



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO REGULADOR  
DE FLUJO DE AGUA HIDROMECÁNICO PARA  
DUCHAS ELÉCTRICAS DOMICILIARIAS”**

**TANIA ESTEFANIA YANCHALIQÚIN YANCHALIQÚIN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERA MECÁNICA**

**RIOBAMBA - ECUADOR  
2017**

---

**APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

2015-10-07

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**YANCHALIQÚIN YANCHALIQÚIN TANIA ESTEFANIA**

Titulado:

**“DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO REGULADOR DE FLUJO DE AGUA  
HIDROMECÁNICO PARA DUCHAS ELÉCTRICAS DOMICILIARIAS”**

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

**INGENIERA MECÁNICA**

---

Ing. Carlos Santillán Mariño  
**DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Jorge Eduardo Lema Morales  
**DIRECTOR**

---

Ing. Luis Fernando Tierra Tingo  
**ASESOR**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

## **EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** YANCHALIQÚIN YANCHALIQÚIN TANIA ESTEFANIA.

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** **“DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO REGULADOR DE FLUJO DE AGUA HIDROMECAÁNICO PARA DUCHAS ELÉCTRICAS DOMICILIARIAS”**

**Fecha de Examinación:** 2017-03-08

### **RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Geovanny Novillo A. <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Jorge Eduardo Lema Morales <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Luis Fernando Tierra Tingo <b>ASESOR</b>			

\* 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. Geovanny Novillo A.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El Trabajo de Titulación que presentó, 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 teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Tania Estefania Yanchaliquín Yanchaliquín**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Tania Estefania Yanchaliquín Yanchaliquín, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

**Tania Estefania Yanchaliquín Yanchaliquín**

Cédula de Identidad: 1804923959

## **DEDICATORIA**

A mi madre por darme la vida y darme a las mejores hermanas y hermano, ustedes que tanto me han apoyado de manera incondicional de una u otra forma, ya sea con un consejo, guiándome, acompañándome e incluso regañándome, de todos he aprendido algo y todos inclusive algunos sin darse cuenta (Alejandro y Alfonso), han aportado algo para que se diera este gran logro en mi vida.

A todos ustedes que me han formado y son los pilares fundamentales en todo lo que soy.

**Tania Estefania Yanchaliquín Yanchaliquín.**

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica por brindarme todas las facilidades para formarme académicamente.

A los Ingenieros Jorge Lema y Luis Tierra por su paciencia, dedicación, motivación y aliento, por transmitir su sabiduría y experiencia permitiendo el desarrollo de este trabajo y por la gran calidad humana que han demostrado.

A mi madre, hermanas y hermano por embarcarme en el camino a ser ingeniera, por su esfuerzo, ejemplo y apoyo constante.

**Tania Estefania Yanchaliquín Yanchaliquín.**

## CONTENIDO

	Pág.	
<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	
1.1	Antecedentes .....	1
1.2	Planteamiento del problema .....	2
1.3	Justificación.....	2
1.4	Alcance.....	3
1.5	Objetivos .....	3
1.5.1	<i>Objetivo general</i> .....	3
1.5.2	<i>Objetivos específicos</i> .....	3
<b>2</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	
2.1	El Agua.....	4
2.1.1	<i>Importancia y ahorro del agua</i> . ....	4
2.1.2	<i>Propiedades físicas</i> . ....	5
2.1.3	<i>Temperatura de confort</i> .....	5
2.2	Ducha eléctrica .....	6
2.2.1	<i>Partes constitutivas</i> . ....	6
2.2.2	<i>Principio de funcionamiento</i> . ....	8
2.2.3	<i>Resistencia eléctrica</i> .....	8
2.3	Transferencia de calor .....	9
2.3.1	<i>Conducción</i> .....	9
2.3.2	<i>Convección</i> . ....	9
2.3.3	<i>Radiación</i> . ....	9
2.4	Dinámica de fluidos computacional (DFC) .....	10
2.5	Reguladores de flujo.....	12
2.5.1	<i>Tipos de reguladores</i> . ....	12
2.5.1.1	<i>Reguladores con junta tórica</i> . ....	13
2.5.1.2	<i>Principio de funcionamiento</i> . ....	15
2.6	Junta tórica u o-ring.....	15
2.6.1	<i>Materiales de la junta tórica</i> . ....	16
2.6.1.1	<i>Nitrilo o Buna (NBR)</i> .....	16
2.6.1.2	<i>Silicón</i> .....	17
2.6.1.3	<i>Vitón</i> . ....	17
2.6.1.4	<i>EPDM</i> .....	17
2.6.1.5	<i>Caucho natural</i> .....	18
2.6.1.6	<i>Neopreno</i> . ....	18
2.6.2	<i>Propiedades elásticas</i> .....	19
2.8	Impresión 3D.....	19
2.8.1	<i>Extrusión de material</i> . ....	21
2.8.2	<i>Materiales para impresoras 3D</i> . ....	22
2.8.2.1	<i>ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno)</i> . ....	22
2.8.2.2	<i>PLA (Ácido poliláctico)</i> .....	22
2.8.2.3	<i>HIPS (Poliestireno de alto impacto)</i> . ....	22



2.8.2.4	<i>PET (Tereftalato de polietileno).</i>	22
2.8.2.5	<i>Nylon.</i>	22
2.9	Presión.	23
2.10	Ecuación de continuidad	23

### **3 MARCO METODOLÓGICO**

3.1	Parámetros que figuran en la red instalada	26
3.2	Dimensiones del dispositivo regulador de flujo de agua	26
3.2.2	<i>Carcasa.</i>	26
3.2.3	<i>Junta tórica u o-ring.</i>	29
3.2.4	<i>Estrella reguladora.</i>	35
3.2.5	<i>Bocín.</i>	41

### **4 EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS**

4.1	Construcción del regulador de flujo	42
4.2	Instalación del regulador de flujo	42
4.3	Experimentación	44
4.3.1	<i>Datos en la instalación del sistema 1</i>	45
4.3.1.1	<i>Análisis del regulador de flujo de agua número 1, con o-ring de nitrilo</i>	45
4.3.1.2	<i>Análisis del regulador de flujo de agua número 1, con o-ring de silicón.</i>	49
4.3.1.3	<i>Análisis del regulador de flujo de agua importado.</i>	54
4.3.2	<i>Datos en la instalación del sistema 2</i>	58
4.3.2.1	<i>Análisis del regulador de flujo de agua número 2, con o-ring de nitrilo.</i>	58
4.3.2.2	<i>Análisis del regulador de flujo de agua número 2 con o-ring de silicón.</i>	63
4.3.2.3	<i>Análisis del regulador de flujo de agua importado.</i>	67
4.3.3	<i>Datos de la ducha con calefón</i>	74
4.3.4	<i>Datos de la ducha eléctrica</i>	75
4.4	Interpretación de resultados	76

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	Conclusiones	79
5.2	Recomendaciones	80

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1	Propiedades físicas del agua en unidad SI ..... 5
2	Propiedades de algunos elastómeros ..... 18
3	Clasificación de la fabricación aditiva ..... 20
4	Constante elástica para el o-ring de Nitrilo ..... 32
5	Constante elástica para el o-ring de Silicón ..... 33
6	Datos del R1, ON, AV1 = 10° ..... 45
7	Datos del R1, ON, AV1 = 10°, AV2 = 14° ..... 46
8	Datos del R1, ON, AV1 = 15° ..... 47
9	Datos del R1, ON, AV1 = 15°, AV2 = 14° ..... 48
10	Datos del R1, OS, AV1 = 8° ..... 49
11	Datos del R1, OS, AV1 = 8°, AV2 = 12° ..... 50
12	Datos del R1, OS, AV1 = 15° ..... 51
13	Datos del R1, OS, AV1 = 15°, AV2 = 12° ..... 52
14	Datos del RI, OI – 9, AV1 = 11° ..... 54
15	Datos del RI, OI – 9, AV1 = 11°, AV2 = 17° ..... 55
16	Datos del RI, OI – 9, AV1 = 19° ..... 56
17	Datos del RI, OI – 9, AV1 = 19°, AV2 = 13° ..... 57
18	Datos del R2, ON, AV1 = 5° ..... 58
19	Datos del R2, ON, AV1 = 5°, AV2 = 12° ..... 59
20	Datos del R2, ON, AV1 = 20° ..... 60
21	Datos del R2, ON, AV1 = 20°, AV2 = 12° ..... 61
22	Datos del R2, OS, AV1 = 12° ..... 63
23	Datos del R2, OS, AV1 = 12°, AV2 = 12° ..... 64
24	Datos del R2, OS, AV1 = 24° ..... 65
25	Datos del R2, OS, AV1 = 24°, AV2 = 10° ..... 66
26	Datos del RI, OI – 9, AV1 = 24° ..... 67
27	Datos del RI, OI – 9, AV1 = 24°, AV2 = 10° ..... 68
28	Datos del RI, OI – 6, AV1 = 24° ..... 69
29	Datos del RI, OI – 6, AV1 = 24°, AV2 = 10° ..... 70
30	Datos del RI, OI – 4, AV1 = 24° ..... 71
31	Datos del RI, OI – 4, AV1 = 24°, AV2 = 10° ..... 72
32	Datos del calefón apertura total de la válvula 1 ..... 74
33	Datos de la ducha eléctrica con apertura de la válvula de paso a 13° ..... 75
34	Resultados por diferentes tipos de duchado ..... 78

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1	Vista explotada de una ducha eléctrica ..... 6
2	Vista superior de la ducha eléctrica. .... 7
3	Vista inferior de la ducha eléctrica. .... 7
4	Funcionamiento de la ducha eléctrica ..... 8
5	Simulación de la ducha por medio de la dinámica de fluidos computacional .... 11
6	Dispersión de flujo de agua mediante DFC. .... 11
7	Distribución de agua en un edificio ..... 13
8	Elementos de un regulador con junta tórica..... 14
9	Regulador de flujo instalado en la ducha ..... 14
10	Variación de presión en el regulador de flujo ..... 15
11	Junta tórica, a) sin aplicar presión b) con presión aplicada. .... 16
12	Comportamiento esfuerzo-deformación de los polímeros ..... 19
13	Fabricación aditiva ..... 20
14	Proceso de extrusión de material ..... 21
15	Ecuación de continuidad ..... 23
16	Esquema Metodológico..... 25
17	Reductor de buje $\frac{3}{4}$ "x $\frac{1}{2}$ " y Unión reductora $\frac{3}{4}$ " x $\frac{1}{2}$ " ..... 26
18	Vista en corte de una unión reductora $\frac{3}{4}$ " x $\frac{1}{2}$ ", ..... 27
19	Carcasa del regulador de flujo de agua 1 ..... 27
20	Unión reductora con la carcasa 1 ..... 28
21	Carcasa del regulador de flujo de agua 2 ..... 28
22	Unión reductora con la carcasa 2 ..... 29
23	Dimensiones del o-ring ..... 29
24	Análisis de presión en el o-ring..... 31
25	Área del o-ring donde se va aplicar presión vista transversal en corte. .... 31
26	Fuerza vs deformación para el o-ring de Nitrilo ..... 33
27	Fuerza vs deformación para el o-ring de silicón ..... 34
28	Estrella reguladora ..... 35
29	Áreas del Regulador de flujo ..... 36
30	Puntos de análisis de la estrella reguladora..... 36
31	Diagrama de expansión y contracción repentina ..... 40
32	Bocín. .... 41
33	Representación del bocín y la carcasa en la unión reductora..... 41
34	Esquema de instalación del sistema 1 ..... 43
35	Esquema de instalación del sistema 2 ..... 43
36	Temperatura vs Tiempo del R1, ON, AV1 = 10°..... 45
37	Temperatura vs Tiempo del R1, ON, AV1 = 10°, AV2 = 14° ..... 46
38	Temperatura vs Tiempo del R1, ON, AV1 = 15°..... 47
39	Temperatura vs Tiempo del R1, ON, AV1 = 15°, AV2 = 14°..... 48

40	Regulador de flujo de agua número 1, con o-ring de nitrilo.....	49
41	Temperatura vs Tiempo del R1, OS, AV1 = 8°.....	50
42	Temperatura vs Tiempo del R1, OS, AV1 = 8°, AV2 = 12°.....	51
43	Temperatura vs Tiempo del R1, OS, AV1 = 15°.....	52
44	Temperatura vs Tiempo del R1, OS, AV1 = 15°, AV2 = 12°.....	53
45	Regulador de flujo de agua número 1, con o-ring de silicón.....	53
46	Temperatura vs Tiempo del RI, OI – 9, AV1 = 11°.....	54
47	Temperatura vs Tiempo del RI, OI – 9, AV1 = 11°, AV2 = 17°.....	55
48	Temperatura vs Tiempo del RI, OI – 9, AV1 = 19°.....	56
49	Temperatura vs Tiempo del RI, OI – 9, AV1 = 19°, AV2 = 13°.....	57
50	Regulador de flujo de agua importado en la instalación 1.....	58
51	Temperatura vs Tiempo del R2, ON, AV1 = 5°.....	59
52	Temperatura vs Tiempo del R2, ON, AV1 = 5°, AV2 = 12°.....	60
53	Temperatura vs Tiempo del R2, ON, AV1 = 20°.....	61
54	Temperatura vs Tiempo del R2, ON, AV1 = 20°, AV2 = 12°.....	62
55	Regulador de flujo de agua número 2, con o-ring de nitrilo.....	62
56	Temperatura vs tiempo del R2, OS, AV1 = 12°.....	63
57	Temperatura vs Tiempo del R2, OS, AV1 = 12°, AV2 = 12°.....	64
58	Temperatura vs tiempo del R2, OS, AV1 = 24°.....	65
59	Temperatura vs Tiempo del R2, OS, AV1 = 24°, AV2 = 10°.....	66
60	Regulador de flujo de agua número 2 con o-ring de silicón.....	67
61	Temperatura vs Tiempo del RI, OI – 9, AV1 = 24°.....	68
62	Temperatura vs Tiempo del RI, OI – 9, AV1 = 24°, AV2 = 10°.....	69
63	Temperatura vs Tiempo del RI, OI – 6, AV1 = 24°.....	70
64	Temperatura vs Tiempo del RI, OI – 6, AV1 = 24°, AV2 = 10°.....	71
65	Temperatura vs Tiempo del RI, OI – 4, AV1 = 24°.....	72
66	Temperatura vs Tiempo del RI, OI – 4, AV1 = 24°, AV2 = 10°.....	73
67	Regulador de flujo de agua importado en la instalación 2.....	73
68	Temperatura vs Tiempo del calefón.....	74
69	Temperatura vs Tiempo de la ducha eléctrica.....	75
70	Temperatura vs Tiempo de los diferentes tipos de duchado.....	77

## SIMBOLOGÍA

$F$	Fuerza	N
$k_e$	Constante elástica	N/m
$A_o$	Área del o-ring	m <sup>2</sup>
$R$	Radio mayor del o-ring	mm
$r$	Radio menor del o-ring	mm
$m$	Masa	Kg
$x$	Deformacion	mm
$A$	Área	m <sup>2</sup>
$P$	Presion	psi; Pa; bar
$Q$	Caudal	l/min; m <sup>3</sup> /s
$k$	Contracción repentina	
$\rho$	Densidad	Kg/m <sup>3</sup>
$g$	Gravedad	m/s <sup>2</sup>
$hr_{1-2}$	Pérdidas de presión del punto 1 al punto 2	Psi; Pa; N/m <sup>2</sup>
$\gamma$	Peso específico	N/m <sup>3</sup>
$t$	Tiempo	s
$v$	Velocidad	m/s
$V$	Volumen	m <sup>3</sup> ; l
$R_1$	Regulador de flujo de agua 1	
$R_2$	Regulador de flujo de agua 2	
$R_I$	Regulador de flujo de agua importado	
$O_N$	O-ring de Nitrilo	
$O_S$	O-ring de Silicón	
$O_{I-9}$	O-ring importado con estrella reguladora amarilla capacidad de 9 l/min	
$O_{I-6}$	O-ring importado con estrella reguladora azul capacidad de 6 l/min	
$O_{I-4}$	O-ring importado con estrella reguladora verde capacidad de 4 l/min	
$AV_1$	Apertura de la válvula de paso de agua (válvula 1)	
$AV_2$	Apertura de la válvula del inodoro (válvula 2)	

## LISTA DE ABREVIATURAS

OMS	Organización mundial de la salud.
INEC	Instituto nacional de estadística y censo.
GLP	Gas licuado de petróleo.
SI	Sistema internacional de unidades.
DFC	Dinámica de fluidos computacional.
CAD	Diseño asistido por computadora.
CNCP	Centro de normalización y certificación de productos A.C.
ONNCCE	Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación S.C.
ANCE	Asociación nacional de normalización y certificación del sector eléctrico A.C.
EPDM	Etileno propileno dieno tipo M.
AM	Additive manufacturing.
STL	Stereo Lithography.
ASTM	American Society Of Testing Materials.
ABS	Acrilonitrilo butadieno estireno.
HIPS	High Impact Polystyrene.
PET	Tereftalato de polietileno.

## **LISTA DE ANEXOS**

- A Datos técnicos de la ducha eléctrica lorenzetti
- B Datos técnicos del regulado de flujo de agua importado amarillo de 9 l/min
- C Datos técnicos del regulado de flujo de agua importado azul de 6 l/min
- D Datos técnicos del regulado de flujo de agua importado verde de 4 l/min
- E Modelación en SOLIDWORKS del regulador de flujo de agua 1
- F Modelación en SOLIDWORKS del regulador de flujo de agua 2
- G Regulador de flujo de agua 1
- H Regulador de flujo de agua 2
- I O-ring de nitrilo y silicón

## RESUMEN

El recurso más utilizado en el planeta es el agua y también al que peor uso se le da, siendo una de las formas más comunes de desperdicio la limpieza, para minimizar gastos y ser más eficientes en su uso y debido a que en Ecuador existe la tentativa de eliminar el subsidio del gas doméstico que es utilizado en el calentamiento de agua por calefón, nace la idea de desarrollar un dispositivo regulador de flujo de agua hidromecánico para duchas eléctricas que pretende ahorrar agua durante el baño ya que a futuro éstas tendrán mayor demanda en el mercado, las partes constitutivas del regulador de flujo se establecieron mediante el método de prueba y error, en cuanto a las partes fijas (carcasa, estrella reguladora y bocín), para su elaboración se utilizó la técnica de impresión 3D con ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), material que posee resistencia al agua, mientras tanto la parte flexible (o-ring) se elaboró de silicón y nitrilo. Para la experimentación se instaló dos sistemas de funcionamiento; uno donde la válvula de paso de agua solo controló el ramal de la ducha y un segundo con la válvula de paso controlando los dos ramales tanto el de la ducha como el del inodoro, se establecieron parámetros de grados de apertura de válvula tanto para la ducha como para el inodoro, y se situaron medidores de presión y temperatura estratégicamente. Por lo tanto se tiene un regulador de flujo de agua funcional con la utilización del o-ring de silicón a una apertura de válvula de paso de agua de 24 grados, obteniendo como resultado un ahorro de agua del 33,7% con un caudal de 2,05 l/min y una temperatura de confort de 42°C, se recomienda tener una apertura máxima de válvula del inodoro a 10 grados, para que la temperatura no varíe durante la ducha.

PALABRAS CLAVES: <REGULADOR DE FLUJO DE AGUA>, <REGULADOR HIDROMECAÁNICO>, <DUCHA ELÉCTRICA>, <O-RING>, <IMPRESIÓN 3D>, <TEMPERATURA DE CONFORT>, <ABS (ACRILONITRILLO BUTADIENO ESTIRENO)>, <APERTURA DE VÁLVULA>.



## ABSTRACT

The present research was carried out to develop a device for regulating the flow of hydro-mechanical water for electric showers; the water is the most used resource on the planet and also the worst use is given, being one of the most common forms of waste cleaning, to minimize gas and to be more efficient in its use and because in Ecuador, there is the attempt to eliminate the subsidy of the domestic gas that is used in the heating of water by heating, the idea arises of that intends to save water during the bath as in the future they will have greater demand in the market, the constituent parts of the flow regulator were established by the test and error method, in terms of the fixed parts (carcasses, regulating star and hub), the 3D printing technique was used with ABS (Acrylonitrile, Butadiene, Styrene), material that has water resistance, while the flexible part (O-ring) was made of silicone and nitrile. For the experimentation two operating systems were installed; first one where the water pass valve only controller the branch of the shower and a second one with the pass valve controlling the two branches both the shower and the toilet, parameters were set for valve opening degrees for both the shower as for the toilet, and strategically placed pressure and temperature gauges. Therefore, a functional water flow regulator is used with the use of silicone O-ring at a 24-degree water-outlet valve opening, resulting in a water saving of 33.7% at a flow rate of 2.05 l/min and a comfort temperature of 42°C, it is recommended to have a maximum opening of the toilet valve al 10 degrees, so that the temperature does not change during the shower.

KEY WORDS: <WATER FLOW REGULATOR>, <HYDROMECHANIC REGULATOR>, <ELECTRIC SHOWER>, <O-RING>, <IMPERSION 3D>, <COMFORT TEMPERATURE>, <ABS (ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE)>, <VALVE OPENING>.

# CAPÍTULO I

## 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Hoy en día el agua es un recurso utilizado para diferentes cosas como la alimentación, la limpieza, el riego de las plantaciones, para procesos de fabricación de productos, en la construcción, para producir energía eléctrica, como medio de transporte, pero principalmente el agua es muy valiosa porque la necesitamos para vivir.

Siendo la limpieza uno de los usos muy importantes del agua para el ser humano y en especial el agua usada para bañarse mediante ducha que en su caso pueden ser eléctricas o por calefones, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) una persona utiliza 200 litros de agua en un baño aproximado de 10 minutos (CADENA, 2014), mientras el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) en el Ecuador indica que la mayoría de hogares utilizan la ducha durante 20 minutos para que todos sus miembros se bañen (INEC, 2012).

En el mundo se está construyendo un dispositivo para duchas, que permite controlar el flujo de agua, algunas empresas extranjeras como Neoperl y Ecosmart han creado un regulador de caudal que ayuda a mantener el flujo de agua constante sin importar la presión que exista en el sistema, obteniendo así ahorro de agua al momento de bañarse.

En nuestro país se está fomentando la construcción de varias centrales hidroeléctricas, por lo que se va a contar con más energía eléctrica, es por esto que se pretende retirar el subsidio del gas doméstico (GLP), por consecuencia se está implementando campañas para fomentar el consumo de la misma, entonces la población tendrá que optar por electrodomésticos que funcionen con energía eléctrica, como es el caso de las duchas, donde el calefón a gas se verá reemplazado por duchas eléctricas para ello estas deben ofrecer el confort necesario para el aseo diario de cada persona.

## **1.2 Planteamiento del problema**

El agua se gasta por muchas vías, una de ellas es por uso doméstico, como es el aseo diario, por lo que existe la práctica de calentar el agua por varios métodos como son la energía eléctrica, la energía solar y por la quema del gas licuado de petróleo (GLP) como es el caso de los calefones, sin embargo no existe un sistema o dispositivo que regule la temperatura del agua para que el baño sea completamente satisfactorio para la persona.

Las duchas eléctricas por ejemplo se caracterizan por no mantener una temperatura constante debido a varios factores como el sistema de bombeo ya sea por gravedad o tanque presurizado, la presión y la variación del flujo de agua, lo que obliga a la persona a manipular la válvula de paso de agua para que se mantenga a una temperatura adecuada, produciendo malestar a la hora de tomar la ducha y el desperdicio indiscriminado de agua.

## **1.3 Justificación**

El Ecuador se encuentra en un cambio de la matriz energética donde se pretende minimizar la utilización de combustibles fósiles (petróleo), para depender de energías limpias: eólica, hidroeléctrica, solar entre otras, por lo que se encuentra con proyectos en construcción para generar energía eléctrica a un costo accesible para el país, con esto el gobierno está fomentando el consumo de productos eléctricos como son cocinas eléctricas, duchas eléctricas, entre otras.

En el Ecuador, según el censo realizado en el año 2010, se conoce que existe un 70,6% de casas tipo villa, (INEC, 2010), el análisis de funcionamiento del dispositivo regulador de flujo de agua, se debe realizar en este tipo de casas por ser el grupo mayoritario en el país, además que éstas son los posibles candidatos que tiendan a ocupar duchas eléctricas.

En el Ecuador no existe algún dispositivo que regule la temperatura automáticamente en las duchas eléctricas, por lo que se ve la necesidad de crear un dispositivo que ayude a mantener la temperatura constante a un bajo precio y que ayude al medio ambiente con el ahorro del agua, al desarrollar este modelo se podrá a futuro que las empresa ecuatorianas fabriquen este regulador en gran cantidad.

El buen manejo y racionalidad del consumo del agua en los hogares puede influir de forma determinante para asegurar su disponibilidad en el futuro, no obstante existen diferentes formas de ahorrar agua en los hogares como cerrar las llaves mientras jabonan los platos, se bañan entre otros. Al usar eficientemente y ahorrar la energía eléctrica, así como proteger el ambiente no es equivalente a reducir y sacrificar nuestro nivel de satisfacción y comodidad ante las necesidades básicas que tenemos. Un cambio de costumbres y actitudes puede ser beneficioso para tener una mayor eficiencia en el empleo de la electricidad, para el uso adecuado de los recursos energéticos, también en la economía del hogar y la conservación del entorno natural en el que vivimos.

#### **1.4 Alcance**

Mediante esta investigación se pretende buscar un sistema regulador de temperatura para el calentamiento de agua en las duchas eléctricas domiciliarias, que permita el ahorro del agua y además que satisfaga las necesidades de confort e higiene de las familias ecuatorianas, dado que el gobierno pretende eliminar el subsidio del GLP (gas licuado de petróleo) que es utilizado en los calefones y la energía eléctrica será más accesible.

#### **1.5 Objetivos**

**1.5.1 Objetivo general.** Desarrollar un dispositivo regulador de flujo de agua hidromecánico para duchas eléctricas domiciliarias.

##### **1.5.2 Objetivos específicos:**

Determinar los parámetros que intervienen en el funcionamiento de la ducha eléctrica como son la presión, el caudal y la sección de tubería que tiene la red instalada.

Establecer el material del elemento denominado junta tórica (o-ring.)

Construir el dispositivo regulador de flujo de agua hidromecánico.

Evaluar experimentalmente el regulador de flujo de agua hidromecánico mediante pruebas de caudal y temperatura.

Realizar un análisis comparativo entre el regulador que se va a desarrollar con uno ya existente.

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO TEÓRICO

El presente capítulo tiene como objetivo realizar el estudio bibliográfico de los parámetros más relevantes para el desarrollo del dispositivo regulador de flujo como son las propiedades del agua, los materiales con los cuales se fabricará el dispositivo y las teorías que lo gobiernan, para lo cual se investigó en libros, revistas, artículos, documentos tanto físicos como en internet.

#### 2.1 El Agua

**2.1.1 Importancia y ahorro del agua.** El agua es sin duda el factor principal que ha hecho posible la existencia de vida en nuestro planeta, ya que se encuentra presente en todos los organismos. Es relevante saber que el agua es un bien agotable, que no se puede producir, por lo que existe muchas formas de cuidarla por lo que es hora de tomar conciencia para utilizarla eficientemente, ya que la poca agua que disponemos la desperdiciamos y la contaminamos. La provisión de agua dulce está disminuyendo a nivel mundial, una de cada cinco persona no tiene acceso al agua potable (ECUAMBIENTE, 2013). Tal vez en nuestra educación, cuando fuimos niños y después jóvenes, no sé nos inculcó con suficiente insistencia la importancia que tiene la preservación del agua en cantidad y calidad y eso seguramente convierte a esta generación en un tanto indiferente hacia las soluciones de los problemas del agua.

El ahorro del agua depende de nosotros, debemos tomar conciencia que el agua es un recurso limitado y es esencial para la vida, es por ello que debemos tener un consumo racional y utilizar el agua estrictamente necesaria para reducir la contaminación del agua, garantizando así la calidad del agua a las generaciones futuras.

Una medida de prevención para ahorra agua es la instalación de reguladores de caudal en las casas los cuales limitan el flujo de agua, reduciendo el consumo de agua que utilizamos al ducharnos, lavarnos las manos, los dientes, lavar platos, alimentos, etc., teniendo como beneficio la satisfacción de ayudar al mundo reduciendo el gasto innecesario de agua, y por otro lado disminución en el pago de la planilla de agua y la

planilla luz o a su vez la compra de bombonas de gas doméstico cuando se trata de agua caliente, ya que se reduce de manera importante el gasto mensual de electricidad o gas

Propiedades físicas. Debido a que el agua es una sustancia líquida que se encuentra en diferentes estados en la naturaleza es necesario saber cuáles son sus propiedades a diferentes temperaturas por lo que se detallan en la tabla siguiente las características más relevantes.

Tabla 1. Propiedades físicas del agua en unidad SI

Temp. °C	Peso específico $\gamma$ N/m <sup>3</sup>	Densidad $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Viscosidad $\mu \times 10^3$ N · s/m <sup>2</sup>	Viscosidad cinemática $\nu \times 10^6$ m <sup>2</sup> /s	Tensión superficial $\sigma \times 10^2$ N/m	Cabeza absoluta de presión de vapor $p_v/\gamma$ m	Módulo de elasticidad $K \times 10^{-7}$ N/m <sup>2</sup>	Conductividad térmica $k$ W/m · K
0	9806	999.9	1.792	1.792	7.62	0.06	204	0.561
5	9807	1000.0	1.519	1.519	7.54	0.09	206	0.571
10	9804	999.7	1.308	1.308	7.48	0.12	211	0.580
15	9798	999.1	1.140	1.141	7.41	0.17	214	0.589
20	9789	998.2	1.005	1.007	7.36	0.25	220	0.598
25	9778	997.1	0.894	0.897	7.26	0.33	222	0.607
30	9764	995.7	0.801	0.804	7.18	0.44	223	0.615
35	9749	994.1	0.723	0.727	7.10	0.58	224	0.623
40	9730	992.2	0.656	0.661	7.01	0.76	227	0.630
45	9711	990.2	0.599	0.605	6.92	0.98	229	0.637
50	9690	988.1	0.549	0.556	6.82	1.26	230	0.643
55	9666	985.7	0.506	0.513	6.74	1.61	231	0.649
60	9642	983.2	0.469	0.477	6.68	2.03	228	0.654
65	9616	980.6	0.436	0.444	6.58	2.56	226	0.659
70	9589	977.8	0.406	0.415	6.50	3.20	225	0.663
75	9560	974.9	0.380	0.390	6.40	3.96	223	0.667
80	9530	971.8	0.357	0.367	6.30	4.86	221	0.670
85	9499	968.6	0.336	0.347	6.20	5.93	217	0.673
90	9466	965.3	0.317	0.328	6.12	7.18	216	0.675
95	9433	961.9	0.299	0.311	6.02	8.62	211	0.677
100	9399	958.4	0.284	0.296	5.94	10.33	207	0.679

Fuente: (SALDARRIAGA, 1998).

**2.1.2 Temperatura de confort.** En lo que concierne a la temperatura del líquido, las indicaciones termométricas sirven muy poco al momento de tomar una ducha, el único, el mejor instrumento que mide con completa exactitud el calor relativo de los baños, es la sensación o impresión que percibe el cerebro en la piel.

Según Pedro Felip Monlau existen de acuerdo a la temperatura los baños el fríos, calientes o templados, los baños fríos serán simplemente estimulantes o tónicos este se debe tomar cuando el cuerpo está bien descansado, se está sudado o con la piel muy caliente; los baños calientes son los que se toman como medio de higiene. Los baños tibios dan la sensación de calor suave y grato en toda la superficie de la piel, son calmantes y relajantes, pero si el baño es muy caliente se experimenta sensaciones incómodas y picantes; el baño templado debe tener una temperatura agradable al cuerpo, en cualquier circunstancia del

individuo, independiente de la estación y la temperatura del ambiente. La duración de los baños de limpieza, por regla general, será de 10 a 15 minutos. (MONLAU, 1857)

ENERGY STAR establece que el calentamiento de agua en los domicilios sea de uso exclusivo para tomar una ducha, definiendo así una temperatura de confort aproximadamente de 38 a 42°C, logrando así una eficiencia energética. (ENERGY STAR, 2013)

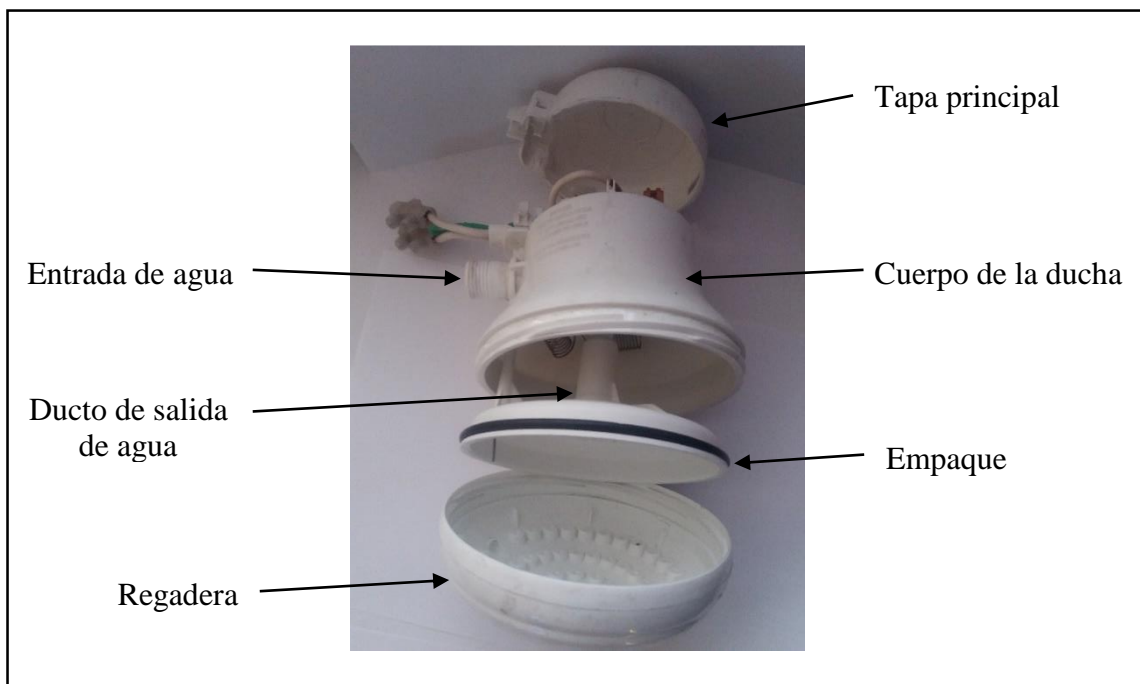
De acuerdo a ensayos previos realizados para este trabajo se puede decir que la temperatura de confort está en el rango de 36 a 42 °C.

## 2.2 Ducha eléctrica

Las duchas eléctricas son aparatos pequeños instalados donde se requiera agua caliente, son alimentadas por energía eléctrica y se activa de forma automática por el flujo de agua. Las duchas eléctricas tienen una potencia que va de 3000 a 5000 watts, sin embargo es muy utilizada en el país debido a la facilidad y a lo económico que es su instalación.

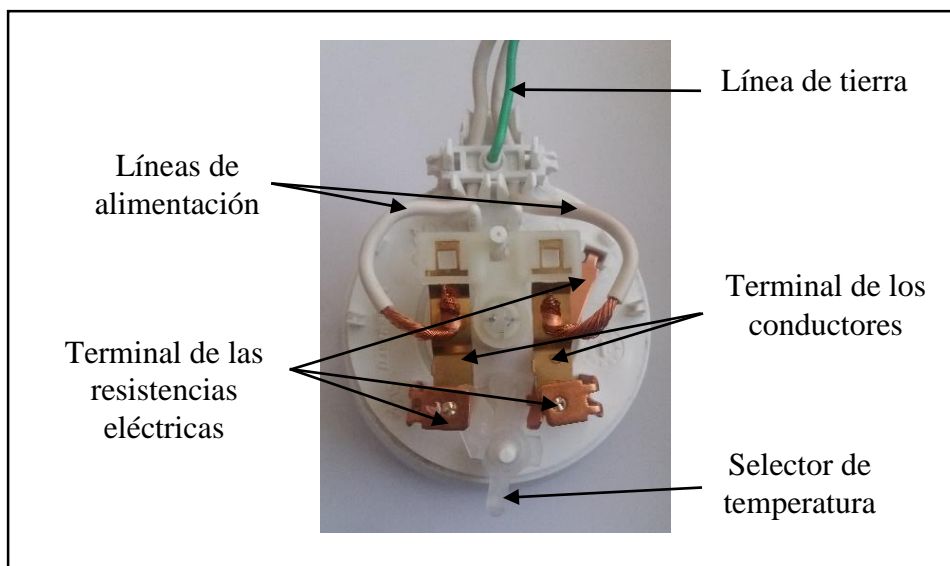
**2.2.1 Partes constitutivas.** Una ducha eléctrica simple consta de las siguientes partes:

Figura 1. Vista explotada de una ducha eléctrica



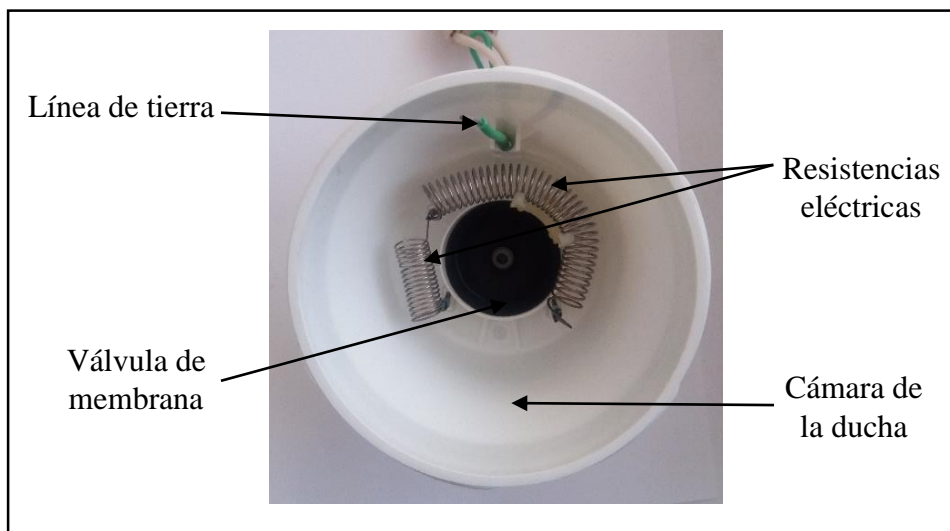
Fuente: Autor.

Figura 2. Vista superior de la ducha eléctrica.



Fuente: Autor.

Figura 3. Vista inferior de la ducha eléctrica.

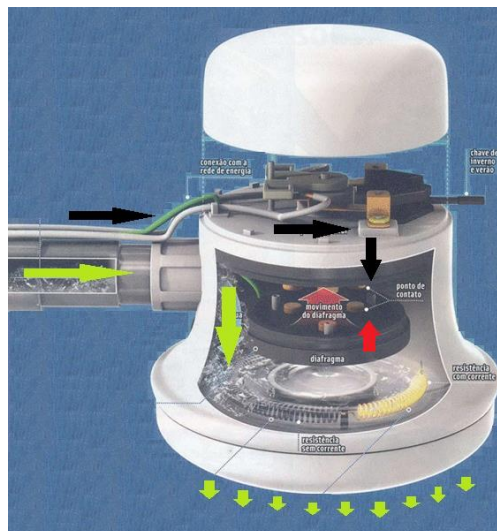


Fuente: Autor.



**2.2.2 Principio de funcionamiento.** Como se puede observar en la figura 4 las flechas verdes representan el sistema de alimentación de agua y las negras el sistema de alimentación de corriente eléctrica, el agua ingresa a la cámara de la ducha donde se acumulará hasta crear la presión necesaria para activar la válvula de membrana la cual sube (como indica la flecha roja) haciendo que las terminales de los conductores eléctricos energicen a las terminales de las resistencias eléctricas, éstos son los que proveen de energía a las resistencias eléctricas que enseguida empiezan a calentar el agua almacenada en la cámara, esta agua se dirige por el ducto de salida directo a la regadera, si la presión no es la suficiente el diafragma no logra moverse y por ende no se cierra el circuito eléctrico teniendo como resultado agua fría.

Figura 4. Funcionamiento de la ducha eléctrica



Fuente: (BRASILAVENTUR, 2016).

**2.2.3 Resistencia eléctrica.** Es una propiedad de los materiales para oponerse al paso de la circulación de corriente eléctrica, de acuerdo a los obstáculos que encuentren los electrones a su paso estos transitarán de manera más organizada o colisionarán en el circuito eléctrico, por ejemplo en un material que existe menor resistencia los electrones tendrán mejor orden, mientras que mayor sea la resistencia del material los electrones comienzan a chocar entre ellos por lo que liberan energía en forma de calor. (GARCÍA ÁLVAREZ, 2015).

## 2.3 Transferencia de calor

La transferencia de calor es la ciencia que pretende pronosticar la transferencia de energía que ocurre cuando se ponen en contacto dos sistemas con diferentes temperaturas, el calor siempre fluye de sistema con mayor temperatura hacia otro con menor temperatura, para ello existen tres mecanismos de transferencia de calor: por conducción, por convección y por radiación. (CENGEL, 2004)

**2.3.1 Conducción.** Es la transferencia de energía de las partículas más energizadas a las que tienen menos energía, debido al choque producido entre ellas. La conducción se da lugar en sólidos, líquidos o gases. La velocidad de transferencia depende de la geometría, del espesor, del material y de la diferencia de temperaturas que exista.

Los mejores conductores térmicos son los metales, mientras que los conductores térmicos imperfectos son los materiales no metálicos.

**2.3.2 Convección.** Es un modo de transferencia de calor entre una superficie sólida y un fluido sea líquido o gaseoso, que está en movimiento y perciben los efectos de la conducción y el movimiento del fluido, entre más rápido sea el movimiento del fluido mayor será la transferencia de calor por convección.

Se trata de convección forzada cuando el flujo de fluido es caudado por medios externos, como por ejemplo una bomba, un ventilador o vientos.

La convección natural o libre se da cuando las fuerzas de empuje se dan por medio de diferencias de densidades ocasionadas por la variación de temperatura que existe en el fluido.

**2.3.3 Radiación.** Es la transferencia de calor emitida por la materia a través de ondas electromagnéticas. Esta tiene una velocidad de transferencia igual a la velocidad de la luz, de esta forma llega el calor que emana el Sol a la superficie de la Tierra sin calentar el espacio de transición.

## **2.4 Dinámica de fluidos computacional (DFC)**

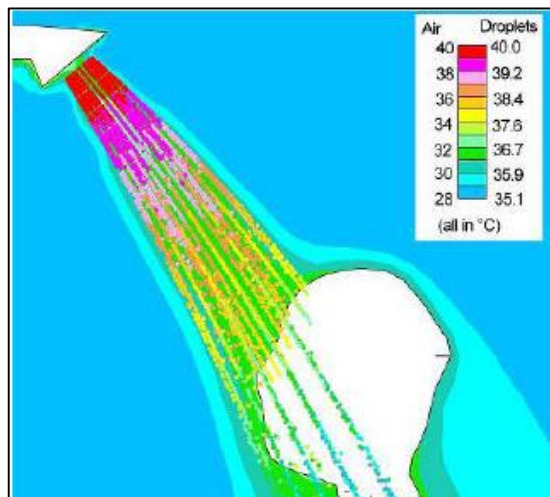
Mediante la dinámica de fluidos computacional podemos resolver problemas complejos del movimiento de los fluidos como por ejemplo el flujo interno en las válvulas, bombas, compresores, sopladores, el flujo alrededor de proyectiles, barcos o aeronaves entre otros, para ello el análisis incluirá ecuaciones diferenciales parciales de la mecánica de fluidos y la transferencia de calor, que no siempre tienen una solución analítica habitual, por lo que para la mayoría de problemas prácticos se emplean métodos numéricos para determinar su solución.

La dinámica de fluidos computacional utiliza el método del elemento finito, con ello se busca poder reducir las ecuaciones complejas que lo rigen, a un conjunto de ecuaciones algebraicas en los nodos sobre cada pequeño elemento dentro del fluido.

El software de DFC se integra a programas CAD (diseño asistido por computadora) en tres dimensiones, por ejemplo SolidWorks, Inventor, ProEngineer entre otros, en estos software la solución es muy práctica ya que obtenemos en corto tiempo resultados que incluyen perfiles de velocidad del flujo, presiones, temperaturas y líneas de corriente que se representan en forma gráfica para una fácil interpretación de los resultados. (MOTT, 2006).

En el proyecto realizado por Woolf el cual se basa en estudiar los tipos de duchas y comparar patrones de flujo, temperatura y descriptores de confort, en él demuestra que es posible mantener un perfil de rociado a bajos rango de flujo, maximizando la cobertura del agua sobre el cuerpo, reduciendo el tamaño de los agujeros de la cabeza de la ducha. La temperatura del agua en el cuerpo es ligeramente baja empleando pequeños agujeros con caudales bajos que con grandes agujeros con altos caudales. El estudio demostró que la dinámica de fluidos computacional es capaz de describir el desarrollo físico observado en el laboratorio, por lo tanto se establece el potencial que tiene esta herramienta de diseño.

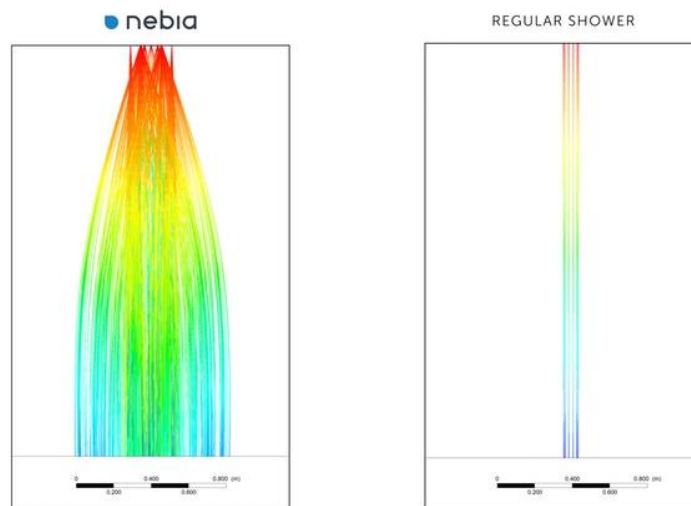
Figura 5. Simulación de la ducha por medio de la dinámica de fluidos computacional



Fuente: (WOOLF, 2006).

Por ejemplo la compañía Nebia usa la dinámica de fluidos computacional para evaluar alternativas de diseños de cabeza de duchas, la atomización del agua en diminutas gotas para crear nuevas duchas eficientes que proporcionen igual o mejor confort que las duchas tradicionales.

Figura 6. Dispersión de flujo de agua mediante DFC.



Fuente: (NEBIA, 2016).

## 2.5 Reguladores de flujo

Un regulador de flujo es un dispositivo que permite disminuir el volumen de agua que fluye, se instala antes o después del obturador.

**2.5.1 Tipos de reguladores.** De acuerdo a CNCP (Centro De Normalización Y Certificación De Productos A.C.), ONNCCE (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la construcción y Edificación S.C) y ANCE (Asociación Nacional de Normalización y certificación del sector eléctrico A.C.) los reguladores de flujo se pueden clasificar de acuerdo a su funcionamiento y a las condiciones de uso. (NMX-AA-161-SCFI-2015, 2015)

Por su funcionamiento:

- Regulador ahorrador, también llamado rompe chorro, regulador reductor o economizador: este regulador de flujo no admite aire, su funcionamiento es sin inyección de aire al agua, mantienen la misma presión a la entrada y su función es reducir el flujo.
- Regulador aireador: son reguladores de flujo que permiten el ingreso de aire al agua, se ocupa para reducir el flujo y se mantiene la misma presión a la entrada.
- Reguladores de flujo con rótula: son reguladores de flujo con o sin admisión de aire que forman una misma pieza con la rótula, su función es reducir el flujo y mantener constante la presión a la entrada y salida.
- Reguladores de flujo auto compensado: Éste posee un mecanismo que permite mantener fijo el caudal con o sin admisión de aire, independiente de la presión de suministro de agua.
- Reguladores de flujo auto compensado reductor: este regulador de flujo funciona con o sin admisión de aire, el cual tiene un mecanismo que disminuye y conserva el flujo de salida en un intervalo predeterminado, independiente de la presión a la entrada de suministro de agua.

Por condiciones de uso:

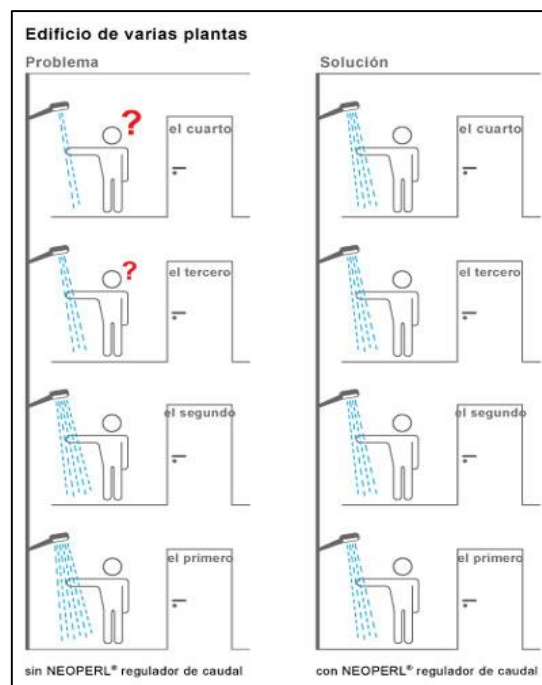
Se clasifican por la presión dinámica de operación y la temperatura del agua

- Presión dinámica: límite de utilización de 0,02 MPa a 0,6 MPa
- Temperatura del agua: límite recomendado para el correcto funcionamiento 65°C, puede utilizarse hasta 70°C.

2.5.1.1 *Reguladores con junta tórica.* Un regulador con junta tórica corresponde a un regulador de flujo auto compensado reductor, ya que es un dispositivo simple, que limita la salida del flujo de agua a uno determinado. Para duchas el caudal usual que descarga es de 14 a 20 litros por minuto, un regulador de flujo de agua podría instalarse para lograr un caudal menor de 5 a 9 litros por minuto evitando así el desperdicio de la misma. (ZELINSKY SYARTO)

En la figura 7 se muestra como los reguladores de caudal permiten conservar un flujo constante, independiente de la presión de suministro, esto puede ser de importancia en edificios de varios niveles donde el agua a presión puede variar de un piso a otro.

Figura 7. Distribución de agua en un edificio



Fuente: (NEOPERL)

En la siguiente figura 8 se muestran los elementos básicos de un regulador de flujo con junta tórica:

- Carcasa
- Estrella reguladora
- Junta tórica

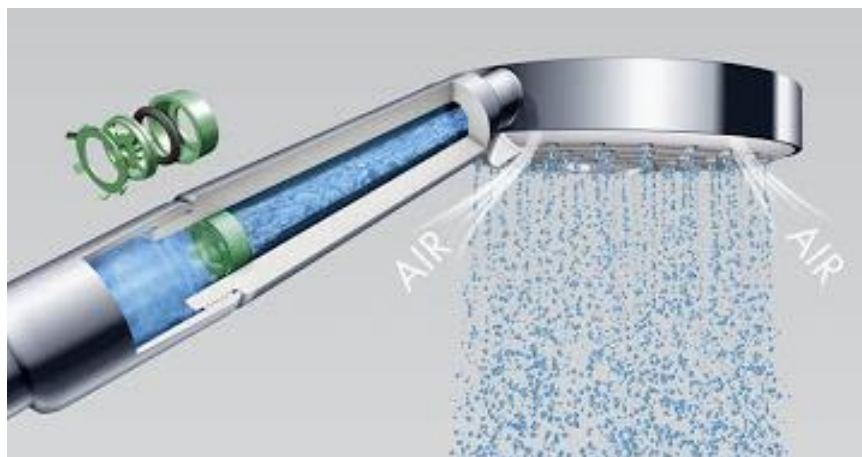
Figura 8. Elementos de un regulador con junta tórica



Fuente: (NEOPERL).

En la figura 9 se observa el orden de los elementos del regulador de flujo de agua, la carcasa aloja a la junta tórica y a la estrella reguladora, la estrella reguladora permite el flujo de agua a través de los surcos que posee y la junta tórica debido a la presión a la que se expone puede reducir o ampliar el área por donde va a fluir el agua.

Figura 9. Regulador de flujo instalado en la ducha



Fuente: (HANSGROHE, 2010)

2.5.1.2 *Principio de funcionamiento.* Cuando se abre la válvula de paso del agua, el regulador de flujo de agua estará sometido a una determinada presión de agua, esta presión es la que aplastará a la estrella reguladora, la misma que aplicará ésta fuerza a la junta tórica contra la carcasa, debido al aplastamiento que sufre la junta tórica (o-ring) se deformará (extendiéndose) provocando la reducción del área de los surcos de la estrella reguladora, haciendo que la abertura del flujo de agua se estreche, por ende si se cierra la válvula de paso de agua el efecto es contrario es decir la junta tórica recuperará su forma ampliando el área de los surcos de la estrecha reguladora, por lo que se puede decir que, el cambio de presión de agua sobre el regulador de caudal afectará la apertura o cierre del área de los surcos de la estrella reguladora manteniendo así constante el flujo de agua, por ejemplo como se indica en la figura 10, en el apartado (a) se aprecia que la presión marca 2 bares con un caudal de 9 l/min y en el apartado (b) se tiene una presión de 6 bares y el caudal es de 9 l/min, por lo que se nota que existe variación de presión pero no implica el flujo de agua varié.

Figura 10. Variación de presión en el regulador de flujo



Fuente: (NEOPERL, 2015)

## 2.6 Junta tórica u o-ring

Según el catálogo de (DIMER, 2012) una junta tórica tiene la forma de un toroide, es un elemento de sellado de precisión, que son eficaces y al mismo tiempo económicos, que pueden ser usados en un amplio campo de aplicaciones tanto estáticas como dinámicas.

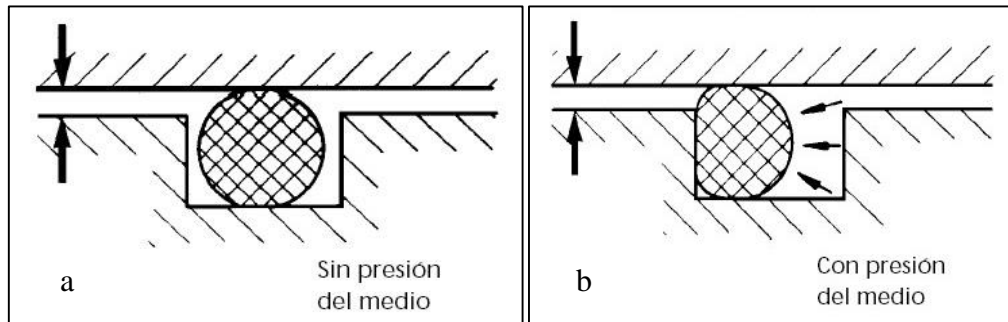
Una junta tórica es un material o una combinación de materiales compresibles, que al ser sujetados entre dos miembros estacionarios impiden la fuga de fluido a través de éstos. A la junta tórica se le debe seleccionar un material capaz de sellar las superficies de



acoplamiento, debe ser resistente al medio en el que vaya a ser instalada, teniendo que soportar las presiones y temperaturas a la que va a estar sometida. (FLEXITALLIC, 2007)

En la figura 11 se indica, en el apartado (a) la junta tórica que mantiene su forma original es decir no presenta ninguna deformación, mientras que en el apartado (b) a la junta tórica se le aplicó presión por lo que se muestra ensanchada y sella el área.

Figura 11. Junta tórica, a) sin aplicar presión b) con presión aplicada.



Fuente: (INTERSEAL, 2009)

**2.6.1 Materiales de la junta tórica.** En el país existe industrias que desarrollan las juntas tóricas con materiales como el nitrilo, silicón, vitón, EPDM y caucho natural, por lo que se revisará las características de los mismos, las condiciones básicas para elegir un compuesto son: presión, temperatura y fluido a sellar, otro factor a considerar es el alojamiento de la ranura. (GRUPO VIKINGO, 2015)

**2.6.1.1 Nitrilo o Buna (NBR).** Es un copolímero de acrilonitrilo y butadieno, es un caucho sintético. Estos cauchos sintéticos son muy resistentes a aceites, combustibles, disolventes y otros productos químicos. El nitrilo puede soportar un amplio rango de temperaturas (-40°C hasta 115°C), es resistente a la abrasión, el impacto, bajo valor de compresión, al frío, es aislante, anticorrosivo, resistente a la tracción, sin embargo no resiste al ozono y no es conveniente usarlo en usos de envejecimiento térmico.

Sus usos frecuentes son en la elaboración de o-rings, en la industria automotriz para mangueras de combustibles, manipulación de hidrocarburos, sello y arandelas, para la industria nuclear en guantes de protección, es muy utilizado en la industria petrolera, el nitrilo también es usado para calzado, selladores, esponjas, alfombras de piso, entre otras.

2.6.1.2 *Silicón*. Es un caucho producto de la unión de silicio-oxígeno, es un elastómero orgánico. El silicón tiene alta resistencia a las temperaturas extremas logrando trabajar a temperaturas de 180°C sin alterar sus propiedades, 250°C en trabajos intermitentes y se llega a descomponer a los 400°C, dejando como residuo sílice no inflamable y aislante, en tanto a bajas temperaturas soporta hasta -90°C, a -40°C aún conserva su flexibilidad; gran resistencia a la deformación por compresión, tienen extraordinaria estabilidad al medio ambiente soportando el oxígeno, ozono, radiaciones ultravioletas, posee propiedades dieléctricas, resiste a los agentes químicos.

El silicón se usa para la elaboración de o-rings, prótesis, es útil para hacer mangueras tubos, cordones, perfiles, juntas planas troqueladas, modeladas, hinchables, soldadas, encapsuladas, piezas moldeadas, planchas, bobinas, se usa en la industria farmacéutica, médica, aeronáutica, química, alimenticia, envasado, laboratorio, fluidos, embalaje, construcción, maquinaria en general.

2.6.1.3 *Vitón*. Es un copolímero elaborado por fluoruro de vinilideno y hexafluoruropropileno de alta calidad. Es compatible con una gran variedad de fluidos, como son hidrocarburos alifáticos (kerosene), aromáticos (benceno, tolueno), hidrocarburos clorados, desengrasantes, ácidos, agua, vapor, álcalis diluidos, concentrados, su temperatura de trabajo va desde los -10°C a 230°C.

Es frecuentemente usado como aislador eléctrico, empleado para hacer diafragmas, planchas, cables, recubrimientos de tela, entre otros.

2.6.1.4 *EPDM*. El caucho Etileno Propileno Dieno también llamado Etileno Propileno Dieno tipo M (EPDM) es un copolímero, tiene una excelente resistencia al agua, al vapor, al ozono y a los rayos ultravioleta, buen comportamiento al envejecimiento y agentes climáticos, resistente al desgaste, baja deformación por compresión, su rango de temperatura de trabajo va desde -35°C a 150°C.

El EPDM es mayormente usado en cualquier ambiente de agua y vapor, se emplea en la industria alimenticia, usualmente en la leche.

2.6.1.5 *Caucho natural*. Éste proviene del látex que es un líquido lechoso (que tienen la savia de diversas plantas), el cual tiene partículas muy pequeñas de caucho. El caucho es característico por su elasticidad, es repelente al agua, tiene resistencia eléctrica, resistencia a la abrasión, desgarro y al impacto, su temperatura de trabajo va desde -20°C a 80°C.

Mayormente usado para hacer rompe velocidades, protectores de columna, topes, neumáticos, artículos impermeables, se usa como aislantes en la industria automotriz.

2.6.1.6 *Neopreno*. Es un caucho sintético que se produce por la polimerización del cloropreno, tienen estabilidad química, gran capacidad de aislante térmico, resistente al calor, posee buena resistencia al ozono, su temperatura de operación va desde -42°C a 121°C.

Su principal uso son los trajes de buceo, juntas de dilatación, apoyos para puentes, tuberías, guantes, cintas adhesivas, recubrimientos de cables fuertes.

A continuación se indica valores de algunas propiedades para ciertos elastómeros

Tabla 2. Propiedades de algunos elastómeros

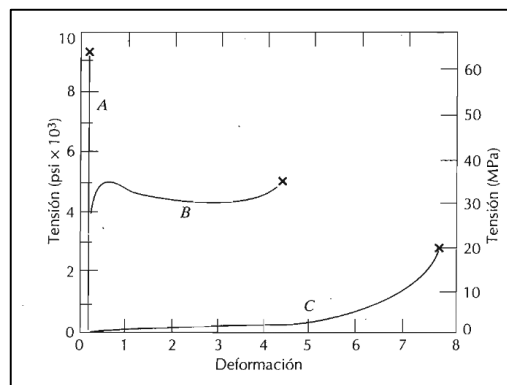
<b>Elastómero</b>	<b>Resistencia a la tensión (ksi)</b>	<b>Elongación (%)</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Caucho natural	2,5 – 3,5	750 – 850	0,93
Nitrilo o Buna-N (butadieno-acrilonitrilo)	0,5 – 0,9	450 – 700	1,0
Neopreno (policloropreno)	3 – 4	800 – 900	1,5
Silicona (polisiloxano)	0,6 – 1,3	100 - 500	1,1 – 1,6

Fuente: (SMITH, 2006)

**2.6.2 Propiedades elásticas.** Es necesario mencionar los fenómenos de deformación que sufren los objetos por la aplicación de fuerza externas que actúan sobre estos, dado que todos los objetos son deformables, siendo posible cambiar su tamaño y/o su forma.

En los polímeros las propiedades mecánicas son el módulo elástico, la resistencia a la tracción, al impacto y a la fatiga. El ensayo de esfuerzo-deformación es muy empleado para determinar parámetros mecánicos, en los materiales poliméricos se presentan tres tipos de comportamientos, el de un polímero frágil el cual se rompe cuando se deforma elásticamente (curva A), el de un plástico que después de la deformación elástica el material fluye y se deforma plásticamente (curva B) y el comportamiento de los elastómeros que es totalmente elástico (curva C) grandes deformaciones recuperables producidas por pequeños esfuerzos. (CALLISTER, 2007)

Figura 12. Comportamiento esfuerzo-deformación de los polímeros



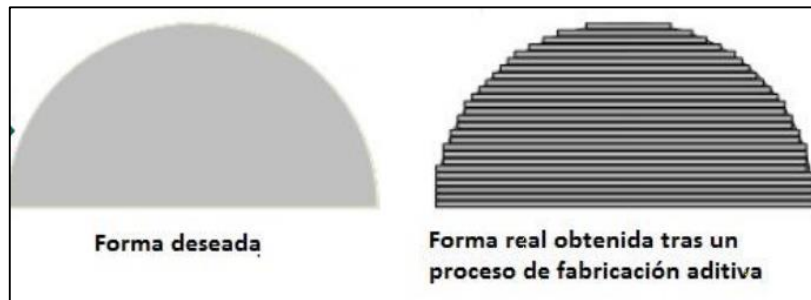
Fuente: (CALLISTER, 2007).

## 2.7 Impresión 3D

La impresión 3D en el mundo está siendo acogida para facilitar la fabricación de objetos tanto simples como complejos, mediante un modelo 3D creado en algún software. La construcción de estos objetos está definido por el proceso que se denomina fabricación aditiva (AM por sus siglas en inglés), donde el modelo que ha sido generado mediante un programa 3D CAD, es el que delimita la trayectoria que va a seguir la impresora, la cual va ir depositando sucesivamente el material capa tras capa desde la parte inferior hacia la superior haciendo que las elaboración de piezas complejas sean más fáciles de producir. (RELAÑO, 2013)

Los procesos de fabricación aditiva trabajan con un modelo 3D realizado en un computador que tiene la extensión STL (Stereo Lithography), este archivo contiene un mallado sencillo con la geometría de la pieza, que se discretizará en capas 2D para su impresión.

Figura 13. Fabricación aditiva



Fuente: (RELAÑO, 2013)

La American Society of Testing Materials (ASTM) clasifica en siete tipos de tecnologías para la impresión 3D como se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 3. Clasificación de la fabricación aditiva

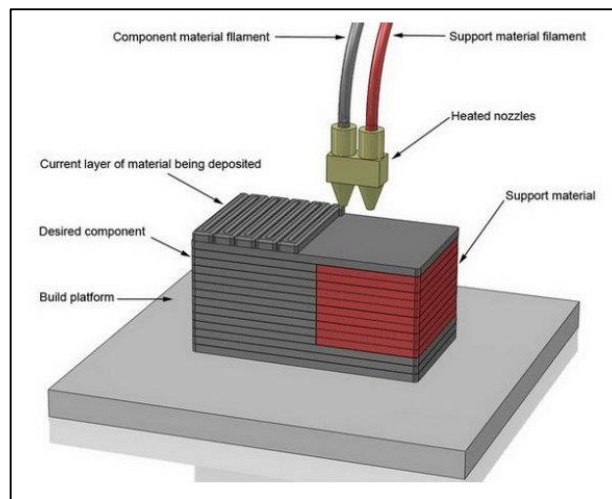
No.	Categoría	Descripción
1	Binder jetting	Un agente de unión es depositado de manera selectiva para unir el polvo.
2	Material jetting	Pequeñas gotas de material son selectivamente depositadas.
3	Powder bed fusion	Una fuente de energía funde de manera selecta las regiones del material en polvo.
4	Directed energy deposition	Una energía térmica centrada funde el material depositado.
5	Sheet lamination	Las láminas de material se funden juntas
6	Vat photopolimerization	Un fotopolímero es selectivamente curado por un foco de luz.
7	Material extrusión	El material de manera selectiva es dispensado a través de una boquilla u orificio.

Fuente: (CHAPUT, 2011)

**2.7.1 Extrusión de material.** En este proceso el material es empujado a través de una boquilla que se va colocando capa por capa el material que formará la pieza, el material debe tener una consistencia semi-sólida, para que este pueda solidificarse con rapidez y pueda soportar el peso de las capas siguientes y solidificarse en conjunto con las capas anteriores para que la estructura de la pieza tenga más estabilidad.

Estas máquinas deben tener las facilidades de movimiento en el plano horizontal para extruir y también cortar el flujo de material, una vez terminada la capa de material impreso, la estructura de la impresora sube o la base se mueve hacia abajo para permitir la creación de nuevas capas de material formando así la pieza que se desea imprimir.

Figura 14. Proceso de extrusión de material



Fuente: (RELAÑO, 2013)

Existen dos formas para realizar este proceso, uno mediante el control de temperatura del material que debe ser un grado mayor del punto de solidificación, esto es lo que hace que la unión entre capas sea mayor, ya que se une con la capa anterior antes de su endurecimiento, y la otra forma de solidificación es por medio químico con un agente activador del endurecimiento, la reacción del aire o un proceso de secado permite la unión entre capas.

**2.7.2 Materiales para impresoras 3D.** Según (FERNÁNDEZ, 2014), los materiales que se pueden usar son variados ya que los filamentos termoplásticos están en continuo desarrollo y continuamente surgen materiales nuevos.

**2.7.2.1 ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno).** El ABS es un polímero termoplástico, la combinación de los monómeros le ofrece varias propiedades como son la resistencia a la fatiga, es muy duro y rígido, resistencia a la abrasión, tiene resistencia química, es soluble en acetona, su densidad es de 1,05 g/cm<sup>3</sup>, es un material no biodegradable, requiere temperaturas de 240°C en el cabezal y 110°C en la bandeja de la impresora 3D.

**2.7.2.2 PLA (Ácido poliláctico).** El PLA es biodegradable es un termoplástico alifático, que proviene de recursos como el almidón de maíz, la tapioca o caña de azúcar, las piezas creadas no quedan suaves con el ABS, pero si más brillantes, es frágil y su vida útil es menor, su densidad es de 1,2 a 1,4 g/cm<sup>3</sup>. La temperatura para su impresión es de 210°C en el cabezal y 60°C en la bandeja.

**2.7.2.3 HIPS (Poliestireno de alto impacto).** Este material generalmente se combina con el ABS para tener dureza en espacios huecos, resistencia al impacto y a la tensión, es soluble con dimoneo, la densidad de este es de 1,04 g/cm<sup>3</sup>. La temperatura del cabezal debe ser de 90°C a 200°C

**2.7.2.4 PET (Tereftalato de polietileno).** Este material es muy usado para el uso de botellas y envasan, se caracterizan por su cristalización produciendo piezas transparentes, es resistente al impacto, su densidad es de 1,45 g/cm<sup>3</sup>. La temperatura de impresión será de 220°C a 250°C.

**2.7.2.5 Nylon.** Es un material muy resistente a la temperatura, poco viscoso, pero es un material muy difícil de trabajar en impresión 3D ya que no tienen adhesión con la base de la bandeja de la impresora por lo que existen muchos fallos que son difíciles de controlar, además tiene a coger humedad por lo que la impresión 3D tendrá que ir al horno durante 3 o 4 horas. La temperatura a la que se trabaja es de 235°C y 260°C.

## 2.8 Presión.

La presión (P) es el resultado de comprimir algo contra un cuerpo, por lo que la presión es la fuerza que se aplica sobre la superficie de una determinada cosa. (MATAIX, 1993)

$$P = \frac{F}{A}$$

Donde:

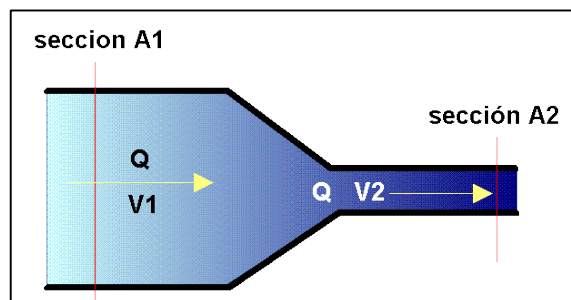
F: es la fuerza aplicada

A: es el área sobre la cual se aplica la fuerza

## 2.9 Ecuación de continuidad

Cuando un fluido que se mueve con un flujo de línea de corriente a través de un conducto de área transversal variable, el volumen del fluido que circula por el área uno en un intervalo de tiempo debe ser igual al volumen que fluye a través del área dos en el mismo período de tiempo, se basa en que el caudal se mantenga constante a lo largo de todo el conducto de las instalación

Figura 15. Ecuación de continuidad



Fuente: (HERNÁNDEZ ORTEGA, 2005)

Por lo que el caudal es el producto entre el área del conducto por la velocidad con que fluye el fluido, por tanto en dos puntos de un mismo conducto se tendrá que

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$



Dónde:

$A$  = es el área transversal de los puntos 1 y 2.

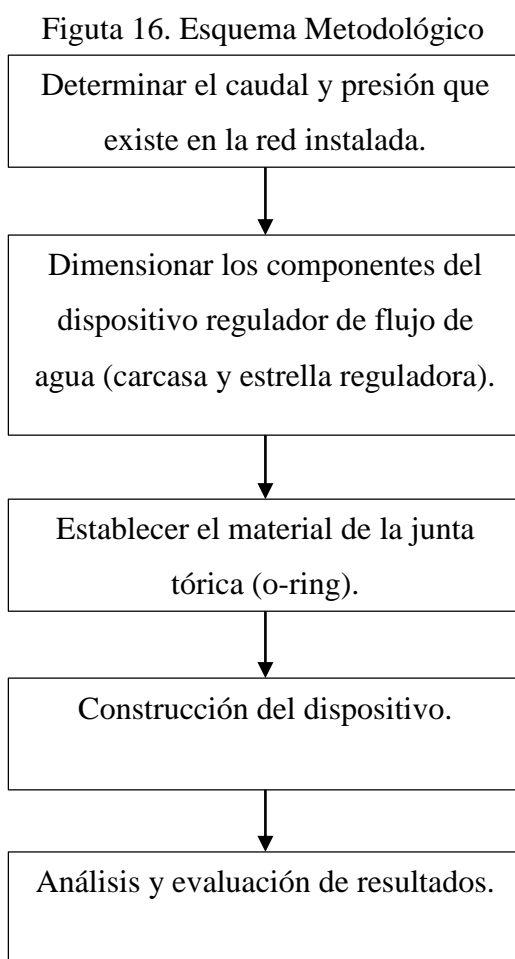
$V$  = es la velocidad del flujo en los puntos 1 y 2.

La ecuación de continuidad se basa en que el caudal debe mantenerse constante a lo largo de todo el conducto, por lo que al disminuir el área la velocidad del fluido aumenta en la misma proporción y viceversa. (SERWAY, 1997).

## CAPÍTULO III

### 3 MARCO METODOLÓGICO

Ante la necesidad de mantener una temperatura de confort y minimizar el desperdicio del agua al momento de tomar una ducha se establece una serie de requerimientos que se debe tomar en cuenta para realizar el diseño del dispositivo regulador de flujo de agua, por lo tanto en este capítulo se detallaran los mismos.



Fuente: Autor

### 3.1 Parámetros que figuran en la red instalada.

El regulador de flujo de agua va a ser instalado en una casa tipo villa en la ciudad de Ambato, para el diseño de éste se tomaron datos del caudal y la presión que se posee en la red, por lo tanto con los instrumentos adecuados se establece los parámetros que se requiere, cuando la válvula de paso de agua está totalmente cerrada se obtiene que la red tiene una presión de 60 psi con una tolerancia de  $\pm 3$  psi, por otra parte el caudal se lo midió cuando la válvula de paso está completamente abierta consiguiendo un valor 10 l/min con una tolerancia de  $\pm 2$  l/min.

### 3.2 Dimensiones del dispositivo regulador de flujo de agua

Para el dimensionamiento del dispositivo regulador de flujo de agua se tomó en cuenta que va ser instalado en una tubería de  $\frac{1}{2}$ ", por lo que se instalará un reductor buje de y una unión reductora.

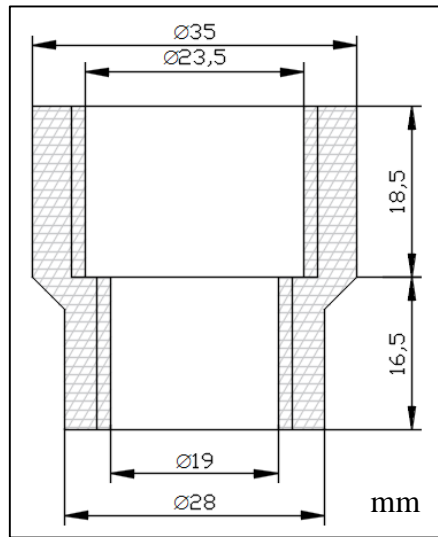
Figura 17. Reductor de buje  $\frac{3}{4}$ "x $\frac{1}{2}$ " y Unión reductora  $\frac{3}{4}$ " x  $\frac{1}{2}$ "



Fuente: Autor.

**3.2.2 Carcasa.** El dispositivo regulador de flujo de agua se instalará en una unión reductora de  $\frac{3}{4}$ " x  $\frac{1}{2}$ ", por lo que la carcasa del regulador de flujo de agua, tendrá que ajustarse a las dimensiones de la unión reductora como se muestra en la figura 18.

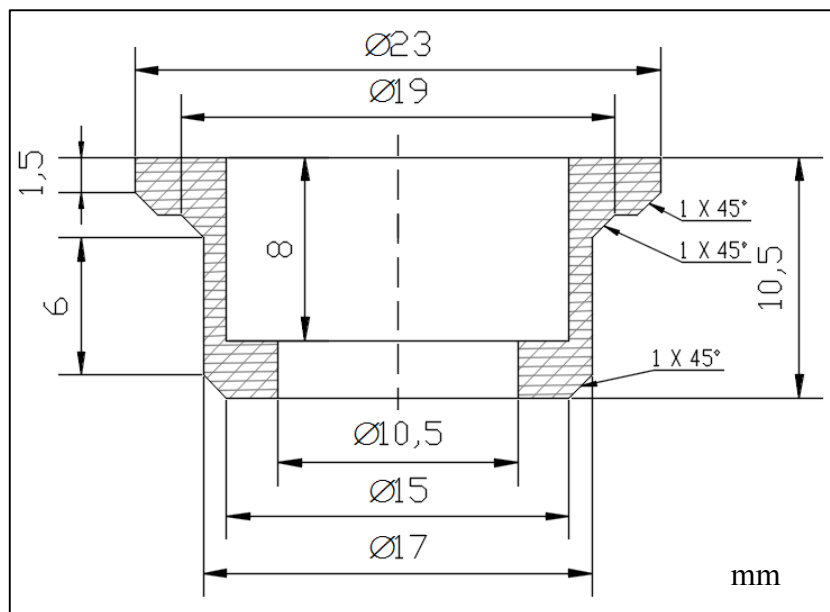
Figura 18. Vista en corte de una unión reductora 3/4" x 1/2",



Fuente: Autor.

Dado que la unión reductora tiene como diámetro interior 23,5 mm, la carcasa debe tener como diámetro exterior 23 mm, para que exista un tolerancia entre ellos y así pueda tener un ajuste móvil que nos facilitara el momento de la instalación. En la siguiente figura 19 se indican las medidas que tiene la carcasa.

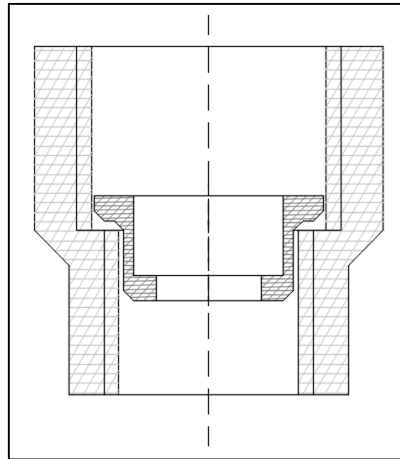
Figura 19. Carcasa del regulador de flujo de agua 1



Fuente: Autor.

Se puede notar según el esquema como la carcasa conjuntamente con la unión reductora quedan en una posición adecuada sin que exista alguna obstrucción.

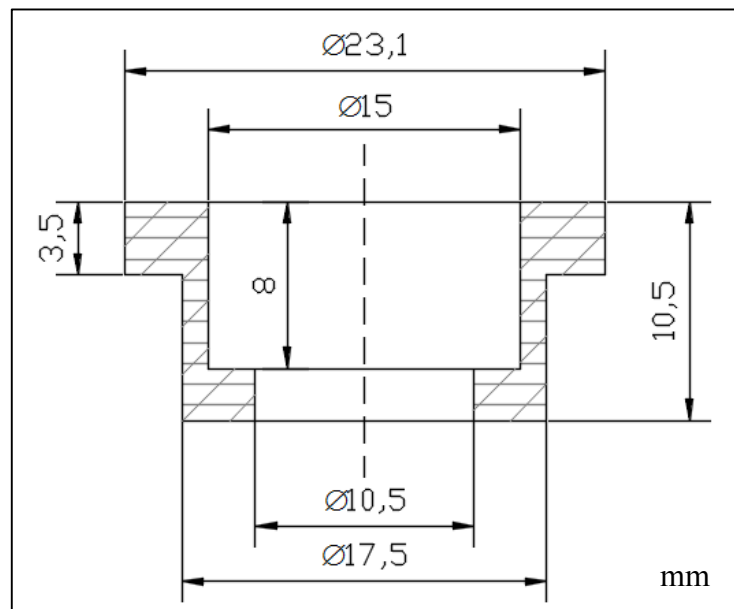
Figura 20. Unión reductora con la carcasa 1



Fuente: Autor.

Se realizó una segunda carcasa donde se tiene un diámetro exterior de 23,1 mm para reducir la tolerancia que existe con la unión reductora, se mejoró la estructura de la carcasa para que exista un mejor acople.

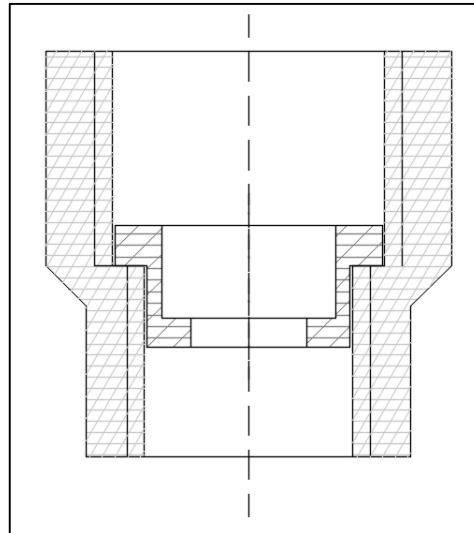
Figura 21. Carcasa del regulador de flujo de agua 2



Fuente: Autor.

Se observa en la figura 22 como la segunda carcasa se ajusta mejor a las dimensiones de la unión reductora.

Figura 22. Unión reductora con la carcasa 2

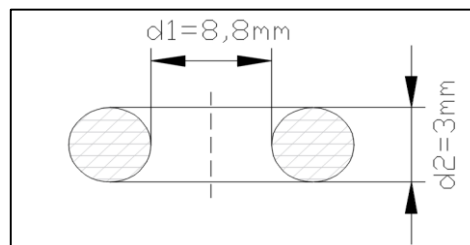


Fuente: Autor.

**3.2.3 Junta tórica u o-ring.** Mediante el estudio bibliográfico se determina que el mejor material para hacer las pruebas es el silicón y el nitrilo, debido a las propiedades que estos ofrecen, como es la gran resistencia a la compresión, la resistencia al desgaste, la dureza escogida es de 70 shore A tanto para el o-ring de nitrilo como para el o-ring de silicón, estos son los materiales más comunes que existen en el mercado.

Para el o-ring las dimensiones que debe tener se detallan en la figura 23, estos parámetros se estableció mediante el método de prueba y error en un análisis realizado previo este estudio.

Figura 23. Dimensiones del o-ring



Fuente: Autor.

Estas dimensiones están diseñadas para que concuerden con las carcasas de los reguladores de flujo de agua establecidos.

Para el o-ring debemos tomar en cuenta que va a estar sometido a la presión del agua que hará que se expanda el o-ring, haciendo que se reduzca el área de paso de flujo de agua, por lo que se procede a calcular la deformación que sufrirá el o-ring.

Para ello se utilizó la ley de Hooke

$$F = k_e \cdot x$$

Se despeja

$$x = \frac{F}{k_e}$$

Se sabe que la presión se la puede calcular con la siguiente ecuación

$$P = \frac{F}{A}$$

Despejando la fuerza

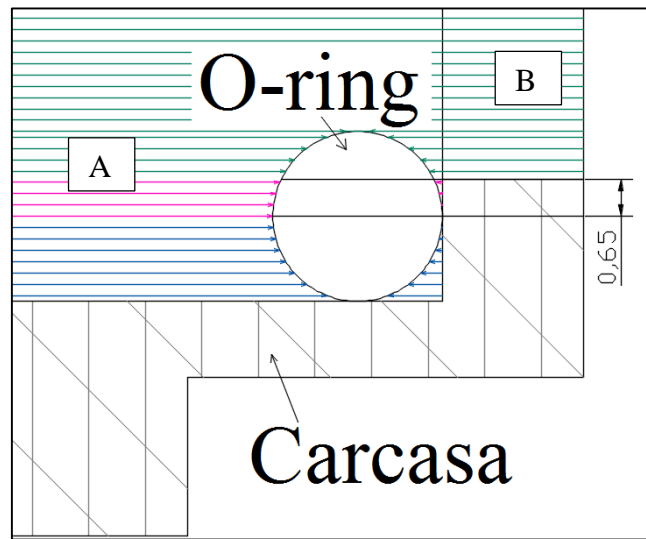
$$F = P \cdot A$$

Para calcular la fuerza se va a utilizar la presión máxima que existe en el sistema

$$P = 60psi = 413685,42 \frac{N}{m^2}$$

Para determinar el área del o-ring a la que se va aplicar la presión se realizó el siguiente análisis, para ello se estableció donde ejerce presión el agua sobre el o-ring, teniendo como ayuda la figura 24 en la cual se representa al o-ring ubicado en la carcasa y la presión del agua, a ésta la dividiremos en dos lados A y B, la presión que está en color azul tanto el lado A y B son iguales ya que la presión del lado B representa la presión del área proyectada, al igual que la presión que está en color verde tanto el lado A y B son iguales por lo que también se suprimen, mientras tanto la presión de color rosa nos indica el área donde está será aplicada la presión, se puede observar que el área al que se va a aplicar esta presión va desde el punto extremo del o-ring hasta el filo de la carcasa por lo que el valor de la cota es de 0,65 mm.

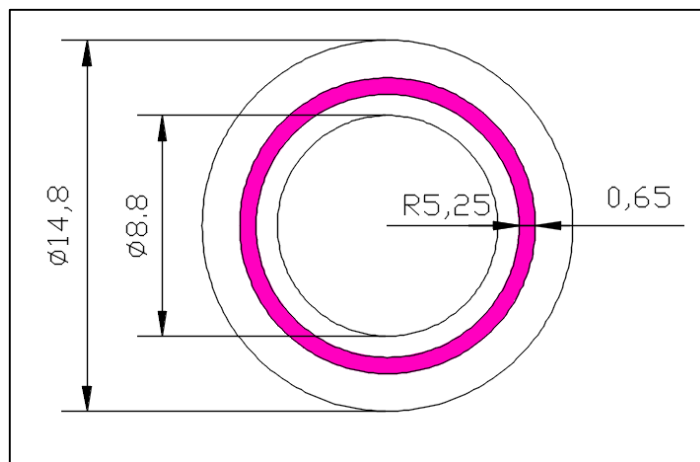
Figura 24. Análisis de presión en el o-ring



Fuente: Autor.

Con este valor de la cota se puede determinar el área del o-ring como se indica en la figura.

Figura 25. Área del o-ring donde se va aplicar presión vista transversal en corte.



Fuente: Autor.

Por lo tanto el área del o-ring se calcula mediante la siguiente ecuación

$$A_o = R^2\pi - r^2\pi$$

$$A_o = (R^2 - r^2)\pi$$



Donde

$$R = 7,4\text{mm} - 1,5\text{ mm} = 5,9\text{ mm}$$

$$r = 5,9\text{mm} - 0,65\text{mm} = 5,25\text{ mm}$$

Reemplazando valores

$$A_o = [(5,9\text{ mm})^2 - (5,25\text{mm})^2] \cdot \pi$$

$$A_o = 22,77\text{mm}^2 = 22,77 \times 10^{-6}\text{ m}^2$$

Entonces

$$F_{max} = P \cdot A$$

$$F_{max} = 413685,42 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 22,77 \times 10^{-6}\text{ m}^2$$

$$F_{max} = 9,42\text{ N}$$

Esta es la fuerza máxima que el o-ring va a soportar.

La constante elástica  $k_e$  se la determinó mediante pruebas de laboratorio donde al o-ring se le aplica una fuerza y se mide la deformación que se produce.

$$F = m \cdot g$$

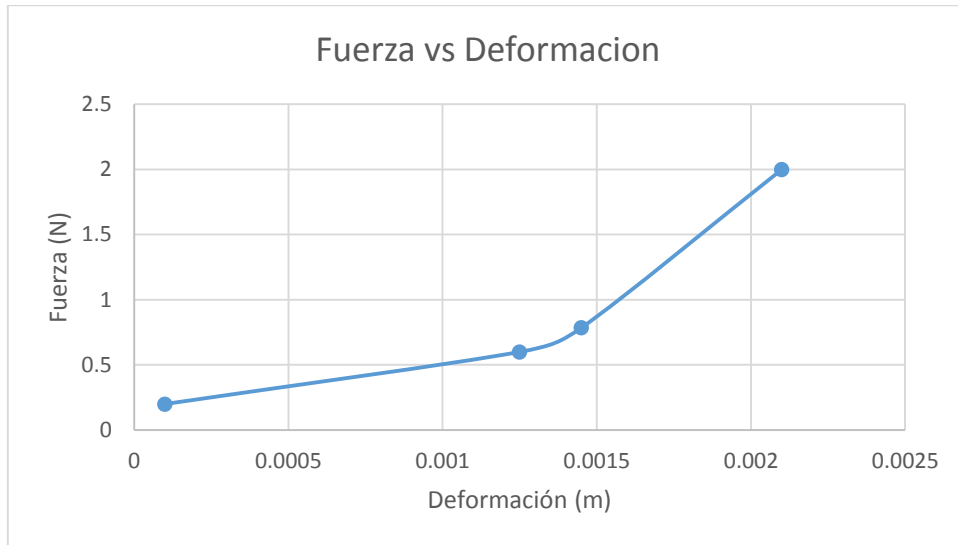
- Constante elástica para el o-ring de Nitrilo

Tabla 4. Constante elástica para el o-ring de Nitrilo

O-ring de Nitrilo			
Masa (kg)	x (mm)	F (N)	$k_e$ (N/m)
0,2	0,1	1,96	19600,00
0,6	1,25	5,88	4704,00
0,785	1,45	7,693	5305,52
2	2,1	19,6	9333,33

Fuente: Autor

Figura 26. Fuerza vs deformación para el o-ring de Nitrilo



Fuente: Autor.

Se determina la constante elástica para el o-ring de nitrilo:

$$k_e = \frac{F_2 - F_1}{x_2 - x_1}$$

$$k_{e-s} = \frac{(7,693 - 1,96)N}{(1,45 - 0,1) \times 10^{-3}m}$$

$$k_{e-N} = 4246,67 \text{ N/m}$$

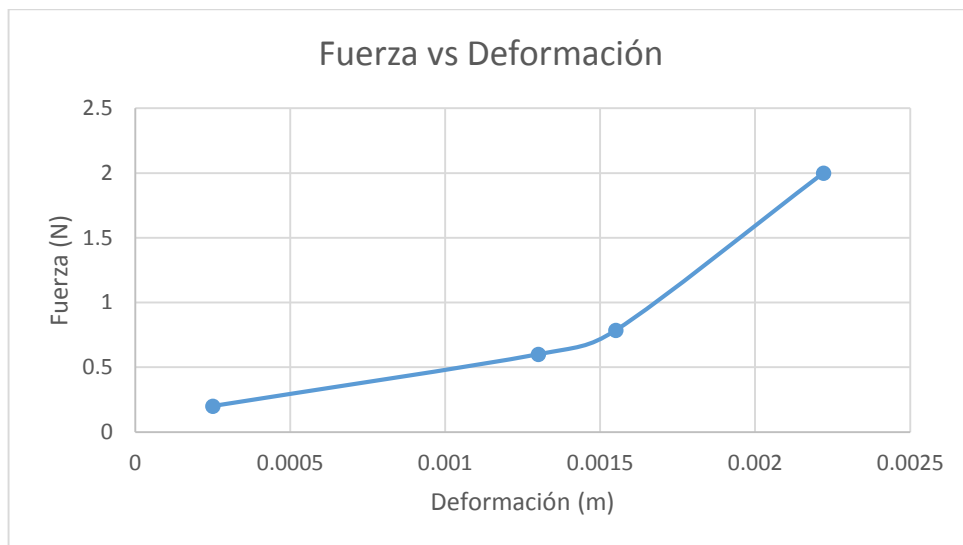
- Constante elástica para el o-ring de silicón

Tabla 5. Constante elástica para el o-ring de Silicón

O-ring de Silicón			
Masa(kg)	x (mm)	F (N)	$k_e$ (N/m)
0,2	0,25	1,96	7840,00
0,6	1,3	5,88	4523,08
0,785	1,55	7,693	4963,23
2	2,22	19,6	8828,83

Fuente: Autor

Figura 27. Fuerza vs deformación para el o-ring de silicón



Fuente: Autor.

Se calculó la constante elástica para el o-ring de silicón:

$$k_e = \frac{F_2 - F_1}{x_2 - x_1}$$

$$k_{e-s} = \frac{(7,693 - 1,96)N}{(1,55 - 0,25) \times 10^{-3}m}$$

$$k_{e-s} = 4410 \text{ N/m}$$

Reemplazando datos

$$x = \frac{F}{k_e}$$

Deformación para Nitrilo

$$x_N = \frac{9,42 \text{ N}}{4246,67 \frac{\text{N}}{\text{m}}}$$

$$x_N = 0,00222 \text{ m}$$

$$x_N = 2,22 \text{ mm}$$

Deformación para Silicón

$$x_S = \frac{9,42 \text{ N}}{4410 \frac{\text{N}}{\text{m}}}$$

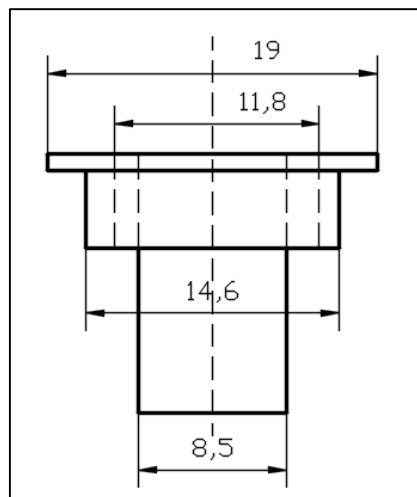
$$x_S = 0,00213 \text{ m}$$

$$x_S = 2,13 \text{ mm}$$

Para una presión máxima los o-rings de nitrilo y silicón la deformación máxima es aproximadamente 2 milímetros.

**3.2.4 Estrella reguladora.** Para el diseño de la estrella reguladora se debe tener en cuenta las dimensiones que tiene la carcasa ya que esta debe ir alojada dentro de ella, como se indica en la figura 28.

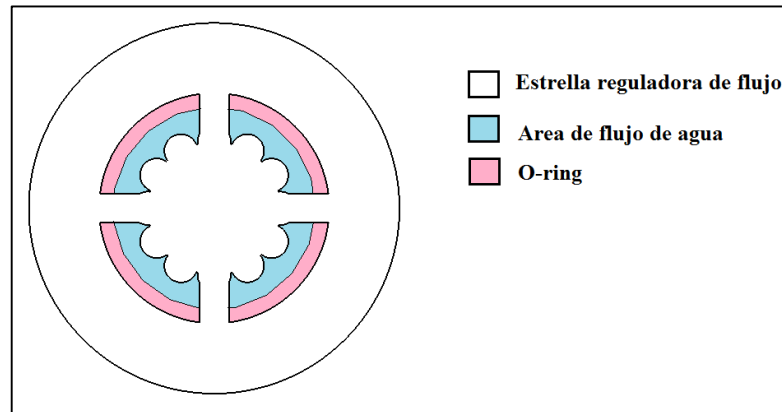
Figura 28. Estrella reguladora



Fuente: Autor

Para el diseño de la estrella reguladora, se debe calcular el área por donde el agua va a fluir (figura 29 se indica el área de flujo de agua en color celeste).

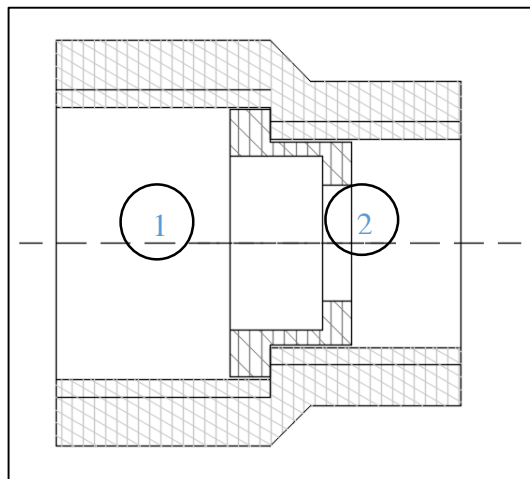
Figura 29. Áreas del Regulador de flujo



Fuente: Autor.

Por lo que se inició con el balance de energía mecánico en los puntos 1 y 2.

Figura 30. Puntos de análisis de la estrella reguladora



Fuente: Autor.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 - hr_{1-2} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (1)$$

Por medio de la ecuación de continuidad se obtiene la velocidad en 1

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

Despejando

$$v_1 = \frac{A_2 v_2}{A_1} \quad (2)$$

Se conoce que las pérdidas las podemos calcular con la siguiente ecuación

$$hr_{1-2} = k \frac{v_2}{2g} \quad (3)$$

Se debe tomar en cuenta que las alturas son iguales por lo tanto

$$z_1 = z_2 \quad (4)$$

Remplazando (2), (3) y (4) en (1) se obtiene

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{\left(\frac{A_2 v_2}{A_1}\right)^2}{2g} + z_1 - k \frac{v_2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_1$$

Desarrollando la ecuación

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{\left(\frac{A_2 v_2}{A_1}\right)^2}{2g} + k \frac{v_2}{2g}$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{A_2^2 v_2^2}{2g \cdot A_1^2} + k \frac{v_2}{2g}$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} \left(1 - \frac{A_2^2}{A_1^2} + k\right) \quad (5)$$

Mediante la ecuación del caudal se obtiene la velocidad 2.

$$Q_2 = A_2 \cdot v_2$$

$$v_2 = \frac{Q_2}{A_2} \quad (6)$$

Remplazando (6) en (5)

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{\left(\frac{Q_2}{A_2}\right)^2}{2g} \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 + k\right]$$

Desarrollando

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{Q_2^2}{2g \cdot A_2^2} \left[ 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 + k \right]$$

$$\frac{(P_1 - P_2) \cdot 2g \cdot A_2^2}{\gamma \cdot Q_2^2} = 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 + k$$

$$\frac{(P_1 - P_2) \cdot 2g \cdot A_2^2}{\gamma \cdot Q_2^2} + \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 = 1 + k$$

$$A_2^2 \cdot \left[ \frac{(P_1 - P_2) \cdot 2g}{\gamma \cdot Q_2^2} + \left( \frac{1}{A_1} \right)^2 \right] = 1 + k$$

$$A_2^2 = \frac{1+k}{\left[ \frac{(P_1 - P_2) \cdot 2g}{\gamma \cdot Q_2^2} + \left( \frac{1}{A_1} \right)^2 \right]} \quad (7)$$

Utilizando la ecuación del peso específico

$$\gamma = \rho g \quad (8)$$

Remplazando (8) en (7), Se obtiene el área que se requiere tener en la estrella

$$A_2 = \sqrt{\frac{1+k}{\left[ \frac{2 \cdot (P_1 - P_2)}{\rho \cdot Q_2^2} + \left( \frac{1}{A_1} \right)^2 \right]}}$$

Donde:

El caudal de salida  $Q_2 = 2,15 \frac{l}{min} = 3,58 \times 10^{-5} m^3/s$  dato se obtuvo de pruebas preliminares realizadas para realizar este estudio.

La presión uno es la que existe antes del regulador de flujo de agua  $P_1 = 60 psi = 413685,42 N/m^2$

La presión dos es la que existe después del regulador de flujo de agua la cual debe ser la presión máxima de trabajo de la ducha eléctrica es  $P_2 = 11,603 psi = 80000 N/m^2$

Para el área se tiene que calcular el área menor de la unión reductora que tiene como diámetro 19,5 mm.

$$A_1 = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}$$

$$A_1 = \frac{\pi \cdot (0,0195m)^2}{4}$$

$$A_1 = 0,000298 m^2$$

Donde la densidad del agua a una temperatura de 15°C según la Tabla 1 será

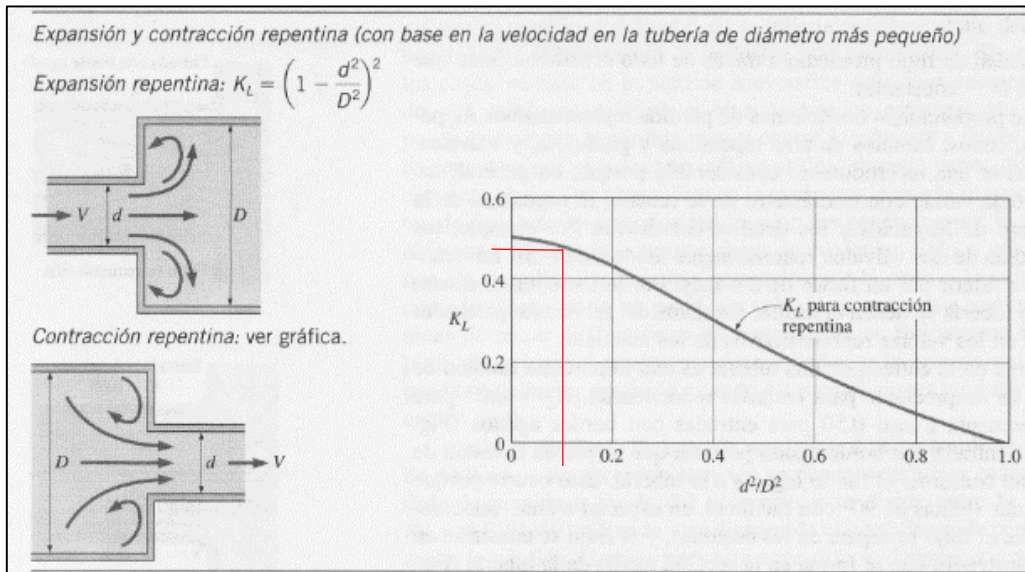
$$\rho = 999,1 kg/m^3$$

Temp. °C	Peso específico $\gamma$ N/m <sup>3</sup>	Densidad $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Viscosidad $\mu \times 10^3$ N · s/m <sup>2</sup>	Viscosidad cinemática $\nu \times 10^6$ m <sup>2</sup> /s	Tensión superficial $\sigma \times 10^2$ N/m	Cabeza absoluta de presión de vapor $p_v/\gamma$ m	Módulo de elasticidad $K \times 10^{-7}$ N/m <sup>2</sup>	Conductivi- dad térmica k W/m · K
0	9806	999.9	1.792	1.792	7.62	0.06	204	0.561
5	9807	1000.0	1.519	1.519	7.54	0.09	206	0.571
10	9804	999.7	1.308	1.308	7.48	0.12	211	0.580
15	9798	999.1	1.140	1.141	7.41	0.17	214	0.589
20	9789	998.2	1.005	1.007	7.36	0.25	220	0.598

Para la contracción repentina  $k$  se utiliza la siguiente gráfica para ello se necesita de los diámetros, el diámetro uno  $D_1$  lo tomamos de la unión reductora y el diámetro dos  $D_2$  lo tomamos con referencia al diámetro interno del o-ring, teniendo en cuenta la deformación que sufrirá por lo que su valor 6,8 mm.



Figura 31. Diagrama de expansión y contracción repentina



Fuente: Autor.

$$\frac{d_2^2}{D_1^2} = \frac{r_2^2}{R_1^2} = \frac{(3,4\text{mm})^2}{(9,75\text{mm})^2}$$

$$\frac{r_2^2}{R_1^2} = 0,122$$

Por lo que el factor para contracción repentina será de  $k = 0,48$

Por lo tanto la ecuación (7) quedaría de la siguiente manera

$$A_2 = \sqrt{\frac{1 + 0,48}{\frac{(413685,42 \text{ N/m}^2 - 80000 \text{ N/m}^2) \cdot 2}{999,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(3,58 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)^2} + \left(\frac{1}{0,000298 \text{ m}^2}\right)^2}}$$

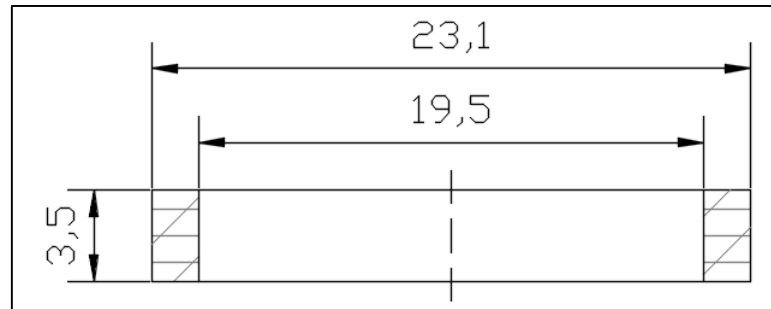
$$A_2 = 1,68 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_2 = 1,68 \text{ mm}^2$$

### 3.2.5 Bocín

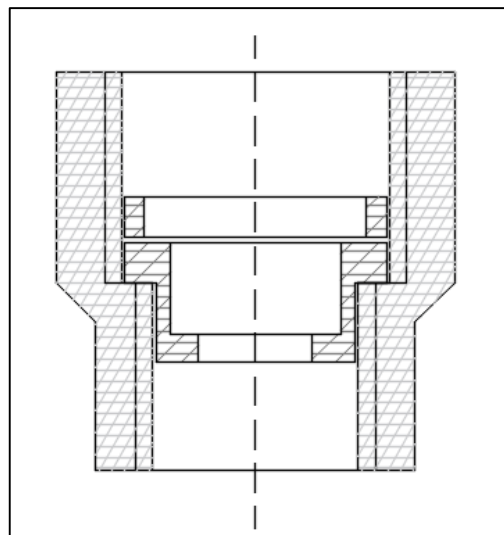
Se desarrollara un bocín para que cuando la tubería se acople a la unión reductora está no interfiera en el funcionamiento del regulador de flujo de agua.

Figura 32. Bocín.



Fuente: Autor.

Figura 33. Representación del bocín y la carcasa en la unión reductora



Fuente: Autor.

Para la elaboración del dispositivo regulador de flujo de agua se utilizó la impresión 3D y se ha establecido el ABS que es el material que provee las propiedades que requerimos para el desarrollo del carcasa, la estrella y el bocín, ya que es un material que puede estar en contacto directo con el agua sin presentar ninguna fractura, ni variación en su estructura, tiene buena resistencia a la abrasión, posee buena dureza, además de ser un material común en el mercado.

## CAPÍTULO IV

### 4 EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

En el presente capítulo se presentaran los datos obtenidos de los ensayos realizados en la ducha eléctrica con los reguladores de flujo de agua construidos y los reguladores importados, estableciendo gráficas con los parámetros que se midieron.

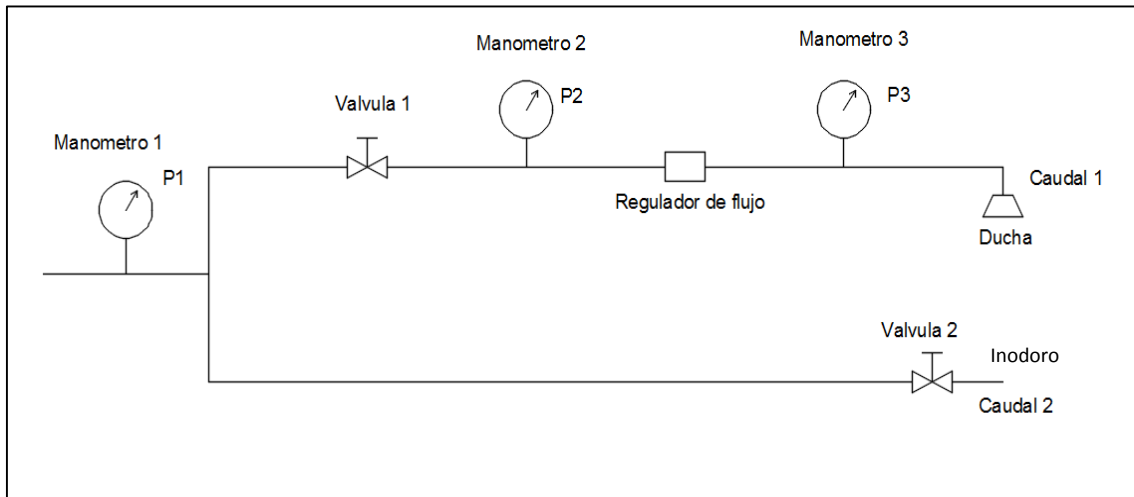
#### 4.1 Construcción del regulador de flujo

Para la construcción del dispositivo regulador de flujo se utilizó impresión 3D para la fabricación de la carcasa, la estrella y el bocín según las dimensiones ya establecidas en ABS, para el o-ring se los realizó en nitrilo y silicón.

#### 4.2 Instalación del regulador de flujo

En la figura siguiente se observa como el dispositivo regulador de flujo de agua fue instalado con ayuda de el reductor buje de  $\frac{1}{2}$ "x  $\frac{3}{4}$ " y la unión reductora, en una tubería de  $\frac{1}{2}$ ", siendo esté ubicado antes de la ducha eléctrica y después de la válvula de paso de agua (válvula 1). Se colocaron tres manómetros en el sistema, el manómetro 1 se instaló al inicio del sistema para determinar la presión que existe en la red, el manómetro 2 se ubicó entre la válvula de paso y el regulador de flujo de agua y el manómetro 3 se situó entre el regulador del flujo y la ducha, así se podrá determinar las presiones que se tienen en el sistema. La ducha tiene instalada una termocupla tipo K para comprobar los valores de temperatura en la salida de agua.

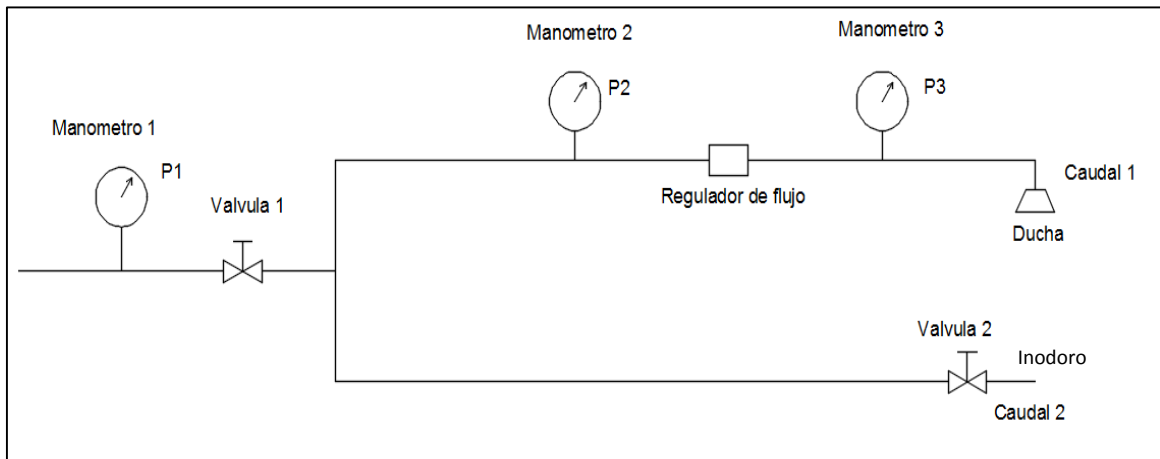
Figura 34. Esquema de instalación del sistema 1



Fuente: Autor.

Se realizó una segunda instalación colocando la válvula de paso de agua (válvula 1) al inicio, para distribuir el agua hacia los dos ramales tanto a la salida de la ducha como a la salida al inodoro, se mantienen los 3 manómetros y la termocupla en las mismas posiciones.

Figura 35. Esquema de instalación del sistema 2



Fuente: Autor.

### 4.3 Experimentación

Para el estudio de los resultados se debe tomar en cuenta que las pruebas se realizaron, en los dos sistemas de instalación con los dos diseños de reguladores de flujo de agua, utilizando los o-rings de silicón y nitrilo y con el regulador de flujo de agua importado, para cada uno de los casos se determinó la presión, la temperatura que ofrece a la salida de la ducha, el caudal y el volumen de agua en un tiempo de diez minutos que es tiempo recomendable a utilizar al momento de tomar una ducha.

Para los procesos donde exista la apertura de la válvula del inodoro (válvula 2), esta será abierta al transcurrir 180 segundos iniciada la prueba, esta válvula está abierta hasta que se obtienen 6 litros de agua que es la capacidad que tiene el tanque del inodoro.

Se utilizara la siguiente nomenclatura para que sea más sencillo la comprensión de la tabulación de los datos obtenidos en las pruebas

$R_1$  = Regulador de flujo de agua 1.

$R_2$  = Regulador de flujo de agua 2.

$R_I$  = Regulador de flujo de agua importado.

$O_N$  = O-ring de Nitrilo.

$O_S$  = O-ring de Silicón.

$O_{I-9}$  = O-ring importado con estrella reguladora amarilla capacidad de 9 l/min.

$O_{I-6}$  = O-ring importado con estrella reguladora azul capacidad de 6 l/min.

$O_{I-4}$  = O-ring importado con estrella reguladora verde capacidad de 4 l/min.

$AV_1$  = Apertura de la válvula de paso de agua (válvula 1).

$AV_2$  = Apertura de la válvula del inodoro (válvula 2).

### 4.3.1 Datos en la instalación del sistema 1

#### 4.3.1.1 Análisis del regulador de flujo de agua número 1, con o-ring de nitrilo

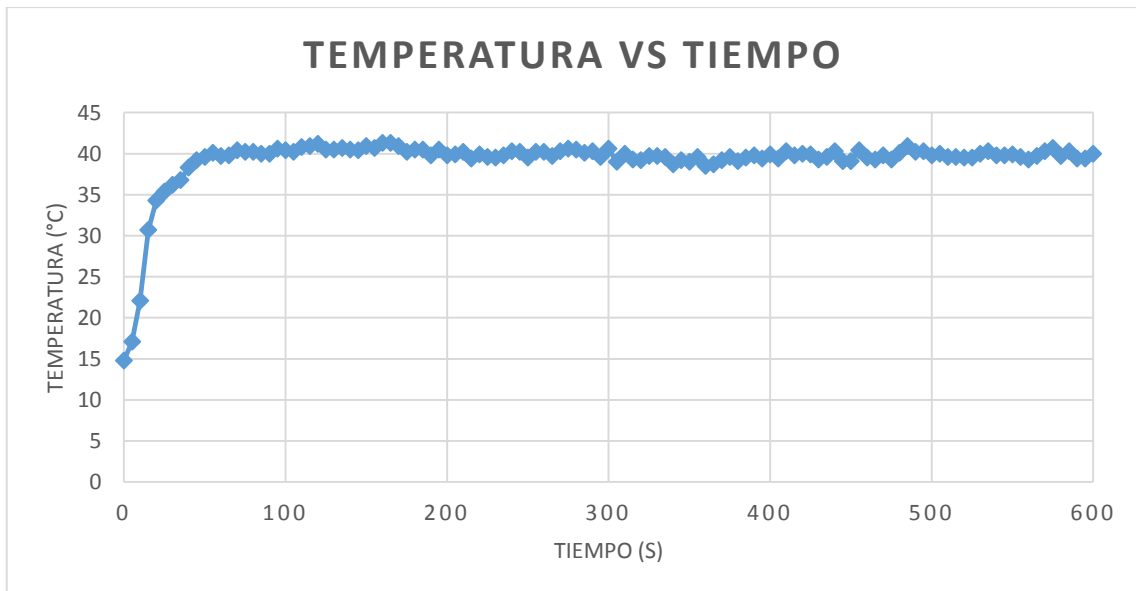
- Válvula de paso de agua abierta 10 grados.

Tabla 6. Datos del  $R_1$ ,  $O_N$ ,  $AV_1 = 10^\circ$

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de salida en la ducha	2,15	l/min
Presión 1	60	Psi
Presión 2	3	Psi
Presión 3	2,5	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	21,55	l
Tiempo de estabilización de temperatura	55	s
Temperatura promedio	40	°C

Fuente: Autor.

Figura 36. Temperatura vs Tiempo del  $R_1$ ,  $O_N$ ,  $AV_1 = 10^\circ$ .



Fuente: Autor.

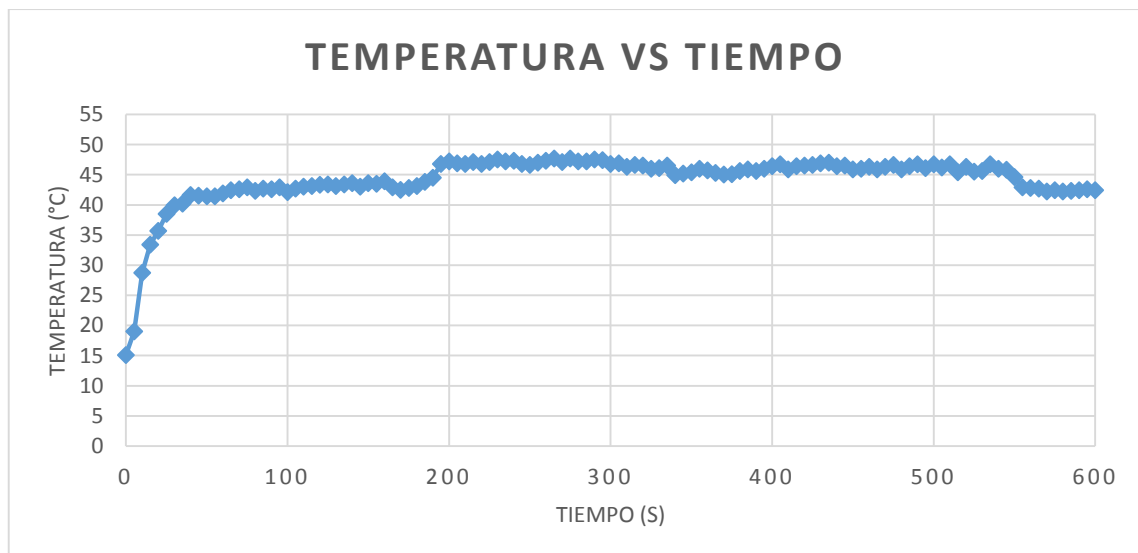
- Válvula de paso de agua abierta 10 grados y válvula del inodoro 14 grados abierta

Tabla 7. Datos del  $R_1$ ,  $O_N$ ,  $AV_1 = 10^\circ$ ,  $AV_2 = 14^\circ$ .

Parámetro	Valor		Unidad
	Válvula 2 cerrada	Válvula 2 abierta	
Caudal de salida en la ducha	2,07	1,31	l/min
Presión 1	59	58	Psi
Presión 2	2,5	2	Psi
Presión 3	2	1	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	20,7		l
Tiempo de estabilización de temperatura	45	-	s
Tiempo de llenado del tanque del inodoro	-	375	s
Temperatura promedio	42	46	°C

Fuente: Autor.

Figura 37. Temperatura vs Tiempo del  $R_1$ ,  $O_N$ ,  $AV_1 = 10^\circ$ ,  $AV_2 = 14^\circ$ .



Fuente: Autor.

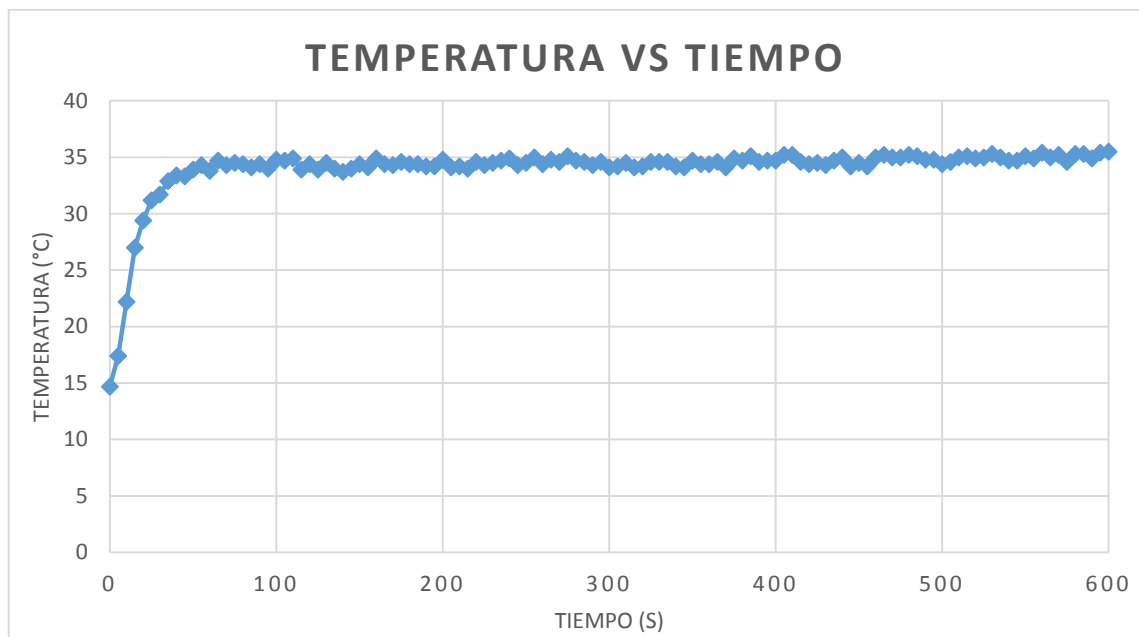
- Válvula de paso de agua abierta 15 grados

Tabla 8. Datos del  $R_1$ ,  $O_N$ ,  $AV_1 = 15^\circ$ .

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de salida en la ducha	2,4	l/min
Presión 1	60	Psi
Presión 2	5	Psi
Presión 3	3	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	24	l
Tiempo de estabilización de temperatura	50	s
Temperatura promedio	34	°C

Fuente: Autor.

Figura 38. Temperatura vs Tiempo del  $R_1$ ,  $O_N$ ,  $AV_1 = 15^\circ$ .



Fuente: Autor.



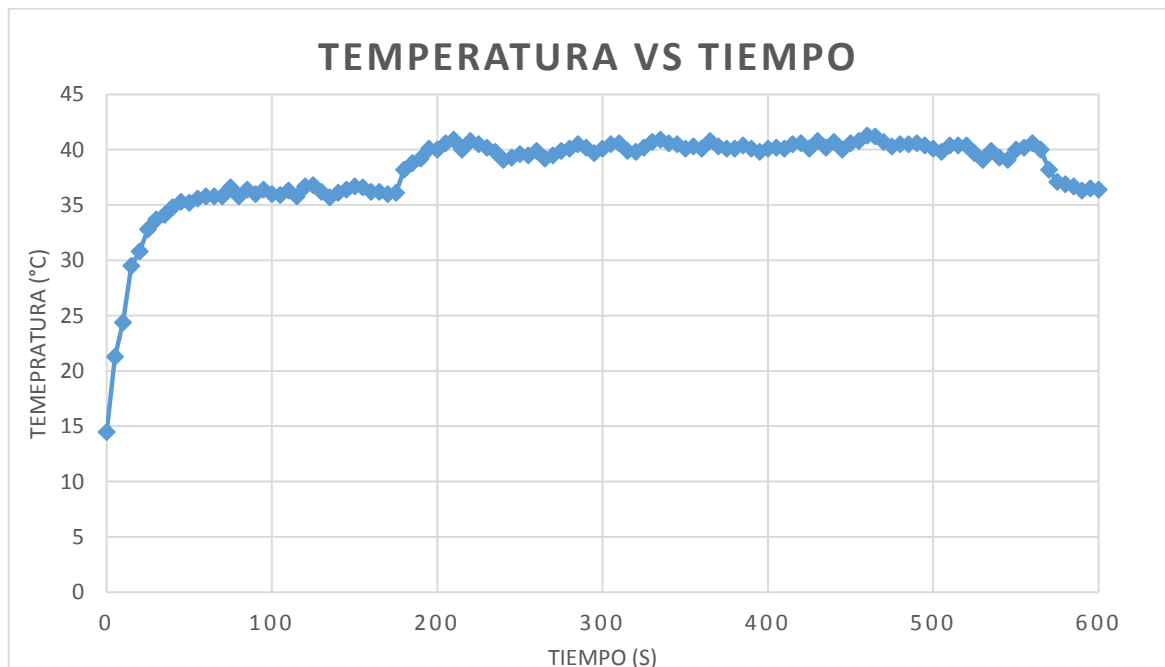
- Válvula de paso de agua abierta 15 grados y válvula del inodoro 14 grados abierta

Tabla 9. Datos del  $R_1$ ,  $O_N$ ,  $AV_1 = 15^\circ$ ,  $AV_2 = 14^\circ$ .

Parámetro	Valor		Unidad
	Válvula 2 cerrada	Válvula 2 abierta	
Caudal de salida en la ducha	2,34	1,84	l/min
Presión 1	58	57	Psi
Presión 2	4	2	Psi
Presión 3	3	1	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	21		l
Tiempo de estabilización de temperatura	45	-	s
Tiempo de llenado del tanque del inodoro	-	385	s
Temperatura promedio	35	40	°C

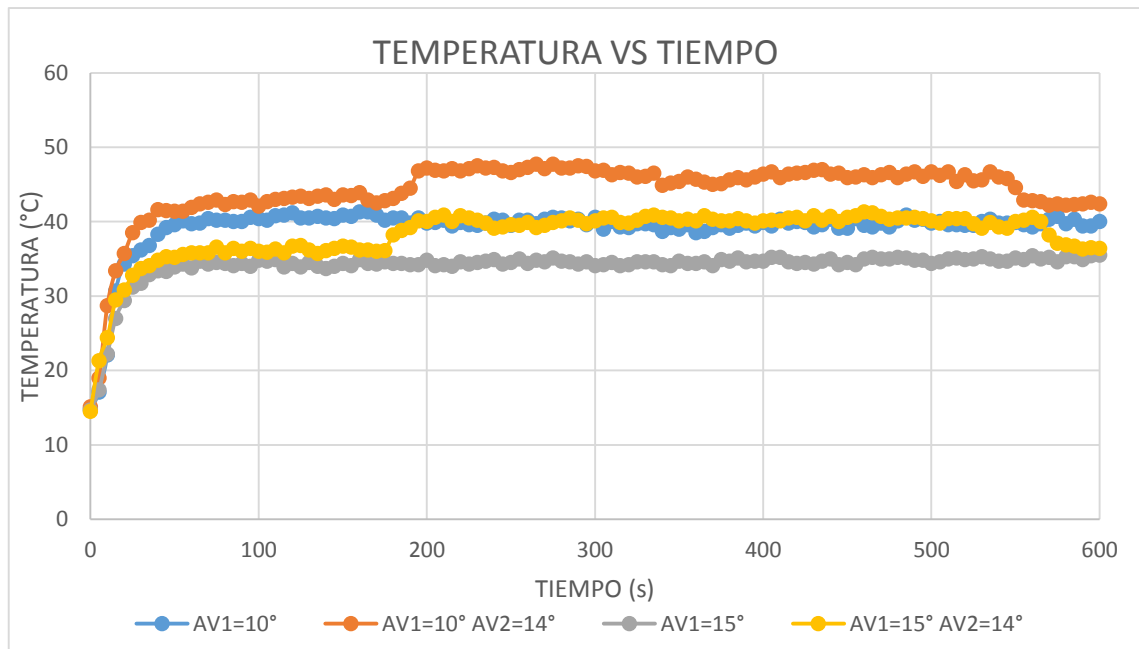
Fuente: Autor.

Figura 39. Temperatura vs Tiempo del  $R_1$ ,  $O_N$ ,  $AV_1 = 15^\circ$ ,  $AV_2 = 14^\circ$ .



Fuente: Autor.

Figura 40. Regulador de flujo de agua número 1, con o-ring de nitrilo



Fuente: Autor.

#### 4.3.1.2 Análisis del regulador de flujo de agua número 1, con o-ring de silicón.

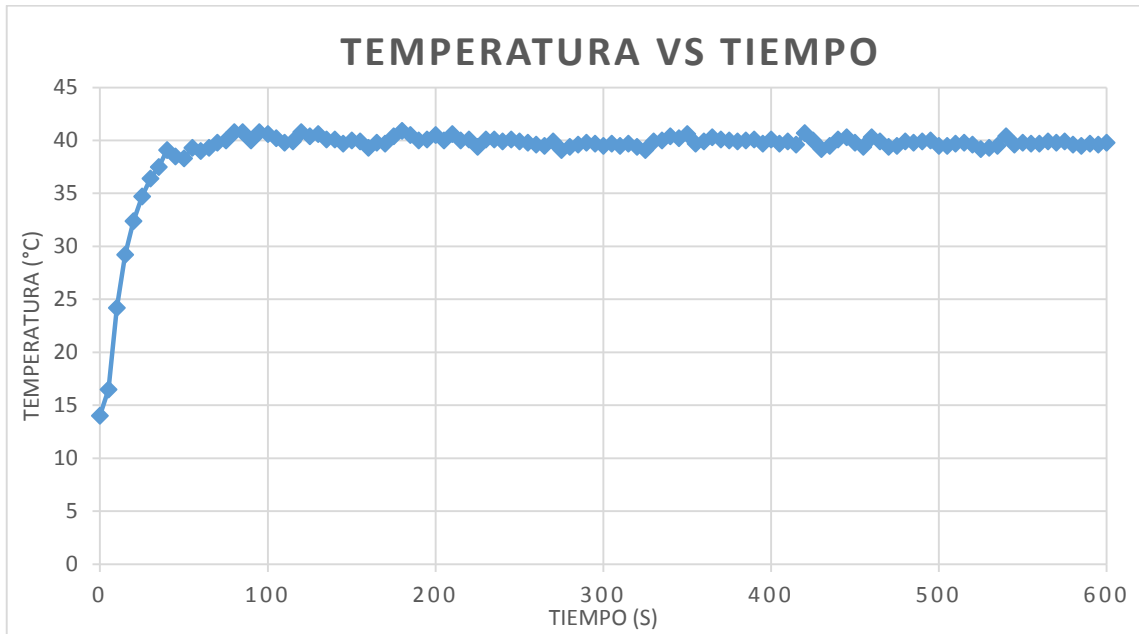
- Válvula de paso de agua abierta 8 grados

Tabla 10. Datos del  $R_1$ ,  $O_S$ ,  $AV_1 = 8^\circ$ .

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de salida en la ducha	2,25	l/min
Presión 1	55	Psi
Presión 2	3,5	Psi
Presión 3	2,5	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	22,5	l
Tiempo de estabilización de temperatura	50	s
Temperatura promedio	40	°C

Fuente: Autor.

Figura 41. Temperatura vs Tiempo del  $R_1$ ,  $O_S$ ,  $AV_1 = 8^\circ$ .



Fuente: Autor.

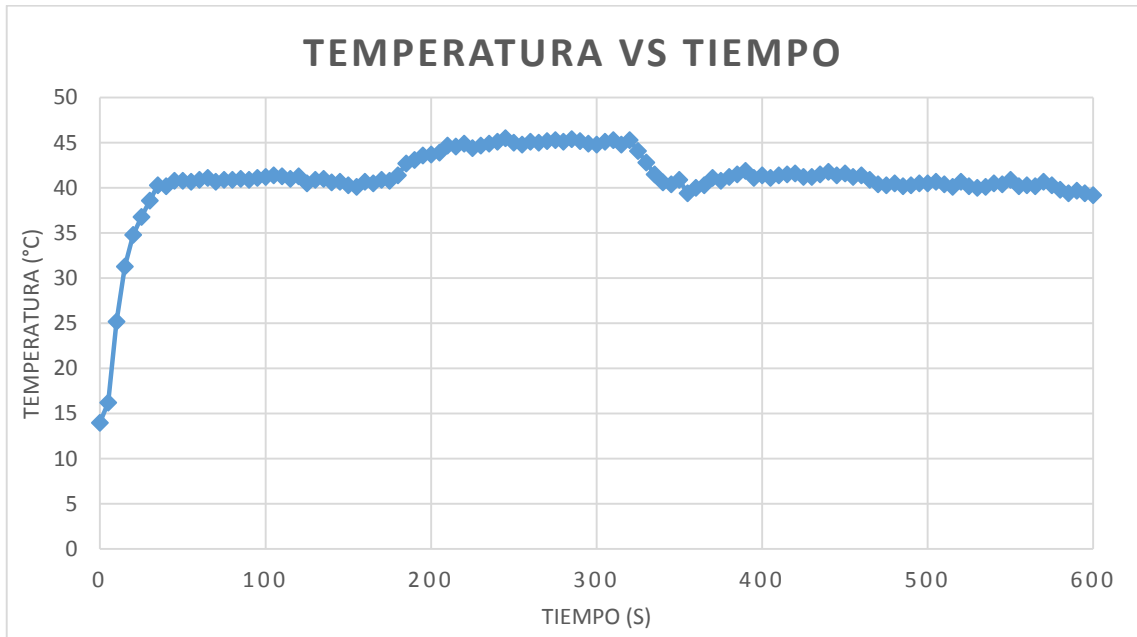
- Válvula de paso de agua abierta 8 grados y válvula del inodoro 12 grados abierta

Tabla 11. Datos del  $R_1$ ,  $O_S$ ,  $AV_1 = 8^\circ$ ,  $AV_2 = 12^\circ$ .

Parámetro	Valor		Unidad
	Válvula 2 cerrada	Válvula 2 abierta	
Caudal de salida en la ducha	2,25	1,34	l/min
Presión 1	54	52,5	Psi
Presión 2	3	2,5	Psi
Presión 3	2,5	2	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	17,65		l
Tiempo de estabilización de temperatura	40	-	s
Tiempo de llenado del tanque del inodoro	-	160	s
Temperatura promedio	40	45	°C

Fuente: Autor.

Figura 42. Temperatura vs Tiempo del  $R_1$ ,  $O_S$ ,  $AV_1 = 8^\circ$ ,  $AV_2 = 12^\circ$ .



Fuente. Autor

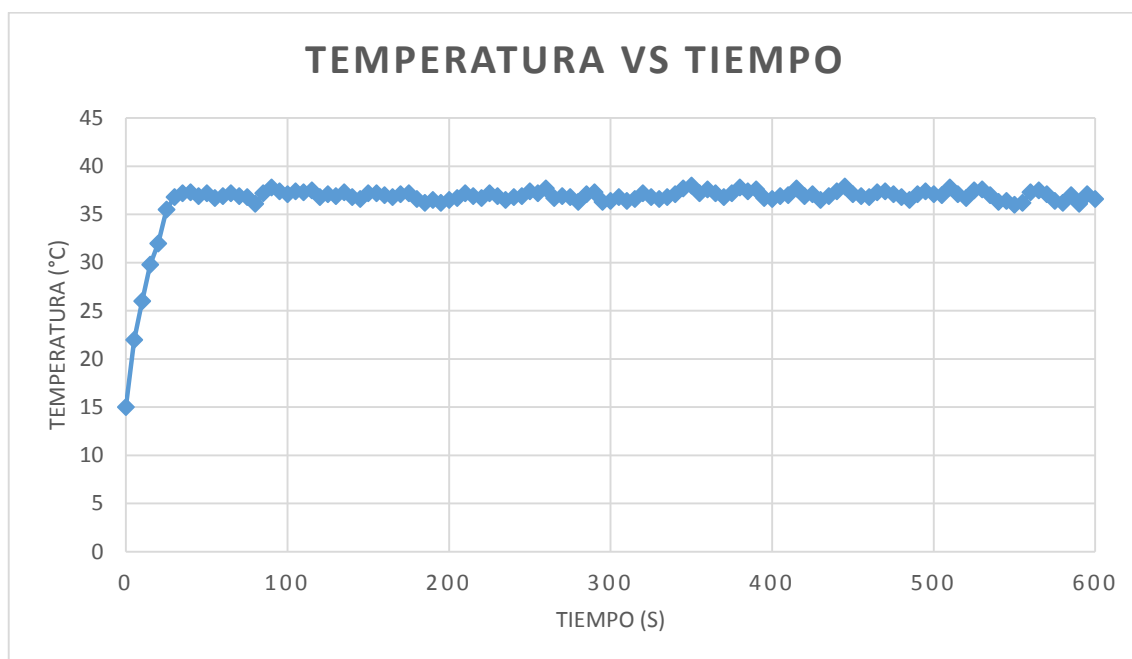
- Válvula de paso de agua abierta 15 grados

Tabla 12. Datos del  $R_1$ ,  $O_S$ ,  $AV_1 = 15^\circ$ .

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de salida en la ducha	2,44	l/min
Presión 1	57	Psi
Presión 2	4	Psi
Presión 3	3,5	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	24,4	l
Tiempo de estabilización de temperatura	35	s
Temperatura promedio	37	°C

Fuente: Autor.

Figura 43. Temperatura vs Tiempo del  $R_1$ ,  $O_S$ ,  $AV_1 = 15^\circ$ .



Fuente: Autor.

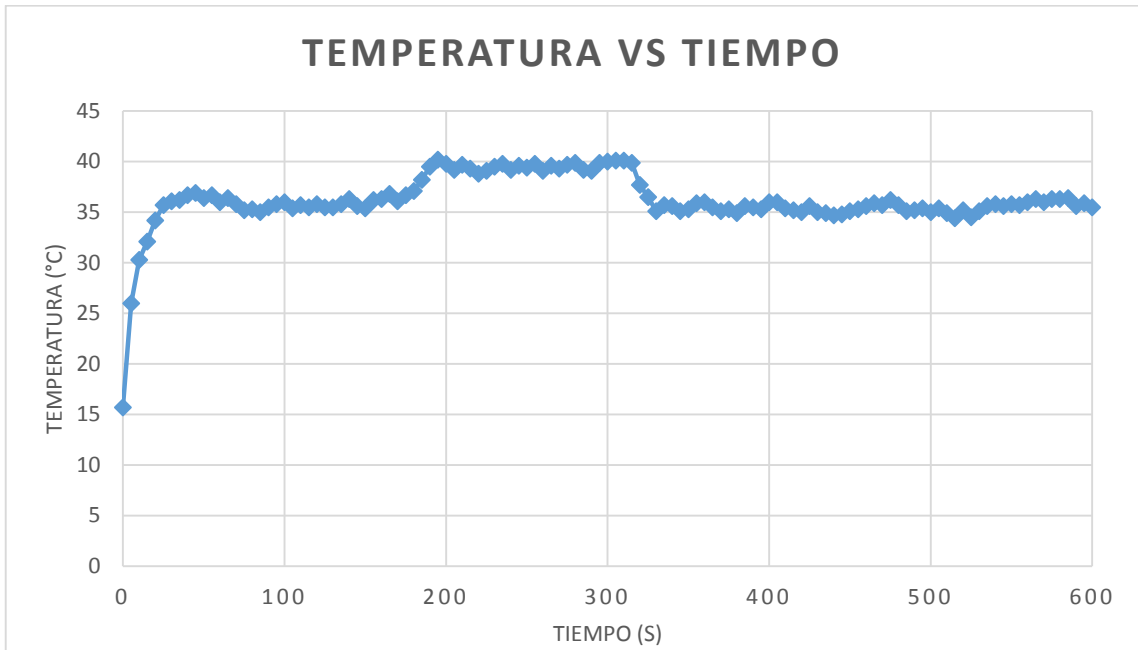
- Válvula de paso de agua abierta 15 grados y válvula del inodoro 12 grados abierta.

Tabla 13. Datos del  $R_1$ ,  $O_S$ ,  $AV_1 = 15^\circ$ ,  $AV_2 = 12^\circ$ .

Parámetro	Valor		Unidad
	Válvula 2 cerrada	Válvula 2 abierta	
Caudal de salida en la ducha	2,46	1,48	l/min
Presión 1	56	53	Psi
Presión 2	4	3,5	Psi
Presión 3	3,5	3	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	22,6		l
Tiempo de estabilización de temperatura	35	-	s
Tiempo de llenado del tanque del inodoro	-	140	s
Temperatura promedio	36	40	°C

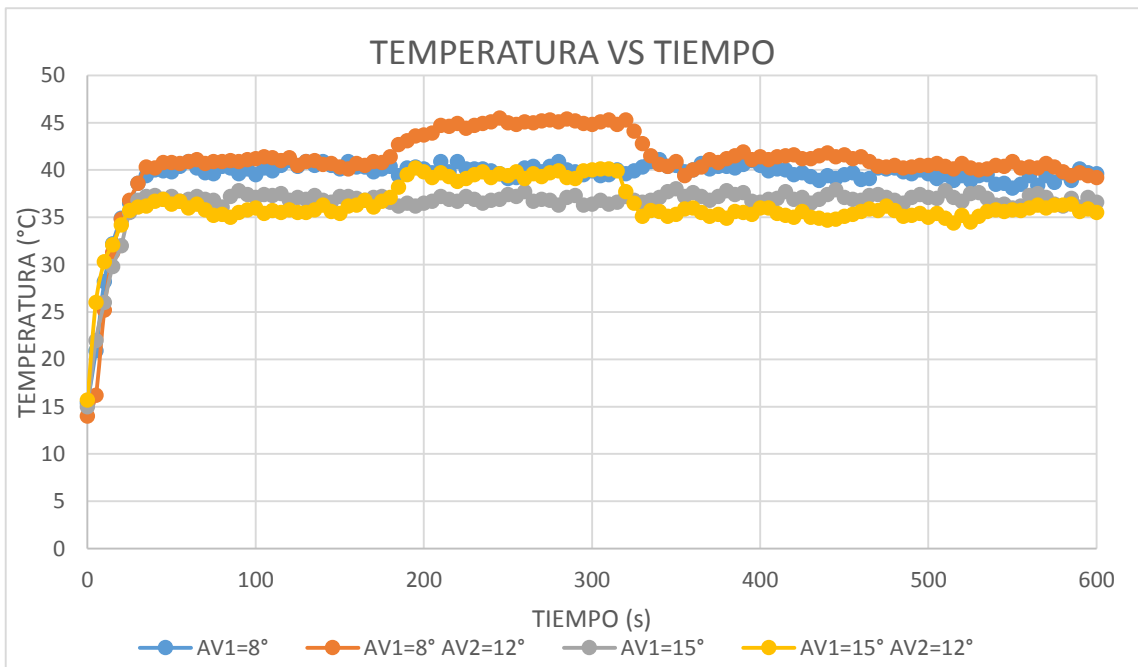
Fuente: Autor.

Figura 44. Temperatura vs Tiempo del  $R_1$ ,  $O_S$ ,  $AV_1 = 15^\circ$ ,  $AV_2 = 12^\circ$ .



Fuente: Autor.

Figura 45. Regulador de flujo de agua número 1, con o-ring de silicón



Fuente: Autor.

#### 4.3.1.3 Análisis del regulador de flujo de agua importado

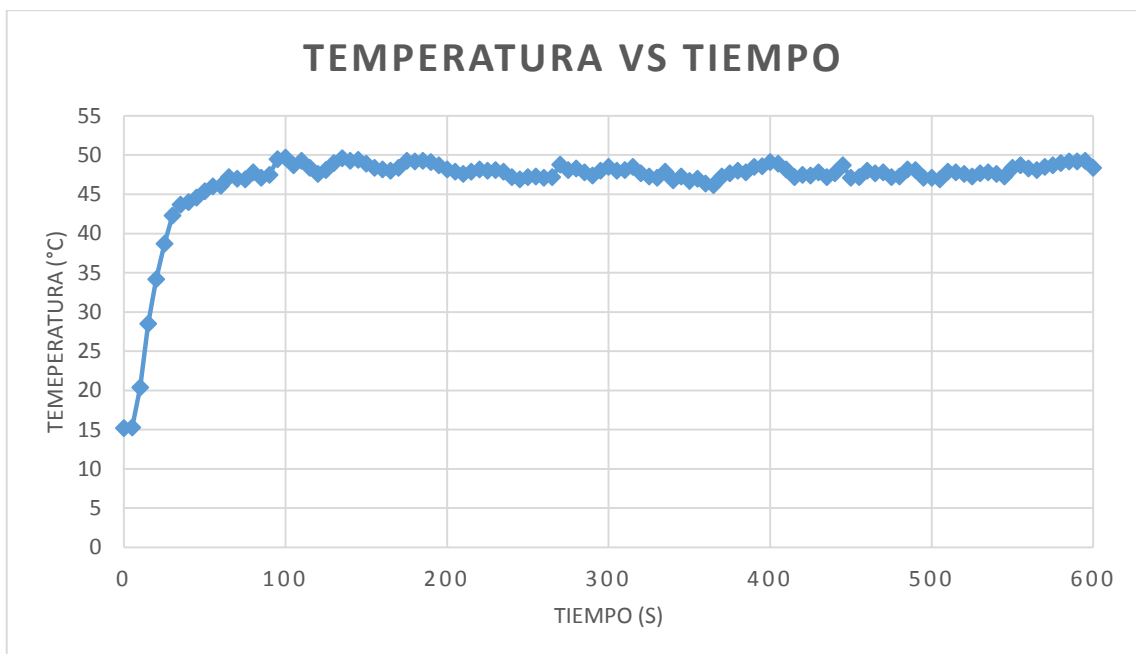
- Regulador de flujo de agua importado con estrella reguladora de color amarillo 9 l/min, válvula de paso abierta 11 grados.

Tabla 14. Datos del  $R_I$ ,  $O_{I-9}$ ,  $AV_1 = 11^\circ$ .

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de salida en la ducha	1,965	l/min
Presión 1	59	Psi
Presión 2	32	Psi
Presión 3	2	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	19,65	l
Tiempo de estabilización de temperatura	50	s
Temperatura promedio	47	°C

Fuente: Autor.

Figura 46. Temperatura vs Tiempo del  $R_I$ ,  $O_{I-9}$ ,  $AV_1 = 11^\circ$ .



Fuente: Autor.

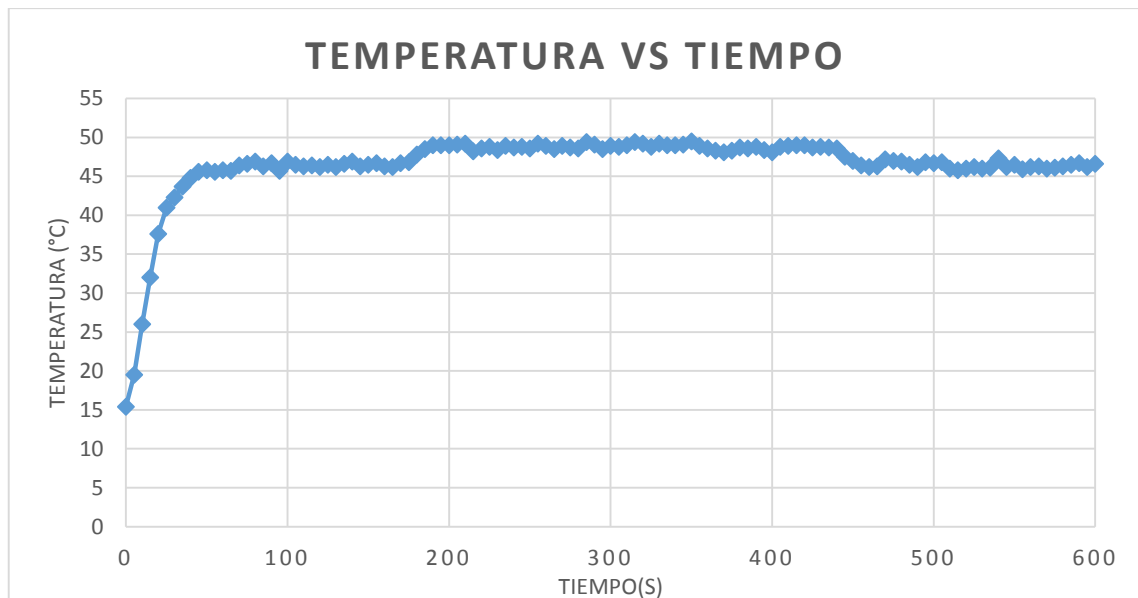
- Regulador de flujo de agua importado con estrella reguladora de color amarillo 9 l/min, válvula de paso abierta 11 grados y válvula del inodoro 17 grados.

Tabla 15. Datos del  $R_I$ ,  $O_{I-9}$ ,  $AV_1 = 11^\circ$ ,  $AV_2 = 17^\circ$ .

Parámetro	Valor		Unidad
	Válvula 2 cerrada	Válvula 2 abierta	
Caudal de salida en la ducha	1,98	1,75	l/min
Presión 1	59	56	Psi
Presión 2	32	31	Psi
Presión 3	2	2	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	17,55		l
Tiempo de estabilización de temperatura	45	-	s
Tiempo de llenado del tanque del inodoro	-	260	s
Temperatura promedio	46	49	°C

Fuente: Autor.

Figura 47. Temperatura vs Tiempo del  $R_I$ ,  $O_{I-9}$ ,  $AV_1 = 11^\circ$ ,  $AV_2 = 17^\circ$ .



Fuente: Autor.



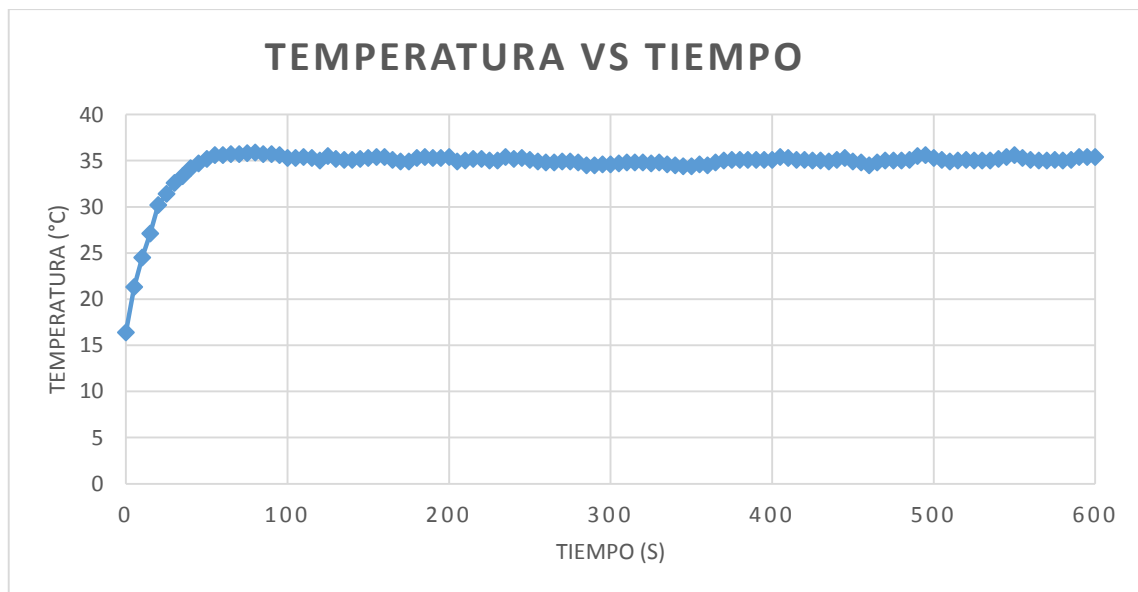
- Regulador de flujo de agua importado con estrella reguladora de color amarillo 9 l/min, válvula de paso abierta 19 grados.

Tabla 16. Datos del  $R_I$ ,  $O_{I-9}$ ,  $AV_1 = 19^\circ$ .

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de salida en la ducha	2,44	l/min
Presión 1	53	Psi
Presión 2	14	Psi
Presión 3	1	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	24,4	l
Tiempo de estabilización de temperatura	55	s
Temperatura promedio	35	°C

Fuente: Autor.

Figura 48. Temperatura vs Tiempo del  $R_I$ ,  $O_{I-9}$ ,  $AV_1 = 19^\circ$ .



Fuente: Autor.

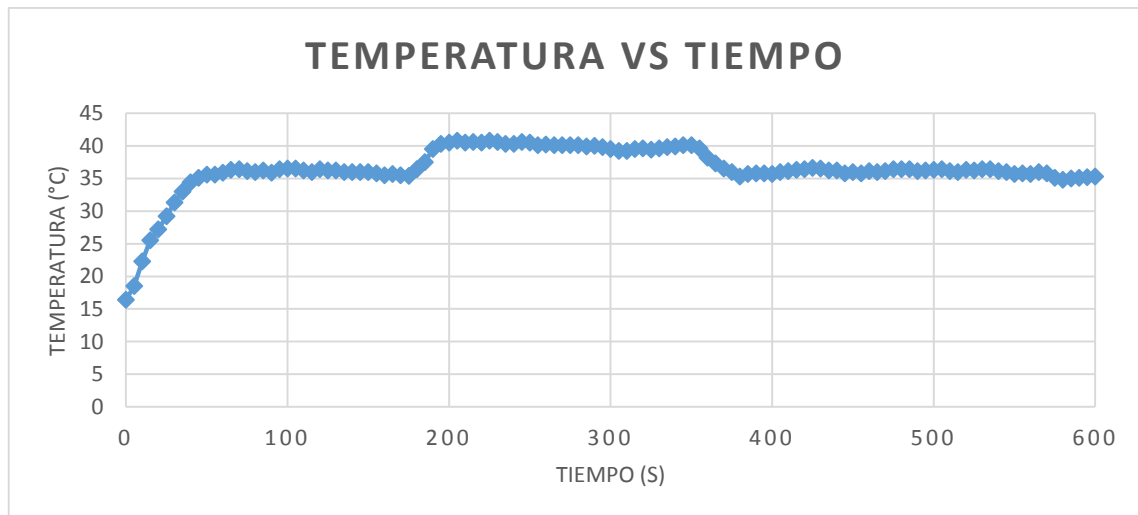
- Regulador de flujo de agua importado con estrella reguladora de color amarillo 9 l/min, válvula de paso abierta 19 grados y válvula del inodoro 13 grados.

Tabla 17. Datos del  $R_I$ ,  $O_{I-9}$ ,  $AV_1 = 19^\circ$ ,  $AV_2 = 13^\circ$ .

Parámetro	Valor		Unidad
	Válvula 2 cerrada	Válvula 2 abierta	
Caudal de salida en la ducha	2,65	1,95	l/min
Presión 1	53	37	Psi
Presión 2	14	9	Psi
Presión 3	1	1	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	25,18		l
Tiempo de estabilización de temperatura	50	-	s
Tiempo de llenado del tanque del inodoro	-	170	s
Temperatura promedio	35	39	°C

Fuente: Autor.

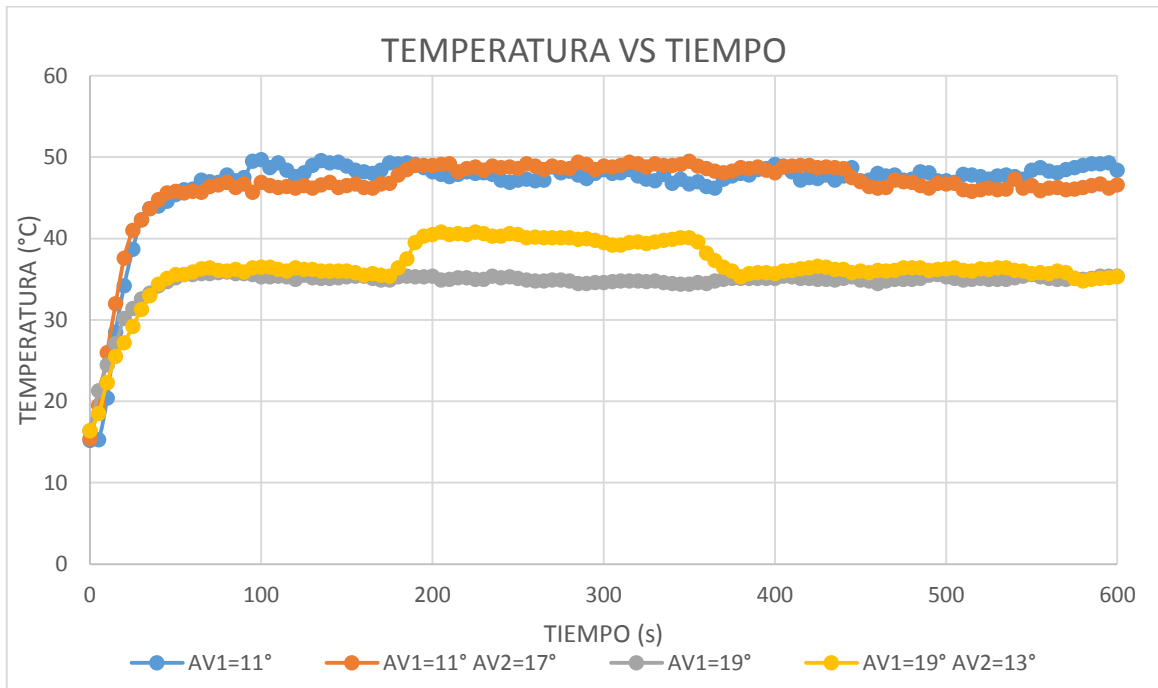
Figura 49. Temperatura vs Tiempo del  $R_I$ ,  $O_{I-9}$ ,  $AV_1 = 19^\circ$ ,  $AV_2 = 13^\circ$ .



Fuente: Autor.

No existen datos del regulador de flujo de agua importado de color azul 6l/min y verde 4l/min dado que el caudal que proporcionan estos es ínfimo y la ducha eléctrica no puede funcionar.

Figura 50. Regulador de flujo de agua importado en la instalación 1



Fuente: Autor.

#### 4.3.2 Datos en la instalación del sistema 2

##### 4.3.2.1 Análisis del regulador de flujo de agua número 2, con o-ring de nitrilo.

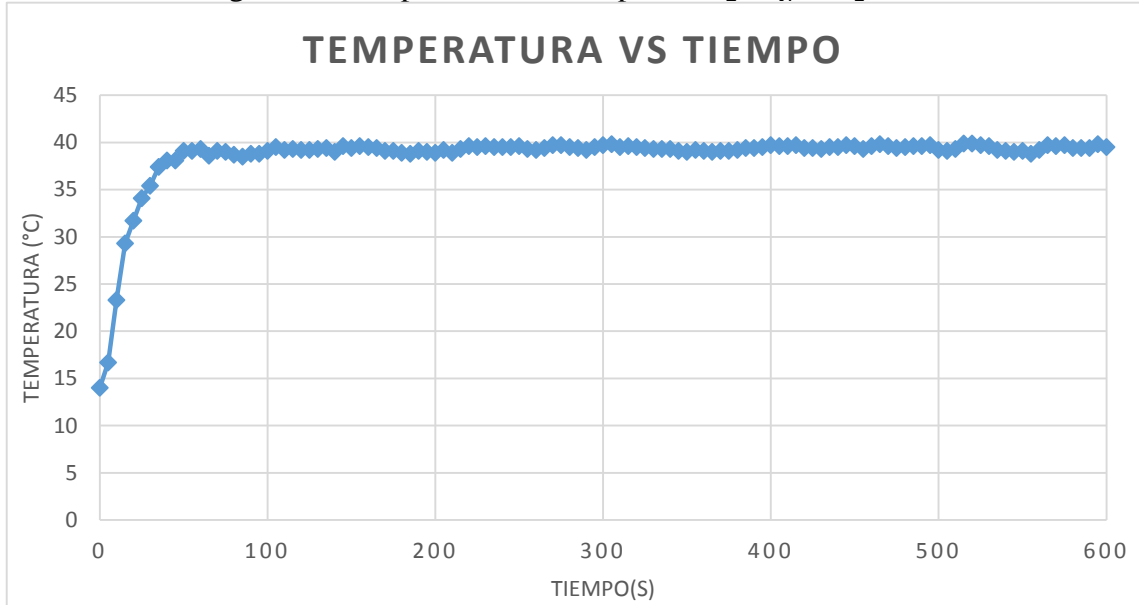
- Válvula de paso de agua abierta 5 grados

Tabla 18. Datos del  $R_2$ ,  $O_N$ ,  $AV_1 = 5^\circ$ .

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de salida en la ducha	2,1	l/min
Presión 1	60	Psi
Presión 2	3	Psi
Presión 3	1	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	21	l
Tiempo de estabilización de temperatura	50	s
Temperatura promedio	39	°C

Fuente: Autor.

Figura 51. Temperatura vs Tiempo del  $R_2$ ,  $O_N$ ,  $AV_1 = 5^\circ$ .



Fuente: Autor.

- Válvula de paso de agua abierta 5 grados y válvula del inodoro 12 grados abierta.

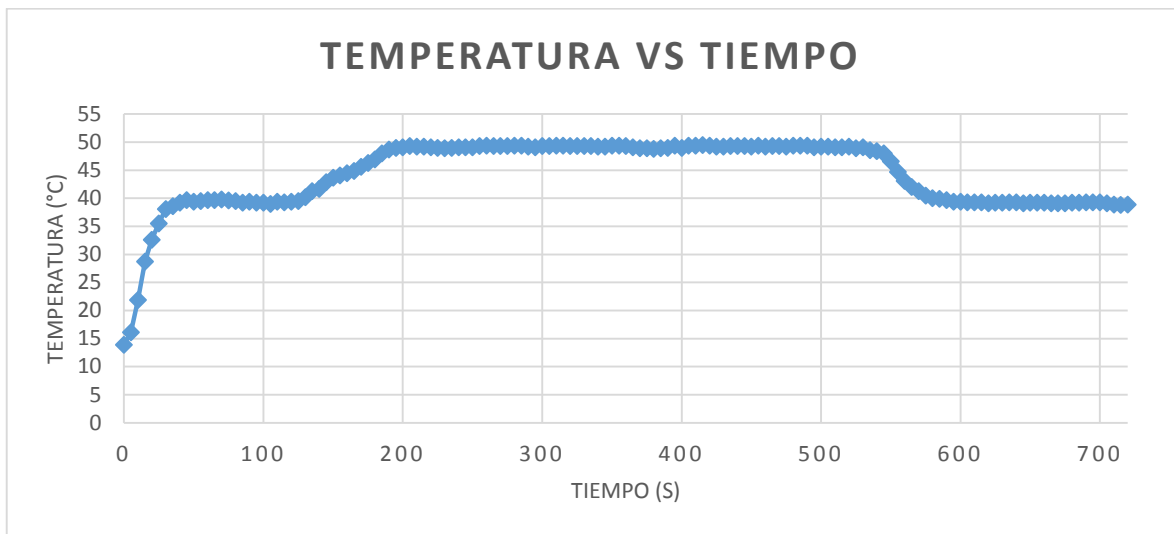
Esta prueba tuvo una duración de 12 minutos porque el llenado del tanque del inodoro tomo más tiempo y para observar la variación de temperatura se determinó que está se realizara en dicho tiempo.

Tabla 19. Datos del  $R_2$ ,  $O_N$ ,  $AV_1 = 5^\circ$ ,  $AV_2 = 12^\circ$ .

Parámetro	Valor		Unidad
	Válvula 2 cerrada	Válvula 2 abierta	
Caudal de salida en la ducha	2,1	1,42	l/min
Presión 1	59	60	Psi
Presión 2	3,5	2,5	Psi
Presión 3	1	1	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	20,8		l
Tiempo de estabilización de temperatura	45	-	s
Tiempo de llenado del tanque del inodoro	-	400	s
Temperatura promedio	39	49	°C

Fuente: Autor.

Figura 52. Temperatura vs Tiempo del  $R_2$ ,  $O_N$ ,  $AV_1 = 5^\circ$ ,  $AV_2 = 12^\circ$ .



Fuente: Autor.

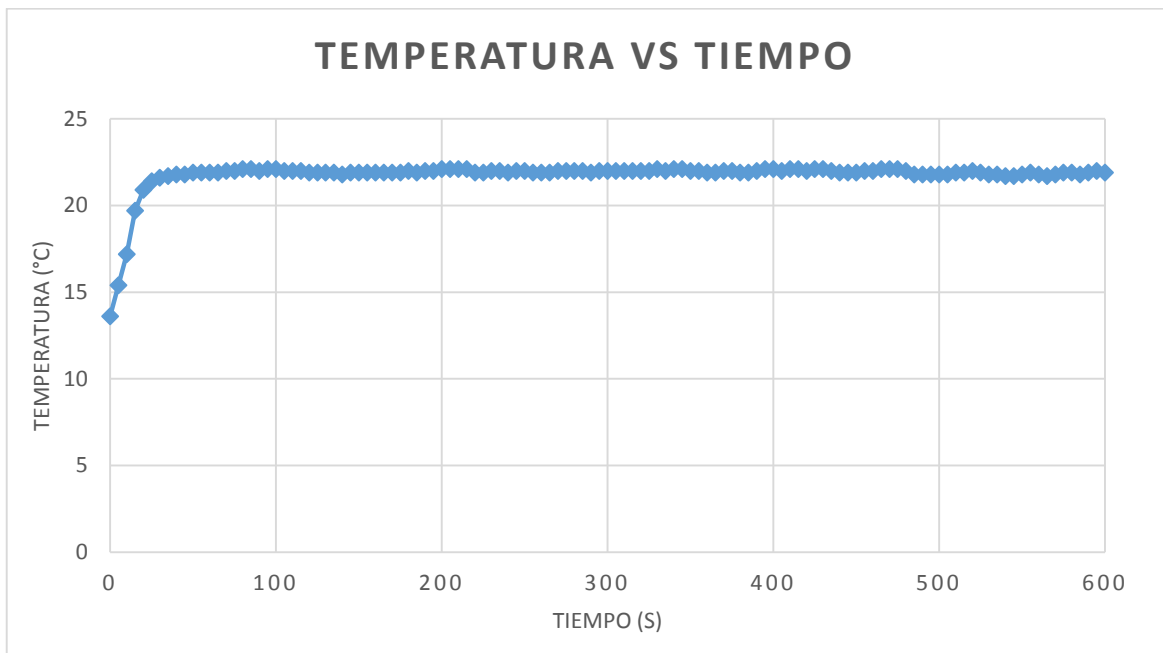
- Válvula de paso de agua abierta 20 grados

Tabla 20. Datos del  $R_2$ ,  $O_N$ ,  $AV_1 = 20^\circ$ .

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de salida en la ducha	6,46	l/min
Presión 1	51,5	Psi
Presión 2	15	Psi
Presión 3	2,5	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	64,6	l
Tiempo de estabilización de temperatura	35	s
Temperatura promedio	22	°C

Fuente: Autor.

Figura 53. Temperatura vs Tiempo del  $R_2$ ,  $O_N$ ,  $AV_1 = 20^\circ$ .



Fuente: Autor.

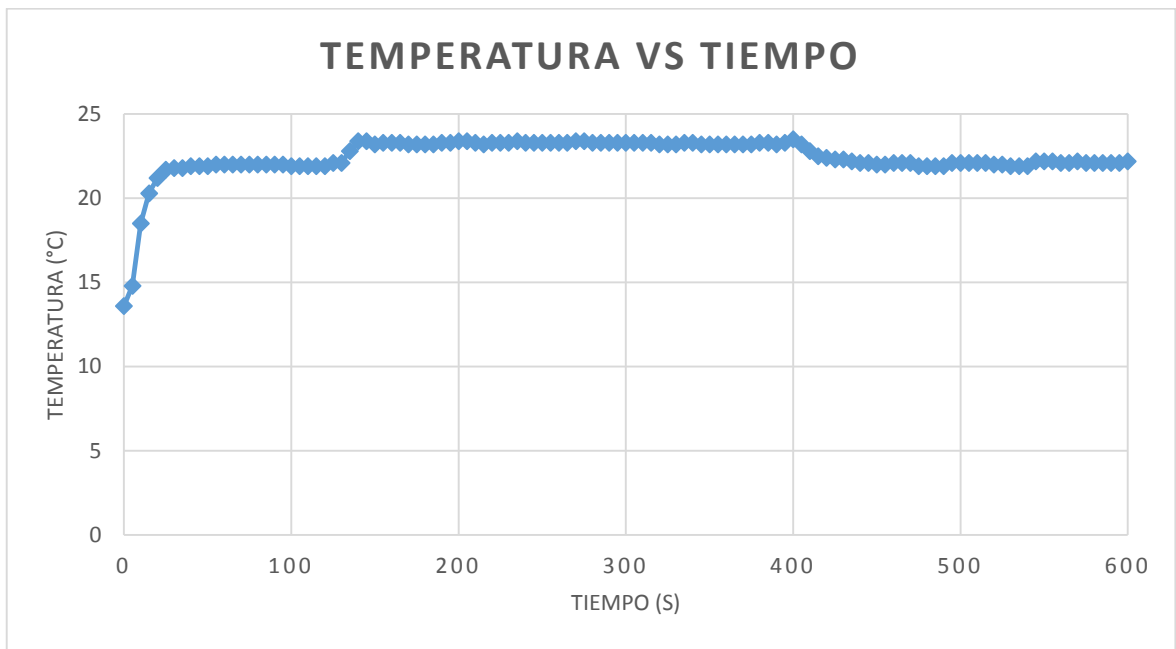
- Válvula de paso de agua abierta 20 grados y válvula del inodoro 12 grados abierta

Tabla 21. Datos del  $R_2$ ,  $O_N$ ,  $AV_1 = 20^\circ$ ,  $AV_2 = 12^\circ$ .

Parámetro	Valor		Unidad
	Válvula 2 cerrada	Válvula 2 abierta	
Caudal de salida en la ducha	6,46	5,25	l/min
Presión 1	51,5	50	Psi
Presión 2	15	12	Psi
Presión 3	2,5	2	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	59,2		l
Tiempo de estabilización de temperatura	45	-	s
Tiempo de llenado del tanque del inodoro	-	270	s
Temperatura promedio	22	23,5	°C

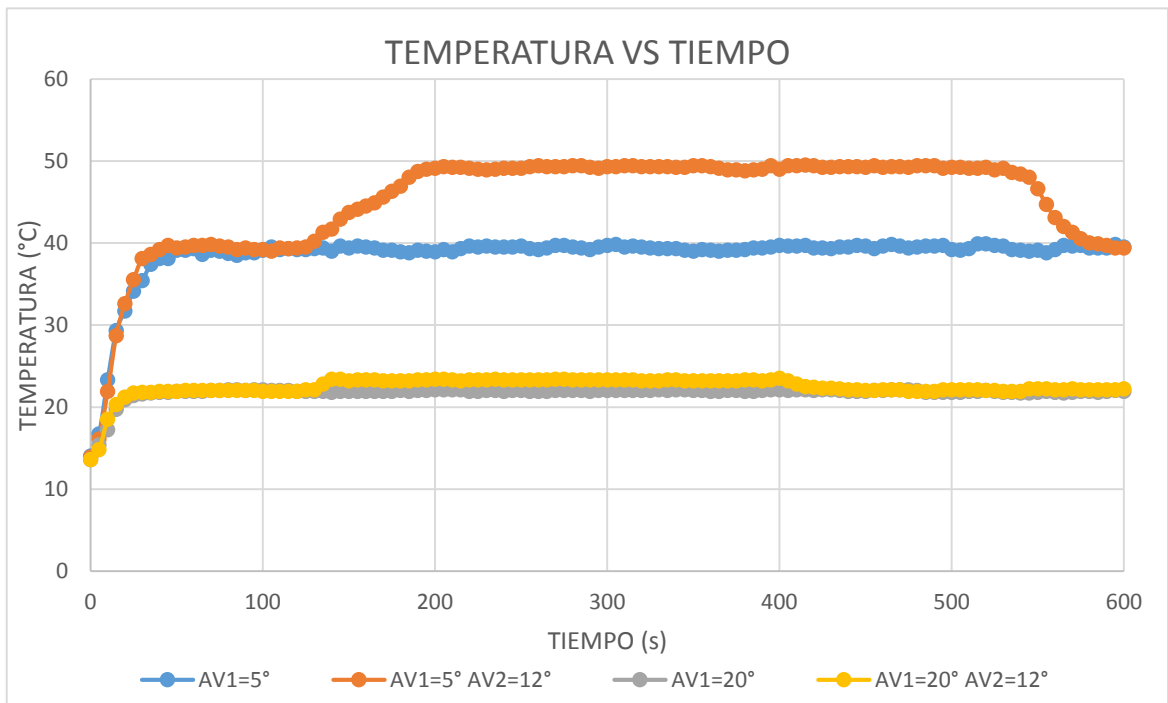
Fuente: Autor.

Figura 54. Temperatura vs Tiempo del  $R_2$ ,  $O_N$ ,  $AV_1 = 20^\circ$ ,  $AV_2 = 12^\circ$ .



Fuente: Autor.

Figura 55. Regulador de flujo de agua número 2, con o-ring de nitrilo.



Fuente: Autor.

#### 4.3.2.2 Análisis del regulador de flujo de agua número 2 con o-ring de silicón.

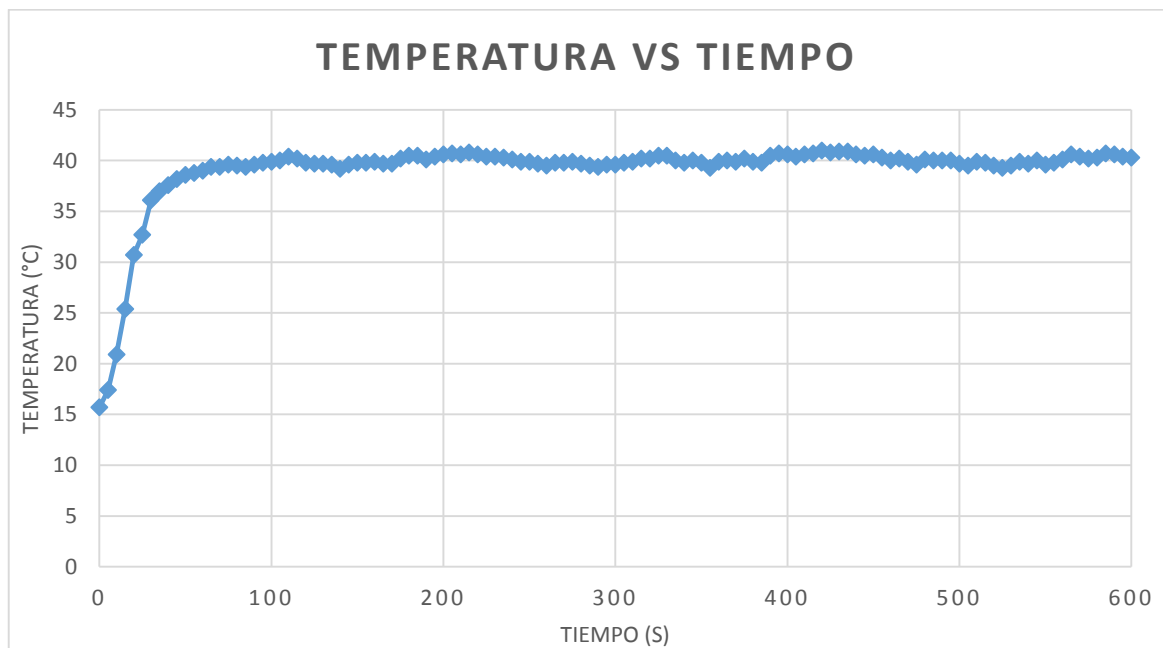
- Válvula de paso de agua abierta 12grados.

Tabla 22. Datos del  $R_2$ ,  $O_S$ ,  $AV_1 = 12^\circ$ .

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de salida en la ducha	2,15	l/min
Presión 1	57	Psi
Presión 2	55	Psi
Presión 3	1,1	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	21,5	l
Tiempo de estabilización de temperatura	60	s
Temperatura promedio	40	°C

Fuente: Autor.

Figura 56. Temperatura vs tiempo del  $R_2$ ,  $O_S$ ,  $AV_1 = 12^\circ$ .



Fuente: Autor.



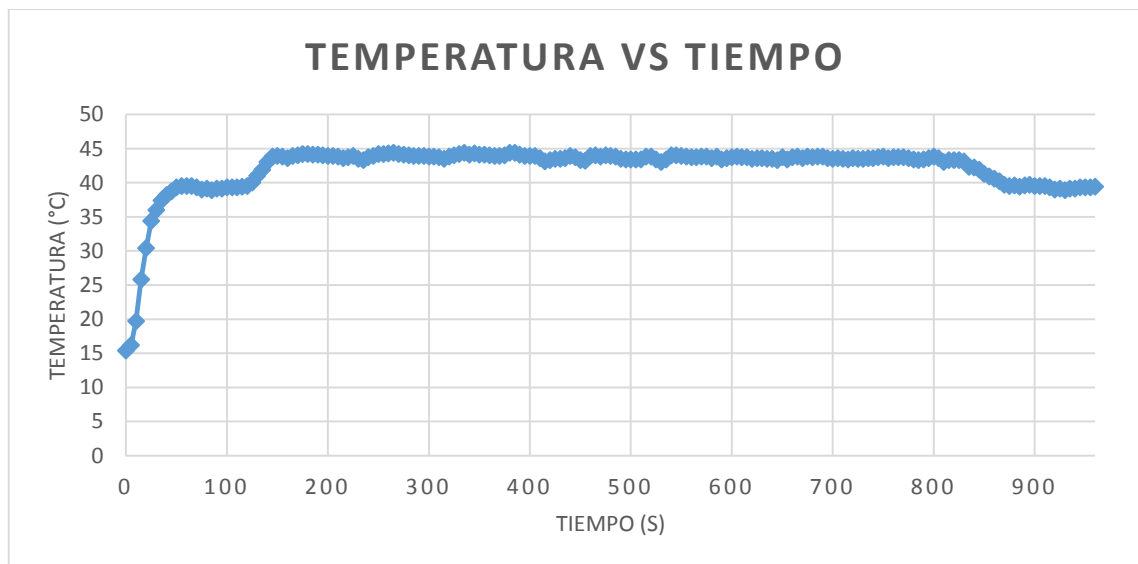
- Válvula de paso de agua abierta 12° y válvula del inodoro 12° abierta.

Tabla 23. Datos del  $R_2$ ,  $O_S$ ,  $AV_1 = 12^\circ$ ,  $AV_2 = 12^\circ$ .

Parámetro	Valor		Unidad
	Válvula 2 cerrada	Válvula 2 abierta	
Caudal de salida en la ducha	2,15	0,49	l/min
Presión 1	57	57	Psi
Presión 2	55	54	Psi
Presión 3	1,1	1	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	30,3		l
Tiempo de estabilización de temperatura	50	-	s
Tiempo de llenado del tanque del inodoro	-	775	s
Temperatura promedio	40	39	°C

Fuente: Autor.

Figura 57. Temperatura vs Tiempo del  $R_2$ ,  $O_S$ ,  $AV_1 = 12^\circ$ ,  $AV_2 = 12^\circ$ .



Fuente: Autor.

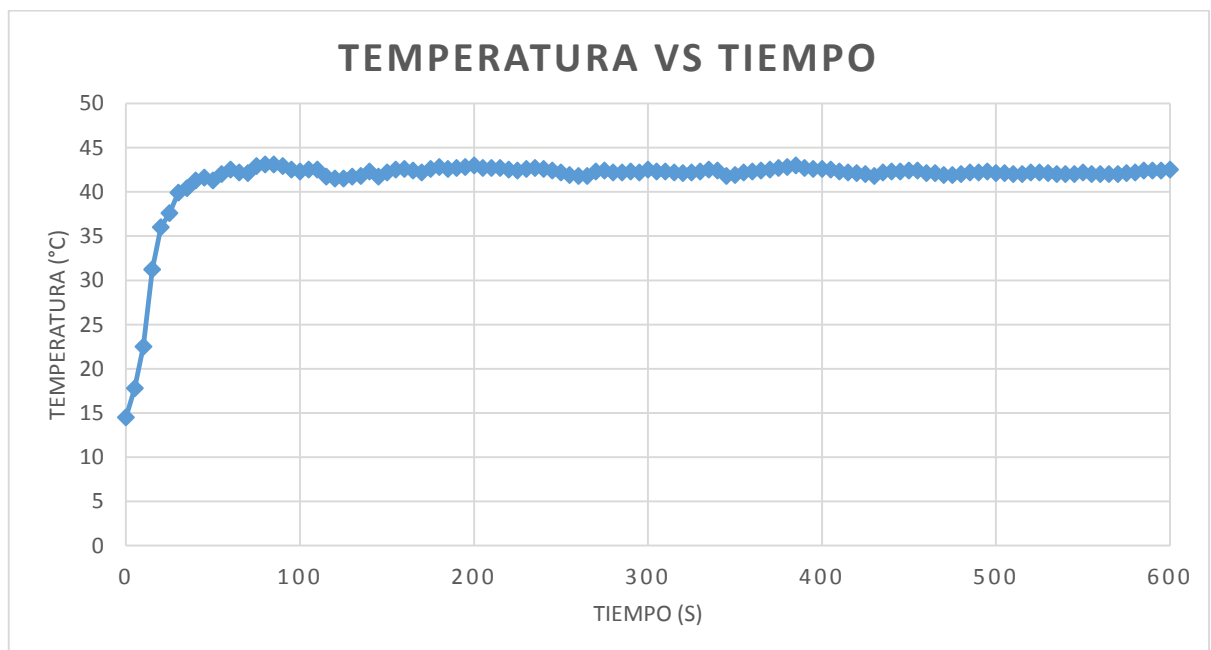
- Válvula de paso de agua abierta 24 grados.

Tabla 24. Datos del  $R_2$ ,  $O_S$ ,  $AV_1 = 24^\circ$ .

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de salida en la ducha	2,05	l/min
Presión 1	61	Psi
Presión 2	59	Psi
Presión 3	1	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	20,5	l
Tiempo de estabilización de temperatura	65	s
Temperatura promedio	42	°C

Fuente: Autor.

Figura 58. Temperatura vs tiempo del  $R_2$ ,  $O_S$ ,  $AV_1 = 24^\circ$ .



Fuente: Autor.

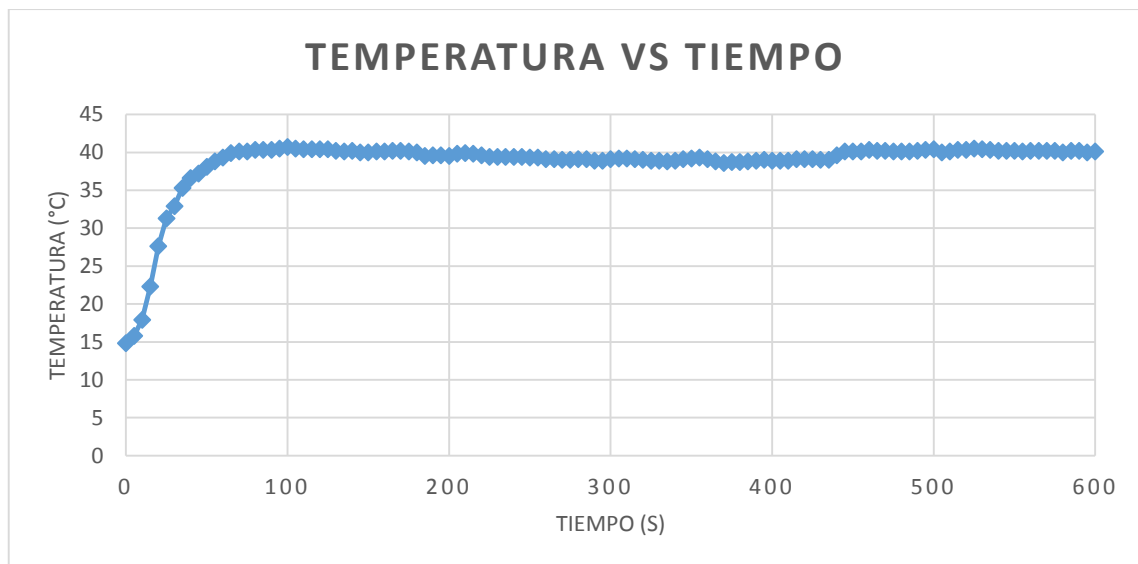
- Válvula de paso de agua abierta 24° y válvula del inodoro 10° abierta.

Tabla 25. Datos del  $R_2$ ,  $O_S$ ,  $AV_1 = 24^\circ$ ,  $AV_2 = 10^\circ$ .

Parámetro	Valor		Unidad
	Válvula 2 cerrada	Válvula 2 abierta	
Caudal de salida en la ducha	2,15	2,21	l/min
Presión 1	60	58	Psi
Presión 2	58	56	Psi
Presión 3	1	1	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	21,8		l
Tiempo de estabilización de temperatura	65	-	s
Tiempo de llenado del tanque del inodoro	-	240	s
Temperatura promedio	40	39	°C

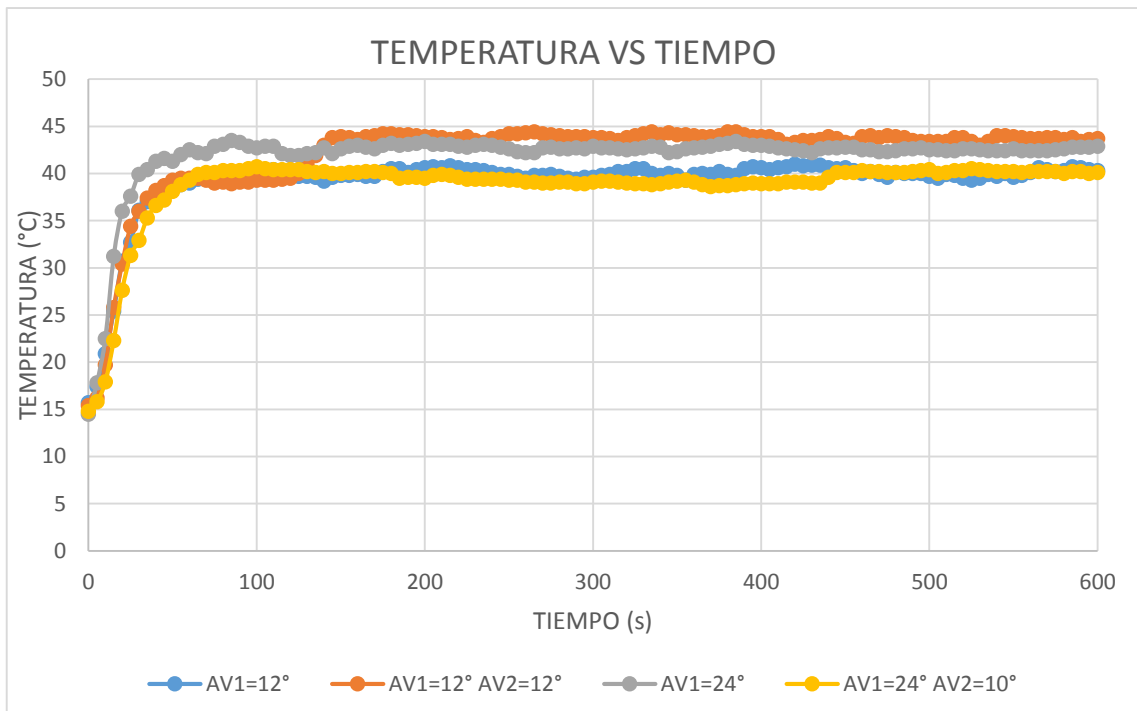
Fuente: Autor.

Figura 59. Temperatura vs Tiempo del  $R_2$ ,  $O_S$ ,  $AV_1 = 24^\circ$ ,  $AV_2 = 10^\circ$ .



Fuente: Autor.

Figura 60. Regulador de flujo de agua número 2 con o-ring de silicón.



Fuente: Autor.

#### 4.3.2.3 Análisis del regulador de flujo de agua importado

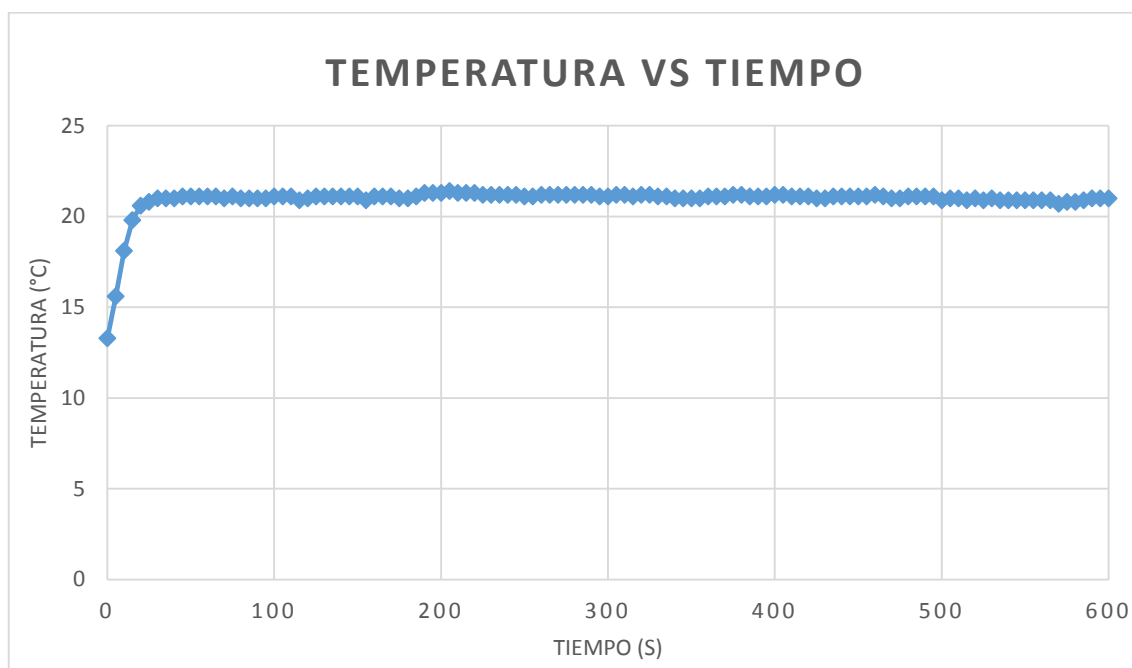
- Regulador de flujo de agua importado con estrella reguladora de color amarillo 9 l/min, válvula de paso abierta 24 grados.

Tabla 26. Datos del  $R_I$ ,  $O_{I-9}$ ,  $AV_1 = 24^\circ$ .

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de salida en la ducha	7,0	l/min
Presión 1	35	Psi
Presión 2	11,5	Psi
Presión 3	3	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	70	l
Tiempo de estabilización de temperatura	30	s
Temperatura promedio	21	°C

Fuente: Autor.

Figura 61. Temperatura vs Tiempo del  $R_I$ ,  $O_{I-9}$ ,  $AV_1 = 24^\circ$ .



Fuente: Autor.

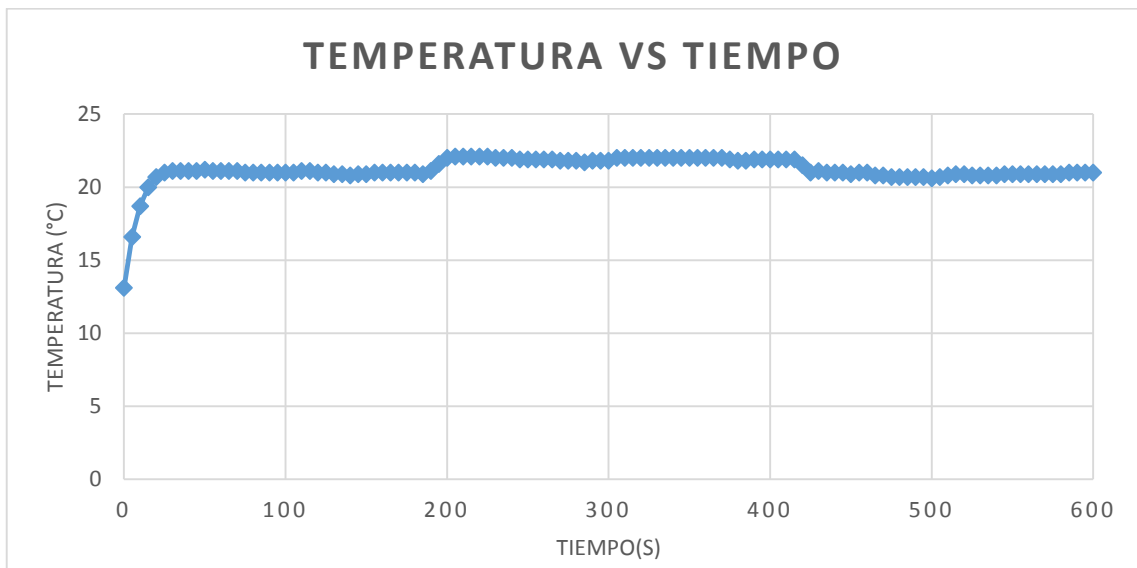
- Regulador de flujo de agua importado con estrella reguladora de color amarillo 9 l/min, válvula de paso abierta 24 grados y válvula del inodoro 10 grados.

Tabla 27. Datos del  $R_I$ ,  $O_{I-9}$ ,  $AV_1 = 24^\circ$ ,  $AV_2 = 10^\circ$ .

Parámetro	Valor		Unidad
	Válvula 2 cerrada	Válvula 2 abierta	
Caudal de salida en la ducha	7,0	6,0	L/min
Presión 1	36	35	Psi
Presión 2	12	8,5	Psi
Presión 3	3	2,5	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	66,2		L
Tiempo de estabilización de temperatura.	25	-	s
Tiempo de llenado del tanque del inodoro	-	240	s
Temperatura promedio	21	22	°C

Fuente: Autor.

Figura 62. Temperatura vs Tiempo del  $R_I$ ,  $O_{I-9}$ ,  $AV_1 = 24^\circ$ ,  $AV_2 = 10^\circ$ .



Fuente: Autor.

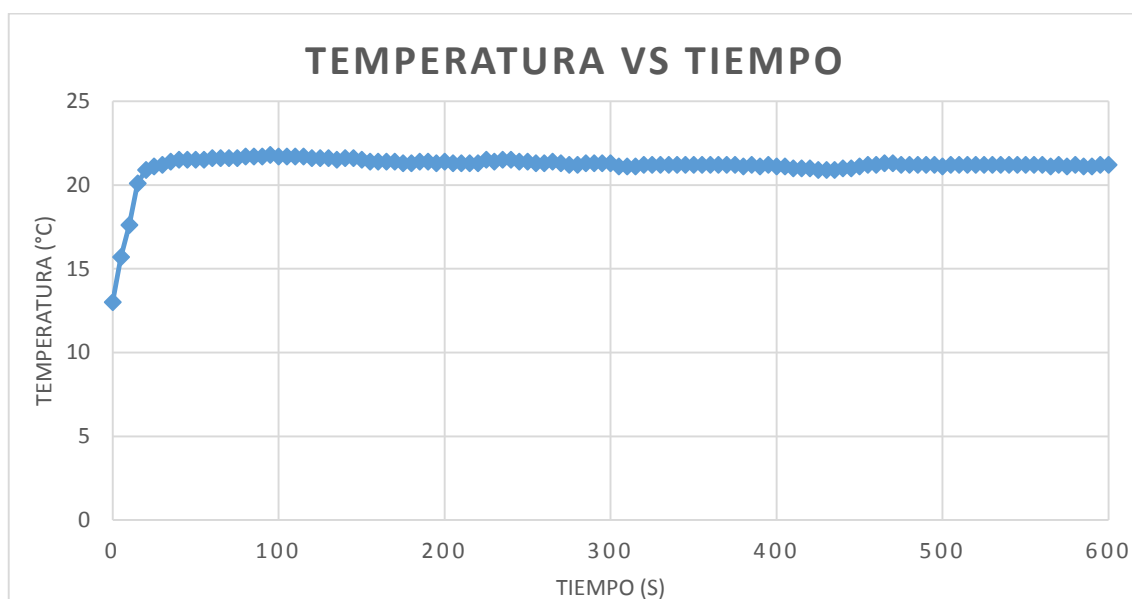
- Regulador de flujo de agua importado con estrella reguladora de color azul 6l/min, válvula de paso abierta 24 grados.

Tabla 28. Datos del  $R_I$ ,  $O_{I-6}$ ,  $AV_1 = 24^\circ$ .

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de salida en la ducha	6,46	l/min
Presión 1	40	Psi
Presión 2	28	Psi
Presión 3	2,9	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	64,6	l
Tiempo de estabilización de temperatura	35	s
Temperatura promedio	21,5	°C

Fuente: Autor.

Figura 63. Temperatura vs Tiempo del  $R_I$ ,  $O_{I-6}$ ,  $AV_1 = 24^\circ$ .



Fuente: Autor.

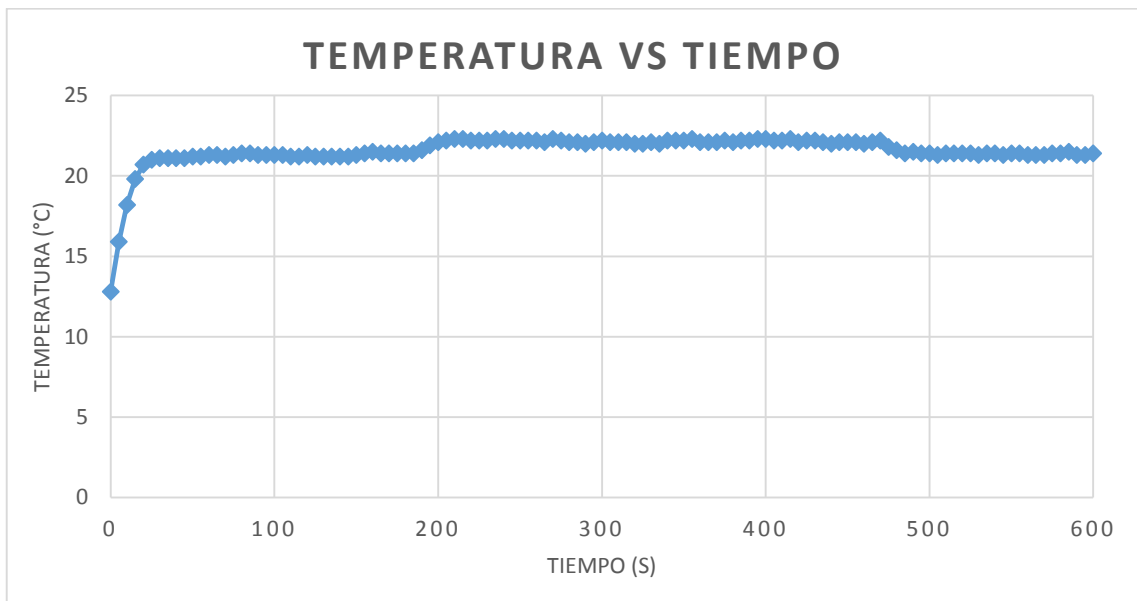
- Regulador de flujo de agua importado con estrella reguladora de color azul 6 l/min, válvula de paso abierta 24 grados y válvula del inodoro 10 grados.

Tabla 29. Datos del  $R_I$ ,  $O_{I-6}$ ,  $AV_1 = 24^\circ$ ,  $AV_2 = 10^\circ$ .

Parámetro	Valor		Unidad
	Válvula 2 cerrada	Válvula 2 abierta	
Caudal de salida en la ducha	6,46	5,6	l/min
Presión 1	39	35	Psi
Presión 2	28	23	Psi
Presión 3	2,9	2,2	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	60,6		l
Tiempo de estabilización de temperatura.	25	-	s
Tiempo de llenado del tanque del inodoro	-	285	s
Temperatura promedio	21	22	°C

Fuente: Autor.

Figura 64. Temperatura vs Tiempo del  $R_I$ ,  $O_{I-6}$ ,  $AV_1 = 24^\circ$ ,  $AV_2 = 10^\circ$ .



Fuente: Autor.

- Regulador de flujo de agua importado con estrella reguladora de color verde 4 l/min, válvula de paso abierta 24 grados.

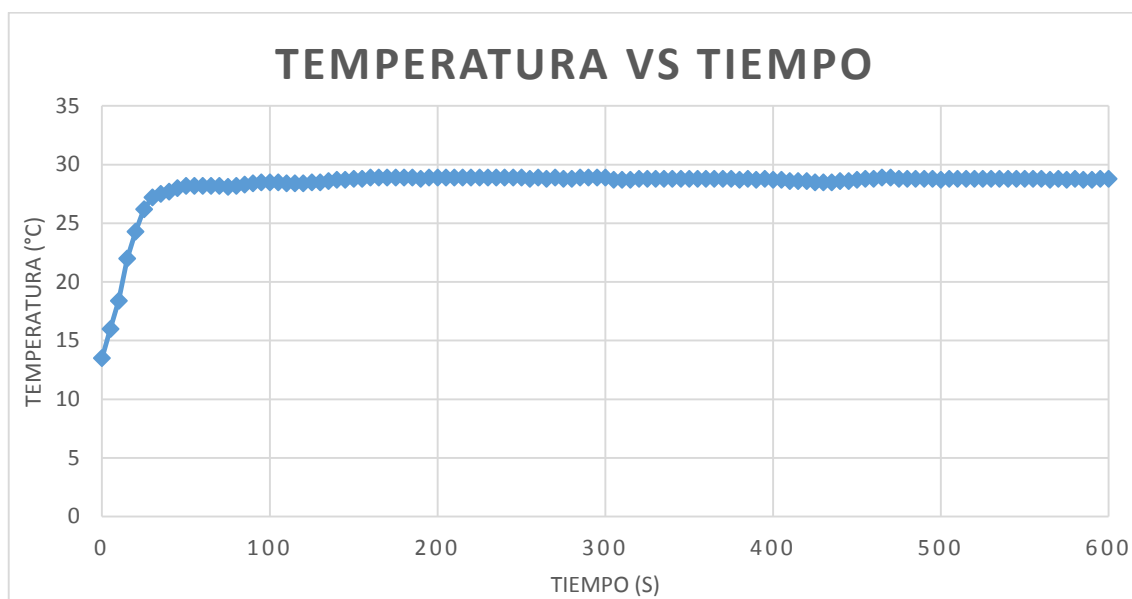
Tabla 30. Datos del  $R_I$ ,  $O_{I-4}$ ,  $AV_1 = 24^\circ$ .

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de salida en la ducha	3,82	l/min
Presión 1	53	Psi
Presión 2	47	Psi
Presión 3	1,6	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	38,2	l
Tiempo de estabilización de temperatura	40	s
Temperatura promedio	29	°C

Fuente: Autor.



Figura 65. Temperatura vs Tiempo del  $R_I$ ,  $O_{I-4}$ ,  $AV_1 = 24^\circ$ .



Fuente: Autor.

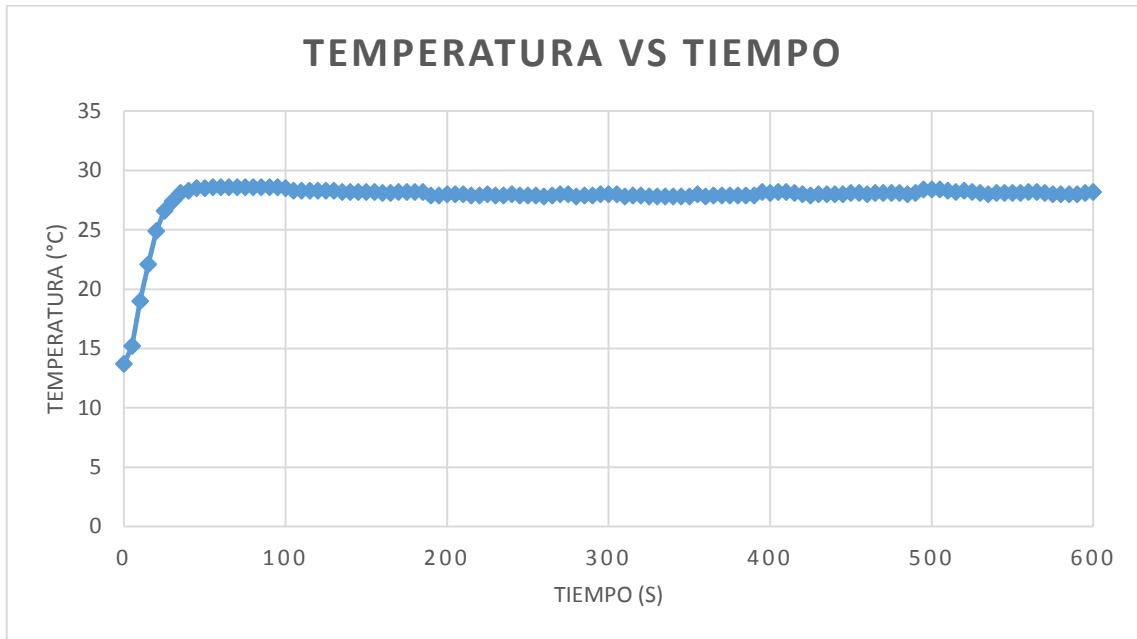
- Regulador de flujo de agua importado con estrella reguladora de color verde 4l/min, válvula de paso abierta 24 grados y válvula del inodoro 10 grados.

Tabla 31. Datos del  $R_I$ ,  $O_{I-4}$ ,  $AV_1 = 24^\circ$ ,  $AV_2 = 10^\circ$ .

Parámetro	Valor		Unidad
	Válvula 2 cerrada	Válvula 2 abierta	
Caudal de salida en la ducha	3,65	3,5	l/min
Presión 1	53	49	Psi
Presión 2	47	41	Psi
Presión 3	1,5	1,2	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	36		l
Tiempo de estabilización de temperatura.	25	-	s
Tiempo de llenado del tanque del inodoro	-	210	s
Temperatura promedio	29	28	°C

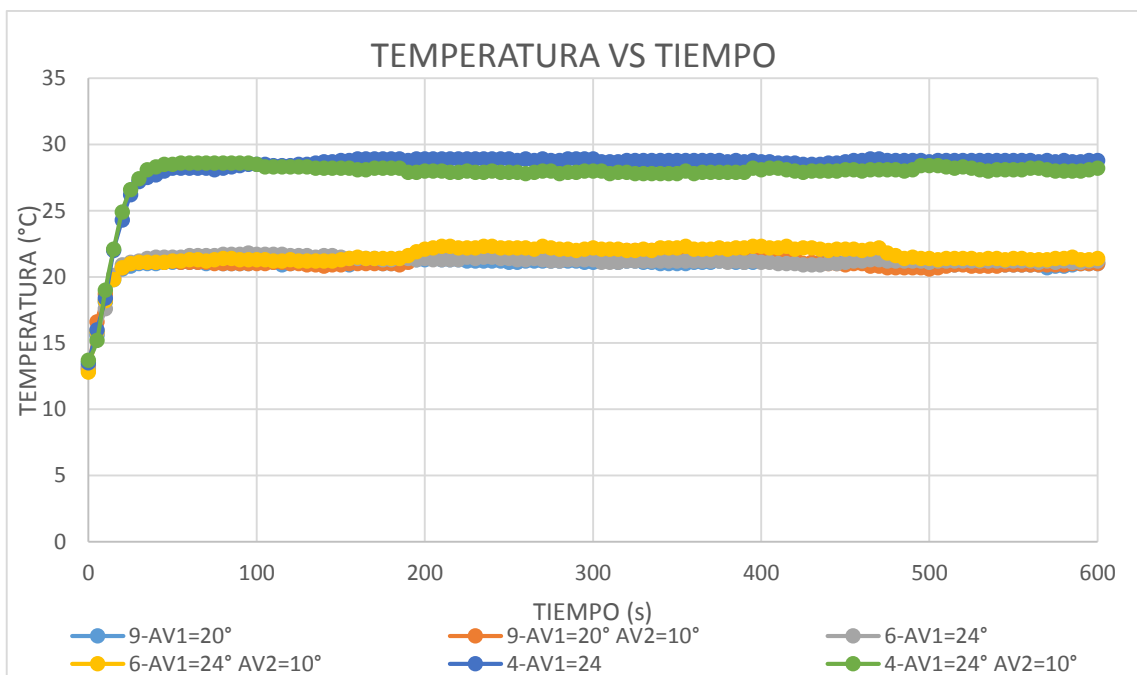
Fuente: Autor.

Figura 66. Temperatura vs Tiempo del  $R_I$ ,  $O_{I-4}$ ,  $AV_1 = 24^\circ$ ,  $AV_2 = 10^\circ$ .



Fuente: Autor.

Figura 67. Regulador de flujo de agua importado en la instalación 2



Fuente: Autor.

### 4.3.3 Datos de la ducha con calefón

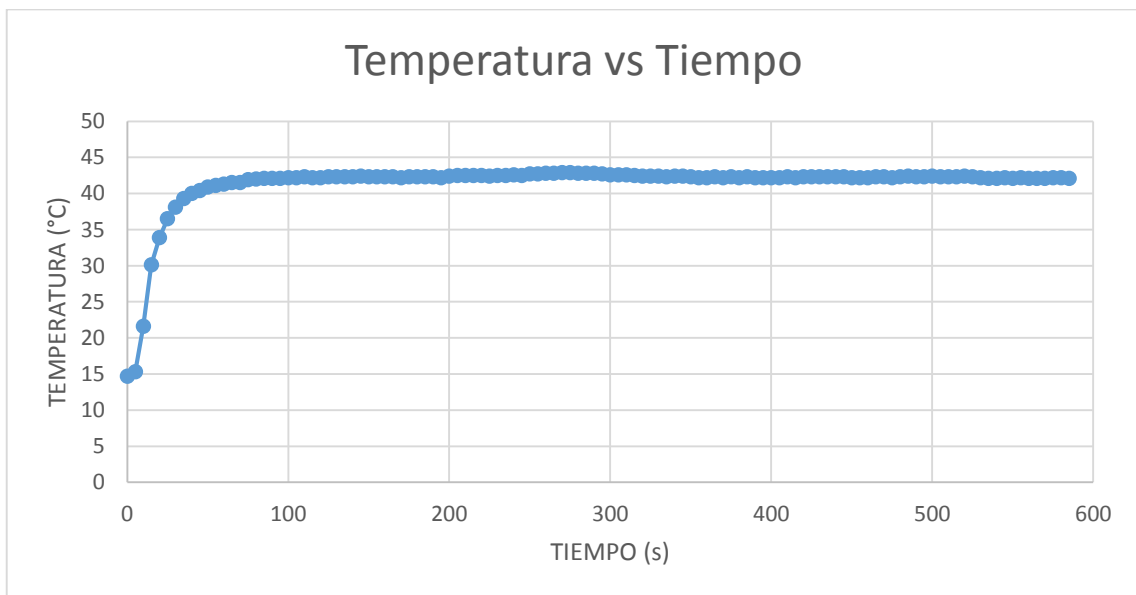
Para las pruebas con calefón no se instaló ningún regulador

Tabla 32. Datos del calefón apertura total de la válvula 1

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de salida en la ducha	6,24	l/min
Presión 1	59	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	60,84	l
Tiempo de estabilización de temperatura	40	s
Temperatura promedio	42	°C

Fuente: Autor.

Figura 68. Temperatura vs Tiempo del calefón



Fuente: Autor.

#### 4.3.4 Datos de la ducha eléctrica

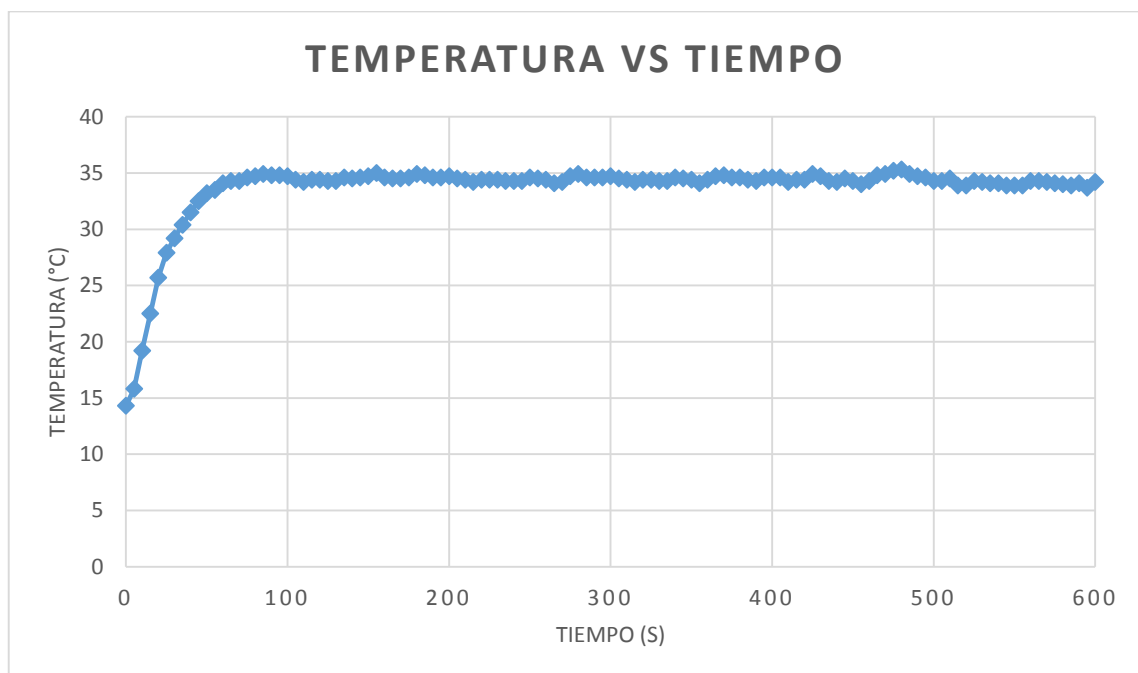
Para las realizar esta prueba no se instaló ningún regulador

Tabla 33. Datos de la ducha eléctrica con apertura de la válvula de paso a 13°

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de salida en la ducha	2,47	l/min
Presión 1	59	Psi
Volumen de agua utilizado en la ducha	24,7	l
Tiempo de estabilización de temperatura	50	s
Temperatura promedio	35	°C

Fuente: Autor.

Figura 69. Temperatura vs Tiempo de la ducha eléctrica.



Fuente: Autor.

#### 4.4 Interpretación de resultados

Mediante las gráficas de temperatura vs tiempo podemos observar que el tiempo de estabilización de la temperatura esta entre 50 a 60 segundos, para alcanzar la temperatura máxima.

Cuando la válvula de paso de agua está completamente abierta esta ofrece el máximo caudal, dando como consecuencia la presión máxima que actúa sobre el regulador, por lo que si hay más presión de agua ejercida sobre el o-ring este reduce el área que tienen los surcos de la estrella, por ende permite menos flujo de agua y la temperatura del agua de la ducha aumenta, y cuando hay menos presión de agua el o-ring regresa a su tamaño original haciendo que exista más área entre los surcos de la estrella permitiendo más flujo agua por lo cual la variación de temperatura en la ducha es mínima.

Cuando se abre la válvula del inodoro el sistema se vuelve inestable y la temperatura del agua tiende a subir o bajar, ya que al abrir la válvula del inodoro la presión ejercida sobre el o-ring disminuye, por lo que el área de paso de flujo de agua se extiende dando más cabida al paso de agua.

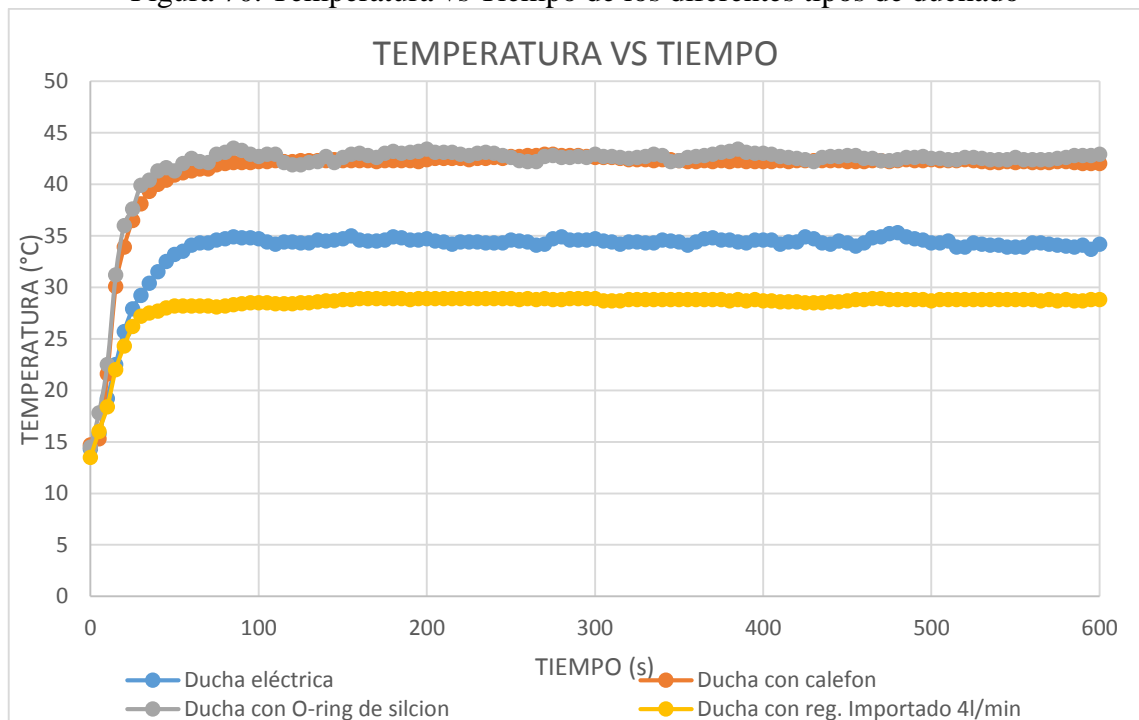
En el sistema de instalación 1

- Para la graficas del o-ring de nitrilo se puede notar que este proporciona una temperatura de 40°C cuando la apertura de válvula es de 10 grados, cuando se abre la válvula del inodoro a 14 grados aumenta la temperatura a 46°C, sin embargo al abrir un poco la válvula de paso a 15 grados la temperatura disminuye considerablemente a 34°C y al abrir la válvula del inodoro la temperatura incrementa a 40°C.
- En la graficas del o-ring de silicón la válvula de paso se abre 8 grados teniendo una temperatura de 40°C, al abrir la válvula del inodoro a 14 grados la temperatura aumenta 5°C, cuando se abre la válvula de paso a 15 grados la temperatura solo disminuye 3°C a 37°C, sin embargo cuando se abre la válvula del inodoro esta aumenta a 40°C.
- Para el regulador de flujo de agua importado amarillo 9l/min, cuando la válvula de paso se abre 11 grados se tiene una temperatura de 47°, al momento de abrir la válvula del inodoro 17 grados se tiene 49°C de temperatura, también al abrir la válvula de paso a 19 grados se nota un decrecimiento de temperatura a 35°C y con la apertura de válvula del inodoro esta aumenta a 39°C.

En el sistema de instalación 2

- En el o-ring de nitrilo se tiene una apertura de válvula de 5 grados con una temperatura de 39°C, cuando la válvula del inodoro se abre se tiene 49°C, sin embargo cuando la válvula de paso se abre a 20 grados la temperatura es de 22°C y aumenta a 23°C cuando la válvula del inodoro se abre.
- Para el o-ring de silicón con una apertura de válvula a 24 grados se tiene una temperatura de 42°C, con un aumento de 3°C cuando se abre la válvula del inodoro.
- Para el regulador de flujo de agua importado cuando se tiene una apertura de válvula a 24 grados en regulador amarillo 9 l/min se tiene 21 °C y cuando se abre la válvula del inodoro 10 grados se tiene una temperatura de 22°C, en el caso del regulador azul 6 l/min se aprecia una temperatura de 21,5°C, al abrir la válvula del inodoro se tiene 22°C y en el regulador verde 4 l/min se tiene 29°C de temperatura y con la apertura de la válvula del inodoro se tiene 28°C.

Figura 70. Temperatura vs Tiempo de los diferentes tipos de duchado



Fuente: Autor.

Tabla 34. Resultados por diferentes tipos de duchado

	<b>Ducha eléctrica</b>	<b>Ducha con calefón</b>	<b>Ducha con regulador o-ring de silicón</b>	<b>Ducha con regulador o-ring importado</b>
<b>Caudal (l/min)</b>	2,47	6,24	2,05	3,82
<b>Temperatura (°C)</b>	35	42	42	29
<b>Volumen (l)</b>	24,7	60,84	20,5	38,2

Fuente: Autor

Por medio de la figura 70 y las tabla 34 se observó que el regulador de flujo de agua construido con o-ring de silicón, cumple con las expectativas deseadas, ya que ofrece una temperatura de confort, reduce el consumo de agua en un 33,7% y mantiene constante el caudal.

## CAPÍTULO V

### 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Por medio de este trabajo, después de los estudios realizados, se desarrolló un dispositivo regulador de flujo de agua hidromecánico para la ducha eléctrica en el domicilio, que posee las características adecuadas dando lugar a un grado de confort al momento de tomar el baño.

Se determinó los parámetros apropiados que aseguran el correcto funcionamiento del dispositivo regulador de flujo de agua, de acuerdo a las pruebas ejecutadas se obtiene una presión aplicada al regulador de 59 psi, con una presión de salida de 1 psi que ingresa a la ducha, en tanto al caudal la red posee 10 l/min y el caudal de salida de la ducha es de 2,05 l/min, teniendo en todo el sistema una tubería de ½ pulgada.

Mediante el estudio bibliográfico y las pruebas que se realizaron se estableció que el material idóneo para el o-ring es el silicón ya que se acopla de mejor manera a la carcasa del regulador de flujo de agua, éste presenta buenas características a compresión, al desgaste y es un material económico que se lo comercializa en todo el país.

Se construyó el dispositivo regulador de flujo por medio de impresión 3D, con las dimensiones establecidas para la carcasa, estrella reguladora y bocín, se utilizó ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) material que presenta las buenas propiedades como resistencia a la abrasión, tiene buena dureza, puede estar en contacto directo con el agua sin presentar ningún quebrantamiento, la estrella reguladora se realizó con salientes y entrantes ya que debe tener esta configuración para que cuando el o-ring se comprima no exista un cierre total en el flujo de agua, consiguiendo así un flujo permanente.

Se evaluó experimentalmente los dispositivos reguladores de flujo mediante parámetros de temperatura y caudal teniendo como resultado que el regulador de flujo 2, con o-ring de silicón funciona adecuadamente, cuando la válvula de paso de agua está abierta 24 grados, se obtiene un caudal de 2,05 l/min que garantiza una temperatura de 42°C, utilizando 20,5 litros de agua en un tiempo de 10 minutos, sin embargo cuando una válvula externa se abre como la del inodoro se tiene una temperatura de 39°C con un



caudal de 2,15 l/min, utilizando 21,8 litros de agua en 10 minutos, el cambio de temperatura que existe es imperceptible al momento de tomar el baño ofreciendo así el necesario confort, también se pudo observar que el dispositivo regulador de flujo ayuda a disminuir el consumo del agua, ya que un baño de 10 minutos en una ducha que funciona con calefón se utiliza aproximadamente 60 litros de agua y 28 litros de agua con ducha eléctrica

La valoración física del regulador de flujo de creación nacional y el importado demostró que el regulador de fabricación nacional es más eficiente que los reguladores importados, ya que se obtienen temperaturas estables de confort, mientras que los reguladores importados no llegan a temperaturas adecuadas para el baño debido al exceso de flujo de agua, por lo que las resistencias eléctricas de la ducha no puede calentar este flujo.

## **5.2 Recomendaciones**

De acuerdo los resultados se pueden señalar las siguientes recomendaciones:

Dejar fluir líquido antes de encender el sistema eléctrico, para un uso eficiente de la ducha y evitar que las resistencias eléctricas se quemen.

Manejar con buenas prácticas todos los instrumentos para evitar cualquier accidente.

Incentivar proyectos como éste para fomentar el ahorro de agua ya que este es el líquido vital.

Replicar la presente investigación abriendo la válvula del inodoro después de 3 minutos de iniciada la prueba, esto permite que el flujo de agua y temperatura de la ducha tenga el suficiente tiempo de estabilización.

Realizar pruebas con el regulador de flujo en sistemas hidráulicos por gravedad y por medio de tanque presurizado.

Proponer a la industria privada el desarrollo masivo y comercialización del dispositivo ya que garantiza el confort necesario y minimiza el desperdicio de agua.

## BIBLIOGRAFÍA

**BRASILAVENTUR.** *Brasilaventur*. [En línea] 2016. [Consultado el: 20 de Noviembre de 2016.] Disponible en: <http://www.brasilaventur.com/wp-content/uploads/como-funciona-la-ducha-electrica-brasilaventur.png>.

**CADENA, Ser.** *Cadena Ser*. [En línea] 2014. [Consultado el: 30 de Julio de 2016.] Disponible en: [http://cadenaser.com/ser/2014/01/20/sociedad/1390187610\\_85021.html](http://cadenaser.com/ser/2014/01/20/sociedad/1390187610_85021.html).

**CALLISTER, William.** *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. España: Reverté, 2007. pp. 118.

**CENGEL, Yunus.** *Transferencia de Calor*. México: Mc Graw Hill, 2004. pp. 378.

**CHAPUT, C & LAFON, J.B.** *3D Printing methods*. New York: Ceramic Industry, 2011. pp. 15-16.

**DIMER.** *O-Rings*. Republica Checa: Dimer Group, 2012. pp. 4-12.

**ECUAMBIENTE.** *Días de los derechos humanos, Día del agua*. Guayaquil: Visión gráfica, 2013. pp. 12.

**ENERGY STAR.** *Point of Used Water Heaters*. [En línea] 2013. [Consultado el: 24 de Agosto de 2016.] Disponible en: [https://www.energystar.gov/products/water\\_heaters/point\\_use\\_pou\\_water\\_heater](https://www.energystar.gov/products/water_heaters/point_use_pou_water_heater).

**FERNÁNDEZ, Jesús.** *Impresoras 3D*. [En línea] Teknlife, 2014. [Consultado el: 24 de Febrero de 2016.] Disponible en: <http://www.teknlife.com/reportaje/quieres-una-impresora-3d/>.

**FLEXITALLIC.** *Criterio de diseño para juntas de sellado*. Reino Unido: The Flexitallic Group, 2007. pp. 3-4.

**GARCÍA ÁLVAREZ, José Antonio.** *Asi funciona*. [En línea] 2015. [Consultado el: 24 de Agosto de 2016.] Disponible en: [http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke\\_resistencia/ke\\_resistencia\\_1.htm](http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_resistencia/ke_resistencia_1.htm).

**GRUPO VIKINGO.** *Lineas de caucho.* [En línea] 2015. [Consultado el: 18 de Febrero de 2016.] Disponible en: <https://cauchosvikingo.com/linea-de-cauchos/>.

**HANSGROHE.** *EcoSmart.* Alemania: Werbung abc, 2010. pp. 10.

**HERNÁNDEZ ORTEGA, Pablo Adolto.** *ULPGC.* [En línea] 2005. [Consultado el: 24 de Febrero de 2016.] Disponible en: [http://editorial.cda.ulpgc.es/instalacion/1\\_ABASTO/13\\_dimensionado/i132.htm](http://editorial.cda.ulpgc.es/instalacion/1_ABASTO/13_dimensionado/i132.htm).

**INEC. 2010.** *Fascículo Nacional. Características de la vivienda.* 2010. pp. 4.

**INEC. 2012.** *Información Ambiental en Hogares. Hábitos.* 2012. pp. 29.

**INTERSEAL.** *Juntas tóricas.* España: Melibea, 2009. pp. 248.

**MATAIX, Claudio.** *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas.* Madrid: Ediciones del castillo, 1993. pp. 93-94.

**MONLAU, Pedro.** *Elementos de higiene privada o arte de conservar la salud.* Madrid: M. Rivadeneria, 1857. pp. 80-84.

**MOTT, Robert.** *Mecánica de Fluidos.* México: Pearson Education, 2006. pp. 609.

**NEBIA.** *Ducha Nebia.* [En línea] 2016. [Consultado el: 18 de Septiembre de 2016.] Disponible en: <https://www.kickstarter.com/projects/nebia/nebia-shower-better-experience-70-less-water>.

**NEOPERL.** *Flow regulator design.* [En línea] [Consultado el: 18 de Enero de 2016.] Disponible en: <http://www.neoperl.net/es/oem/products/flowregulators/design.html>.

**NEOPERL.** *Flow regulators application .* [En línea] [Consultado el: 18 de Enero de 2016.] Disponible en: <http://www.neoperl.net/es/oem/products/flowregulators/applicationwatersharing.html>.

**NEOPERL. 2015.** *Neoperl PCW 01 Washer Regulator for Shower Hoses.* 2015.

**NMX-AA-161-SCFI-2015.** *Grifería sanitaria, reguladores de flujo, especificaciones y métodos de prueba.* Mexico, 2015. pp. 5-17.

**RELAÑO, Antonio.** *Estudio comparativo de piezas de ABS y PLA procesadas mediante modelado por deposición fundida.* Madrid, 2013. pp. 9-39.

**SALDARRIAGA, Juan.** *Hidráulica de Tuberías.* Colombia: Emma Ariza, 1998. pp. 519.

**SERWAY, Raymond.** *Física.* México: Mc Graw Hill, 1997. pp. 434.

**SMITH, William.** *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales.* México: The McGraw-Hill, 2006. pp. 80.

**WOOLF, D.** *Shower head design Increasing performance at lower flow rates.* London: Ove Arup & Partners, 2006. pp. 8.

**ZELINSKY SYARTO, Marilyn.** *Flujo promedio para un cabezal de ducha.* [En línea] [Consultado el: 24 de febrero de 2016.] Disponible en: [http://www.ehowenespanol.com/flujo-promedio-cabezal-ducha-sobre\\_423514/](http://www.ehowenespanol.com/flujo-promedio-cabezal-ducha-sobre_423514/).