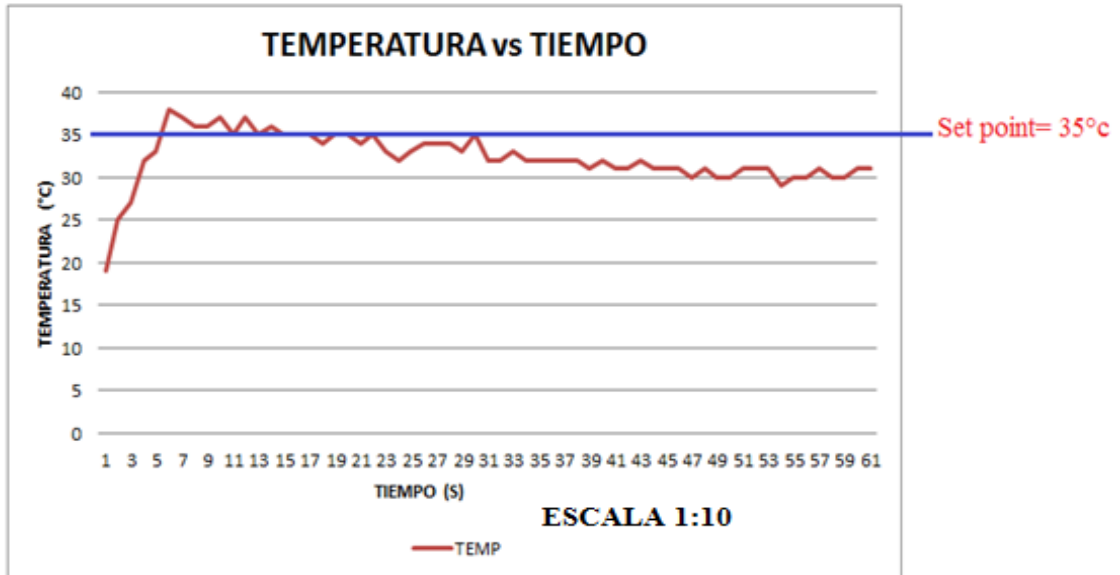
**PORCENTAJE DE FUNCIONAMIENTO DE LA POTENCIA ELÉCTRICA
CON APERTURA DE VÁLVULA CONSTANTE**

VÁLVULA DEL INODORO ABIERTA AL 100% Y 50%, VALOR DE P= 2,5

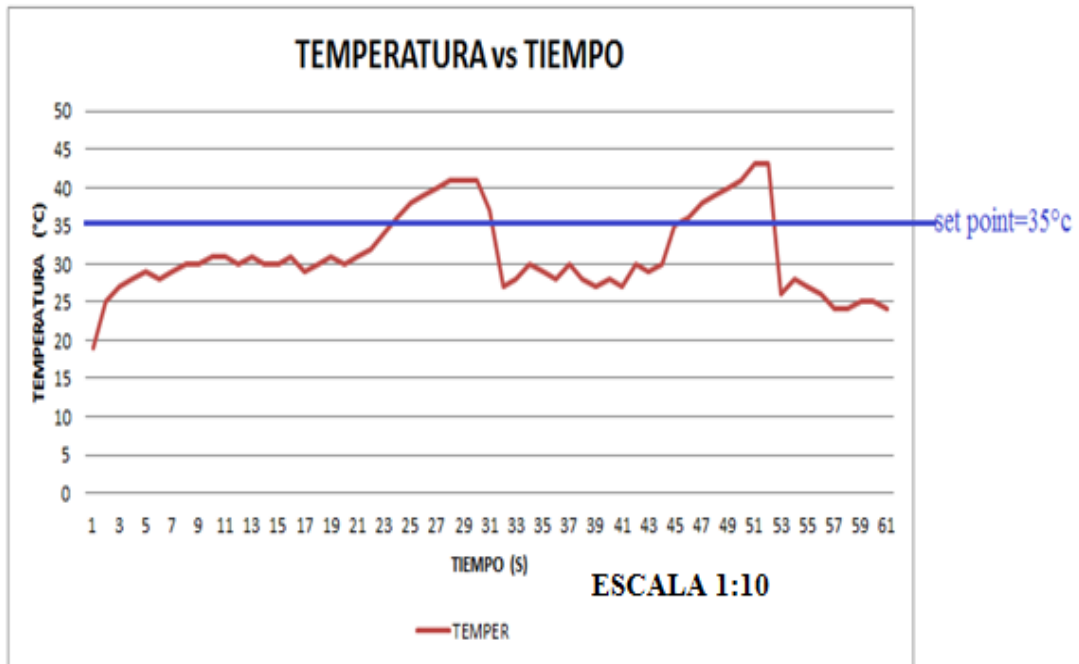


Caso 2

**PORCENTAJE DE FUNCIONAMIENTO DE LA POTENCIA ELÉCTRICA CONSTANTE
FLUJO VARIABLE Y SIN DESCARGA DE AGUA DEL INODORO**

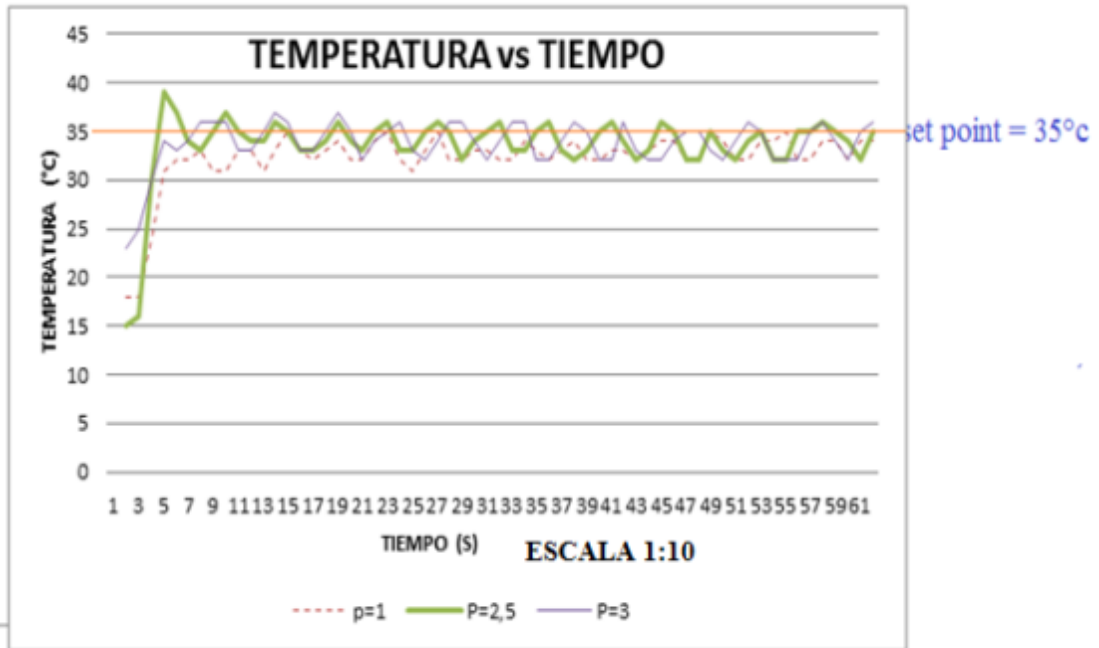


**PORCENTAJE DE FUNCIONAMIENTO DE LA POTENCIA ELÉCTRICA
CONSTANTE
FLUJO VARIABLE
CON DESCARGA DE AGUA DEL INORO**

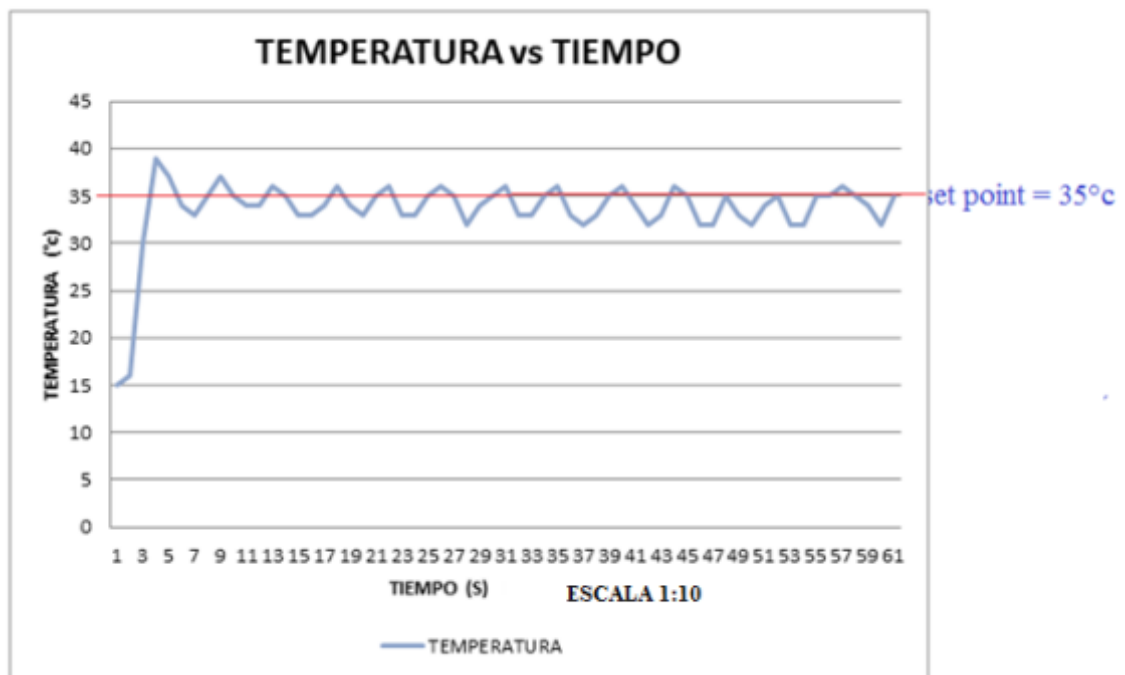


Caso 3

METODO COMBINADO SIN DESCARGA DEL INODORO CON P= 1, 2.5, 3

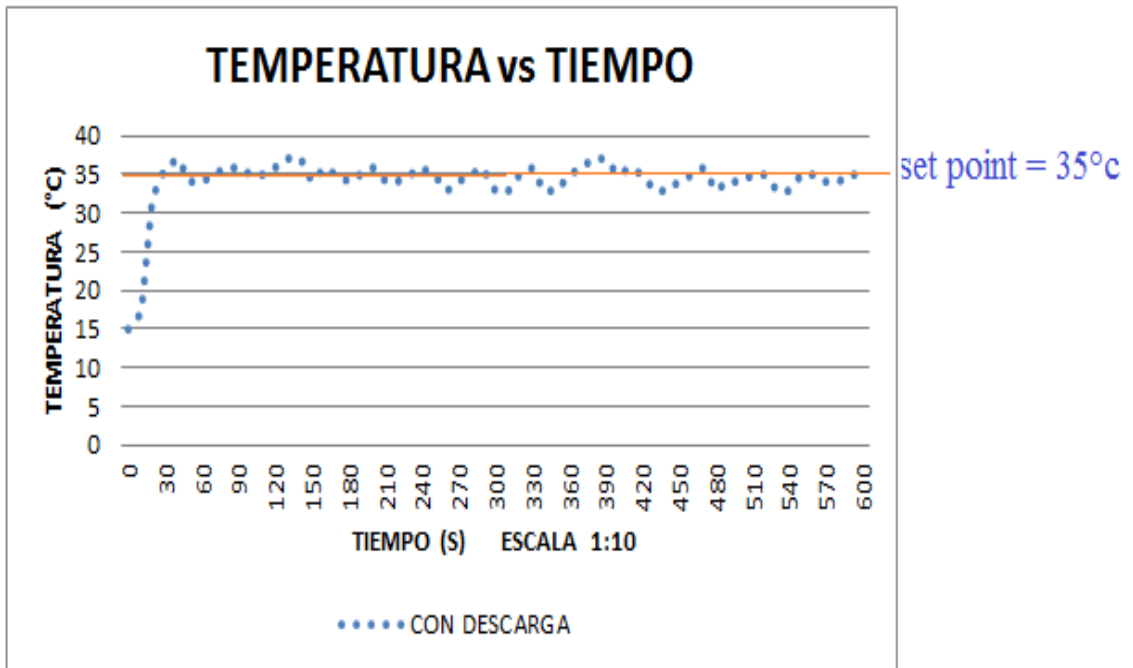


VALOR DE P= 2,5 SIN DESCARGA DEL INODORO

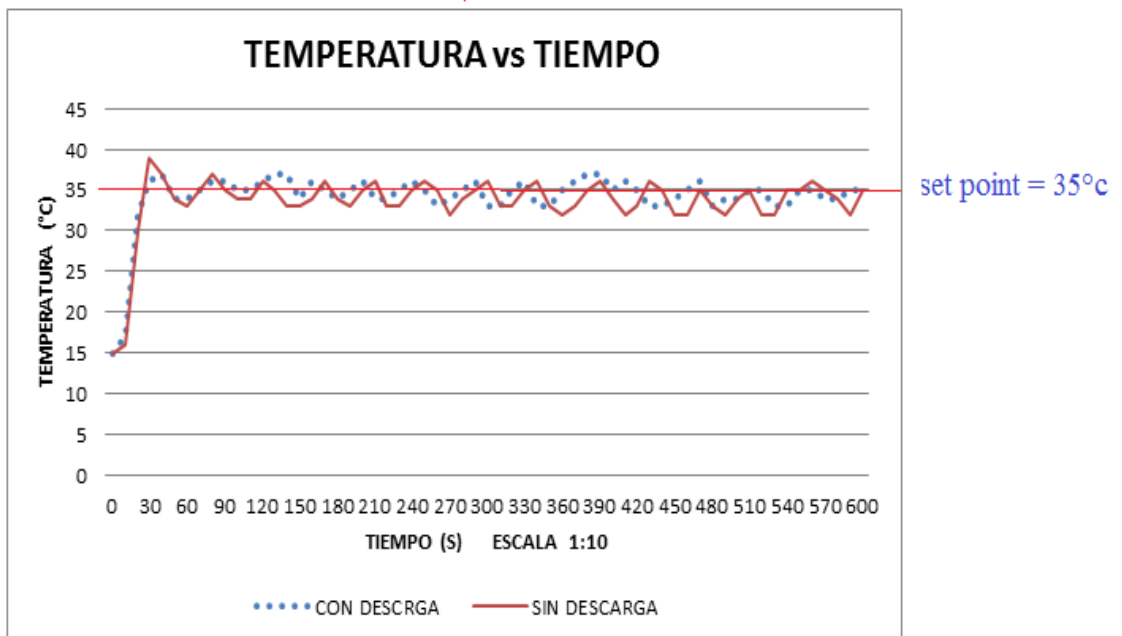


VALOR DE P= 2,5 CON DESCARGA DE AGUA DEL INODORO

VALVULA ABIERTA AL 100%

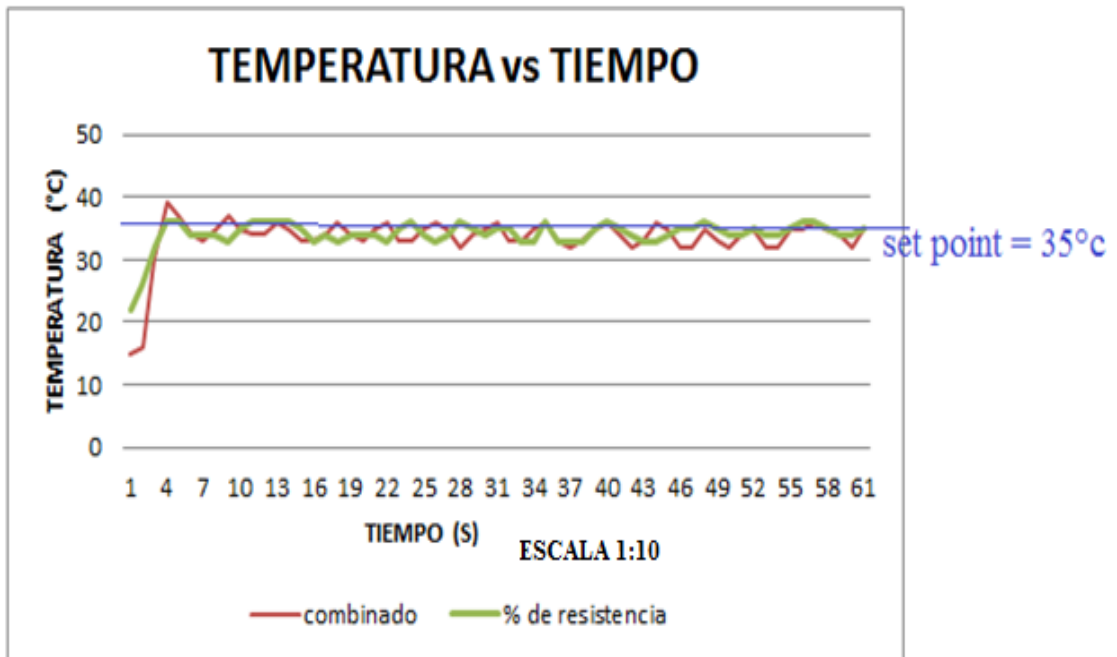


VALOR DE P= 2,5 CON Y SIN DESCARGA DEL AGUA DEL INODORO

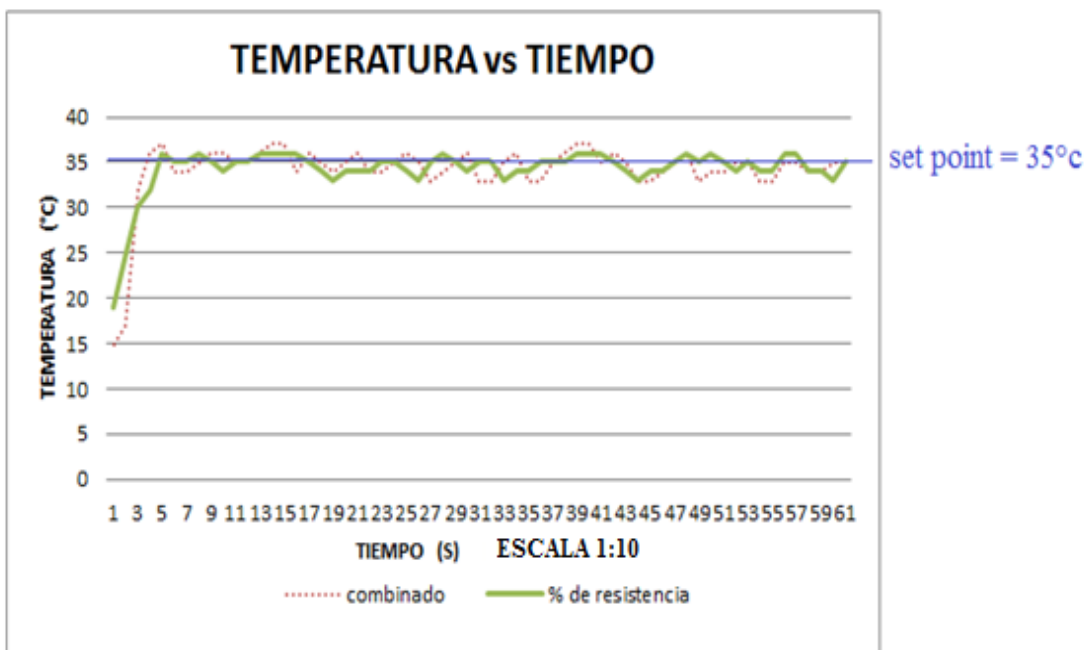


SISTEMA COMBINADO CON P=2,5

**CON PORCENTAJE DE POTENCIA ELÉCTRICA
SIN DESCARGA DEL AGUA DEL INODORO**



**PORCENTAJE DE POTENCIA ELÉCTRICA Y SISTEMA COMBINADO
CON DESCARGA DE AGUA DEL INODORO
VÁLVULA DE INODORO ABIERTA AL 100%**



6.1 Interpretación de las gráficas. Como se puede observar en las gráficas presentadas el control on/of tiene un sistema inestable con muchas elevaciones y

disensos de temperatura lo cual muestra un flujo variable dando al lugar a picos elevados y bajos, por lo tanto no es un sistema que satisfaga las necesidades del proyecto.

En el primer caso se muestra que si controlamos el caudal también existe un sistema muy fluctuante con varios picos de elevación y disminución de temperatura, al descargar al inodoro el sistema se vuelve más inestable por lo tanto no sería el recomendado.

En el segundo caso el control de la resistencia se puede observar que el mejor valor del proporcional es de 2,5 el cual le mantiene a la temperatura casi constante con una variación de 2°C a 3°C se puede notar una estabilidad más pronunciada sin mucha variación de la temperatura tanto con la descarga al inodoro como sin la descarga al mismo.

En el tercer caso se puede observar que no existe mucha diferencia con el caso numero 2 puesto que la posta lo lleva el control de la resistencia y no el control del caudal

CAPÍTULO VII

7. MANUAL DE OPERACIÓN Y PLAN DE MANTENIMIENTO

7.1 Introducción

En este documento se describe todos los procedimientos que hay que seguir para poner en operación de una manera segura y correcta el sistema de control de temperatura, por tal razón una copia de este documento debe permanecer junto al equipo, ya que además contiene las especificaciones técnicas de cada dispositivo electrónico e hidráulico del equipo.

7.2 Normas de seguridad

El personal que vaya a trabajar con este equipo debe tener conocimientos técnicos y tal sea el caso que no los tenga debe recibir una capacitación previa, ya que de esto depende el correcto funcionamiento y la vida útil del equipo.

El sistema de control de temperatura para ducha eléctrica debe ser utilizada exclusivamente para regular la temperatura del agua de una ducha y en condiciones absolutamente seguras.

Se deben observar y seguir siempre las recomendaciones y normas de seguridad. Cualquier usuario que utilice este equipo debe:

- Observar con especial atención las recomendaciones de seguridad.
- Deben respetarse las normas y regulaciones sobre prevención de accidentes, particularmente de riesgos eléctricos.

La persona responsable de la puesta en marcha y funcionamiento de este equipo debe comprometerse a asegurar que el personal que lo va a utilizar, debe:

- Estar familiarizado y habituado a trabajar con las normas básicas relacionadas con la seguridad operativa y prevención de accidentes.

- Haber recibido instrucción y capacitación suficiente en el manejo del equipo.

El no cumplimiento de las instrucciones de operación, transporte, almacenamiento, montaje, puesta a punto, funcionamiento, mantenimiento y preparación del equipo, puede crear situaciones riesgosas las mismas que pueden ocasionar daños físicos o lesiones al personal o a terceras partes, así como la integridad del equipo.

7.3 Recomendaciones a tener en cuenta antes de iniciar a utilizar el equipo

- El documento de la Investigación, es un Manual con toda la información técnica necesaria, por lo que es parte esencial de éste sistema, por tal razón debe conservarse y permanecer en un lugar seguro, accesible para el usuario.
- Observar los datos de las fichas técnicas de los componentes eléctricos, electrónicos e hidráulicos del equipo.
- Verificar el estado físico del equipo controlador de temperatura, de presentarse anomalías informar a un técnico capacitado.
- Las diferentes conexiones eléctricas entre los diferentes dispositivos del equipo, deben conectarse y desconectarse sólo cuando la tensión principal esté desactivada.
- No excederse en la tensión requerida para el funcionamiento de los diferentes elementos electrónicos.
- Diferenciar Línea y Neutro de la red eléctrica para proporcionar mayor estabilidad del sistema.
- No sobrepasar la presión máxima de operación de los elementos hidráulicos del sistema.
- Evitar la manipulación del cableado de los diferentes sensores para evitar averías en su funcionamiento.
- La sustitución de partes, elementos y componentes del equipo debe hacerse en correspondencia a los originales.
- Para la realización de trabajos de mantenimiento del equipo, se deberá desconectar la alimentación eléctrica e hidráulica con el fin de evitar accidentes personales y daños al equipo.
- Es importante observar que estén bien sujetos los sensores, válvulas y demás componentes para evitar futuros errores en el funcionamiento de los mismos.

7.4 Suministro de energía eléctrica

Para el suministro de energía eléctrica tenemos la red de 110V AC, se identifica la Línea y el neutro con la finalidad de colocar las protecciones eléctricas necesarias, un transformador de fuente de alimentación proporciona 12V DC la cual sirve para alimentación de los circuitos electrónicos, sensores, y tarjeta de control.

7.5 Suministro de agua

El suministro de agua proviene de la toma principal de agua potable, para asegurar un caudal estable se utilizar una bomba y un tanque de presión, en la misma se puede regular la presión de operación.

El sistema puede trabajar con presión de agua de hasta 60 PSI según las características de los elementos, para evitar daños se recomienda trabajar con un valor inferior de presión.

7.6. Conexiones del microcontrolador

Para verificar las conexiones de la tarjeta de control se utiliza la siguiente asignación de entradas y salidas del microcontrolador Atmega328.

Tabla 17. Características microcontrolador Atmega328

Pin	Configuración	Descripción
4	Entrada digital	Controlador de temperatura 5V - 15mA
5	Salida PWM	Servomotor para controlar el caudal
6	Entrada digital	Salida de relé del controlador de temperatura
11	Salida digital	Led indicador de estado del programa
12	Entrada digital	Sensor de presencia
13	Entrada digital	Sensor de alerta en la tapa del sensor PIR
14	Entrada digital	Selector para el modo automático del programa

Tabla 17. (continuación)

15	Entrada digital	Selector para el modo manual del Programa
16	Salida digital	Activa el relé de estado solido
17	Pin ICSP	MOSI del programador USBasp
18	Pin ICSP	MISO del programador USBasp
19	Pin ICSP	SCK del programador USBasp
23	Salida digital	Relé para activar el controlador de temperatura
24	Salida digital	Relé para activar la luz piloto verde
25	Salida digital	Relé para activar la luz piloto roja
26	Salida digital	Relé para activar el sensor de presencia PIR

Fuente: Autores

7.7. Puesta a punto del sistema de control de temperatura

La puesta a punto se limita inicialmente a una verificación visual para asegurar que los cables, sensores y alimentaciones de energía eléctrica, agua sean los correctos, y que todos los componentes de la maquina funcionen adecuadamente. Todos los componentes, sensores, válvulas, actuadores, relé de estado sólido y cables están claramente marcados de forma que puedan establecerse fácilmente todas las conexiones.

Las instrucciones para la puesta a punto del sistema se muestran a continuación.

- Asegurarse que el caudal y voltaje hacia el sistema se encuentren apagados.
- Revisar y realizar los ajustes necesarios en la estructura metálica del tablero de control y demás componentes de la máquina.
- Pasar los actuadores a la posición de inicio de acuerdo a las necesidades de funcionamiento.
- Calibrar manualmente la posición de los sensores de ser necesario.
- Observar que la tarjeta de control se encuentre con sus debidas conexiones para su correcto funcionamiento.

- Abrir el suministro de agua y regular gradualmente el caudal de funcionamiento.
- Reconocer y solucionar posibles fugas de agua en válvulas y tuberías.
- Conectar y verificar que el suministro de voltaje para cada uno de los elementos sea el adecuado.
- Verificar que funcionen las entradas y salidas de la tarjeta de control mediante la observación de los Led indicadores.
- Observar el funcionamiento del controlador de temperatura y relé de estado sólido mediante la observación del Led e indicadores de cada uno de los circuitos.
- Verificar que el sensor de presencia se encuentren en funcionamiento, observando el Led del mismo que nos indicara una salida de señal.
- Seleccionar la opción de funcionamiento del sistema y comprobar que los tiempos de operación sean los correctos.
- Comprobar que todas las funciones del panel de control tales como manual, automático y apagado se encuentren operando correctamente, para que no exista errores que puedan causar daños al usuario y al equipo.

7.8 Puesta en marcha del sistema de control de temperatura

En la puesta en marcha se pone en funcionamiento el equipo con todos sus componentes electrónicos, eléctricos, hidráulicos y que el usuario pueda usarlo cuando lo requiera.

Las instrucciones para la puesta en marcha del sistema se muestran a continuación:

- Observar que exista el caudal mínimo para el funcionamiento.
- Seleccionar la opción de funcionamiento en base a los requerimientos de usuario.
- Si se puede observar la luz indicadora de color verde quiere decir que se ha iniciado correctamente una opción de operación del equipo.
- Se detecta la presencia de una persona dentro de la ducha y el agua comienza a fluir e inicia el proceso de control automático.
- El valor de temperatura estará previamente establecido en una temperatura de confort, pero si el usuario lo requiere puede modificarla desde el tablero de control

- Durante el funcionamiento del equipo, el usuario no necesita realizar ningún ajuste.
- Cuando el usuario salga de la ducha el sensor no detectara la presencia de una persona y apagara automáticamente el sistema.
- Desconectar la alimentación eléctrica principal si el sistema no se va a utilizar.

7.9 Lista de fallas, causas y soluciones

Durante la ejecución, implementación, programación y puesta a punto del equipo, se pueden producir problemas en el funcionamiento.

En la siguiente tabla, se detallan los diferentes tipos de fallas y sus posibles causas y soluciones.

Tabla 18. Lista de fallas, causas y soluciones

	Descripción del problema	Posibles causas	Solución
1	No se activan los sensores	Ausencia de energía	Verificar el suministro de energía en el circuito electrónico.
		Sensores des calibrados	Calibrar el caudal del sensor.
2	La ducha eléctrica no se enciende	Falta de conexión eléctrica	Revisar la conexión eléctrica
		No existe el caudal mínimo	Chequear el funcionamiento de la bomba y tanque de presión y corregir los rangos de presión si es necesario
		Las válvulas no permiten el paso del agua	Revisar la apertura de las válvulas, que puedan está impidiendo el flujo del agua
3	Tarjeta de control no funciona	Ausencia de energía eléctrica	Verificar el suministro de energía eléctrica
		Señales de entrada y salida mal asignadas	Verificar y corregir las entradas y salidas de la tarjeta de control en base a las tablas proporcionadas
		Programación incorrecta	Observar y corregir la programación del microcontrolador.
4	No se activa el sensor de presencia	Ausencia de energía eléctrica	Verificar el suministro de energía eléctrica desde la tarjeta de control.
5	Lcd del controlador de temperatura no se enciende	Ausencia de energía eléctrica	Verificar el suministro de energía eléctrica desde la tarjeta de control.
6	No existe señal en los relés de activación	Falta de energía eléctrica	Revisar la alimentación de voltaje en el circuito.
		Relé en mal estado	Verificar el relé defectuoso y reemplazarlo.

Fuente: Autores

7.10 Detector digital pasivo infrarrojo (PIR) con inmunidad a mascotas

Figura 34. Sensor de presencia



Fuente: Autores

7.10.1 Instalación típica. Seleccione la ubicación de montaje, escoja una ubicación en la que estime más probable la intercepción de un intruso. El detector Quad de alta calidad detecta el movimiento que cruza el haz, y es menos sensible en la detección del movimiento hacia el propio detector.

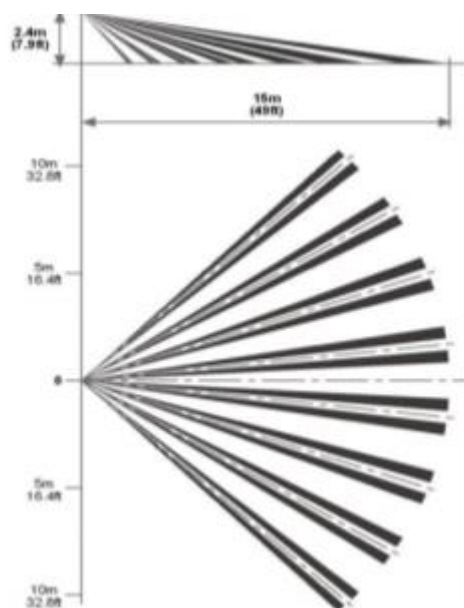
El LC-100-PI / LC-120-PI presenta un comportamiento óptimo en un entorno constante y estable. Evite los siguientes emplazamientos:

- Expuesto a la luz directa del sol.
- Expuesto a zonas sujetas a cambios rápidos de temperatura.
- Zonas con conductos de aire o corrientes de aire importantes.

Este detector deberá instalarse y utilizarse en un entorno que proporcione como máximo el grado de contaminación 2 y la categoría de sobretensión II

UBICACIONES NO PELIGROSAS, y sólo en interiores. El detector está diseñado para su instalación únicamente por parte de personal de servicio técnico.

Figura 35. Patrón de la lente

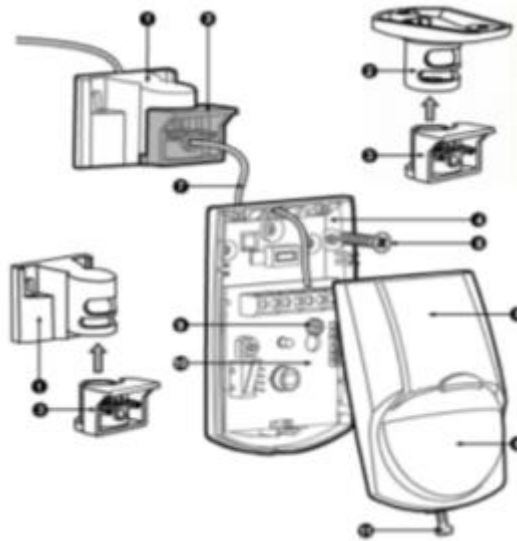


Fuente: Autores

7.10.2 Montaje del detector

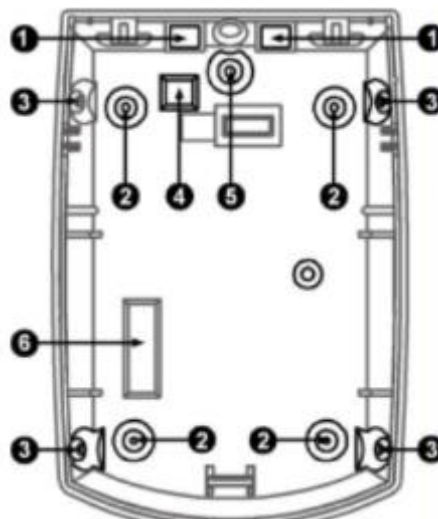
1. Retirar la cobertura de enfrente por medio de destornillar los tornillos que sostienen el dispositivo y con cuidado levante la cobertura de enfrente.
2. Retire el tablero PC por medio de destornillar los tornillos que lo sostienen situados en el tablero
3. Haga los agujeros deseados para una instalación correcta para enmarcar en lo plano o para enmarcar en la esquina. Use 4 tornillos de tipo 3x30mm.
4. Las hendiduras rectangulares en la base del dispositivo son las entradas para los alambres.
5. Enmarcar la base del dispositivo en la pared o esquina.
6. Para instalación opcional con soporte de pared, abrir el hoyo para el tornillo del soporte de pared e instalar el adaptador de soporte para paredes o el adaptador de soporte para el techo.
7. Instalar de regreso el tablero PC sujetando el tornillo que detiene el tablero.
8. Conectar los alambres en los bloques de terminales. Reemplazar la cobertura por medio de insertarla en las clavijas de cierre y enroscar los tornillos que la sostiene.

Figura 36. Instalación del soporte



Fuente: Autores

Figura 37. Orificios troquelados



Fuente: Autores

7.10.3 Instalación del detector. Conexiones del bloque de terminales

Terminales 1 y 2 marcados como "T2" y "T1" (TAMPER): Si se requiere una función de seguridad, conecte estos terminales a una zona protectora normalmente cerrada de 24 horas en la unidad de control. Si se abre la tapa frontal del detector, se enviará inmediatamente una señal de alarma a la unidad de control.

Terminal 3 marcado con "NC": Este es NC (Normalmente Cerrado) salida de relé de ALARMA (Este contacto es funcional en el LC-100-PI y LC-120-PI).

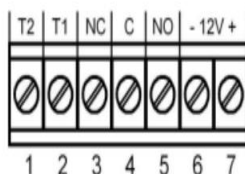
Terminal 4 marcado con "C": Este es el COMMON del relé de ALARMA (Este contacto es funcional en el LC-100-PI y LC-120-PI).

Terminal 5 marcado con "NO": Este es NO (Normalmente Abierto) del relé de ALARMA (Este contacto es funcional solamente en el LC-120-PI).

Terminal 6 marcado como "-" (GND): Conéctelo a la salida de tensión negativa o a la tierra del panel de control.

Terminal 7 marcado como "+" (+12 V): Conéctelo a una salida de tensión positiva de entre 8,2 y 16 V CC (habitualmente procedente de la unidad de control de la alarma).

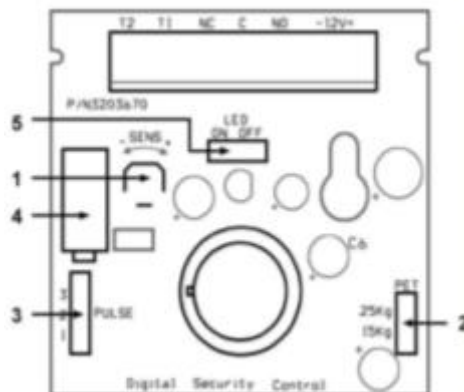
Figura 38. Bloque terminales



Fuente: Autores

7.10.4 Configuración del detector

Figura 39. Diseño PCB




1 Ajuste de sensibilidad PIR

- 2 Ajuste de la inmunidad a mascotas
- 3 Puente del contador de impulsos
- 4 Interruptor de seguridad
- 5 Puente de LED

Fuente: Autores

Configuración Del Puente Del Contador De Impulsos

	Entorno muy estable	Situación moderadamente molesta	Probabilidad relativamente alta de falsas alarmas
	Posición 1 sin mascotas	Posición 2 Mascota de hasta 15 kg (33,1 lbs)	Posición 3 Mascota de hasta 25 kg (55 lbs)

7.10.4.1 Ajuste del alcance del sensor PIR ("SENS"). Utilice el potenciómetro para ajustar el alcance de detección entre el 68% y el 100% (el ajuste de fábrica es el 84%). Gire el potenciómetro en sentido horario para incrementar el alcance, y en sentido anti horario para reducirlo.

7.10.4.2 Requisitos de tamaño de los cables. Utilice cables de calibre 22 AWG (0,5 mm) o de mayor diámetro. Utilice la siguiente tabla para determinar el calibre (diámetro) del cable y su longitud entre el detector y el panel de control.

Longitud del	m	200	300	400	800
Diámetro del	mm	.5	.75	1.0	1.5
Longitud del	ft.	656	984	1312	2624
Calibre del Cable	AWG	22	20	18	16

7.10.5 Prueba de desplazamiento

Nota importante: Tras realizar la instalación, la unidad deberá ser probada exhaustivamente para verificar que funciona correctamente. Deberá instruirse al usuario

final en el modo de realizar una prueba semanal de desplazamiento. Una vez configurado el detector (el puente del contador de impulsos en la posición 1; el LED activado; ninguna persona dentro de la zona protegida), genere movimiento en la zona completa que se desee cubrir. En el caso de que la cobertura sea incompleta, vuelva a ajustar el alcance o reubique el detector. Una vez haya conseguido la cobertura que desea, puede desactivar el LED de alarma. Utilice los soportes opcionales LC-L1ST para montaje en pared / techo para resolver los problemas de ubicación. Estos soportes permiten colocar el detector en posición horizontal.

Especificación técnica:

Método de detección	Sensor PIR Quad (de cuatro elementos)
Alimentación	Entre 8,2 y 16 V CC
Consumo de corriente	Activo: 10 mA ($\pm 5\%$) Reposo: 8 mA ($\pm 5\%$)
Compensación de temperatura	Si
Período de alarma	2 s ($\pm 0,5$ s)
Salida de la alarma	LC-100-PI - Forma A - NC LC-120-PI - Forma C – NC & NO 28Vdc 0.1 A con 10 Ohm Resistencia de protección en serie
Interruptor de seguridad	N.C. 28 V CC, 0,1 A con resistencia protectora en serie de 10 ohm; se activa cuando se retira la tapa
Periodo de calentamiento	60 s (± 5 s)
Indicador LED	LED activado (ON) durante la alarma
Inmunidad a radiofrecuencia	10 V/m más 80% AM ?? de 80 MHz a 1 GHz
Inmunidad a electricidad estática	8 kV en contacto, 15 kV en el aire Inmunidad transitoria, 2,4 kV a 1,2 joule
Inmunidad transitoria	2.4kV @ 1.2joules
Temperatura de funcionamiento	-10°C ~ +50°C (14°F ~ 122°F)
Dimensiones	92 mm x 62,5 mm x 40 mm (3.62" x 2.46" x 1.57")
Peso	61 (2,15 oz.)

7.10.6 Controlador de temperatura



Información de Seguridad:

Instalación:

Diseñado para su uso:

UL873 - sólo en productos compatibles

EN61010-1 / CSA 22.2 No 1010,1-92

Ofrecer como mínimo aislamiento básico.

Conveniente para instalaciones dentro de la Categoría II y III, y contaminación Grado 2

Configuración:

Todas las funciones se pueden seleccionar en la parte frontal, es la responsabilidad del ingeniero instalar correctamente para asegurar que la configuración sea segura. Utilizar el bloqueo de programa para proteger las funciones críticas de la manipulación.

Alarmas de seguridad final:

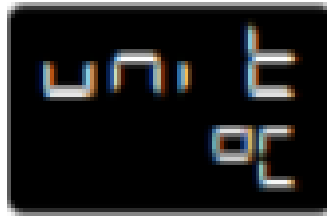
No utilice SP2 como la única alarma en lesiones personales o daños, también puede ser causada por fallas en los equipos.

Funciones de Menú:

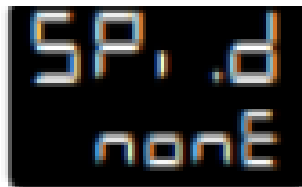
- 1. Inicio Rápido:**
- 2. Seleccionar unidad:**

Mantenga pulsado * y utilice los botones ▲ o ▼ para desplazarse a través de la lista de selección de unidad hasta que se muestre la unidad correcta.

En la pantalla aparece la unidad seleccionada por ejemplo:



Presione ▲ una vez, ahora en la pantalla aparecerá:

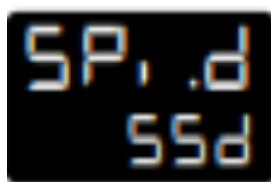


3. Seleccionar SP1 (Main setpoint output device):

Relé Dual y SSd Dual Opciones de salida modelos CN9411 y CN9422 tienen sus salidas preconfiguradas.

Mantenga pulsado * y utilice los botones ▲ o ▼ para seleccionar SSD o rLY según sea necesario.

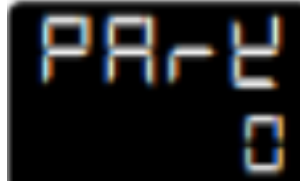
El controlador ahora leerá dispositivo de salida seleccionado por ejemplo.



4. Para entrar en la configuración inicial en la memoria del controlador:

Mantenga pulsados ambos botones ▲ y ▼ durante 3 segundos.

En la pantalla aparecerá *ParK* y una variable de medida (temperatura) (ejemplo: 23). *ParK* aparece porque un punto de referencia todavía no se ha introducido.



Visualizar Setpoint:

Mantenga pulsado * en la pantalla se muestra una unidad, por ejemplo ° C y 0



Ingresar Setpoint:

Mantenga pulsado * y utilice el botón ▲ para aumentar o el botón ▼ para disminuir la lectura y desplace el valor de setpoint requerido.

El controlador está en funcionamiento con ajustes de fábrica.

Figura 40. Controlador de temperatura Omega CN9400



Fuente: Catalogo Omega

El CN9400 posee una pantalla dual 1/16 DIN, un regulador miniatura con salida dual, con una estrategia de control PID.

El control puede ser optimizado con un solo disparo, ya sea en el autoajuste inicial de calentamiento o al punto de ajuste. El segundo punto de ajuste se puede configurar en

una variedad de modos, de alarma o con una estrategia PID. Un programador ofrece una única rampa de punto de ajuste con una selección sincronizada de período de remojo antes de apagar la salida.

El control de procesos no de temperatura se consigue mediante la provisión de rangos de entradas lineales y escaladas en unidades de ingeniería comúnmente utilizados.

La comunicación serial está disponible como una opción, y la facilidad de uso CN9-SW es un paquete de software de WINDOWS diseñado para la supervisión de la PC de hasta 32 instrumentos, para el ajuste remoto, configuración, la clonación, guardar y recuperar la configuración de archivos, el registro y la cartografía en tiempo real.

CN9-SW utiliza el protocolo MODBUS, ya sea a través de un RS232 totalmente aislado o un enlace RS485 en función del número de instrumentos y de la distancias de transmisión que intervienen en la aplicación.

Visión general:

El controlador Modelo CN9400 está diseñado para ser montado en un 1/16 DIN. Set-up después de la instalación del controlador, se requiere programación con la siguiente información:

- Tipo de Sensor de entrada
- Equipo de operación (C o F, etc.)
- Tipo de Dispositivo de salida
- Set point de temperatura

Nota: Para una mayor comprensión y buen manejo de los equipos se recomienda leer los diferentes catálogos y data sheets de los equipos

CAPÍTULO VIII

8. ANÁLISIS DE COSTOS

Para esta investigación es de suma importancia realizar un análisis económico para poder tener una idea bien clara de la relación costo-beneficio del presente proyecto desarrollado, para este análisis se toma en cuenta las siguientes consideraciones.

- Materia prima
- Proceso de manufactura con su respectivo número de horas - hombre

De inmediato se presentan tablas con sus diferentes rubros antes mencionados para cada sistema constituido del prototipo que se ha diseñado para de esta manera alcanzar un valor estimado en dólares.

8.1 Costos directos

Los costos directos se refieren a los gastos del proyecto de una manera directa y muy clara, aquellos que constituyen de materia prima y mano de obra principalmente.

En la siguiente tabla se detalla los costos de la etapa de construcción del sistema de control.

8.1.1 *Análisis de costos del sistema de control*

Tabla 19. Tabla de costos del sistema de control de temperatura

Mano de obra				
Descripción (Categoría)	Cantidad A	Costo/Hora	Horas de trabajo	Costo mano de obra (USD)
Ingeniero Electrónico	1	10	30	300
			Parcial M	300
Materiales				
Descripción	Unidad	Cantidad A	Unitario B (USD)	Costos (USD)
Controlador de temperatura Omega	u	1	350	350
Adaptador para Pc Lcd 12v 5A	u	1	50	50

Tabla 19. (continuación)

Servo Motor Hitec	u	1	10	10
Sensor de movimiento 12 v	u	1	15	15
Relé de estado sólido 100 A Omega	u	1	75	75
Termocupla tipo T Omega	u	1	50	50
Sensor de caudal	u	1	20	20
ATMEGA 328 P	u	1	7,65	7,65
Baquelita doble cara 10x20	cm	1	1,2	1,2
Ácido para baquelita	u	1	0,8	0,8
Hoja de papel transfer	u	1	0,1	0,1
Relé de 5 V	u	5	1,85	9,25
Transistor 3904	u	5	0,42	2,1
Diodos 4004	u	5	0,78	3,9
Resistencia 11 k Ω	u	5	0,34	1,7
Resistencia 220 Ω	u	5	0,22	1,1
Espadines machos	u	1	1,4	1,4
Sócalo 28 pines	u	1	0,38	0,38
Oscilador de 20 MHz	u	1	0,97	0,97
Capacitor 22PF	u	2	0,38	0,76
Regulador 7806	u	1	1,2	1,2
Cable UTP	u	2	0,54	1,08
Caja de fusibles	u	1	5	5
Luz piloto	u	3	0,75	2,25
Breaker 1 A	u	1	1,9	1,9
Breaker 5 A	u	1	2,35	2,35
Gabinete de control automático	u	1	17	17
Cable gemelo # 14	m	2	0,5	1
Capacitores 104	u	5	0,35	1,75
Zócalo 8 pines	u	1	0,15	0,15
Opams LM358	u	2	0,78	1,56
Regulador 7805	u	1	1,2	1,2
Selector	u	1	0,5	0,5
Disipador de calor	u	1	8	8
			Parcial P	646,25
		Total costos directos	(M+N+O+P)	946,25
		Gastos generales (7%)	0,07	66,2375
		Costo total de sistema		1012,4875

Fuente: Autores

8.2 Costos Indirectos

Los costos indirectos no intervienen directamente en la elaboración del proyecto, pero también son considerados en el desarrollo el mismo.

Tabla 20. Costos Indirectos

DESCRIPCIÓN	VALOR (USD)
Transporte	30
Imprevistos	50
Documentación e Investigación	100
TOTAL	180

Fuente: Autores

8.3 Costos Total del proyecto

Consideramos la sumatoria de los costos directos e indirectos

Tabla 21. Costos Totales

COSTO TOTAL DEL PROYECTO (USD)	
Costos directos	
Sistema de control	1012,48
Total costos directos	1012,48
Costos indirectos	
Transporte	30
Imprevistos	50
Documentación e Investigación	100
Total costos indirectos	180
Total costos (USD)	1192,48

Fuente: Autores

CAPÍTULO IX

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 Conclusiones

A través de esta investigación y con la ayuda de estudios realizados y de encuestas formuladas se desarrolló una metodología de Diseño, modelación e implementación de un sistema de control de temperatura para la ducha eléctrica domiciliaria, cumpliendo así con el objetivo general de la tesis que se propuso.

Se cumplen de manera muy satisfactoria los dos parámetros que se propuso como son el ahorro energético y el ahorro de suministro de agua reduciendo un 32% del mal uso.

A través de estudios se pudo conocer que la temperatura de confort a la cual se duchan las personas en nuestro país es de 35°C de igual manera que el caudal apropiado para el calentamiento de agua en una ducha es de 2.2 lt/min y que el tipo de vivienda estándar en la ciudad de Riobamba es de dos plantas según el censo presentado por INEC.

Con la utilización de una tarjeta de control (microcontrolador ATMEGA 728) se pudo enlazar y a través de un lenguaje de programación como es ARDUINO IDE se manipula un servomotor el cual realiza el control de apertura y cierre de válvula de compuerta, de esta manera automatizando todo el proceso.

A través de un sensor de presencia PIR infrarrojo se enciende y apaga el sistema de una manera eficiente y automática, de esta manera alcanzando lo que se propuso como es dar un baño de confort a las personas que hagan uso de este sistema.

Con la experimentación y toma de datos se pudo obtener diferentes gráficas de temperatura vs tiempo, concluyendo que el sistema de control proporcional es el más eficiente con un valor de $P=2,5$ de igual manera teniendo en cuenta un set point igual a 35°C; de esta manera obteniendo una curva más estable con variación de hasta 2°C en alto y en bajo.

La investigación se desarrolló de una manera sistemática tanto con un diseño térmico e hidráulico obteniendo resultados adecuados que satisfacen las expectativas propuestas como es que el flujo permanecerá casi constante con el empleo del servo motor y de un sensor de caudal al realizar la descarga en el inodoro, pudiendo ser observado en la simulación realizada en el Simulink la misma que indica una curva tipo escalón.

9.2 Recomendaciones

Tener en cuenta que el ahorro de fluido generado es pequeño pero no insignificante, si no el comienzo de generar un gran ahorro energético y de agua y crear una cultura de eficiencia energética en todo el sector residencial.

Seguir difundiendo las experiencias obtenidas en la investigación realizada para que también otras familias puedan generar un ahorro tanto en energía eléctrica como en agua.

Buscar un nuevo modelo que cumpla más allá de las expectativas de dar un baño de confort a las personas con alguna discapacidad física

BIBLIOGRAFÍA

INEC Instituto Nacional de Estadística y Censos, www.inec.gob.ec, 2010

INEC. 2010. Fascículo provincial Chimborazo. Quito: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010.

CONELC, Consejo Nacional de Electricidad, <http://www.conelec.gob.ec>, 2013

ASSE, Sociedad Americana del grupo de Ingeniería sanitaria, www.asse.com.

Duchas Lorenzetti, características de productos, <http://www.lorenzetti.com.br>

American Society of Sanitary Engineering Scald Awareness, Task Group, 2102

CENTROSUR. 2008. Proyecto de eficiencia energética en el sector residencial del cantón Cuenca. 2008.

INCROPERA, F y DEWITT, D (1996); Fundamentos de Transferencia de Calor; Editorial Mc Graw Hill, México

SHAMES, H (1995); Mecánica de Fluidos; 3era Edición; Editorial Mc Graw Hill, México

MOTT, R (1978); Transmisión de Calor; Ediciones Interciencia

CENGEL, Y (1998); Termodinámica; Editorial Mac Graw Hill, Cuarta Edición; México

STREETER, W (1980); Mecánica de Fluidos; Editorial Mac Graw Hill; México

OGATA, K; Sistemas de Control en tiempo discreto; Editorial Prentice Hall; México
iopscience.iop.org/pdf, 2014)

HOLMAN, J. P. Transferencia de Calor.8va.ed. Madrid: McGraw-Hill, 1998.

REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE INGENIERÍA, S.A. Tablas de Vapor. México, 1981.

VALENZUELA, R. Apuntes De Transferencia De Calor. Riobamba: Docucentro, 2003.

R.A. Alkhaddar, D. Phipps, R. Morgan, B. Karci and J. Hordesseux, Liverpool John Moores University, Byrom Street, Liverpool, L3 3AF, UK.

Bill Gauley, P.,Canadian Municipal Water Efficiency Network (CMWEN) Alliance for Water Efficiency (AWE), Report Issued: January 2010

David Phipps, RafidAlkhaddar, Roger Morgan, Robert McClelland, and Robert Doherty, Water and Energy Efficient Showers, Liverpool John Moores University, and Richard Critchley, United Utilities Ltd.

CATALOGO DE FABRICACIÓN OMEGA, 2014

