



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TÍTULO DEL PROYECTO:**

**CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE FENÓMENOS HIDRÁULICOS EN UN  
CALENTADOR DE PASO ELÉCTRICO**

**PRESENTADO POR:**

**NOMBRE: SEBASTIÁN PARADA CELIS CÓDIGO: 506164**

**DOCENTE ASESOR:**

**NOMBRE: JUAN SEBASTIÁN DE PLAZA**

**BOGOTÁ, D. C, 21 DE OCTUBRE**

**DE 2019**

**CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE FENÓMENOS HIDRÁULICOS EN UN  
CALENTADOR DE PASO ELÉCTRICO**

**PRESENTADO POR:**

**NOMBRE: SEBASTIÁN PARADA CELIS CÓDIGO: 506164**

**DOCENTE ASESOR:**

**NOMBRE: JUAN SEBASTIÁN DE PLAZA**

**BOGOTÁ, D. C, 21 DE OCTUBRE  
DE 2019**



## Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra  
hacer obras derivadas

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	7
2.	ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN .....	8
3.	PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	13
4.	MARCOS DE REFERENCIA.....	15
4.1.	MARCO TEORICO.....	15
4.2.	MARCO CONCEPTUAL.....	19
5.	OBJETIVOS .....	21
5.1.	OBJETIVO GENERAL.....	21
5.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
6.	ALCANCES Y LIMITACIONES .....	22
7.	METODOLOGIA .....	23
8.	INTALACIONES Y EQUIPOS.....	29
9.	RESULTADOS.....	34
10.	ANALISIS DE RESULTADOS .....	48
10.1.	RELACIÓN DE ECUACIONES.....	49
10.2.	IMPLEMENTACIÓN EN DISEÑO EN REDES DE AGUA FRIA Y CALIENTE .....	52
11.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	62
12.	BIBLIOGRAFIA .....	65
	ANEXOS .....	67

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Equipos requeridos..	29
Tabla 2 Materiales requeridos.....	30
Tabla 3: herramientas.....	31
Tabla 4: Perdidas y caudales para 5 series.....	37
Tabla 5: Perdida unitaria en tuberías.....	42
Tabla 6: Temperatura vs Caudal para 4 series.....	43
Tabla 7: Datos de funcionamiento.....	46
Tabla 8: Resultados implementación en diseño.....	60

## INDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Línea del tiempo evolución de los calentadores .....	8
Ilustración 2 Convección- Conducción.....	16
Ilustración 3 Partes de un calentador de paso.....	17
Ilustración 4 Calentamiento por espiral.....	18
Ilustración 5 Transformación de la energía.....	20
Ilustración 6 Diagrama de flujo metodología .....	24
Ilustración 7 Esquema general montaje .....	29
Ilustración 8 Ubicación del suministro.....	31
Ilustración 9 Partes del montaje.....	32
Ilustración 10 Montaje experimental.....	33
Ilustración 11 Bypass.....	33
Ilustración 12 Manómetros.....	34
Ilustración 13 Termómetro.....	35
Ilustración 14 Perdidas vs Caudal para 5 series.....	39
Ilustración 15 Tendencia Pérdidas vs Caudal.....	39
Ilustración 16: Perdidas de tuberías vs caudal .....	42
Ilustración 17 Puntos Temperatura vs caudal.....	44
Ilustración 18 Línea de tendencia Temperatura vs caudal.....	44
Ilustración 19 Grafica del calentador.....	51
Ilustración 20 Red de distribución agua fría apto 1.....	54
Ilustración 21 Red de distribución agua caliente apto 1.....	55
Ilustración 22 Red de distribución agua fría apto 2.....	56
Ilustración 23 Red de distribución agua caliente apto 2.....	57
Ilustración 24 Red de distribución agua fría apto 3.....	58
Ilustración 25 Red de distribución agua caliente apto 3.....	59

## **TABLA DE ANEXOS**

**Anexo 1:** Especificaciones técnicas del calentador BOSH Tonic 3000.

**Anexo 2:** Permisos uso laboratorio.

**Anexo 3:** Datos encontrados en laboratorio (tablas completas).

**Anexo 4:** Rutas críticas de diseño.

**Anexo 5:** Tablas usadas a partir del libro INSTALACIONES HIDROSANITARIAS, DE GAS Y DE PROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVAS EN EDIFICACIONES, del ingeniero Pérez Carmona.

**Anexo 6:** Rubrica de evaluación anteproyecto.

## 1. INTRODUCCIÓN

El consumo de agua caliente para uso sanitario se ha convertido en un aspecto de vital importancia en la actualidad en cuanto a brindar condiciones de comodidad para la vida humana, por lo que surgen tecnologías que facilitan y solucionan esta necesidad, como el uso de calentadores (de paso, de tiro forzado o libre, de almacenamiento, entre otros), estos pueden tener diferentes tipos de fuente energética tales como lo son la energía eléctrica, gas, energía solar, entre otras.

Este trabajo de investigación corresponde al área de ingeniería civil, específicamente en la hidráulica aplicada, en donde se pretende estudiar los fenómenos de pérdidas de energía en los calentadores. Tiene como fin realizar el montaje de un calentador de paso y estudiar la relación entre parámetros como caudal, temperatura, presión y energía, para así caracterizar el calentador mediante ecuaciones y curvas que describan y generalicen el funcionamiento y comportamiento de los calentadores de paso en general.

Por otro lado, el trabajo investigativo pretende estandarizar y dar a conocer las condiciones óptimas para que los calentadores funcionen con una alta eficiencia, que no se generen sobredimensionamientos (diámetro y longitud de las tuberías de alimentación) y de esta manera reducir costos constructivos. Lo anteriormente mencionado se llega a explicar partiendo de principios fundamentales de la física, que llegan a explicar el comportamiento del calentador y del fenómeno del aumento de temperatura del fluido, para esto se parte de conceptos como la energía, la cual se define como “la capacidad para realizar un trabajo” . Los principios que interfieren en el funcionamiento del calentador son básicamente las leyes de termodinámica, en especial la ley número uno: Ley de la conservación de la energía, la cual explica como “la energía no se crea ni se destruye, sino se transforma”<sup>1</sup>.

La ley de conservación, en primera instancia expone el fenómeno de la transformación de la energía, en este caso de eléctrica a mecánica, que se da en el calentador, partiendo de su alimentación eléctrica y como esta, a partir del movimiento de cargas en materiales conductores, genera el cambio de temperaturas en el material, para posteriormente explicar la transferencia de energía térmica en busca del equilibrio, fenómeno que se da tras la interacción entre el calentador y el fluido.

## 2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

El desarrollo humano a lo largo de la historia ha buscado la comodidad y satisfacción de necesidades básicas que pudiesen facilitar la vida, como la obtención de agua caliente como un servicio que brinda confort y comodidad en el desarrollo de las actividades cotidianas del ser humano, siendo algunas de estas actividades el ducharse y el aseo personal, así como el lavado de ropa, platos, entre otros aspectos. El uso de agua caliente data desde la antigüedad como un medio que brinda comodidad, limpieza y es ampliamente utilizado como aspecto cultural y religioso, de este modo a lo largo de la historia siempre se ha buscado la manera de generar la producción del recurso para darle diferentes manejos. Con la evolución, la popularidad, aceptación y uso se hace más fuerte y cotidiano, en donde un factor que influye en el uso del recurso se relaciona directamente a condiciones climáticas, de este modo, el hombre a lo largo de la historia crea diferentes métodos y artefactos que facilitan la obtención de agua caliente, siendo cada vez más eficaces y evolucionados, teniendo en cuenta que los más relevantes corresponden a los que se enmarcan en la línea del tiempo de la Ilustración 1.

*Ilustración 1 Línea del tiempo evolución de los calentadores*



*Fuente: (Gas et al., 2010)*

En la Ilustración 1 se observa la existencia de calentadores de agua modernos entre los cuales se encuentran los calentadores de paso, de tiro forzado o libre, de almacenamiento, calderas, duchas, entre otros, que poseen diferentes tipos de fuente energética como lo es el gas, electricidad, energía solar o aquellos que mezclan las fuentes de alimentación y podrían considerarse híbridos, entre otros, entre los más comunes.

Realizando un recorrido en el tiempo y en referencia a la Ilustración 1 se enuncian los hechos históricamente importantes en los calentadores eléctricos, entre los cuales se encuentra:

- Edwin Ruud, en el año 1889 inventó el primer dispositivo con almacenamiento para calentar el agua, convirtiéndose en uno de los pioneros de la invención y comercialización de calentadores de agua, es así como hoy día se puede obtener sus productos a partir de la empresa conocida como Rheem Manufacturing Company. (Pablo, 2016).
- Es importante resaltar que los estudios de Benjamin Waddy Maughan en 1868, acerca de calentador de agua instantáneo a gas sirvieron de base al desarrollo del calentador eléctrico inventado por Edwin Ruud. (Ismael, 2017).
- El funcionamiento de los calentadores como lo conocemos hoy en día surge en base del **efecto Joule**, consiste en la transformación de la energía cinética de los electrones, en calor; esto se debe a los choques de átomos con el material conductor en el cual se transportan, los cuales elevan la temperatura de este. (Ismael, 2017).

Por otro lado, en la actualidad se observa que la transferencia de energía en forma térmica es un amplio tema de estudio y la primera ley de la termodinámica se convierte en un pilar para las investigaciones acerca de calentadores, en donde a nivel mundial se adelantan investigaciones que tratan aspectos como optimización, rendimiento, cambio de sistemas internos, uso de nuevas tecnologías, entre otras cosas, siendo investigaciones relevantes las que se enuncian a continuación.

- **Evaluación energética-económica en el uso de calentadores de agua en el cantón paute:** Estudio de efectividad de diferentes tipos de calentadores con el fin de realizar un cambio de la matriz energética en Cuenca Ecuador, se evalúan las condiciones de calentadores de gas antiguos y de cinco tipos de calentador de alimentación eléctrica con un caudal base suministrado, con el fin de comparar la información obtenida evaluando la temperatura y consumo de energía, para de este modo generar relaciones costo-beneficio en el cantón Pauté en Cuenca Ecuador. (Alvardo Fernanda, 2015)
- **Rediseño de un intercambiador de calor para un calentador de paso instantáneo:** Tras el estudio de algunos tipos de calentadores de gas se busca el intercambio de partes internas que les permitan optimizar la cantidad de combustible en función de la cantidad y temperatura del agua calentada en cuanto a velocidad y temperatura, siendo su objetivo mejorar el intercambiador de calor para mejorar el rendimiento del equipo (calentador de paso a gas) y lograr mejores condiciones de eficiencia del mismo que a su vez reduzca y optimice el rendimiento del combustible del equipo, dicha evaluación se da en Ciudad de México, México. (Guillén y Espinoza, 2014)

- **Diseño de un calentador solar de placa de calor para calentamiento de agua para uso doméstico:** La evaluación de condiciones estéticas y de consumo, siendo los principales factores que contribuyen en el cuidado del medio ambiente, siendo base para el planteamiento y diseño de un calentador de energía solar de fácil transporte y ubicación que sirve como energía alternativa con la particularidad de que es ecológico y presenta condiciones de mantenimiento mínimas y fáciles de realizar, creando así reducción y economía en el consumo de gas. Siendo su objetivo aplicar el conocimiento teórico adquirido para el diseño e innovación de un sistema para calentamiento de agua sanitaria, que funcione con un fluido de trabajo que transfiera la mayor cantidad de calor al agua por medio del cambio de fase del fluido, siendo este diseño práctico, de fácil mantenimiento y eficiente, siendo el lugar de estudio Ciudad de México, México. (Antonio et al., 2014)
- **Análisis de la eficiencia térmica de un calentador de agua a gas tipo instantáneo de uso doméstico:** Mediante estudios e investigaciones se pretende caracterizar un calentador de agua de paso o instantáneo a gas y un calentador de gas con depósito, con el fin de demostrar los beneficios en eficiencia y consumo que produce el primer calentador mencionado, teniendo en cuenta su objetivo general Demostrar que la eficiencia térmica de un calentador de agua sin depósito que utiliza gas licuado de petróleo (propano líquido) para su funcionamiento, es mayor que la de un calentador a gas con depósito tradicional, el estudio se da en Ciudad de México, México. (Abonza Alvarez et al., 2017)

**Sistema alternativo de energía solar y de gas para calentar agua en una vivienda tipo departamento:** El uso de gas para calentar agua es un factor que se pone en juicio en la actualidad tras la generación de conciencia ambiental, ya que es un materia que es contaminante y la producción del mismo no es amigable con el medio ambiente, la idea principal del proyecto es implementar un sistema híbrido que use energía solar y reduzca el consumo de gas y los gastos operativos, siendo su objetivo corresponde a evaluar formas de alimentación de calentadores de agua ecológicas con el fin de mitigar el impacto ambiental por el consumo de gas para los calentadores de agua, de igual manera con el fin de reducir costos de operación de calentadores, el estudio se da en Ciudad de México, México. (Gas et al., 2010)

Con relación a lo anterior, los avances de estudios y tecnología en cuestión de termodinámica hasta la actualidad, se observa que existe la necesidad de realizar estudios de diseño de redes de agua caliente, proponiendo mediante el presente proyecto evaluar factores como las pérdidas que el artefacto pudiese generar y como este influye en los caudales y presiones de salida y de servicio requeridas.

Lo anterior se da ya que existe una brecha y no se ha propuesto realizar diseños a partir de las presiones de servicio entregadas por los calentadores de paso, de este modo se podría decir que el fin del estudio es determinar los parámetros base para un diseño óptimo de redes de distribución de agua caliente a partir de un calentador eléctrico de paso y que esto contribuya a la realización diseños de redes hidráulicas en edificaciones que tengan mayor eficiencia.

Para realizar lo anterior es necesario evaluar la presión de entrada para el correcto funcionamiento de los artefactos, para de este modo comparar con los datos suministrados por el fabricante, sirviendo como base para la realización del análisis de las propiedades hidráulicas en el sistema tras el uso del calentador, de este modo generando modelos matemáticos que permitan comprender y predecir el equipo para posteriormente implementarlos en diseño de redes.

Teniendo como base lo mencionado anteriormente, el presente proyecto tiene como fin el estudio y caracterización de propiedades hidráulicas en un calentador de paso eléctrico, teniendo en cuenta que para la elección del equipo se evalúan factores como la facilidad de uso, instalación y operación del aparato, que se adapte a el presupuesto destinado a la investigación y finalmente que cumpla parámetros correspondientes a la reducción del impacto ambiental que pueda generar el uso del mismo.

Realizando una evaluación detenida de los aspectos, el proyecto se centra en un calentador de paso eléctrico, el tipo de alimentación en el proyecto no es relevante, ya que el fin del proyecto es el estudio de los fenómenos hidráulicos que ocurren en el calentador, de este modo se descarta la alimentación de gas y energía solar, debido a que son un poco más complicadas para la instalación y operación.

En el aspecto ambiental se descartan los calentadores de almacenamiento, debido a que tardan más tiempo en calentar el líquido, debido a que “requieren de un tiempo de recuperación para calentar el agua”<sup>3</sup> como se ha venido mencionando en las investigaciones referenciadas

anteriormente, factor que implica mayor desperdicio de energía residual en el calentamiento de agua que permanecería en un depósito sin ser utilizada su totalidad, dado que el funcionamiento del mismo corresponde al calentamiento de la totalidad de agua en un depósito y mantenerla a altas temperaturas en el tiempo que el equipo se encuentre encendido, produciendo mayor gasto y desperdicio de energía para calentamiento. Como lo menciona Abonza Alvarez, “los calentadores de agua sin tanque de almacenamiento ahorran energía de dos maneras: al no tener tanque de almacenamiento no hay necesidad de mantener el agua almacenada continuamente caliente, por lo tanto, no existen pérdidas de calor residual en el interior del mismo; además, estas unidades generalmente calientan el agua más eficientemente que los calentadores de agua a gas de tipo estanque debido a la disposición del quemador.” Así como el concluye en su tesis que el calentador de paso instantáneo ahorra en primera instancia energía de calentamiento, e incluso agua, dependiendo de los hábitos de consumo. (Abonza Alvarez et al., 2017)

Revisando el tema constructivo se evalúa el aspecto de tamaño y la instalación requerida, por lo que es viable el uso de un calentador eléctrico de paso debido a sus dimensiones y que el único requerimiento es una fuente de corriente cercana, finalmente el aspecto económico se adapta a las condiciones del calentador eléctrico de paso.

### **3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

La transferencia de energía en forma calórica a un fluido (agua), corresponde a un fenómeno de transformación de la energía en el cual se alteran factores del fluido como el movimiento interno de partículas produciendo variaciones en la temperatura del agua, teniendo en cuenta que la alteración de factores en el agua se da en un sistema cerrado compuesto por resistencias y tuberías, medio que hace que el régimen del fluido sea turbulento.

Partiendo de lo anterior, nace la suposición de que otros factores hidráulicos se alteren tras el aumento de la temperatura, como lo es el caso de la variación de la línea de energía del fluido, como lo sería el caso de la variación de la viscosidad, donde se resalta que la temperatura es un factor inversamente proporcional a la viscosidad, es decir entre más aumenta la temperatura, menor resistencia del agua contra el movimiento de la misma (Vaxa Software, [sin fecha]), teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, la viscosidad en función de la temperatura es una variable influyente de forma leve en el aumento y consolidación de un régimen turbulento en fluido.

De este modo, en el presente proyecto se pretende identificar las pérdidas de energía de un fluido (agua) tras pasar por el calentador de paso y si estas son realmente significativas para la implementación de los resultados en diseño de redes de distribución. El planteamiento de dicho estudio se realiza debido a que se ha evidenciado en los blogs de fabricantes, en la sección de preguntas frecuentes, dudas respecto al mal funcionamiento de los calentadores, a lo que los administradores de las páginas afirman que se debe generalmente a problemas de instalación o presión de entrada y caudales mínimos de funcionamiento, dados al no contemplar correctamente los equipos en los diseños.

Tras lo mencionado anteriormente, se puede afirmar que los problemas en funcionamiento de calentadores se dan por varios factores como lo es la instalación, deterioro de tuberías, calidad del agua y podría contemplarse la premisa de que en el diseño de redes no se tienen en cuenta factores como la pérdida de energía proporcionada por el equipo, en donde afecta presiones de servicio y caudales. Esta premisa se da partiendo de que dicho aspecto no se tiene en cuenta para los diseños convencionales de redes hidráulicas, que al sumarse a las pérdidas por fricción

y accesorios en el sistema propuesto que acarreen problemas más grandes como el no vencer las aturas mínimas requeridas para la salida del fluido.

Siendo así, se plantea en este proyecto la evaluación de un modelo experimental que permita medir y verificar la variación de la línea de energía tras el calentamiento del fluido y generar modelos matemáticos que estandaricen y puedan caracterizar un calentador de paso eléctrico de marca BOSCH con el fin de predecir su funcionamiento frente a condiciones específicas requeridas y de este modo ser una herramienta útil para el diseño de redes.

Es por esto que se formula la siguiente pregunta problema:

Si existen pérdidas significativas de energía en un calentador de agua, ¿Es posible generalizarlas mediante curvas y ecuaciones que caractericen el calentador de marca BOSCH, haciendo uso de montajes experimentales para posteriormente emplearlos en el diseño de redes de distribución?

## **4. MARCOS DE REFERENCIA**

### **4.1. MARCO TEORICO**

El uso de agua caliente sanitaria se ha venido convirtiendo en un elemento que además de brindar confort, en cierta manera contribuye al ahorro energético, de agua y por lo consiguiente económico en los hogares, ya que facilita desarrollo de diferentes actividades sanitarias con mayor eficiencia, como se ha venido mencionado a lo largo del tiempo siempre se ha buscado la forma de conseguir el fluido en esta condición, procurando que se dé de una forma instantánea, actualmente se ha logrado la obtención de dicho objetivo mediante el uso de diferentes mecanismos como calentadores de agua.

Los calentadores de agua básicamente corresponden a mecanismos que transfieren energía de una fuente para incrementar la temperatura del agua, estos reciben un caudal de agua determinado y mediante la transferencia de energía en forma térmica, aumentan la temperatura del agua y entregan un caudal para distribución con una temperatura elevada. Entrando a fondo en el tema de los calentadores se pueden clasificar según el tipo de energía que reciben para el calentamiento de agua y por otra parte según la forma de calentamiento de la misma.

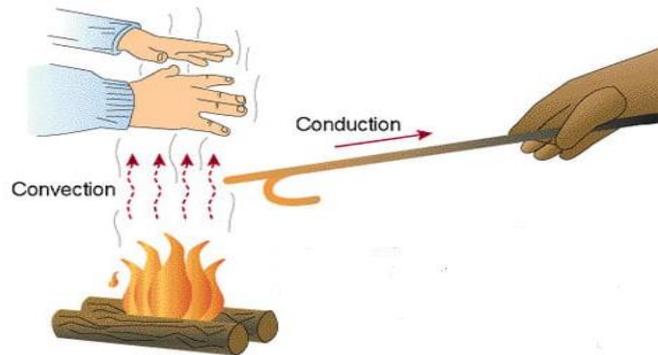
Los calentadores pueden clasificarse de dos formas, por la forma en que calientan el agua y por otro lado por la fuente energética utilizada para su funcionamiento, es importante resaltar que para la clasificación de la forma en que calientan el agua los más usados e importantes son los calentadores de paso y los calentadores de almacenamiento, donde por otro lado las fuentes energéticas de los mismos corresponden a la eléctrica, gas, combustible, bunker y energías solares. (Fabián Ismael Terán, 2016)

El funcionamiento de cualquier tipo de calentador se explica mediante principios de la física como los fenómenos de la termodinámica, en este caso la ley de la conservación de la energía, la cual demuestra cómo se transfiere la energía térmica de un cuerpo a otro por medio de los conceptos de conducción y convección, donde la conducción corresponde a el tránsito de calor de un cuerpo a otro, partiendo de que siempre existe una única ruta de transferencia, que se da del cuerpo con mayor temperatura al de menor temperatura. (Setrak y Prado, 2008)

Por otro lado, la convección es la transferencia por movimiento de masas, es decir cuando el material es obligado a moverse de un lugar a otro con condiciones de temperatura diferentes,

en este caso se podría explicar cuando se obliga al movimiento en masa del agua hacia el sistema del calentador, el cual tiene condiciones diferentes. (Ramos, 2012)

*Ilustración 2 Convección- Conducción.*

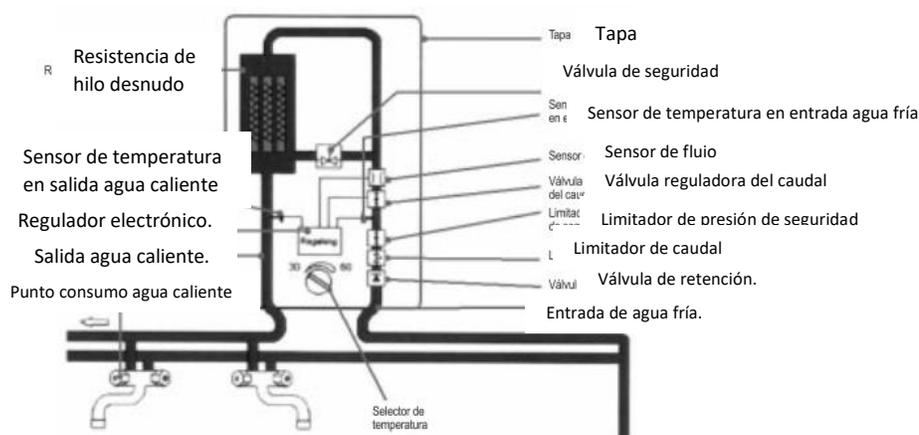


*Fuente: (Nergiza, C. 2013)*

Contextualizando el proyecto, se evalúa el funcionamiento de un calentador de paso teniendo en cuenta las ventajas que este puede proporcionar en comparación con otro tipo de calentador, como lo es el no almacenamiento de agua, el poco espacio que ocupa, el ahorro energético, el uso de energías limpias, pérdidas de calor insignificantes, agua caliente de manera instantánea para un caudal determinado, teniendo en cuenta que la disponibilidad de la misma es constante, entre otros aspectos. (Drywall, 2016)

De este modo, gracias a la información suministrada por fabricantes de calentadores se logra conocer las partes internas del mecanismo y las funciones relevantes de las mismas, así como la distribución y recorridos que llega a hacer el fluido en el proceso de calentamiento, la Ilustración 3 muestra las partes internas relevantes del calentador. (Uhl y Sieres, 2007)

Ilustración 3 Partes de un calentador de paso.



Fuente:(Drywall, 2016)

Según la Ilustración 3, se evidencia la existencia como partes importantes una tubería de alimentación, una sección de regulación de caudal y presiones, el piloto o sensor de flujo, la resistencia o espiral donde se calienta el flujo, los reguladores de temperatura y finalmente la tubería de salida.

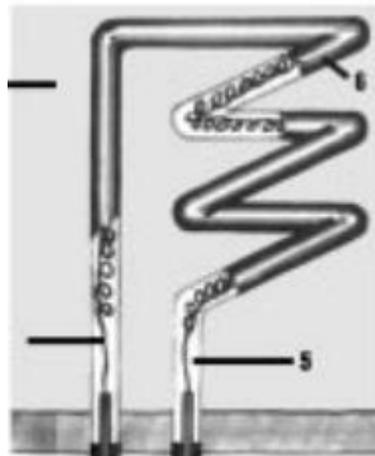
Las partes del calentador cumplen funciones importantes, para el correcto desarrollo y labor del mismo, es de este modo que se entra la descripción de las secciones con tareas determinadas, las cuales se dividen en:

- **Alimentación y regulación:** Corresponde a la tubería de entrada al calentador, consta de una serie de accesorios ubicados en serie los cuales regulan el caudal de entrada y limitan las presiones del mismo. Se encuentra compuesto la tubería de entrada, válvulas reguladoras de presión y limitadoras de caudal. (Drywall, 2016)
- **Sensor de flujo:** Corresponde al sensor o piloto que llega a activar el calentador tras evidenciar un caudal de agua entrando al calentador, es importante resaltar que la activación del sensor depende de las especificaciones técnicas de cada calentador, teniendo en cuenta que exige un caudal mínimo para la activación.
- **Calentamiento:** Es la sección del calentador donde se realiza la transferencia de calor al fluido, se da por el contacto del agua con una espiral como se muestra en la Ilustración 4 , la espiral se encuentra a elevada temperatura. El calentamiento de la espiral se da dependiendo la alimentación energética del equipo, ya que se generan

fenómenos diferentes en la transformación de energía en calor, por un lado, el calentador alimentado por gas, transfiere calor producido por la combustión del mismo dentro del calentador, de este modo calentando la espiral por el fenómeno de conducción. (PROFECO, 2006)(Tel y Grau, 2016)

Por otro lado, los calentadores de alimentación eléctrica elevan la temperatura de la espiral mediante una resistencia, este fenómeno de transformación de energía se explica mediante a ley de Joule, donde la energía eléctrica que fluye a través de un elemento conductor se acumula en una resistencia, el fenómeno de transformación en calor se da por el choque entre átomos del material conductor. (Drywall, 2016) (Li, Wang y Tsukihashi, 2012)

Ilustración 4 Calentamiento por espiral.



*Fuente : (Drywall, 2016)*

- **Salida y regulación:** Finalmente es la salida del calentador, que mide la temperatura de salida y si es necesario regula el calentamiento de la resistencia, factor que afecta la temperatura del fluido entregada, dependiendo los requerimientos del usuario, termina con una tubería que finalmente lleva el suministro a la red de distribución. (Drywall, 2016)

## 4.2. MARCO CONCEPTUAL

Para entender el funcionamiento de los calentadores de agua es necesario partir de conceptos base que expliquen los fenómenos físicos atribuidos a los calentadores eléctricos, lo que conlleva la comprensión y contextualización del objeto de estudio.

Se parte del concepto básico y universal de la **energía**, que físicamente corresponde a la capacidad para hacer un trabajo, o bien el trabajo “acumulado” por un cuerpo, es decir la capacidad para generar algún tipo de cambio o transformación física. El concepto de energía es abstracto al ser algo global y que abarca muchos campos de acción, debido a que se involucra en todos los aspectos de la vida, al ser así, se puede decir que tiene muchas clasificaciones, campos de estudio y de la misma se basan muchos estudios y leyes de la física. (Ignacio Martin Bragado, 1999)

La energía se divide en diversas categorías, las más comunes son: la energía cinética, eléctrica, térmica, entre otras; es importante resaltar que, independientemente de la forma en que se presente, siempre se puede llegar a transformar.

Las dos categorías más relevantes para este proyecto corresponden a energía eléctrica y térmica, de ahí que se explican los fenómenos de transformación pues estos son indispensables en la evaluación del fluido a calentar.

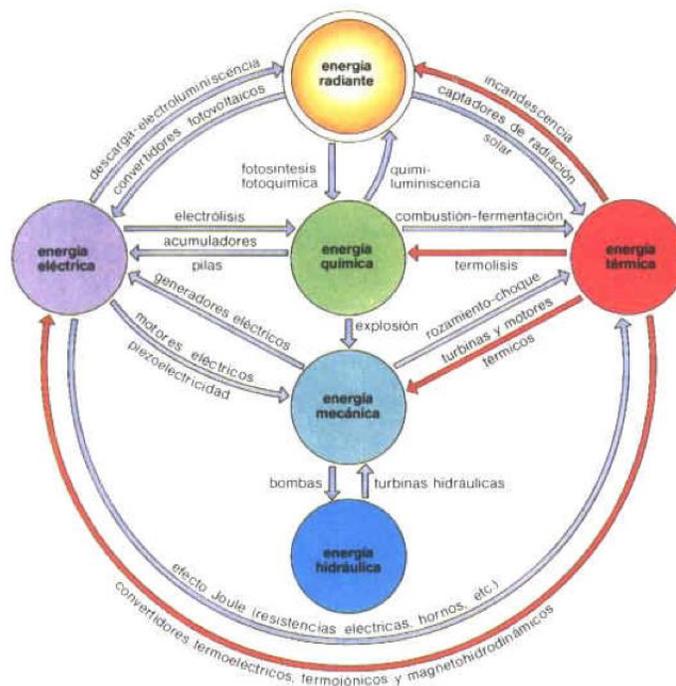
**La energía térmica** corresponde al tipo de energía que es liberada en forma de calor y se basa en la energía interna de un sistema termodinámico, evaluada a partir de la temperatura, la cual indica la energía interna propia del cuerpo a estudio. A partir de esto, es posible evaluar las condiciones de diferencia y transferencia del calor cuando dos cuerpos están en contacto. (Severns, 1961)

**La energía eléctrica** es obtenida a partir de la modificación de combustibles fósiles como el carbón, petróleo o gas natural, también se crea en la transformación de energía mecánica mediante ciclos termodinámicos, o por medio de turbinas hidráulicas se transforma la energía potencial contenida en cuerpos de agua; su generación está vinculada con las dinámicas de cargas eléctricas que se encuentran en contacto. (Riaño, 2018)

Uno de los tipos de transformación de la energía se expresa por medio de la **termodinámica**, esta busca encontrar la relación entre las características de la materia y la energía manifestada en forma de calor, así como la facultad de los cuerpos en estado caliente de generar trabajo.

Cabe resaltar los conceptos ofrecidos por la termodinámica los cuales sirven de base en el estudio de la relación de los sistemas tecnológicos y el entorno en el cual funcionan.(Moran et al., 2010)

Ilustración 5 Transformación de la energía



(Martinez, 2013)

La primera ley de la termodinámica establece como objetivo la conservación de la masa en un sistema, es decir, esta no se crea ni se destruye, únicamente se transforma (Rolle, 2006). De lo anterior que esta conservación debe permanecer constantemente en el tiempo, así como el equilibrio en cantidades de los cambios de energía, en la cual se destaca el concepto de energía interna siendo dependiente de los cambios de calor, estos ocurren por la ejecución de un trabajo sobre él o transmisión de calor de un cuerpo a otro.(Moran et al., 2010)

De lo anterior que se explica el calentamiento del agua por **convección**, definida como la transferencia de calor entre el fluido en movimiento y un área delimitada, cada una con diferente temperatura; el calor es conducido de las capas inferiores a las capas límite por medio de aumento de velocidad y dirección. (Incropera, P., Bergman, & Lavine, 2006)

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. OBJETIVO GENERAL**

Generar modelos matemáticos para su posterior implementación en diseño de redes, estandarizando el comportamiento de un calentador de paso eléctrico de marca BOSCH, siendo objeto de estudio las pérdidas de energía ocasionadas en función de factores como presión, caudal y temperatura.

### **5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar las características de presión mínima requerida, así como parámetros básicos de funcionamiento reales y comparar con a los datos proporcionados por los fabricantes.
- Valorar el comportamiento de la pérdida de energía respecto al caudal a partir de pruebas y datos experimentales, representándolo mediante una curva y una ecuación que describa su comportamiento.
- Estimar el funcionamiento del calentador de paso en cuanto a las resultantes de temperatura, tras la variación de caudales, dado de manera experimental.
- Correlacionar presión, caudal y temperatura mediante una ecuación que pueda ser empleada en el diseño de redes.
- Implementar los resultados obtenidos en el diseño de redes a partir de una ruta crítica de red de distribución de agua caliente, comparando con la ruta crítica convencional de agua fría para diferentes tipos de arquitecturas.

## 6. ALCANCES Y LIMITACIONES

Contribuir con una herramienta que permita a futuro a la universidad explicar los fenómenos de pérdida o alteración de la línea energía de agua tras la transferencia de energía calórica de un calentador de paso marca BOSCH, en donde se exista una relación directa entre las pérdidas de energía y variación de temperatura para cualquier caudal.

La investigación abarca únicamente el estudio en el laboratorio de las variables caudal, temperatura, presión y energía para el calentador de agua BOSCH y se pretende obtener como resultado un modelo matemático que explique el comportamiento del fluido tras el paso por el equipo, dando así una herramienta para implementar en el diseño de redes.

El principal alcance es llegar a caracterizar el calentador de marca BOSCH para conocer las curvas de comportamiento al relacionar las variables anteriormente mencionadas, de este modo estandarizándolo, además comprobando los datos suministrados por el fabricante como presión mínima de funcionamiento y temperaturas máximas de entrega.

Se parte de que una limitación del proyecto son los permisos que se puedan otorgar para la realización de montajes y estudios dentro del laboratorio de hidráulica de la universidad, así como los tiempos designados para estar en el laboratorio, factor influyente en la toma de datos.

Se debe tener en cuenta que el montaje experimental se realiza en el laboratorio el cual tiene abastecimiento por gravedad desde un tanque alto, lo cual limita a la obtención de presiones altas de servicio, por lo que el proyecto únicamente abarca el rango de presiones entregadas por la red de distribución, al no contar con el recurso económico para la implementación de bombas o presurizadores, por otro lado se tiene en cuenta que el sistema de distribución alimenta baterías de baños en la edificación, las cuales al accionarse alteran las presiones de salida en el punto donde se conecta el calentador.

Por otro lado, se tiene una limitante económica que implica la compra de un calentador de paso eléctrico pequeño, factor que podría influir en los resultados al tratar de caracterizar los calentadores en general. El factor económico es influyente en la falta de artefactos que permitan medir con alta precisión los datos arrojados en laboratorio, generando así un margen de error en la investigación.

## 7. METODOLOGIA

Se plantea una metodología o desarrollo del proyecto en cuatro fases generales que comprende la totalidad del proceso desde la formulación hasta la conclusión del proyecto, teniendo en cuenta que se hace una planeación general para cada fase y una específica que comprende todo tipo de procedimiento importante para la obtención de resultados y posterior análisis de los mismos, dicha metodología específica se mediante el diagrama de flujo de la , que como principal objetivo tiene mostrar los pasos importantes a seguir hasta la obtención de resultados y análisis de los mismos, de igual manera cada procedimiento importante se abarca de manera posterior a la , las fases correspondientes de la misma son:

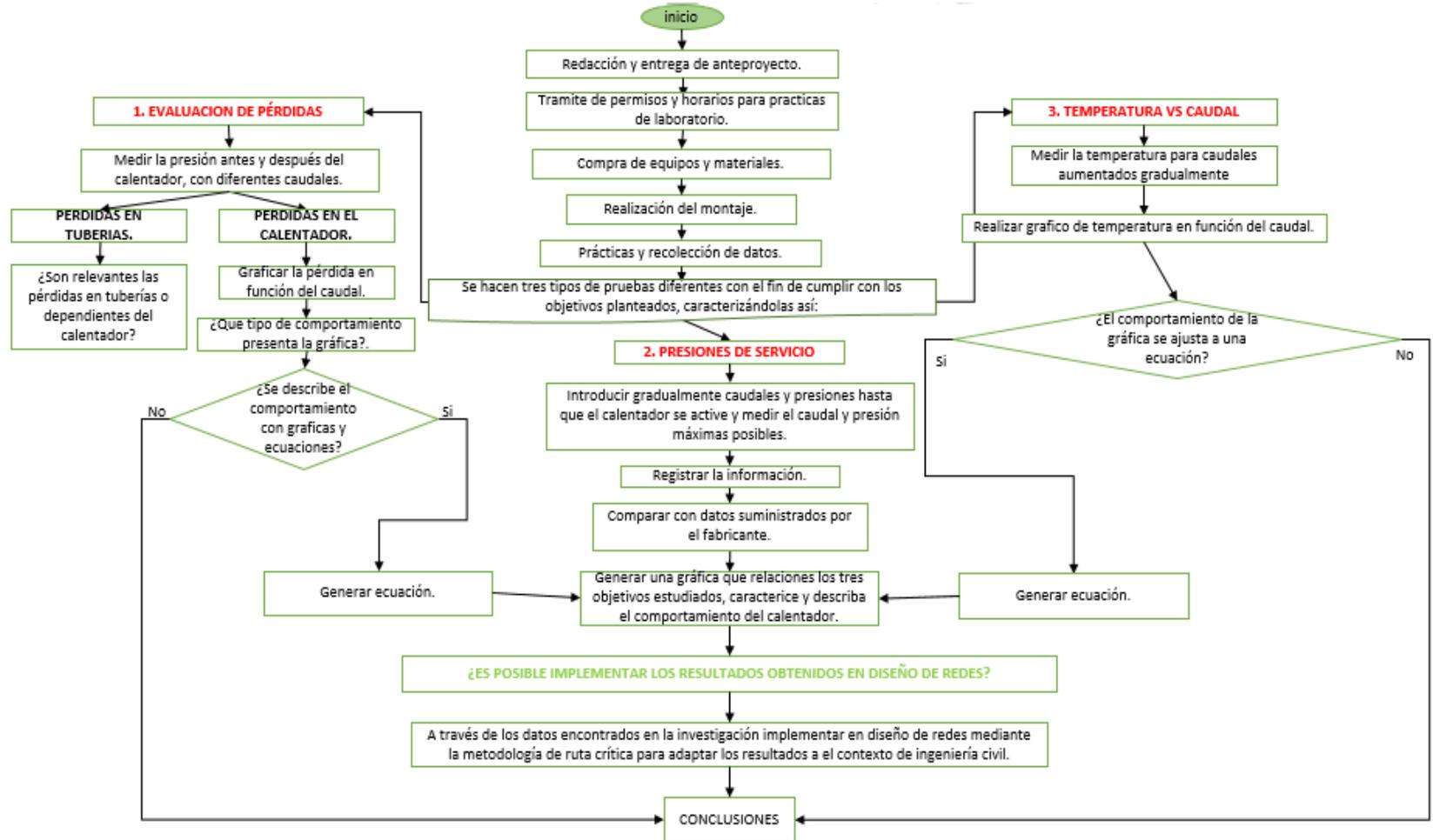
**Fase 1 Planteamiento y pre-factibilidad:** Corresponde a la elaboración de un anteproyecto en el que se contemplan todas las bases teóricas que sirven como guía del proyecto, de igual manera se realiza el estudio de costos y se plantea el montaje con las actividades a realizar.

**Fase 2 Realización del montaje:** Tiene como principal objetivo la compra de equipos, herramientas y materiales necesarios, así como la realización del montaje en el laboratorio de hidráulica, teniendo en cuenta que para esta fase se debe haber realizado el trámite de los permisos de la facultad para el uso del laboratorio.

**Fase 3 Ejecución de pruebas y toma de datos:** se practican las pruebas necesarias para el cumplimiento de los objetivos, como se evidencia en la , procedimientos que se aclaran y especifican de manera posterior a la figura, hay que tener en cuenta que se debe realizar con precisión y efectuar la toma de datos de manera ordenada, intentando siempre tabular la información solicitada.

**Fase 4 Procesamiento de datos, análisis de resultados y conclusiones:** Se realiza la conversión de unidades si es necesario y se ajusta la información para poder realizar las gráficas, cálculos y ecuaciones pertinentes, para de manera seguida analizar la información y poder determinar el cumplimiento de los objetivos en el planteamiento del proyecto.

Ilustración 6 Diagrama de flujo metodología



Fuente: elaboración Propia)

En la se evidencia que la investigación comprende tres grandes pilares que se estudian con el fin de cumplir con los objetivos planteados, para realizar la caracterización del equipo utilizado y siempre en busca de generar una gráfica que generalice los resultados obtenidos y permita predecir el comportamiento del calentador para aspectos como pérdidas y temperatura en función del caudal, se observa que los ramales nuevamente confluyen en la realización del modelo que describe el comportamiento del calentador y la implementación del mismo en un diseño de redes, correspondiente a la adaptación de los resultados en la cotidianidad del diseño de redes, siendo este un factor que pudiese influir en el diseño de la red de distribución, dando cumplimiento al último de los objetivos planteados, la descripción de los procedimientos realizados para la obtención de datos de cada ramal es:

1. **Evaluación de pérdidas:** Corresponde a la evaluación de presiones antes del calentador y después del mismo, teniendo esta una ramificación en donde las pérdidas en el calentador corresponden a las presiones medidas antes del equipo y las pérdidas medidas después del calentador son las pérdidas en la tubería. El proceso realizado para la medición de las pérdidas es el mismo para los dos tipos, la diferencia es la ubicación del manómetro y la interpretación de los datos.
  - 1.1 Validación de la presión estática del sistema, que se da cerrando la salida y verificando que en ambos manómetros se tenga la misma presión.
  - 1.2 Ajuste de presión de entrada: haciendo uso del bypass ubicado antes de la válvula de bola se gradúa la presión estática inicial, se abre la llave de jardín del bypass hasta llegar a la presión deseada, teniendo en cuenta que debe ser la misma en el manómetro ubicado antes y después del equipo (la salida del sistema debe estar cerrada).
  - 1.3 Toma de datos: Haciendo uso de la llave de jardín ubicada en la salida del sistema se abre paso a la introducción de caudales, teniendo en cuenta que se fija un caudal mínimo, para este se realizan las lecturas en los manómetros, y se hace el aforo, correspondiente a la medición del tiempo que tarda el agua en llenar un volumen determinado. Posteriormente se debe hacer un aumento gradual del caudal y nuevamente realizar la medición tanto de las presiones como del caudal, estos aumentos graduales se dan hasta llegar al caudal máximo permitido.

- 1.4 Finalmente se realizan los pasos 1.1, 1.2 y 1.3 cinco veces, teniendo en cuenta que para cada una debe existir presión estática de entrada diferente que debe ser regulada mediante el bypass.
2. **Presiones de servicio:** Corresponde a la validación de datos suministrados por el fabricante, en donde se mide la presión de entrada necesaria para el encendido del equipo, así como mediante este procedimiento es posible encontrar la temperatura máxima proporcionada por el calentador.
- 2.1 Validación de la presión estática del sistema, que se da cerrando la salida y verificando que en ambos manómetros se tenga la misma presión.
- 2.2 Apertura de la totalidad de la válvula de bola y válvula reguladora.
- 2.3 Apertura total de la llave de jardín en la salida del sistema.
- 2.4 Registrar la presión en el primer manómetro y verificar si el calentador está o no encendido.
- 2.5 Si el calentador esta encendido, se debe reducir la presión mediante el uso de la válvula reguladora hasta llegar al punto donde este se enciende y apaga. Si el calentador está apagado se debe regular la presión mediante la válvula reguladora.
- 2.6 Realizar el punto 2.4 tres veces, verificando la presión mínima de entrada de encendido y apagado del equipo, así como se realiza el aforo del caudal para este punto.
3. **Temperatura vs caudal:** Se realiza con el fin de encontrar la relación existente entre el caudal de entrada y la temperatura entregada por el equipo.
- 3.1 Validación de la presión estática del sistema, que se da cerrando la salida y verificando que en ambos manómetros se tenga la misma presión.
- 3.2 Ajuste de presión de entrada: haciendo uso del bypass ubicado antes de la válvula de bola se gradúa la presión estática inicial, se abre la llave de jardín del bypass hasta llegar a la presión deseada, teniendo en cuenta que debe ser la misma en el manómetro ubicado antes y después del equipo (la salida del sistema debe estar cerrada).
- 3.3 Toma de datos: Haciendo uso de la llave de jardín ubicada en la salida del sistema se abre paso a la introducción de caudales, teniendo en cuenta que se fija un caudal mínimo, para este se realiza la lectura de la temperatura de salida, y se hace el aforo del caudal, correspondiente a la medición del tiempo que tarda el agua en llenar un volumen determinado. Posteriormente se debe hacer un aumento gradual del caudal y nuevamente

realizar la medición tanto de la temperatura como del caudal, estos aumentos graduales se dan hasta llegar al caudal máximo permitido.

3.4 Finalmente se realizan los pasos 1.1, 1.2 y 1.3 cinco veces, teniendo en cuenta que para cada una debe existir presión estática de entrada diferente que debe ser regulada mediante el bypass.

4. **Curva del calentador:** corresponde a la caracterización general del calentador, donde se relacionan las variables anteriormente mencionadas y brinda una herramienta para predicción del comportamiento para cualquier tipo de caudal.

4.1 Gráficas y ecuaciones: Realizar respectivamente las gráficas de pérdida vs caudal y temperatura vs caudal, realizando la línea de tendencia que más se ajusta para cada gráfica y encontrando la ecuación correspondiente que agrupe y describa el comportamiento de cada una de las gráficas.

4.2 Elegir el rango de valores a utilizar para caudal, que corresponde a la variable del eje x, posteriormente a esto con el uso de la ecuación de pérdidas vs caudal verificar el rango en que se comportan los valores del caudal.

4.3 Realizar la gráfica correspondiente a pérdidas vs caudal.

4.4 Validar el rango de valores de temperatura para el rango de valores de caudal escogido anteriormente y en el eje vertical derecho de la gráfica ubicarlos con la escala que genere la curva existente.

4.5 Verificar el rango de valores para caudal en que el equipo no está encendido y señalarlo en la gráfica.

5. **Implementación de resultados en diseño de ruta crítica:** Realizar una comparación de los diseños de ruta crítica realizados por el método tradicional y posteriormente la implementación de los resultados obtenidos.

5.1 Definir tres tipos de arquitecturas diferentes y la ubicación de aparatos sanitarios y calentadores.

5.2 Para cada arquitectura realizar el trazado de la ruta crítica de distribución de redes de agua fría.

5.3 Realizar la evaluación de presiones y diámetros de la ruta crítica hasta la entrada del apartamento.

5.4 Realizar el trazado de la ruta de agua caliente.

- 5.5 Implementar el diseño de ruta crítica para evaluar presiones y diámetros, desde el aparato sanitario que requiere agua caliente más lejano y con mayor requerimiento, hasta llegar al calentador, implementar las pérdidas de energía generadas por el equipo y continuar con la ruta crítica hasta la entrada del apartamento.
- 5.6 Comparar los resultados de los puntos 5.3 y 5.5 para cada uno de los apartamentos.

## 8. INTALACIONES Y EQUIPOS

Para la ejecución del proyecto es necesario la realización de un montaje simple en el laboratorio de hidráulica como se muestra en la Ilustración 7 , el cual conlleva la utilización de los equipos enunciados en la Tabla 1 y los materiales de la Tabla 2, de igual manera se requiere una fuente de agua que pueda suministrar la presión requerida por el calentador y una fuente de energía eléctrica que alimente el equipo y no genere fallas.

Ilustración 7 Esquema general montaje



(Fuente: elaboración propia)

Tabla 1 Equipos requeridos..

Equipos
Calentador de paso eléctrico marca BOSCH.
Manómetro 0-30 psi.
Válvula reguladora de presión 1/2" con manómetro 0-30 psi.
Termómetro.
Cronometro.
Computador.

(Fuente: elaboración Propia)

Nota: En el anexo 1 se incluyen las especificaciones técnicas del calentador BOSCH Tonic 3000

Tabla 2 Materiales requeridos

<b>Materiales</b>
0.6m Tubería PVC ½”.
0.2m Tubería CPVC ½”.
2 adaptadores hembra PVC ½”.
1 Válvula de bola PVC ½”.
2 adaptadores macho PVC ½”.
1 Tee PVC ½”.
3 adaptadores hembra C-PVC ½”.
1 Tee C-PVC ½”.
2 codos C-PVC ½”.
2 llave de jardín.
Pegante para tubería de PVC.
Limpiador de tubería de PVC.
Teflón.
Cinta.
Papelería.
Poceta o tanque aforado.
Clavija
Cableado

(Fuente: elaboración Propia)

El montaje se fija en el laboratorio, y tiene una ubicación estratégica en cuanto a las fuentes de energía y agua necesarias, son cercanas y no se requiere gran cantidad de tubería y cableado, por otro lado para la instalación se requiere el uso de las herramientas enunciados en la Tabla 3.

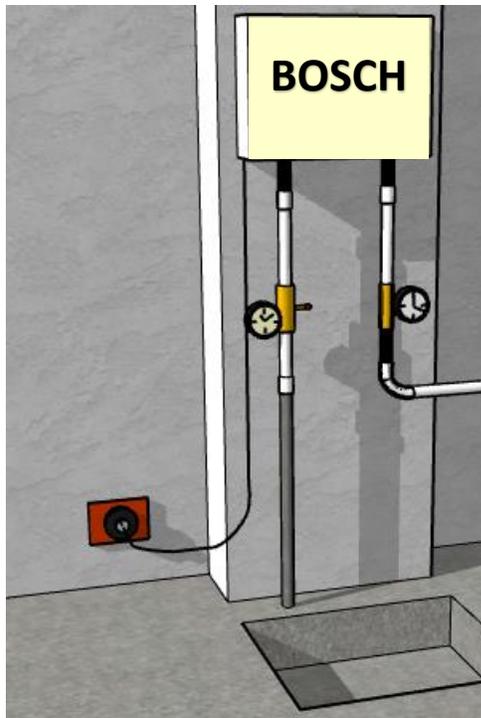
Tabla 3: herramientas.

Herramienta
Segueta.
Destornilladores de pala y estrella.
Bisturí.
Taladro.
Alicates.
Cortafríos.
Brocas de tungsteno.

(Fuente: elaboración Propia)

El montaje del equipo consta del calentador eléctrico instalado de manera fija a la pared, como lo describe la Ilustración 8, el cual se alimenta eléctricamente de una fuente de energía ubicada aproximadamente a 2 metros del calentador, conectada mediante una clavija, por otro lado, el caudal de agua suministrado se da mediante una tubería de ½” ubicada bajo el calentador a aproximadamente 0.70 metros.

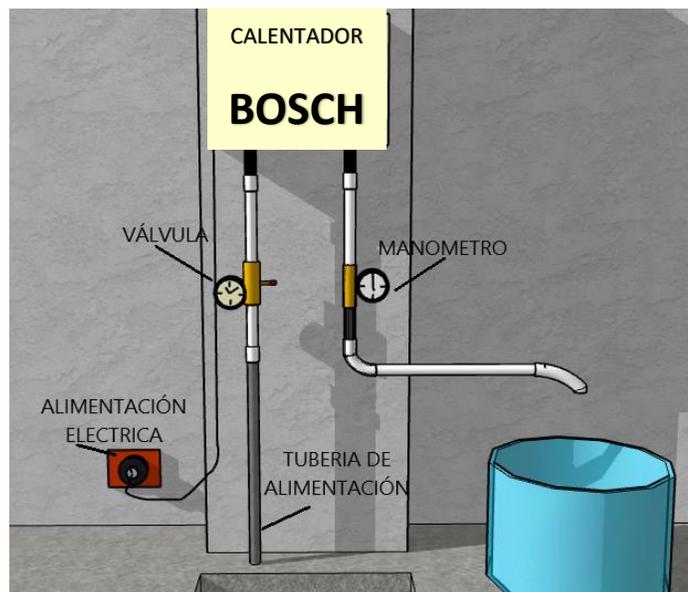
Ilustración 8 Ubicación del suministro..



(Fuente: Elaboración propia)

La instalación que se realiza se hace a partir la tubería de suministro, que se conecta al calentador, entre estas dos se ubica una tee que da salida de agua fría, una válvula de bola, una válvula reguladora de presiones con su respectivo manómetro y un filtro. En la parte de la salida del calentador se ubica un manómetro y posteriormente la tubería que conduce una salida mediante una llave de jardín que permite regular el caudal y medirlo mediante una poceta con volumen conocido ubicada bajo la llave. Ver la Ilustración 9.

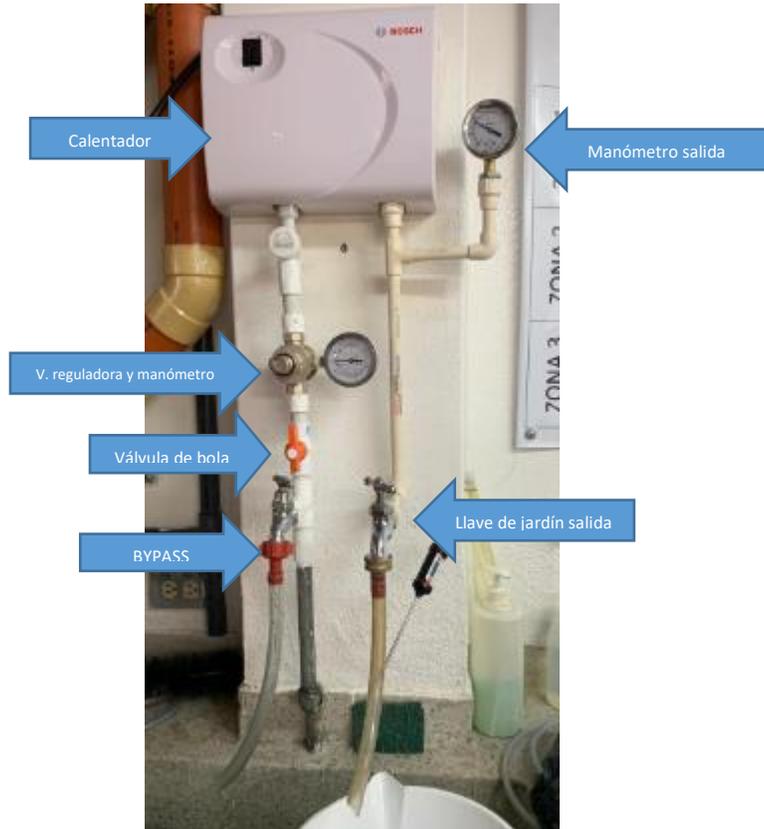
*Ilustración 9 Partes del montaje.*



*(Fuente: elaboración Propia)*

Se realiza el montaje en el laboratorio según lo propuesto, el cual conlleva trabajo de dos sesiones en donde se realiza la prueba tanto de la instalación eléctrica e hidráulica y que de igual manera pudiese cumplir con lo propuesto en el anteproyecto, como se muestra en la Ilustración 10, se verifica que los elementos de calibración y medición funcionen correctamente y se fija el montaje, dejando claro que este no se debe mover ni modificar por el transcurso del semestre 2019-3. Se resalta que por razones constructivas y de suministro para el laboratorio se da la instalación de un bypass que cumple la función de regular las presiones de entrada, con el uso de una tee y una llave de jardín ubicada antes de todo el sistema, como se evidencia en la Ilustración 11.

Ilustración 10 Montaje experimental.



(Fuente elaboración propia)

Ilustración 11 Bypass



(Fuente elaboración propia)

## 9. RESULTADOS

Los resultados del presente proyecto son obtenidos mediante la medición experimental de datos en el montaje realizado, en donde básicamente, en el laboratorio se realiza la medición de tiempos, presiones y temperaturas tras la variación controlada de caudales y presiones tanto de entrada como de salida del montaje.

La medición se da con el uso de los elementos especializados para cada actividad, las presiones de entrada y salida se miden mediante los manómetros instalados en el sistema de tuberías, en donde al pasar el agua va a mostrar la presión en los puntos, como se muestra en la Ilustración 12, por otro lado las temperaturas se miden mediante el uso de un termómetro adaptado a la tubería de salida, el cual está dentro de una manguera en la salida de la tubería y mide la temperatura un instante antes que el fluido este fuera del sistema, como se muestra en la Ilustración 13, finalmente los tiempos que se miden con el fin de conocer los caudales manejados, para lo que, mediante el uso del cronómetro se mide el tiempo que tarda en completar un volumen aforado de un litro, para el posterior cálculo del caudal.

*Ilustración 12 Manómetros.*



*(Fuente: elaboración Propia)*

Ilustración 13 Termómetro.



(Fuente: elaboración Propia)

Por otro lado, es importante resaltar que los resultados obtenidos poseen un margen de error y su precisión varía en función de factores como el error en la medición humana y la incertidumbre de equipos, por esto se realiza la medición varias veces de los mismos parámetros con el fin de tener un valor más acertado y reducir la alteración de resultados, así tabulando y realizando promedios entre valores para tener la información ordenada y certera.

La totalidad de los resultados se presenta en el anexo 3, correspondiente a tablas con los datos completos y cálculos necesarios para llegar a los resultados obtenidos, de este modo en esta sección presentando en tablas de resumen con la información necesaria, organizada tomada a partir de la información del anexo 3.

Con las mediciones se busca abarcar y encontrar datos que permitan cumplir con los objetivos planteados, por lo que la investigación y medición se realiza buscando satisfacer tres aspectos que faciliten la obtención de los resultados que se plantean en los objetivos del proyecto, los aspectos que se pretende satisfacer corresponden a:

- Pérdidas del calentador en función de caudal:

Se propone realizar una gráfica que ilustre el comportamiento de las pérdidas del equipo tras la variación del caudal, por lo que se realiza la medición de la presión estática y de las presiones del manómetro ubicado antes del calentador, así como el aforo de caudales, dichas presiones se miden en *psi* debido a que el manómetro entrega en dicha unidad, para realizar el cálculo de las pérdidas basta con realizar la conversión de unidades de presión a metros columna de agua utilizando la ecuación 1, y realizando la diferencia entre la presión de entrada y la presión de salida haciendo uso de la ecuación 2.

$$P(m. c. a) = \frac{P(\text{psi}) * 1\text{Kg} * 9.81}{2.21b * (0.0254m)^2 * 9810N/m^3} \quad (1)$$

P(psi): Presión a convertir en psi.

$$Pérdida(m. c. a) = Pe (m. c. a) - Pa (m. c. a) \quad (2)$$

Pe: Presión estática.

Pa: Presión manómetro antes del calentador.

El aforo del caudal corresponde a la medición de tiempos de llenado de un volumen conocido, en este caso se realiza la medición del tiempo de llenado para un litro, con el fin de reducir alteraciones en la información y un resultado más acertado se realiza la medición de cinco tiempos por cada variación de caudal para posteriormente realizar un promedio haciendo uso de la ecuación 3, el cálculo del caudal se realiza haciendo el cociente entre el volumen conocido y el promedio de tiempo de llenado, el resultado para el caudal se obtiene haciendo uso de la ecuación 4.

$$\bar{t} = \frac{\sum_n^i t_i}{n} \quad (3)$$

$t_i$ : Tiempo medido.

$n$ : Numero de tiempos.

$$Q(l/s) = \frac{1 l}{\bar{t}} \quad (4)$$

$\bar{t}$ : Tiempo promedio.

Por otro lado, la variación de caudales y presiones del sistema dependen de la cantidad de vueltas de la llave de jardín ubicada en la salida del sistema, de este modo para cada variación se debe tomar una serie de datos que recojan la información necesaria para el posterior calculo y análisis, la información necesaria en este caso corresponde a los tiempos requeridos para el llenado de un volumen conocido, presiones de entrada, presiones de salida y temperatura de salida del fluido.

Hay que tener en cuenta que se realizan cinco series de datos, para las cuales se realiza el mismo procedimiento, con la particularidad que la presión estática de cada serie es diferente

y es regulada mediante el bypass, teniendo en cuenta esta información se tiene como resultado la Tabla 4 que muestra los datos obtenidos en el laboratorio y su procesamiento, información que ilustra el comportamiento de las pérdidas, en función del caudal, por lo anterior, de la de esta se procede a la realización de la gráfica de las pérdidas del calentador en función del caudal para cada una de las series medidas, correspondiente a la Ilustración 14.

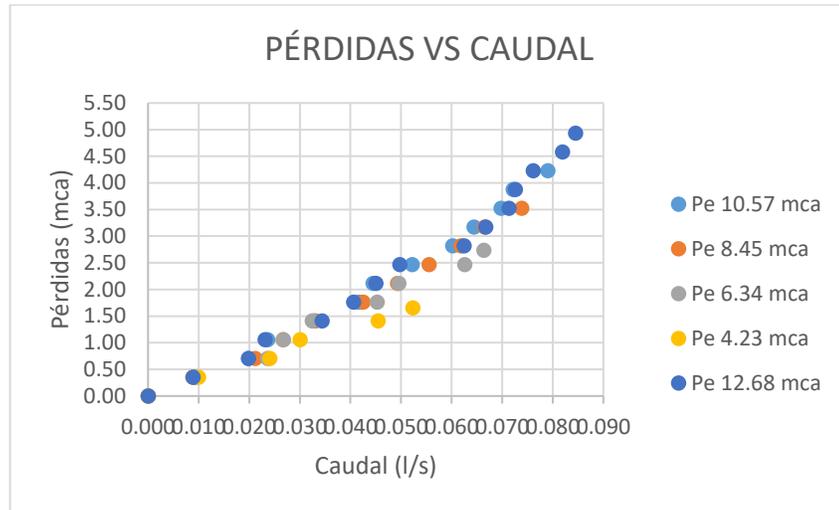
*Tabla 4: Perdidas y caudales para 5 series*

<b>Pe (mca)</b>	<b>Pa (mca)</b>	<b>Pérdida (mca)</b>	<b>t (s)</b>	<b>Q(l/s)</b>
12.68	12.68	0.00	0.00	0.000
	12.33	0.35	112.37	0.009
	11.98	0.70	50.35	0.020
	11.63	1.06	43.24	0.023
	11.27	1.41	29.10	0.034
	10.92	1.76	24.63	0.041
	10.57	2.11	22.21	0.045
	10.22	2.47	20.12	0.050
	9.86	2.82	16.01	0.062
	9.51	3.17	14.99	0.067
	9.16	3.52	14.02	0.071
	8.81	3.88	13.78	0.073
	8.45	4.23	13.14	0.079
	8.10	4.58	12.21	0.085
	7.75	4.93	11.84	0.092

<b>Pe (mca)</b>	<b>Pa (mca)</b>	<b>Pérdida (mca)</b>	<b>t (s)</b>	<b>Q(l/s)</b>
10.57	10.57	0.00	0	0.000
	10.22	0.35	106.99	0.009
	9.86	0.70	50.45	0.020
	9.51	1.06	42.31	0.024
	9.16	1.41	30.55	0.033
	8.81	1.76	23.98	0.042
	8.45	2.11	22.5	0.044
	8.10	2.47	19.16	0.052
	7.75	2.82	16.61	0.060
	7.40	3.17	15.53	0.064
	7.05	3.52	14.34	0.070
	6.69	3.88	13.86	0.072
	6.34	4.23	12.66	0.079
8.45	8.45	0.00	0	0.000
	8.10	0.35	113.67	0.009
	7.75	0.70	47.32	0.021
	7.40	1.06	37.43	0.027
	7.05	1.41	30.24	0.033
	6.69	1.76	23.53	0.042
	6.34	2.11	20.29	0.049
	5.99	2.47	18.01	0.056
	5.64	2.82	16.17	0.062
	5.28	3.17	15.03	0.067
	4.93	3.52	13.54	0.074
6.34	6.34	0.00	0	0.000
	5.99	0.35	108.49	0.009
	5.64	0.70	42.39	0.024
	5.28	1.06	37.49	0.027
	4.93	1.41	30.83	0.032
	4.58	1.76	22.09	0.045
	4.23	2.11	20.19	0.050
	3.88	2.47	15.98	0.063
	3.61	2.73	15.07	0.066
4.23	4.23	0.00	0	0.000
	3.88	0.35	100.45	0.010
	3.52	0.70	41.57	0.024
	3.17	1.06	33.33	0.030
	2.82	1.41	21.99	0.045
	2.57	1.66	19.11	0.052

(Fuente: elaboración Propia).

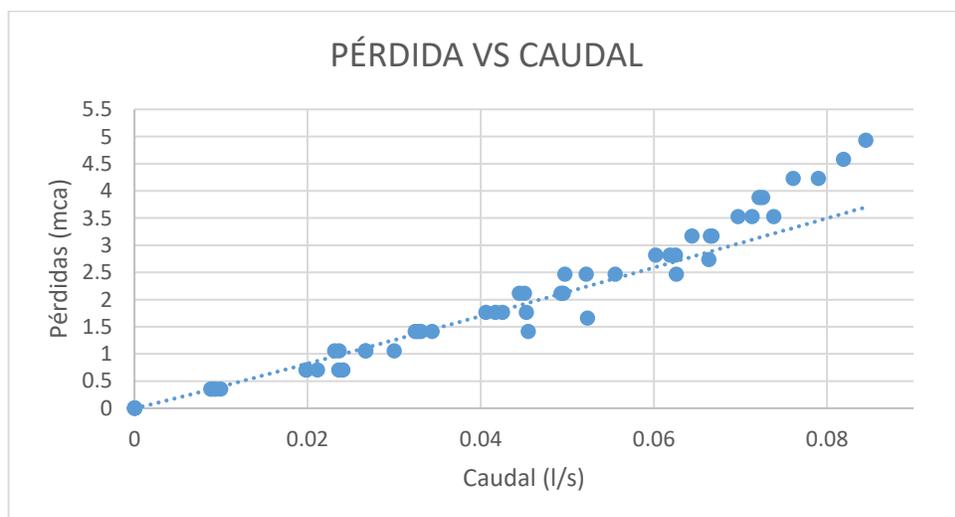
Ilustración 14 Pérdidas vs Caudal para 5 series.



(Fuente: elaboración Propia).

Se evidencia que el comportamiento de la totalidad de los puntos en todas las series es similar y al agruparlos se podría generar una línea de tendencia que al tener tanta densidad podría ser bastante acertada, además de esto, se observa que el comportamiento de los puntos tiene tendencia a una función de tipo potencial, de este modo en la Ilustración 15 se muestra la gráfica con la totalidad de los puntos y una línea de tendencia para los mismos.

Ilustración 15 Tendencia Pérdidas vs Caudal.



(Fuente: elaboración Propia).

Como se menciona, se evidencia que el comportamiento de las pérdidas calentador tiene una tendencia potencial, por lo que se podría llegar a describir su comportamiento mediante el uso de una ecuación, la cual se concibe a partir del ajuste de los puntos a partir de una regresión y es generada por el programa Microsoft Excel. La ecuación se realiza teniendo como base la medición de detallada de la Tabla 4, con esta ecuación se puede pronosticar las pérdidas para los caudales deseados, generando un resultado muy acertado al tener un nivel de exactitud alto demostrado mediante el coeficiente de determinación de la ecuación ( $R^2$ ). La ecuación generada corresponde a la ecuación 5, de esta se evidencia que existen constantes que describen el comportamiento del calentador y permite la obtención de la pérdida para cualquier tipo de caudal introducido en el calentador.

$$Pérdida (m. c. a) = 48.883 Q(l/s)^{1,0444} \quad (5)$$

$$R^2: 0.9827$$

- Pérdidas unitarias de tuberías de agua caliente en función de caudal:

Se propone realizar una gráfica que ilustre el comportamiento de las pérdidas de las tuberías de agua caliente tras la variación del caudal, por lo que se realiza la medición de la presión antes de la tubería, es decir la correspondiente a la estática menos la pérdida del calentador y de las presiones del manómetro ubicado después del calentador, así como el aforo de caudales, dichas presiones se miden en *psi* debido a que el manómetro entrega en dicha unidad, para realizar el cálculo de las pérdidas basta con realizar la conversión de unidades de presión a metros columna de agua utilizando la ecuación 1, y realizando la diferencia entre la presión de entrada y la presión de salida haciendo uso de la ecuación 2.

El aforo del caudal corresponde a la medición de tiempos de llenado de un volumen conocido, en este caso se realiza la medición del tiempo de llenado para un litro, con el fin de reducir alteraciones en la información y un resultado más acertado se realiza la medición de cinco tiempos por cada variación de caudal para posteriormente realizar un promedio haciendo uso de la ecuación 3, el cálculo del caudal se realiza haciendo el cociente entre el volumen conocido y el promedio de tiempo de llenado, el resultado para el caudal se obtiene haciendo uso de la ecuación 4.

Se realiza la medición de manera simultánea a la evaluación de pérdidas en el calentador, por lo que tras el cálculo de tiempos promedios y caudales se presenta la . correspondiente a los

datos de 4 series estudiadas, en donde la perdida se da tras la diferencia en los manómetros a y b y el cociente de dicho valor entre la longitud de la tubería.

Tabla 5: Perdida unitaria en tuberías

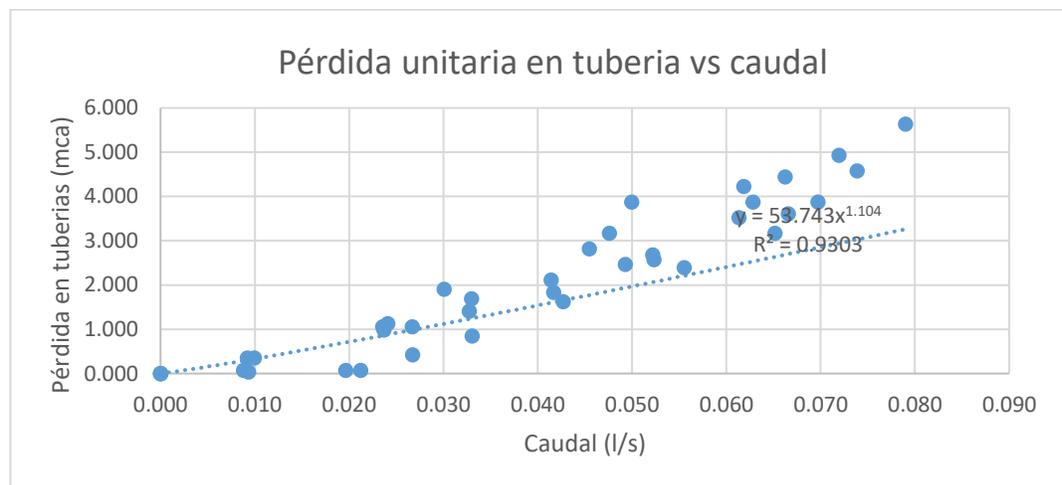
Pa (mca)	Pb (mca)	Pérdida Tubería (mca)	Perdida unitaria (mca)	Q(L/s)
10.568	10.568	0.000	0.000	0.000
10.216	10.181	0.035	0.054	0.009
9.864	9.793	0.070	0.108	0.020
9.511	8.525	0.986	1.517	0.024
9.159	7.750	1.409	2.168	0.033
8.807	6.975	1.832	2.818	0.042
8.455	6.341	2.114	3.252	0.041
8.102	5.425	2.677	4.119	0.052
7.750	4.227	3.523	5.420	0.061
7.398	4.227	3.170	4.878	0.065
7.045	3.170	3.875	5.962	0.070
6.693	1.761	4.932	7.587	0.072
6.341	0.705	5.636	8.671	0.079
8.455	8.455	0.000	0.000	0.000
8.102	8.032	0.070	0.108	0.009
7.750	7.680	0.070	0.108	0.021
7.398	6.975	0.423	0.650	0.027
7.045	6.200	0.845	1.301	0.033
6.693	5.073	1.620	2.493	0.043
6.341	3.875	2.466	3.794	0.049
5.989	3.593	2.395	3.685	0.056
5.636	1.409	4.227	6.504	0.062
5.284	0.845	4.439	6.829	0.066
4.932	0.352	4.580	7.045	0.074
6.341	6.341	0.000	0.000	0.000
5.989	5.636	0.352	0.542	0.009
5.636	4.580	1.057	1.626	0.024
5.284	4.227	1.057	1.626	0.027
4.932	3.241	1.691	2.601	0.033
4.580	1.409	3.170	4.878	0.048
4.227	0.352	3.875	5.962	0.050
3.875	0.000	3.875	5.962	0.063
3.607	0.000	3.607	5.550	0.067
4.227	4.227	0.000	0.000	0.000

3.875	3.523	0.352	0.542	0.010
3.523	2.395	1.127	1.734	0.024
3.170	1.268	1.902	2.927	0.030
2.818	0.000	2.818	4.336	0.045
2.572	0.000	2.572	3.956	0.052

. (Fuente: elaboración Propia).

A partir de la tabla se genera la gráfica con la totalidad de los puntos, a la cual se genera una línea de tendencia de tipo potencial, se observa que la pérdida en tuberías se da de forma directamente proporcional a la variación de caudal y se genera la ecuación que describe el comportamiento.

Ilustración 16: Perdidas de tuberías vs caudal



(Fuente: elaboración Propia).

El valor de R cuadrado es un valor certero pero que en cierta forma puede mejorar, existe mucha dispersión en la cantidad de puntos, por lo que el valor no es confiable.

- Temperatura en función de caudal

Otro de los aspectos relevantes en esta investigación corresponde al comportamiento de la temperatura tras la variación de presiones y caudales, para lo que se plantea una medición mediante la cual se varíen caudales de salida, teniendo en cuenta que cada vez que se realiza la variación se requiere medir temperatura y hacer el aforo del caudal, que se da de la misma manera que se realizó el procedimiento anterior, tomando 5 tiempos para llenado de un litro,

promediándolos para reducir el margen de error con la ecuación 3 y finalmente realizando el cálculo de caudal con el uso de la ecuación 4.

Los datos obtenidos tras cálculos y conversiones se presentan en la Tabla 6, cabe resaltar que se muestran cuatro series de datos tomados de manera simultánea a la medición de las pérdidas, por lo que las series se identifican con la presión de entrada variada a través del bypass, por otro lado en la tabla solamente se presentan las temperaturas en que el calentador se encuentra encendido, la tabla entrega el resumen de promedios de temperaturas y caudales obtenidos tras la variación de presiones, para el posterior gráfico de los datos.

*Tabla 6: Temperatura vs Caudal para 4 series.*

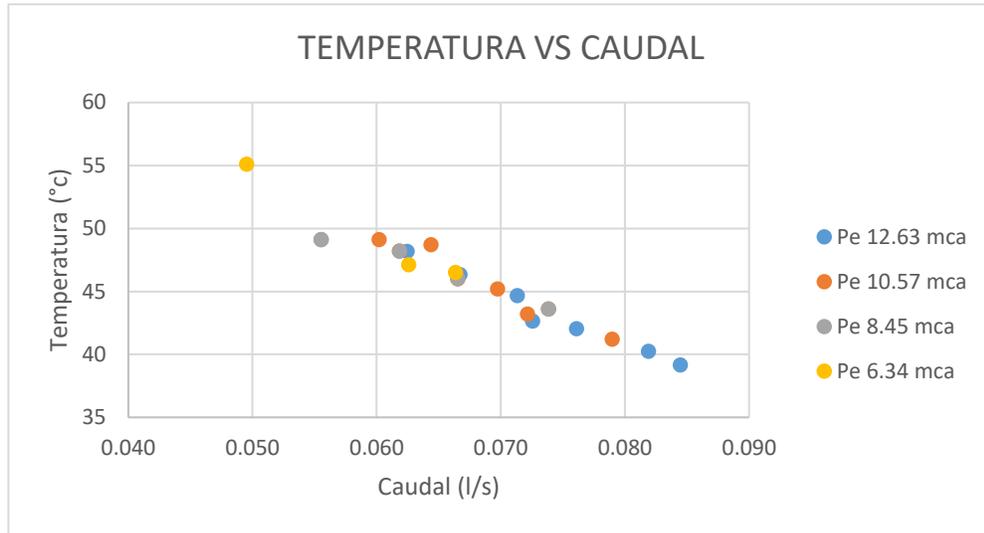
<b>Pe (mca)</b>	<b>t (s)</b>	<b>t(°C)</b>	<b>Q(L/s)</b>
12.68	16.01	48.17	0.062
	14.99	46.3	0.067
	14.02	44.67	0.071
	13.78	42.64	0.073
	13.14	42.03	0.076
	12.21	40.25	0.082
	11.84	39.14	0.084
10.57	16.61	49.1	0.060
	15.53	48.7	0.064
	14.34	45.2	0.070
	13.86	43.2	0.072
	12.66	41.2	0.079
8.45	18.01	49.1	0.056
	16.17	48.2	0.062
	15.03	46	0.067
	13.54	43.6	0.074
6.34	20.19	55.1	0.050
	15.98	47.1	0.063
	15.07	46.5	0.066

*(Fuente: elaboración Propia).*

*Posterior a la obtención y cálculo de los datos se procede a graficar los mismos, se grafica la temperatura en función del caudal para las cuatro series, como se muestra en la*

Ilustración 17, de la cual se evidencia que las cuatro series tienen el mismo comportamiento.

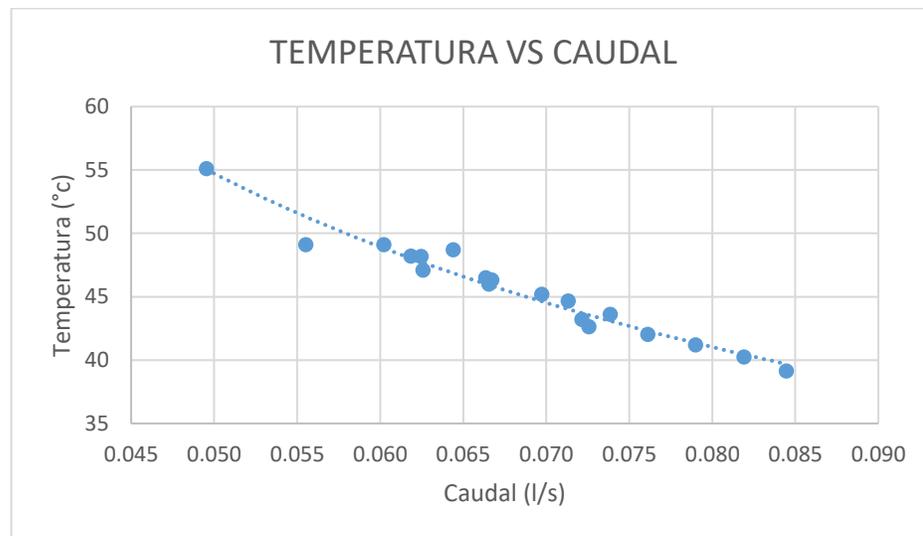
Ilustración 17 Puntos Temperatura vs caudal.



(Fuente: elaboración propia)

Se evidencia que el comportamiento de la totalidad de los puntos en todas las series es similar y al agruparlos se podría generar una línea de tendencia que al tener tanta densidad podría ser bastante acertada, además de esto, se observa que el comportamiento de los puntos tiene tendencia a una función de tipo potencial, de este modo en la Ilustración 18 se muestra la gráfica con la totalidad de los puntos y una línea de tendencia para los mismos.

Ilustración 18 Línea de tendencia Temperatura vs caudal.



(Fuente: Elaboración propia)

Al trazar una línea de tendencia que recoge los puntos se evidencia que es muy acertado formular una ecuación de tipo potencial que describe el comportamiento de la temperatura tras la variación del caudal, dicha ecuación permitiría predecir el comportamiento para cualquier caudal propuesto siendo un valor verídico y acertado, la línea se evidencia en la Ilustración 18 y la ecuación que describe el comportamiento es la ecuación 6 que posee un coeficiente de determinación alto, dicha ecuación se genera mediante el uso del programa Microsoft Excel.

$$\text{Temperatura } (^{\circ}\text{C}) = 8.3761 Q(\text{l/s})^{-0.612} \quad (6)$$

$$R^2: 0.9574$$

- Presiones y temperaturas de funcionamiento límites:

En busca de evaluar los datos proporcionados por el fabricante del calentador en cuanto a presiones mínimas requeridas, presiones máximas de funcionamiento y temperatura máxima entregada se realiza la medición de los datos para hacer la comprobación de datos suministrados.

Se resalta que la presión y la temperatura se relacionan de manera inversamente proporcional y mientras una aumenta la otra tiende a la disminución, como se ha venido mencionando en los resultados anteriores, de modo que para la obtención de los resultados es fácil deducir que cuando la temperatura del calentador es máxima, el calentador funciona con la presión mínima para el encendido y viceversa.

Por otro lado, es importante mencionar que se dificulta la obtención de una presión máximo para el funcionamiento del calentador debido a que la fuente de alimentación del sistema como máximo entrega 18 psi cuando el fabricante afirma en los datos que la presión máxima recibida corresponde a 116 psi, de este modo no se evalúa la temperatura mínima en funcionamiento ni la presión máxima permitida, quedando como valores teóricos por comprobar.

La medición se da tras la apertura total de la válvula de bola ubicada antes del calentador y de la válvula reguladora de presiones, así mismo tras verificar las presiones estáticas, la apertura total de la llave de jardín en la salida del calentador.

Paso seguido se procede registrar la presión en el primer manómetro y verificar si el calentador está o no encendido, teniendo en cuenta que, si el calentador está encendido, se debe reducir la presión mediante el uso de la válvula reguladora hasta llegar al punto donde este se enciende y apaga. Si el calentador está apagado se debe regular la presión mediante la válvula reguladora, dicha operación se realiza en varias oportunidades con el fin de corroborar el dato encontrado.

Al realizar la verificación del encendido se observa que la presión mínima de encendido no corresponde a la presión de apagado, se observa que el calentador requiere más presión para el encendido, mientras que cuando se encuentra en funcionamiento, el calentador se mantiene encendido así se reduzca un poco la presión. Por lo que se da la verificación de los resultados, en donde tras probar varias veces se encuentra que la presión de encendido es 0.6 psi mayor a la presión un instante antes a que el calentador se apague.

Por otro lado, se pretende evaluar la temperatura máxima que puede llegar a generar el calentador, para lo que se mide la temperatura para las presiones mínimas teniendo en cuenta la temperatura de entrada del agua.

Como resultado se obtiene la Tabla 7 que entrega los datos reales de funcionamiento del calentador encontrados en laboratorio y los datos suministrados por el fabricante para los mismos aspectos.

*Tabla 7: Datos de funcionamiento.*

DATOS LABORATORIO	
Temperatura entrada	17.9°C
Temperatura máxima	58.3°C
Presión encendido	3.8 psi
Presión apagado	3.2 psi
DATOS FABRICANTE	
Temperatura máxima	55°C
Presión encendido	7 psi
Presión apagado	7 psi

*(Fuente: elaboración Propia).*

Se observa que el fabricante entrega datos más elevados para las presiones mínimas de funcionamiento, así como un dato menor para la temperatura máxima, por lo que se deduce que manejan factores de seguridad para el correcto funcionamiento del equipo.

## 10. ANALISIS DE RESULTADOS

El comportamiento del calentador es predecible mediante el uso de las ecuaciones anteriormente encontradas para todas sus variables, resaltado que los resultados obtenidos se basan en un rango estudiado y dependen de las condiciones del funcionamiento en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Católica de Colombia, condiciones que son dependientes de la red de distribución existente, que para efectos de la investigación no se evalúa con precisión ya que los datos tomados fueron suficientes para un análisis y conclusión preliminar, de este modo que la investigación queda abierta a ampliación de rangos de estudio, haciendo uso de artefactos como bombas, que den certeza de los datos presentados en este documento.

En cuanto a los factores influyentes en el resultados de la investigación, como lo son las pérdidas por accesorios del sistema, factor que no se tiene en cuenta debido a que el único accesorio utilizado corresponde a un filtro ubicado un instante antes de la entrada del calentador, por lo que para efectos de facilidad en la investigación y con la premisa de que este accesorio siempre se debe utilizar en los calentadores, no se tiene en cuenta y la pérdida que este pueda llegar a generar se suma a las pérdidas del calentador.

Al relacionar los valores de funcionamiento mínimo del calentador encontrados, con los valores suministrados por el fabricante BOSCH, se puede pensar que el fabricante entrega datos de funcionamiento del equipo con un factor de seguridad, ya que en sus manuales indican que el funcionamiento del equipo tiene parámetros de entrada respecto a presión que son mayores a los reales encontrados, de este modo, al proponer las condiciones de la instalación se asegura buen funcionamiento y durabilidad del equipo, la misma situación se evidencia con la temperatura máxima que propone el fabricante menor a la real, siendo esta diferencia un factor de seguridad que en las condiciones de funcionamiento óptimo el cliente podría llegar a una temperatura un poco más elevada, siendo un beneficio adicional.

La relación de pérdidas en tuberías es un valor que se analiza pero no es fiable, ya que existen condiciones externas que afectan el montaje, como la presión manométrica y la despresurización del sistema en la salida y la longitud de la tubería implementada, de este modo la evaluación de estas pérdidas ilustra únicamente el comportamiento, pero no corresponde a un valor certero, simplemente se ilustra la variación unitaria y habría que evaluarse el uso de mayor longitud de tuberías y el uso y ubicación estratégica de manómetros.

Al ser uno de los propósitos de la investigación proponer e implementar un parámetro de diseño de redes mediante la caracterización del calentador se abarcan dos grandes aspectos y es generar un modelo que describa el calentador y a partir de un dato permita obtener datos de variables como temperatura y pérdidas para posteriormente implementar dichos datos en el diseño y evaluar la posibilidad de implementar el parámetro para correcto funcionamiento de aparatos sanitarios, cumpliendo con presiones de servicio requeridas.

### **10.1. RELACIÓN DE ECUACIONES**

Como resultado de la investigación se realiza una gráfica que describa el comportamiento del calentador en función de sus variables más relevantes para un rango de valores que comprende los estudiados en el laboratorio y la ampliación del mismo, a través de las ecuaciones encontradas, por lo que haciendo uso de las ecuaciones anteriormente encontradas se busca la manera de hacer un gráfico con 3 variables y que defina el comportamiento de manera fácil para la información encontrada, por lo que se realiza una gráfica de pérdidas y temperatura en función del caudal (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.), es decir en el eje de las ordenadas el caudal, y en el eje vertical izquierdo se encuentran las pérdidas (debido a que son ms importantes para el diseño) y finalmente en el eje vertical derecho se encuentra la temperatura con la particularidad de que la escala depende de las ecuaciones encontradas anteriormente y se llegaría a describir mediante la ecuación potencial.

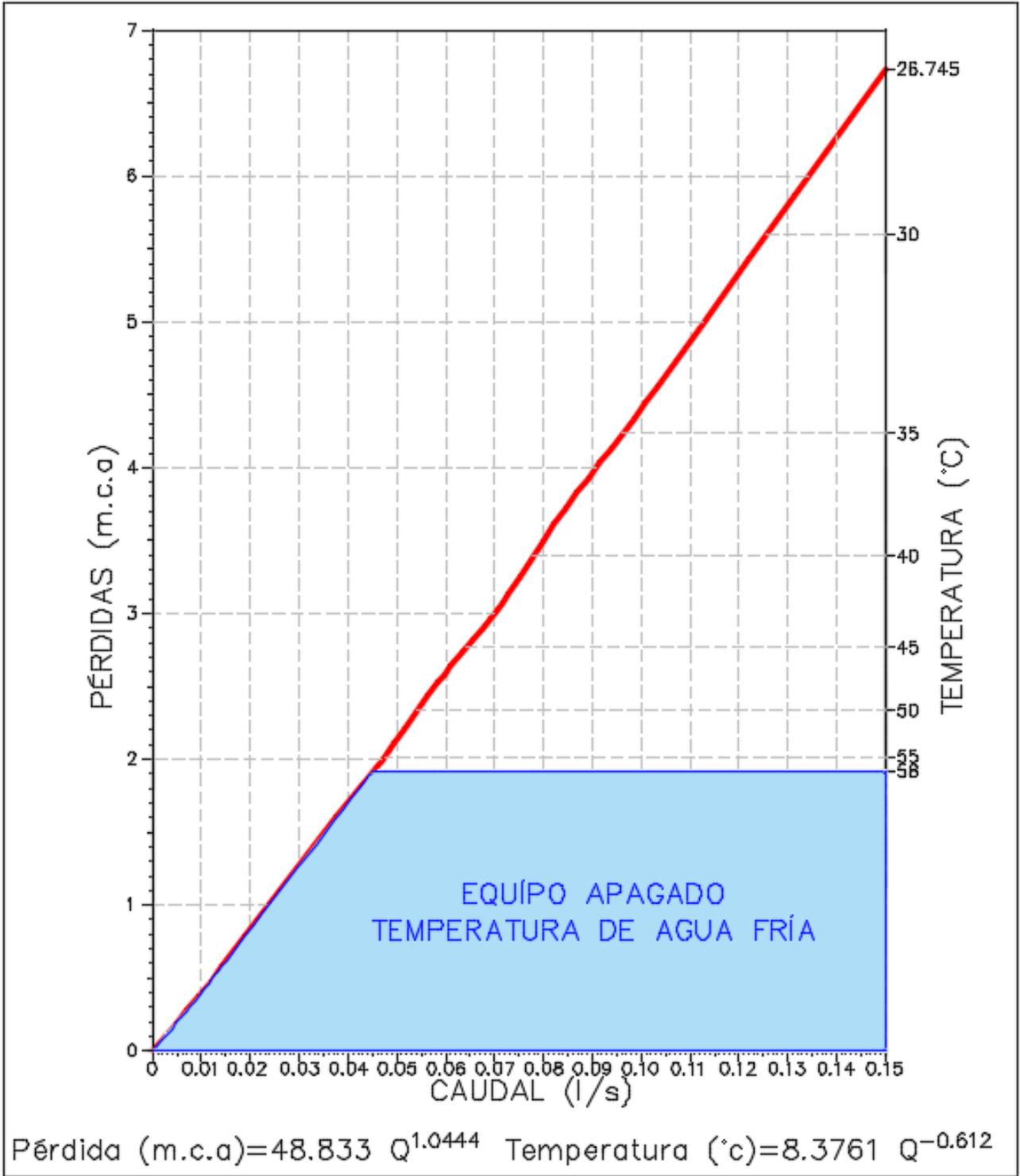
El uso de la gráfica es simple y genera los valores de forma acertada y rápida para implementación de los datos en diseños, por lo que se genera un manual básico para comprender e interpretar la gráfica.

#### **Manual para el uso de la gráfica del calentador:**

1. Tener un caudal de diseño.
2. Verificar que el caudal se encuentre dentro del rango de la gráfica.
3. Entrar con el caudal al eje horizontal y ubicarlo.
4. Trazar una línea vertical desde el caudal hasta hacer intersección con la curva.
5. Desde la intersección trazar una línea horizontal hacia la izquierda para determinar las pérdidas en el eje vertical.
6. Desde la intersección trazar una línea horizontal hacia la derecha para determinar la temperatura en el eje vertical.

En la gráfica existe un área sombreada que permite saber el lapso en el que el calentador se encuentra apagado, por lo que las temperaturas en este punto corresponden a las del agua fría. El caudal mínimo para que el calentador se encienda corresponde aproximadamente a 0.045 l/s.

Ilustración 19 Grafica del calentador



(Fuente: Elaboración propia)

## **10.2. IMPLEMENTACIÓN EN DISEÑO EN REDES DE AGUA FRÍA Y CALIENTE**

En busca de implementar los resultados de la investigación se realiza el diseño de redes de distribución de agua potable y ruta crítica para tres apartamentos diferentes elegidos aleatoriamente del diseño de una edificación del arquitecto Yesid Baudilio, en los cuales se propone el uso de un calentador de paso eléctrico ubicado en la cocina, para esto se tiene en cuenta los datos de pérdidas, caudales y temperaturas obtenidos anteriormente, de igual manera se realiza el diseño y cálculo de las redes hasta el punto de suministro de agua potable a cada apartamento sin tener en cuenta la flauta de medición, el procedimiento se realiza con el fin de comparar los resultados de presiones, diámetros y caudales y de esta manera evaluar si es realmente importante realizar el diseño de redes a partir de la tubería de agua caliente.

El método utilizado para realizar el diseño de redes es el de la ruta crítica, que es uno de los más usados en el diseño de redes en Colombia, tiene resultados acertados y gran aceptación entre los profesionales especializados en el tema, dicha metodología plantea procedimientos, parámetros y valores de entrada dependiendo las condiciones requeridas por cada diseño.

Al realizar el trazado de las rutas se tiene en cuenta el elemento más lejano y con mayor requerimiento de presión, por otro lado, es importante mencionar que para la determinación de caudales se hace uso de las unidades de Hunter asignadas a cada tipo de aparato.

El cálculo y diseño se realiza haciendo uso de las tablas de Flamant para el material PVC (Anexo 5) y los diámetros respectivos, así como se hace uso de las tablas de longitudes equivalentes tomadas del libro Instalaciones hidrosanitarias y de aprovechamiento de aguas lluvias en edificaciones, del ingeniero Rafael Pérez, para accesorios que determinan las pérdidas en accesorios, por otro lado, es importante mencionar que el trazado de las rutas de agua fría y caliente de cada apartamento es el mismo y lo que varía es la ruta desde la cual se analiza la tubería.

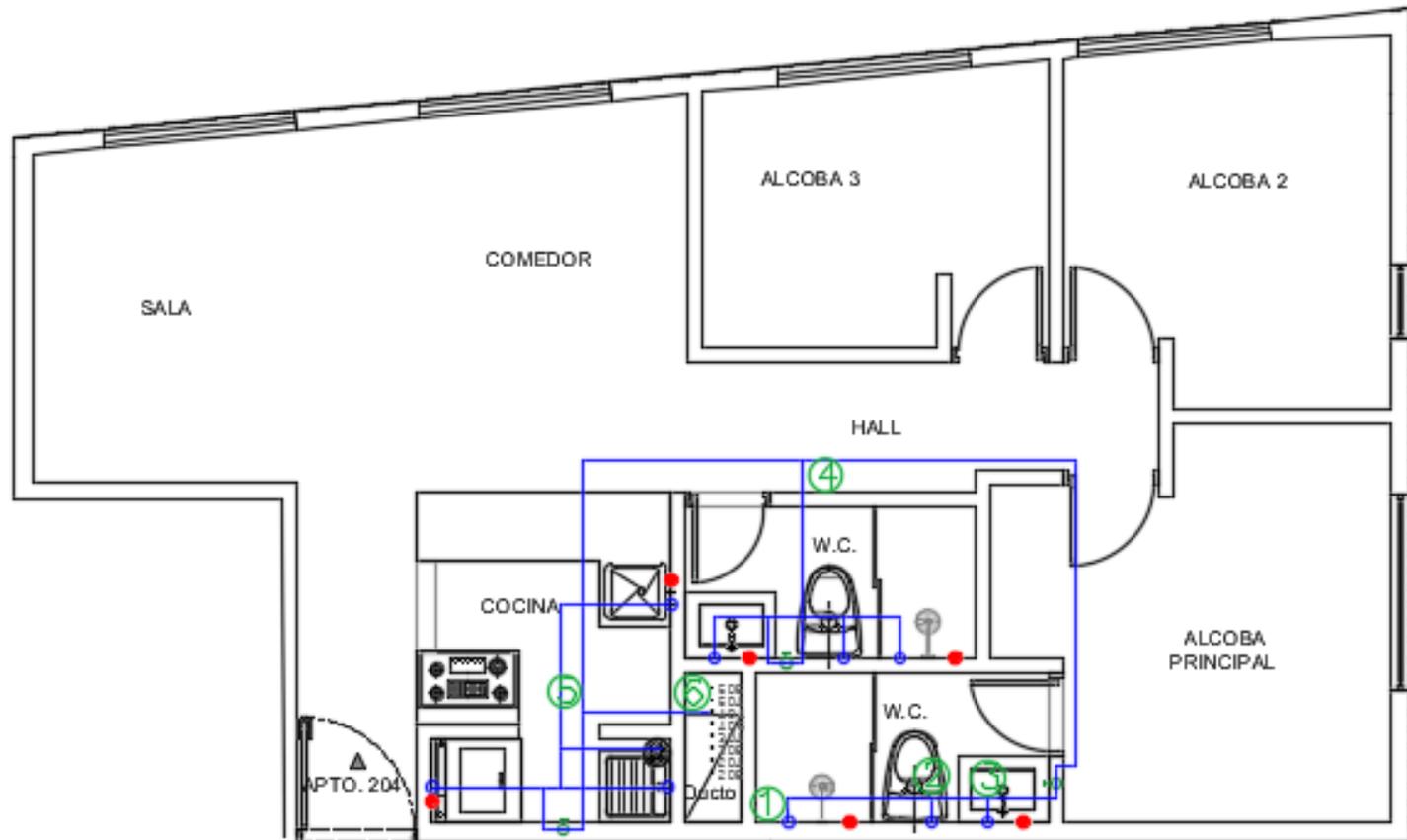
Se presenta el trazado para agua fría contemplando el calentador y una unidad de hunter en todos los apartamentos, por otro lado para el diseño de redes de agua caliente se presenta el trazado de agua fría y agua caliente, para tener en cuenta los aparatos que son alimentados por la tubería de entrada, de este modo la ruta crítica a seguir en este caso es evaluar desde el elemento más crítico de agua caliente, pasar por el calentador, evaluar simultaneidad y finalmente continuar la ruta crítica sumando todos los elementos alimentados por agua fría hasta la entrada del apartamento.

Se resalta que para el calentador se hace uso de los coeficientes de simultaneidad del libro del ingeniero Rafael Pérez (Anexo 5), debido a que es poco probable que todas las salidas de aparatos sanitarios estén en uso de manera simultánea, asimismo, se hace una reducción al 50% de la pérdida del calentador, debido a que el caudal que este maneja aun teniendo en cuenta la simultaneidad, es menor, ya que en el uso de agua caliente se alterna su uso y alimentación con agua fría mediante mezcladores.

Tras realizar los trazados se obtiene:

Apartamento 1: Red agua fría

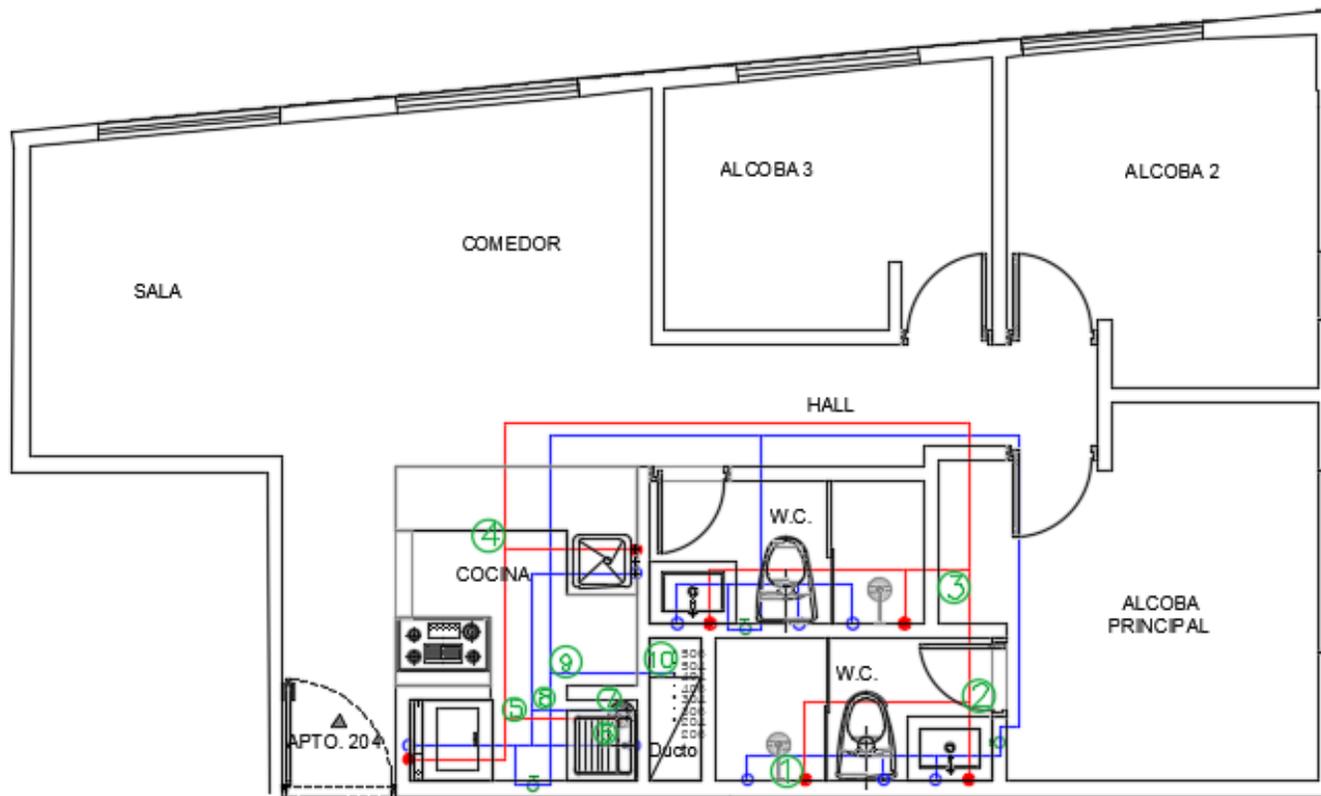
Ilustración 20 Red de distribución agua fría apto 1.



(Elaboración: Yesid Baudilio, Adaptación propia)

- Red agua caliente

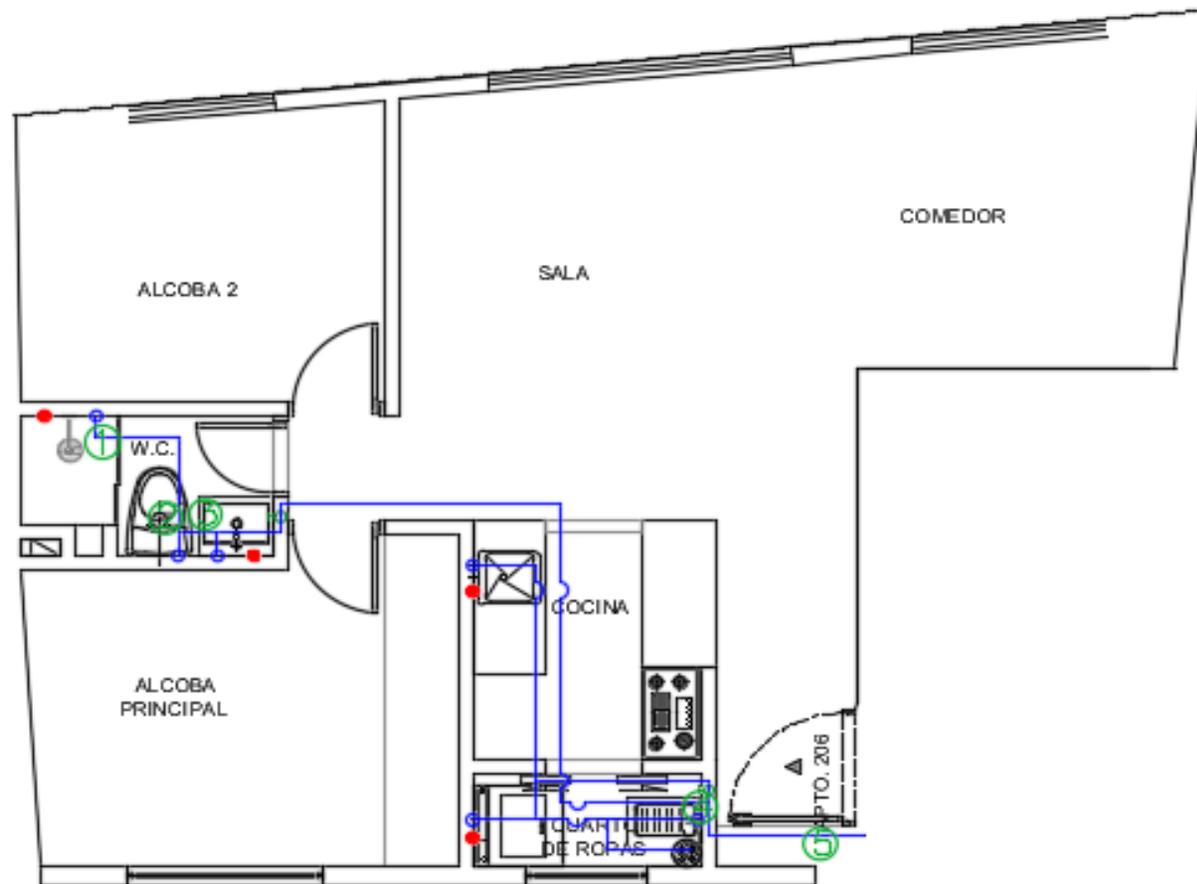
- Ilustración 21 Red de distribución agua caliente apto 1.



(Elaboración: Yesid Baudilio, Adaptación propia)

Apartamento 2: Red agua fría

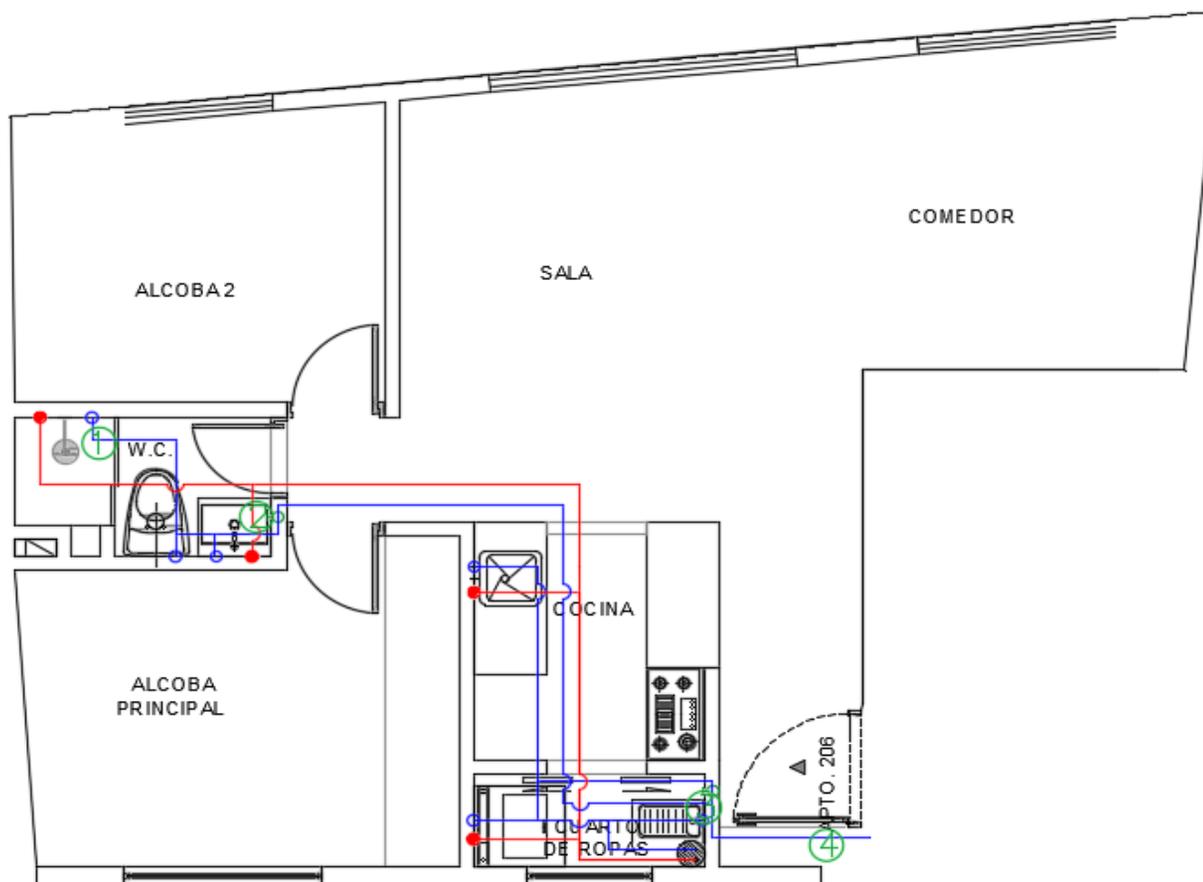
Ilustración 22 Red de distribución agua fría apto 2.



(Elaboración: Yesid Baudilio, Adaptación propia)

- Red agua caliente

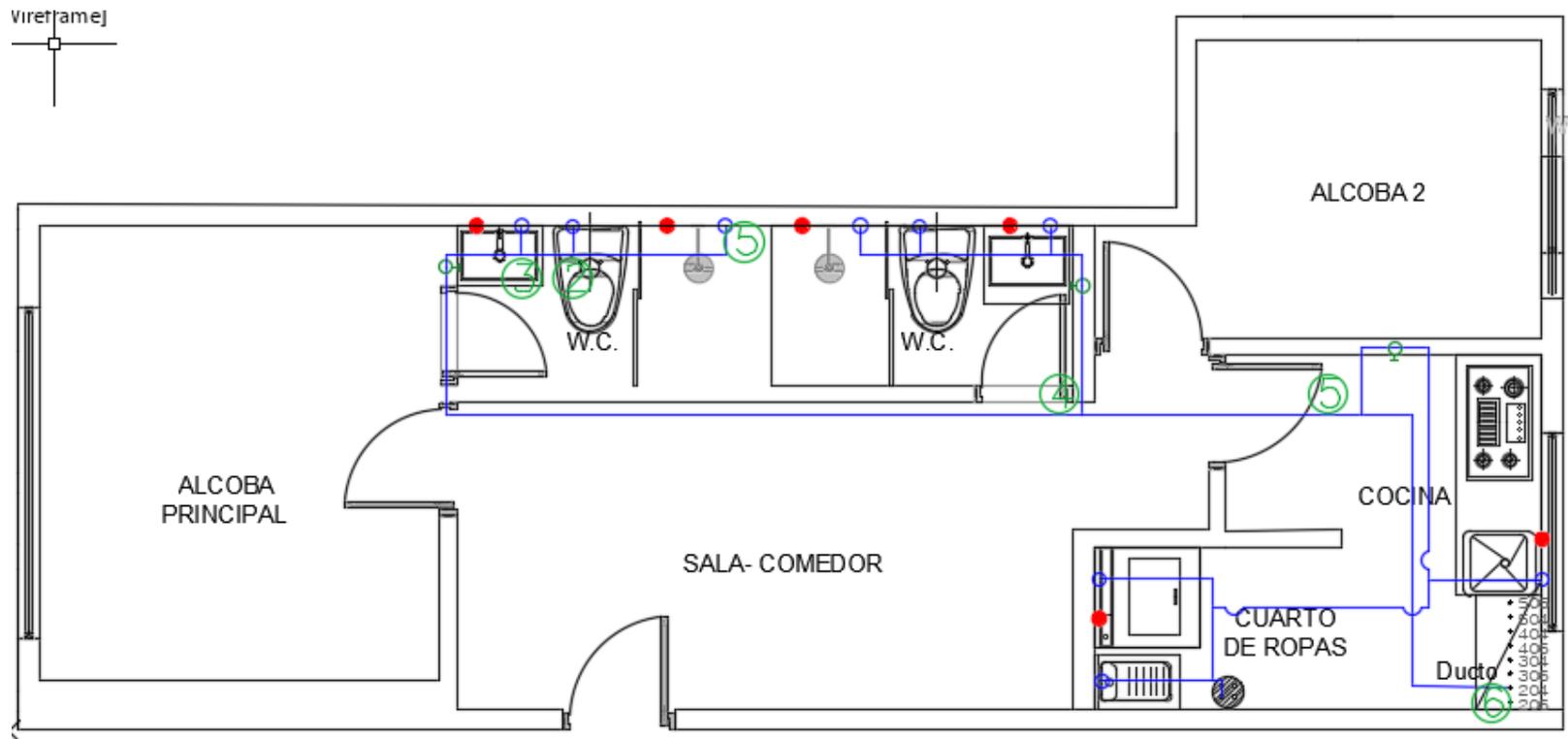
Ilustración 23 Red de distribución agua caliente apto 2.



(Elaboración: Yesid Baudilio, Adaptación propia)

### Apartamento 3: Red agua fría

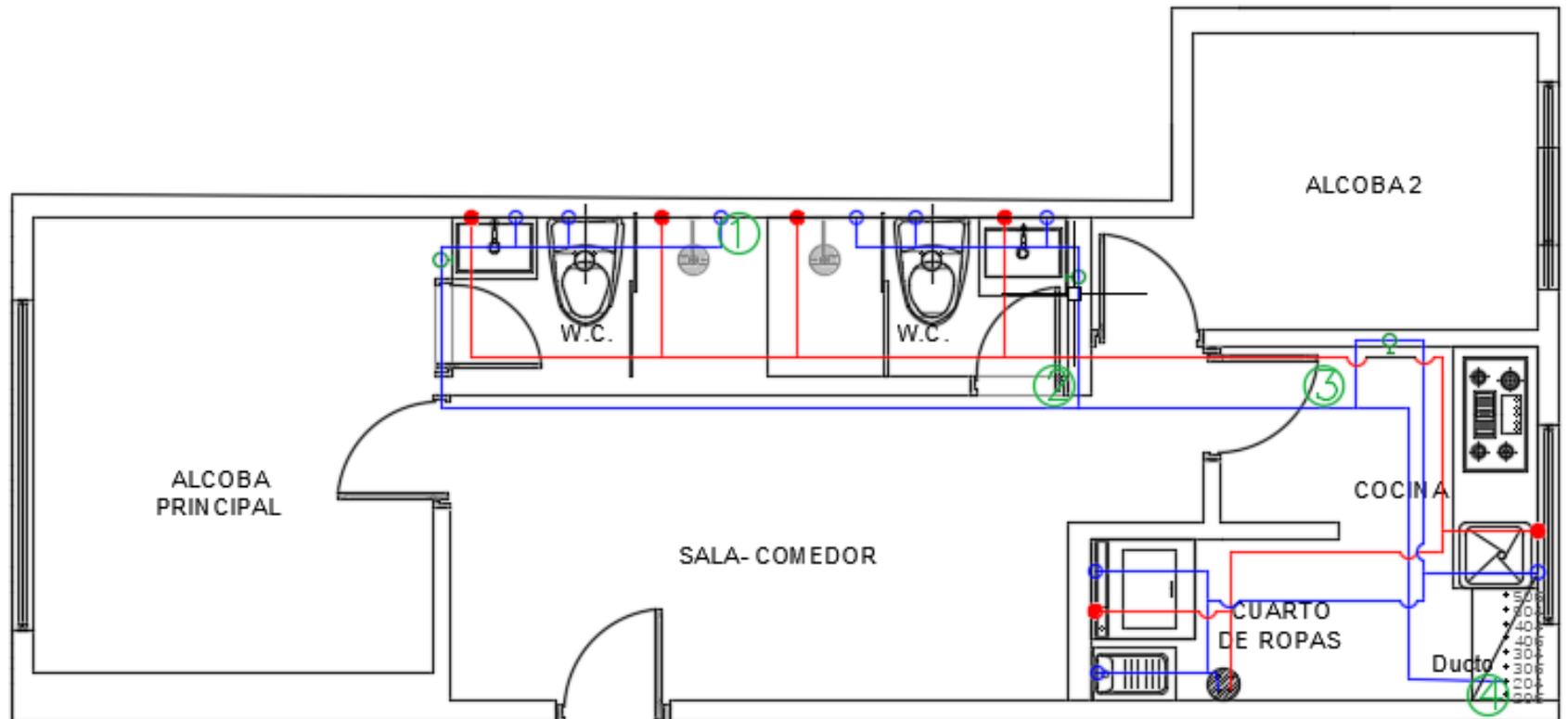
Ilustración 24 Red de distribución agua fría apto 3.



(Elaboración: Yesid Baudilio, Adaptación propia)

- Red agua caliente

Ilustración 25 Red de distribución agua caliente apto 3.



(Elaboración: Yesid Baudilio, Adaptación propia)

Tras realizar el diseño de diámetros, accesorios y materiales se obtiene la Tabla 8 que muestra los resultados para agua fría y agua caliente de cada apartamento, las memorias de cálculo de la ruta crítica se encuentran en el anexo 4

*Tabla 8: Resultados implementación en diseño.*

<b>Apartamento</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Presión agua fría (mca)	21.192	19	20.805
presión agua caliente (mca)	26.777	25.924	31.368
Diámetro agua fría	3/4"	3/4"	3/4"
Diámetro agua caliente	3/4"	1"	1"

*(fuente: elaboración propia)*

El resultado arrojado demuestra que el hecho de generar diseños a partir de la red de agua caliente requiere generar aumentos importantes en la presión de servicio requerida, por lo que al implementar el diseño deben entrar a evaluarse factores como lo son la simultaneidad del uso de los aparatos, trazados, independización de cuartos mediante válvulas según su uso, entre otros aspectos.

Las pérdidas del sistema se dan por pérdidas menores de accesorios como la resistencia en espiral, el filtro, pérdidas por fricción en la tubería, por otro lado, se deben tener en cuenta, los aspectos netamente físicos que generan disminución de la presión del fluido debido a factores como la variación de la viscosidad.

Como se venía mencionando hay que tener en cuenta que se analizan los tramos de tubería enmarcados en los trazos, y debido a la forma de realizar la ruta crítica para agua fría y caliente, existe una diferencia entre la forma de hacerlas, ya que, para el diseño de red de agua fría la distribución está agrupada e independizada mediante el uso de válvulas representadas de color verde en la entrada de agua de cada habitación, mucha veces generalizándose el cuarto con determinada cantidad de unidades de hunter que generan disminución de caudal, mientras que para la red de agua caliente se genera un trazo con derivaciones directas de la red principal para todo el apartamento sin importar el uso que se le vaya a dar.

Por otro lado, se resalta que el aumento en presiones de servicio se da debido a que en el diseño de la red de agua fría solamente se toma una unidad de hunter para el calentador, mientras que para el diseño de red de agua caliente se toman las unidades reales y se les da una reducción por simultaneidad, de este modo el diseño se podría implementar tras investigar y evaluar el consumo de caudal de cada unidad sanitaria de agua caliente.

Con base a la información obtenida se presentan aumentos de presiones, y diámetros que podrían generar un mejor comportamiento para las redes de agua caliente, se debe tener en cuenta que estos resultados corresponden al uso de un calentador de paso eléctrico y que queda abierta la investigación a realizar evaluación de costos, procesos constructivos y rendimiento en un montaje que simule el comportamiento real, para de este modo comparar los diseños convencionales, además evaluando inconvenientes como la falta de presión o elevadas temperaturas en montajes reales partiendo de la premisa de que no tiene un caudal ni presión suficiente para vencer las pérdidas generadas.

Con los resultados obtenidos es viable implementar el diseño de redes a partir de la red de agua caliente, ya que presenta mejores presiones de servicio y confort en la obtención de agua caliente, de este modo se tendría una tubería diseñada para cumplir y dar mejores resultados, teniendo en cuenta que para la implementación de esta alternativa de diseño es importante evaluar el concepto técnico emitido por esta investigación, pero es importante ampliar el rango de estudio de la investigación en cuanto a analizar valores de presión y caudal mayores, así como implementar en el estudio de los casos los costos de la implementación, estudio de temperaturas de servicio, entre otros aspectos, siendo importante pruebas implementadas en la vida real y comparando los resultados obtenidos.

## 11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se realiza el montaje y prácticas de laboratorio en donde se entra a estudiar la presión temperatura y caudal del fluido, adaptándolo a las condiciones necesarias, se obtienen resultados que demuestran que es importante tener en cuenta el calentador y sus propiedades en el momento de realizar cualquier tipo de diseño de redes.

En primera instancia mediante el presente proyecto de grado se logra caracterizar las propiedades importantes para diseño de redes del calentador, correspondientes a las pérdidas generadas por el sistema para diferentes caudales y la temperatura, de este modo fue posible generar modelos matemáticos acertados que comprenden el rango de valores estudiados y dan valores acertados al formular las ecuaciones, asimismo, mediante las gráficas generadas es posible generar una ayuda al momento de comprender el calentador y su funcionamiento.

En cuanto a las presiones mínimas del calentador fue posible evaluar la presión de encendido y apagado del calentador quedando claro que tiene una presión mínima menor a la propuesta por el fabricante y que para las condiciones de apagado la presión mínima puede llegar a disminuir, al comparar dichos resultados es bueno decir que el fabricante maneja un factor de seguridad para el correcto funcionamiento de sus equipos, así como del cuidado de los mismo, ya que aunque el calentador funciona a presiones mínimas que las que indica el manual, debe cumplir con condiciones que ayuden a su durabilidad. Por otro lado, queda planteado conocer la presión máxima permitida en el calentador y que temperaturas se obtendrían para esta, resultado que no fue posible corroborar debido a condiciones de adecuación de las instalaciones del laboratorio y a que esto implica el uso de artefactos como bombas o presurizadores, siendo una parte del objetivo de estudio que quedaría inconclusa y abierta a continuar la investigación, para esto se recomendaría, implementar equipos de presión y medir los resultados en comparación de los del fabricante, aunque se presume que así como para los demás resultados, la presión de servicio máxima generada tiene factores de seguridad y seguramente la real sería mayor a la teórica.

Teniendo en cuenta la comparación con datos del fabricante, al comparar las temperaturas máxima real y teórica obtenidas se observa que estas son muy similares aunque la real es mayor, esto se puede llegar a dar por las condiciones de temperatura del agua en la entrada, ya que el suministro no llega a la misma temperatura en todos los lugares, también se podría influir que existe un factor de seguridad en donde el fabricante sabe que puede dar más temperatura, pero se pone un límite para que el

consumidor sepa un límite comprobado hay que tener en cuenta que las pruebas se deben replicar evaluando factores como la implementación de un montaje que simule condiciones reales de uso, para comparar resultados.

El resultado obtenido tras la medición de parámetros de diseño de redes como lo son temperatura y pérdidas, son curvas y ecuaciones características del calentador, que permiten predecir el comportamiento para un caudal que se encuentre entre el rango de acción del calentador. Haciendo la salvedad de que, dadas las condiciones del laboratorio y la existencia de una presión mínima, se generan curvas y ecuaciones que son muy acertadas y certeras para la predicción de datos entre un rango aproximado de 0 a 0.15 l/s, rango que al evaluar es un valor muy bajo para realizar los diseños.

Se recomienda corroborar la investigación con un rango más elevado de caudales que se aproxime al real requerido para el diseño de redes de un apartamento según los requerimientos, asimismo se propone que se haga la evaluación de ruta crítica ubicando el calentador en posiciones estratégicas.

Finalmente, el resultado al que se propone llegar en los objetivos es una gráfica que relaciona los tres parámetros y que indica valores de pérdidas y temperatura de manera fácil y acertada para cualquier tipo de caudal entre el rango, asimismo en la gráfica se indican valores caudal para los cuales el calentador no se encuentra en funcionamiento, la gráfica que se entrega es legible y tiene un manual que indica el correcto uso de la misma, permitiendo caracterizar el calentador y ubicar la gráfica cerca al equipo para entenderlo al momento de ser usado.

Al momento de implementar el resultado en diseño de redes, se concluye y recomienda reevaluar parámetros como el trazado de la ruta crítica para tuberías de agua caliente, así como el uso de unidades de Hunter, que además de esto generen presiones de servicio, teniendo en cuenta la simultaneidad en el uso de aparatos, se recomienda hacer el uso de coeficientes de simultaneidad, para de este modo evitar el sobredimensionamiento de redes.

Se recomienda la investigación e implementación de estudio de pérdida en tuberías de agua caliente para comparar con datos suministrados por fabricantes, teniendo en cuenta que el montaje de la tubería de agua caliente debe simular condiciones reales de funcionamiento y cumplir con el uso de accesorios y longitudes que permitan obtener resultados fiables.

En conclusión el trabajo realizado fue satisfactorio, cumple con los parámetros establecidos de trabajo, medición y evaluación, así como los alcances a los que se llegó con el mismo satisfacen los objetivos propuestos y abren la posibilidad de continuar con la investigación e implementarla

propuestas de diseño de redes, teniendo en cuenta evaluar para próximas ocasiones rangos diferentes para presiones y caudales de entrada, asimismo evaluar factores como temperaturas de servicios requeridas y temperaturas entregadas por el equipo. Por otro lado, estudiar el comportamiento general en cuanto al enfriamiento del agua en las tuberías y la temperatura normal de uso para cada tipo de aparato y finalmente implementar dichos aspectos en la evaluación de resultados en diferentes tipos de arquitectura y variar las rutas críticas.

## 12. BIBLIOGRAFIA

- ❖ MEJÍA, M.E., 2018. Trabajo y Energía. *Análisis estructural básico*, pp. 59-68. DOI 10.2307/j.ctv8j5qj.6.
- ❖ GAS, S.Y.D.E., CALENTAR, P., EN, A. y VIVIENDA, U.N.A., 2010. T e s i s . ,
- ❖ ALVARDO FERNANDA, N., 2015. Universidad de cuenca. *El Escorial*, pp. 34,56. ISSN 2173-8246.
- ❖ RICA, U.D.E.C., 2016. SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO “PROPUESTA DE SISTEMA DE BALANCED SCORECARD PARA LA COMPAÑÍA THERMOSOLUTIONS GROUP” Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado para optar al grado y título de Maestría Profesional en Administración y Dirección de Empresas con Énfasis en Gerencia. ,
- ❖ LI, B., WANG, F. y TSUKIHASHI, F., 2012. Current , Magnetic Field and Joule Heating in Electroslag Remelting Processes. , vol. 52, no. 7, pp. 1289–1295.
- ❖ GUILLÉN, F. y ESPINOZA, C., 2014. INGENIERO MECÁNICO P R E S E N T A N : Índice. , pp. 1-71.
- ❖ SEVERNS, W.H., 1961. *La producción de energ{\'i}a mediante el vapor de agua, el aire y los gases* [en línea]. S.l.: Reverté. Publicaciones Cient{\'i}ficas y de Tecnología{\'}r Aplicada. ISBN 9788429148909. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=gWAV5XxMgkIC>.
- ❖ RIAÑO, J.M., 2018. La energía. *Eso* [en línea], pp. 2–19. Disponible en: [http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales\\_didacticos/energia/aulaenergia.pdf](http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales_didacticos/energia/aulaenergia.pdf).
- ❖ ANTONIO, M., SANCHEZ, C., ALBERTO, Z., MATEOS, R., MTRO, A., ESTEBAN, J. y BONILLA, B., 2014. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO DISEÑO DE UN CALENTADOR SOLAR DE PLACA DE MECÁNICO P R E S E N T A N : Ciudad Universitaria , México 2014 Contenido. [en línea], pp. 107. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3062/Tesis.pdf?sequence=1>.
- ❖ ABONZA ALVAREZ, M.G., ESPINO MINERO, X., GONZALEZ GONZALEZ, F., POSIBLE VILLA, S. y RAMIREZ LOPEZ, E., 2017. Instituto politécnico nacional. [en línea], pp. 85. ISSN 1740-8261. DOI dfgdfg. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/24712>.
- ❖ MORAN, M.J., SHAPIRO, H.N., BOETTNER, D.D. y BAILEY, M.B., 2010. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics* [en línea]. S.l.: Wiley. ISBN 9780470495902. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=oyt8iW6B4aUC>.
- ❖ SETRAK, D. y PRADO, R.T.A., 2008. Assessment of energy efficiency in electric storage water heaters. , vol. 40, pp. 2128–2132. DOI 10.1016/j.enbuild.2008.06.007.
- ❖ VAXA SOFTWARE, [sin fecha]. Densidad del agua líquida. [en línea], vol. 0, pp. 961. Disponible en: [http://www.vaxasoftware.com/doc\\_edu/qui/denh2o.pdf](http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/qui/denh2o.pdf) .
- ❖ UHI, F.J. y SIERES, J., 2007. Experimental analysis of a domestic electric hot water storage tank . Part II : dynamic mode of operation. , vol. 27, pp. 137–144. DOI 10.1016/j.applthermaleng.2006.05.004.

- ❖ TERÁN GORDILLO, F, I., 2016. Diseño de planta para la producción de calentadores eléctricos instantáneos, UDLA, pp. 77, Disponible en: <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/4758/1/UDLA-EC-TIPI-2016-01.pdf>
- ❖ MORAN, M.J., SHAPIRO, H.N., BOETTNER, D.D. y BAILEY, M.B., 2010. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics* [en línea]. S.l.: Wiley. ISBN 9780470495902. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=oyt8iW6B4aUC>.
- ❖ GONZ, A., 2015. El concepto “energía ” en la enseñanza de las ciencias Introducción. , no. September.
- ❖ IGNACIO MARTIN BRAGADO, 1999. Fisica-General. , vol. 2, pp. 199.
- ❖ RIAÑO, J.M., 2018. La energía. *Eso* [en línea], pp. 2-19. Disponible en: [http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales\\_didacticos/energia/aulaenergia.pdf](http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales_didacticos/energia/aulaenergia.pdf).
- ❖ MARTINEZ, V., 2013. No Title. [en línea]. Disponible en: SETRAK, D. y PRADO, R.T.A., 2008. Assessment of energy efficiency in electric storage water heaters. , vol. 40, pp. 2128–2132. DOI 10.1016/j.enbuild.2008.06.007. .
- ❖ UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA, BIBLIOTECA U CATOLICA, [En línea]. Bogotá 31 de marzo de 2019 <https://biblioteca.ucatolica.edu.co/cgi-bin/pages.pl?p=directrices>
- ❖ Características Técnicas ( Tabla 2 ) Regulación Modelo de potencia fusible Diametro de Limpieza y Mantenimiento Ducha. , [sin fecha]. pp. 3.
- ❖ PEREZ, R, 2019, Instalaciones hidrosanitarias, de gas y de aprovechamiento de aguas lluvias en edificaciones, edición 8.

Anexo 1: Especificaciones técnicas del calentador BOSH Tonic 3000

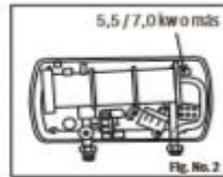
**Informaciones Generales**

- Este equipo debe ser instalado por un profesional calificado.
- Recomendamos la instalación de un dispositivo breaker en el cuadro eléctrico antes de la instalación del aparato.
- La instalación hidráulica debe ser hecha antes de la instalación eléctrica. Después que la instalación hidráulica esté completa, verificar que no existan escapes.
- El aparato necesita de una presión mínima de agua igual a 25 kPa (3,63 PSI). El aparato debe ser instalado solamente en la posición vertical. La alimentación de agua fría se localiza en el lado inferior izquierdo.
- Verificar que la energía eléctrica del producto adquirido corresponde a la energía eléctrica local.
- Limpie periódicamente la salida de la caída de agua para evitar depósitos de magnesio.
- Se debe utilizar solamente los accesorios adjuntos con el aparato.
- La instalación debe ser hecha con la alimentación eléctrica del local desconectada.
- El aparato está equipado con resistencia blindada que debido a su encendido acciona calor después de haber sido cerrado el registro y el aparato desconectado. Así, las primeras caídas de agua podrán estar a una temperatura arriba de la adecuada para su utilización, puede causar quemaduras. Por lo tanto, deje pasar un poco de agua antes de utilizar.
- Este aparato puede calentar el agua a una temperatura arriba de la adecuada a su utilización pudiendo causar quemaduras. Los niños y las personas mayores, enfermas, físicas o mentalmente debilitadas deben ser vigiladas para la utilización del aparato. Antes y mientras su utilización se debe tomar precauciones especiales para regular adecuadamente la temperatura del agua.

**Instalación**

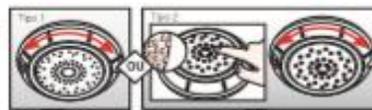
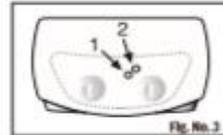
**Importante! Para evitar riesgo de choque eléctrico, conecte el cable polo a tierra del aparato.**

- El aparato debe ser instalado aproximadamente 2 metros del suelo. Utilice la plantilla de instalación, fije el aparato con los elementos de fijación adjuntos.
- Retire la tapa del aparato. (Fig. 1)
- Conecte la alimentación de agua fría en la entrada del aparato utilizando las guarniciones adecuadas. (Fig. 1a)
- Conecte la manguera de salida de agua caliente a la ducha. En la unión de salida no debe haber válvulas o registros (Fig. 1a, 1b)
- Después que la instalación esté completa, verifique si no hay escapes.
- Después de realizada la instalación hidráulica, conecte el cable eléctrico al bloque de terminales incluyendo el cable polo tierra.
- El calentador eléctrico de paso debe tener una conexión independiente en el cuadro eléctrico (ver tabla 2)
- El aparato debe ser conectado a la alimentación eléctrica por medio de una protección contra sobretensiones con 2 polos (para equipos monofásicos) y protección de polos múltiples (para aparatos con más fases).
- El interruptor de corriente eléctrica debe quedar separado del equipo.
- Conectar el cable de alimentación al bloque de terminales en el interior del equipo. El cable rojo/naranja debe conectarse al terminal "L", el cable azul/verde al terminal "N" y el cable amarillo/verde al terminal "E".
- Regule los botones y cerrar la tapa con 4 tornillos. Ver la tabla de montaje (Fig. 1). La tapa debe estar bien conectada.
- La instalación debe ser hecha con la alimentación eléctrica del local desconectada. La salida de agua empotrada en la pared debe ser de 1".
- La presión estática máxima de instalación no debe pasar 400 KPa (58,02 PSI)
- Antes de empezar la instalación desconecte la llave general o el breaker del circuito eléctrico que alimenta el aparato.
- No utilice ningún tipo de terna para instalar el aparato.
- Para distancias arriba de 30 metros, utilice cables eléctricos de calibre mayor al recomendado.



**Utilización**

- Gire lentamente el regulador de temperatura hasta que se encienda el LED indicador. Aguarde de 15 a 20 segundos hasta empezar a salir agua caliente (el equipo tiene válvula integrada, dispensando válvula exterior). Para agua más fría, aumente gradualmente el flujo de agua hasta obtener la temperatura deseada. Para aumentar la temperatura de agua, reduzca el flujo.
- Selector en la posición 0 - desconectado (LED desconectado)  
Selector en la posición 1 - agua fría (LED 1 prendido)  
Selector en la posición 2 - caliente (LED 2 prendido)
- El equipo se prende automáticamente al abrirse la válvula de agua y se desconecta cuando se cierra el suministro de agua.
- Para conseguir un mayor confort se recomienda utilizar las 4 posiciones de caída de agua obteniendo de esta forma flujo y temperatura deseada.



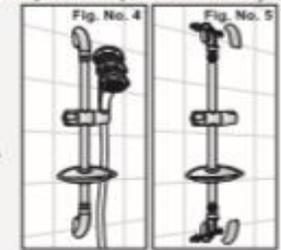
Limpie periódicamente la salida de la presión del agua para evitar depósitos de residuos

**Limpieza y Mantenimiento**

- Antes de empezar la limpieza del producto, desconecte la llave general o el breaker del circuito que alimenta el aparato. Utilice solamente paño húmedo para la limpieza superficial del aparato.
- Para limpieza de la ducha, desaprételo y quite el cuerpo.
- Utilice un cepillo para quitar la escama.
- Certifique de la limpieza total, pues de esta forma estará garantizando un baño más agradable.

**Para modelos con soporte deslizable**

- El soporte de la ducha (Fig. 4) puede ser posicionado en la barra vertical a la altura preferida, estando para eso el mango en el sentido horario y apretar. El ángulo es regulado deslizando el mango en el respectivo soporte.
- Al elegir la posición de la barra, (Fig. 5) debe considerarse la altura de la persona que usará que utilizará la ducha.
  - Mover el carrer en la barra.
  - Mover las extremidades en la barra. La extremidad de la barra deberá encajar en el rizo existente en la extremidad inferior de la barra.
  - Colocar el conjunto de la barra en la pared a la altura deseada y marcar los centros de los agujeros de fijación a través de los agujeros en las extremidades de la barra.
  - Abrir los agujeros en la pared con broca de fierro para concreto e introducir los chavos adjuntos.
  - Fijar a la pared con los tornillos en aluminio y fijar las tapas de las extremidades del soporte.
  - Encargar la joberna en el soporte.
  - Después de completar la instalación, la perla soporte puede ser conectado a la manguera y puede ser colocada en el respectivo soporte fijo para utilizar. Es la unión clásica de la manguera que encaja en el soporte.



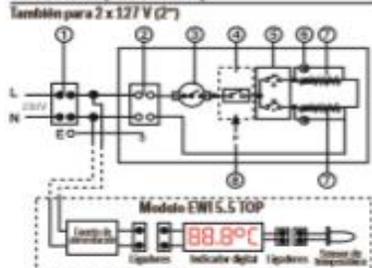
**Características Técnicas (Tabla 2)**

Modelo	Regulación de potencia	kW		Diámetro de cable	Valor del fusible
		220v	230v		
EWI - 7.7 / 220V	3.3-4.4 ou 7.7 kW	7.7	8.4	≥6mm²	40A
		115v	127v		
EWI - 5.5 / 110V	2.5; 3.0 ou 5.5 kW	4.5	5.5	≥10.0mm²	4.3A

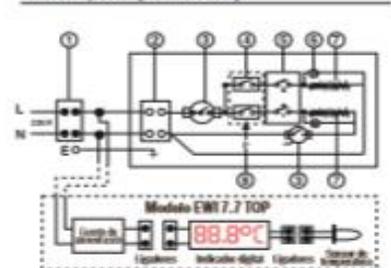
\*Presión de agua de servicio: 20 – 400 KPa (2.9 – 58.02 PSI) • Interruptor de corriente controlado por la presión de agua  
 • Unión de entrada comprimida normalizada 1/2" • Entrada superior izquierda y derecha para el cable • Entrada de agua en bajo a la izquierda • Fijaciones e instrucciones adjuntas

**DIMENSIONES DEL APARATO: ALTO 185 mm, LARGO 300 mm, PROFUNDIDAD 110 mm**

**Hasta 6 kW (monofásico)**



**7 kW a 9,5 kW (monofásico)**

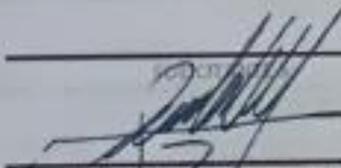


- Interruptor multipolar
- Bloque de terminales
- Termostato
- Micro-Interruptor
- Interruptores
- LED
- Termo elementos
- Interruptor de presión

**Tabla de resolución de problemas**

En el cuadro siguiente son descritas las soluciones para posibles problemas. Las soluciones sugeridas de "solo deberían ser efectuadas por personal técnico calificado."

Problemas	Solución Posible
El agua está demasiado fría o demasiado caliente	Regular caudal de agua y potencia del aparato
Aunque hay agua y está conectado, el aparato no calienta el agua.	Verificar la alimentación eléctrica o desconectar el termostato de seguridad y verificar estrangulamientos de agua a la salida o sus micro-interruptores.
El LED no indica la temperatura correcta.	Verificar la sonda de temperatura*
Sale agua por la manguera de purga	He-actuar válvula de sobre presión*
El LED no da información	Verificar conexiones y LED*

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIOS	<b>FORMATO DE SOLICITUD Y PROGRAMACIÓN DE TIEMPO DE LABORATORIO DEDICADO A PRÁCTICA NO ASISTIDA (LIBRE)</b>	F 003 LI 100 02						
NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO: <i>Trabajo de Grado: Caracterización y análisis de Fenómenos Hidráulicos en un Colelector de paso eléctrico</i>								
IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:								
CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS	E-MAIL @ucatelica.edu.co	TELÉFONO					
506164	Sebastian Parada Celis	sparada64@ucatelica.edu.co	3198603109					
PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDAD(ES) POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:								
ID	HORARIO IDEAL			HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO <sup>(1)</sup> (A-B-C-D-E)	ENSAYOS <sup>(2)</sup> A REALIZAR EN CADA LAPSO
	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO <sup>(3)</sup> (HH:MM)	HORA FIN <sup>(3)</sup> (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO <sup>(3)</sup> (HH:MM)	HORA FIN <sup>(3)</sup> (HH:MM)		
1	05/08/2019	20:00	22:00				E	Realización Montaje
2	09/08/2019	18:00	20:00	09/08/2019	20:00	22:00	E	Realización Montaje
3	12/08/2019	20:00	22:00	1			E	Prueba Presión vs tiempo
4	15/08/2019	20:00	22:00				E	Prueba Presión vs tiempo
5	16/08/2019	18:00	20:00	16/08/2019	20:00	22:00	F	Prueba Pérdidas
MATERIALES /EQUIPOS/ INSTRUMENTOS A USAR	UND	CANT	A CARGO:					
			LAB	USU				
Colelector de Paso BOSH	1			X				
Termocupla	1			X				
Manómetro	1			X				
Valvula	1			X				
Tuberia				X				
 _____ SOLICITANTE 1	_____ SOLICITANTE 2	_____ SOLICITANTE 3						
_____ SOLICITANTE 4	 _____ DOCENTE / AUTOR ENCARGADO	_____ COORDINADOR DE LABORATORIOS						

NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO: *Trabajo de Grado*  
*Caracterización y análisis de fenómenos hidráulicos en un calentador de paso eléctrico*

IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:

CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS	E-MAIL @ucatolica.edu.co	TELÉFONO
506164	Sebastian Parada Celis	sparada64@ucatolica.edu.co	5188603109

PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDAD(ES) POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:

ID	HORARIO IDEAL			HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO <sup>(1)</sup> (A-B-C-D-E)	ENSAYES <sup>(2)</sup> A REALIZAR EN CADA LAPSO
	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO <sup>(1)</sup> (HH:MM)	HORA FIN <sup>(1)</sup> (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO <sup>(1)</sup> (HH:MM)	HORA FIN <sup>(1)</sup> (HH:MM)		
1	05/08/2019	20:00	22:00				E	Realización Montaje
2	09/08/2019	19:00	20:00	09/08/2019	20:00	22:00	E	Realización Montaje
3	12/08/2019	20:00	22:00	1			E	Prueba Presión vs Temp
4	13/08/2019	20:00	22:00				E	Prueba Presión vs Temp
5	16/08/2019	18:00	20:00	16/08/2019	20:00	22:00	E	Prueba Pérdidas

(1) Cada lapso solicitado será máximo de 2 HORAS por día. Por favor, asistir con puntualidad para mayor optimización del tiempo.

(2) A) Mecánica de suelos. B) Concreto. C) Mecánica de Sólidos. D) Análisis de agua. E) Hidráulica

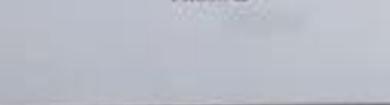
MATERIALES /EQUIPOS/ INSUMOS A USAR	UND	CANT	A CARGO:	
			LAB	USU
Calentador de Paso BOSCH	1			X
Termocupla	1			X
Manómetro	1			X
Valvulas	1			X
Tuberia				X

OBSERVACIONES
la solicitud corresponde a la realización del montaje y la instalación del mismo en el laboratorio para posteriores pruebas

Entiendo que debo diligenciar completamente esta solicitud y que su aprobación me obliga a cumplir a cabalidad con el "Reglamento de los laboratorios" de la FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA y a acatar las órdenes que se impartan por parte del personal docente y administrativo. Los elementos de protección personal serán de mi propiedad. También me comprometo con el uso eficiente del horario asignado: asistir, informar la no asistencia (por lo menos con un día hábil de anticipación).

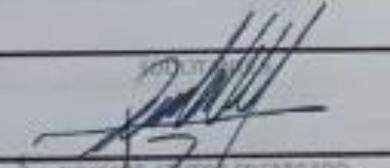
FIRMAS

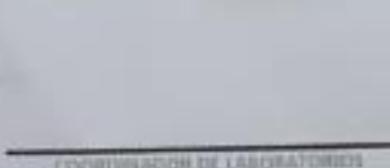
  
SOLICITANTE 1

  
SOLICITANTE 2

  
SOLICITANTE 3

  
SOLICITANTE 4

  
DOCENTE / JEFE ENCARGADO

  
COORDINADOR DE LABORATORIOS

Recuerde enviar la imagen del formulario totalmente diligenciado a labucyl@ucatolica.edu.co

**Anexo 3:** Datos encontrados en laboratorio (tablas completas).

Pe (mca)	Pa (psi)	Pa (mca)	Pérdida calentador (mca)	Pb(psi)	Pb (mca)	Pérdida Tubería (mca)	t (s)	t(°C)	Q(L/s)
12.68	18	12.68	0.00		12.68	0.00	0.00	17.8	0.000
	17.5	12.33	0.35		10.18	2.15	111.24	17.8	0.009
							112.76		
							110.99		
							114.23		
							112.65		
	17	11.98	0.70		9.79	2.18	51.05	17.8	0.020
							50.33		
							50.62		
							49.86		
							49.88		
	16.5	11.63	1.06		8.53	3.10	43.54	17.8	0.023
							42.85		
							43.79		
							42.90		
							43.14		
	16	11.27	1.41		0.00	11.27	28.21	17.8	0.034
							29.23		
							30.90		
							28.13		
							29.10		
	15.5	10.92	1.76		0.00	10.92	23.61	17.8	0.041
							24.55		
							25.71		
							24.64		
							24.63		
	15	10.57	2.11		0.00	10.57	22.23	17.8	0.045
							22.58		
21.99									

							22.06			
							22.21			
	14.5	10.22	2.47			0.00	10.22	19.06	17.8	0.050
								20.31		
								20.11		
								21.01		
								20.10		
	14	9.86	2.82			0.00	9.86	15.63	48.17	0.062
								16.14		
								15.99		
								16.24		
								16.01		
	13.5	9.51	3.17			0.00	9.51	14.95	46.3	0.067
								15.05		
								15.51		
								14.48		
								14.99		
	13	9.16	3.52			0.00	9.16	14.29	44.67	0.071
								13.95		
								13.86		
								13.85		
								14.16		
	12.5	8.81	3.88			0.00	8.81	14.13	42.64	0.073
								13.84		
								13.65		
								13.51		
								13.78		
12	8.45	4.23			0.00	8.45	13.01	42.03	0.076	
							13.11			
							13.23			
							13.20			
							13.14			

	11.5	8.10	4.58		0.00	8.10	12.63	40.25	0.082
							12.36		
							12.81		
							11.03		
							12.22		
11	7.75	4.93		0.00	7.75	12.01	39.14	0.086	
						11.42			
						12.63			
						11.51			
						11.61			
10.57	15	10.57	0.00	15.00	10.57	0.00	0	17.8	0.000
	14.5	10.22	0.35	14.45	10.18	0.39	107.86	17.8	0.009
106.69									
106.91									
106.54									
106.99									
14	9.86	0.70	13.90	9.79	0.78	50.38	17.8	0.020	
						49.95			
						50.33			
						50.69			
						50.9			
13.5	9.51	1.06	12.10	8.53	2.04	42.4	17.8	0.024	
						42.55			
						41.56			
						42.9			
						42.2			
13	9.16	1.41	11	7.75	2.82	30.82	17.8	0.033	
						30.66			
						30.36			
						30.25			
						30.55			
12.5	8.81	1.76	9.9	6.98	3.59	24.2	17.8	0.042	
						23.88			

							23.9		
							24.01		
							23.98		
12	8.45	2.11	9	6.34	4.23		23.93	17.8	0.041
							23.95		
							23.98		
							23.91		
							24.15		
11.5	8.10	2.47	7.7	5.43	5.14		19.2	17.8	0.052
							19.05		
							19.35		
							19.15		
							19.16		
11	7.75	2.82	6	4.23	6.34		16.31	49.1	0.061
							16.9		
							16.52		
							17.01		
							16.3		
10.5	7.40	3.17	6	4.23	6.34		15.61	48.7	0.065
							15.02		
							15.96		
							15.73		
							15.35		
10	7.05	3.52	4.5	3.17	7.40		14.98	45.2	0.070
							13.8		
							14.58		
							14.02		
							14.34		
9.5	6.69	3.88	2.5	1.76	8.81		13.95	43.2	0.072
							13.8		
							13.75		
							14.01		
							13.9		

							12.65		
							12.8		
	9	6.34	4.23	1	0.70	9.86	12.3	41.2	0.079
							12.9		
							12.66		
	12	8.45	0.00	12	8.45	0.00	0	17.8	0.000
8.45	11.5	8.10	0.35	11.4	8.03	0.42	114.01	17.8	0.009
							113.25		
							113.59		
							113.8		
							113.67		
	11	7.75	0.70	10.9	7.68	0.78	47.33	17.8	0.021
							47.01		
							48.03		
							47.25		
							47.1		
	10.5	7.40	1.06	9.9	6.98	1.48	37.88	17.8	0.027
							37.51		
							37.21		
							37.1		
							37.43		
	10	7.05	1.41	8.8	6.20	2.25	29.95	17.8	0.033
							30.5		
							30.33		
							30.16		
							30.26		
	9.5	6.69	1.76	7.2	5.07	3.38	23.6	17.8	0.043
							23.65		
							23.8		
							23.1		
							23.41		
	9	6.34	2.11	5.5	3.88	4.58	19.82	17.8	0.049
							20.9		

							20.34		
							20.11		
							20.29		
	8.5	5.99	2.47	5.1	3.59	4.86	17.92	49.1	0.056
							18.15		
							17.33		
							18.6		
							18.01		
	8	5.64	2.82	2	1.41	7.05	16.2	48.2	0.062
							16.15		
							16.21		
							16.12		
							16.17		
	7.5	5.28	3.17	1.2	0.85	7.61	14.92	46	0.066
							14.99		
							14.95		
							15.21		
							15.1		
	7	4.93	3.52	0.5	0.35	8.10	13.25	43.6	0.074
							13.62		
							13.61		
							13.68		
							13.54		
	9	6.34	0.00	9	6.34	0.00	0	17.8	0.000
6.34	8.5	5.99	0.35	8	5.64	0.70	108.25	17.8	0.009
							108.36		
							108.85		
							108.5		
							108.49		
8	5.64	0.70	6.5	4.58	1.76	42.38	17.8	0.024	
						42.36			
						42.42			
						42.35			

							42.45		
							37.55		
							37.32		
	7.5	5.28	1.06	6	4.23	2.11	37.65	17.8	0.027
							37.46		
							37.47		
							31.03		
							30.88		
	7	4.93	1.41	4.6	3.24	3.10	31.21	17.8	0.033
							30.7		
							30.33		
							23.9		
							22.55		
	6.5	4.58	1.76	2	1.41	4.93	21.01	17.8	0.048
							21.99		
							21.01		
							20.33		
							20.25		
	6	4.23	2.11	0.5	0.35	5.99	20.21	55.1	0.050
							20.16		
							20.01		
							15.9		
							15.85		
	5.5	3.88	2.47	0	0.00	6.34	15.92	47.1	0.063
							16.31		
							15.92		
							15.06		
							15.41		
	5.12	3.61	2.73	0	0.00	6.34	15.21	46.5	0.067
							14.65		
							15.02		
4.23	6	4.23	0.00	6	4.23	0.00	0	17.8	0.000
	5.5	3.88	0.35	5	3.52	0.70	100.55	17.8	0.010

							100.36		
							100.8		
							100.1		
							100.45		
	5	3.52	0.70	3.4	2.40	1.83	41.44	17.8	0.024
							41.6		
							41.39		
							41.92		
							41.5		
	4.5	3.17	1.06	1.8	1.27	2.96	33.22	17.8	0.030
							33.55		
							33.21		
							33.41		
							33.26		
	4	2.82	1.41	0	0.00	4.23	22	17.8	0.045
							22.01		
							21.98		
							21.99		
							21.99		
	3.65	2.57	1.66	0	0.00	4.23	19.21	17.8	0.052
							19.01		
							19.21		
							19.01		
							19.11		

**Anexo 4: Rutas críticas.**

- Apartamento 1 fría

<b>Tramo (1-2)</b>					
Item	Valor	Accesorios			
		Tipo	Cantidad	Le (m)	total
Presion inicial (m.c.a)	15	1 Tee pdl 1/2" PVC	1	0.76	0.76
Unidades acumuladas	2	1 válv. De comp. Ab 1/2" Cu	1	0.09	0.09
Unidades totales	2	3 codo r.m. 1/2" 90° PVC	3	0.28	0.84
Caudal (L/s)	0.13				
Velocidad (m/s)	1.03				
perdida hv (m)	0.05				
Coeiciente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.098				
Diametro (")	1/2"				
Longitud horizontal (m)	8.85				
Longitud vertical (m)	2				
Longitud accesorios (m)	1.69				
Longitud total (m)	12.54				
Perdida J	1.229				
Presión final pto 2. (m.c.a)	18.279				

<b>Tramo (2-3)</b>					
Item	Valor	Accesorios			
		Tipo	Cantidad	Le (m)	total
Unidades acumuladas	3	1 Tee pdl 1/2" PVC	1	0.76	0.76
Unidades totales	3				
Caudal (L/s)	0.19				
Velocidad (m/s)	1.50				
perdida hv (m)	0.11				
Coeiciente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.191				
Diametro (")	1/2"				
Longitud horizontal (m)	0.463				
Longitud vertical (m)	0				
Longitud accesorios (m)	0.76				
Longitud total (m)	1.223				
Perdida J	0.234				
Presión final pto 3. (m.c.a)	18.623				

<b>Tramo (3-4)</b>					
Item	Valor	Accesorios			
		Tipo	Cantidad	Le (m)	total
Unidades acumuladas	3	8 codo r.m. 1/2" 90° PVC	8	0.28	2.24
Unidades totales	3	1 válv. De comp. Ab 1/2" Cu	1	0.09	0.09
Caudal (L/s)	0.19				
Velocidad (m/s)	1.50				
perdida hv (m)	0.11				
Coeiciente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.191				
Diametro (")	1/2"				
Longitud horizontal (m)	5.79				
Longitud vertical (m)	0				
Longitud accesorios (m)	2.33				
Longitud total (m)	8.12				
Perdida J	1.551				
Presión final pto 4. (m.c.a)	20.284				

<b>Tramo (4-5)</b>					
<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Accesorios</b>			
		<b>Tipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Le (m)</b>	<b>total</b>
Unidades acumuladas	6	1 ampliación 1/2" x 3/4" PVC	1	0.08	0.08
Unidades totales	6	1 Tee pdl 1/2" PVC	1	0.76	0.76
Caudal (L/s)	0.32				
Velocidad (m/s)	1.12				
perdida hv (m)	0.06				
Coeficiente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.069				
Diametro (")	3/4"				
Longitud horizontal (m)	3.93				
Longitud vertical (m)	0				
Longitud accesorios (m)	0.08				
Longitud total (m)	4.005				
Perdida J	0.276				
Presión final pto 5. (m.c.a)	20.620				

<b>Tramo (5-6)</b>					
<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Accesorios</b>			
		<b>Tipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Le (m)</b>	<b>total</b>
Unidades acumuladas	10	1 tee pdl 3/4" PVC	1	1.02	1.02
Unidades totales	10				
Caudal (L/s)	0.50				
Velocidad (m/s)	1.75				
perdida hv (m)	0.16				
Coeficiente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.151				
Diametro (")	3/4"				
Longitud horizontal (m)	1.09				
Longitud vertical (m)	0				
Longitud accesorios (m)	1.02				
Longitud total (m)	2.11				
Perdida J	0.318				
Presión final pto 6. (m.c.a)	21.098				

- Apartamento 1 caliente

<b>Tramo (1-2)</b>					
<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Accesorios</b>			
		<b>Tipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Le (m)</b>	<b>total</b>
Presion inicial (m.c.a)	15	1 Tee pdl 1/2" PVC	1	0.76	0.76
Unidades acumuladas	2	1 válv. De comp. Ab 1/2" Cu	1	0.09	0.09
Unidades totales	2	3 codo r.m. 1/2" 90° PVC	3	0.28	0.84
Caudal (L/s)	0.13				
Velocidad (m/s)	1.03				
perdida hv (m)	0.05				
Coeficiente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.098				
Diametro (")	1/2"				
Longitud horizontal (m)	2.114				
Longitud vertical (m)	2				
Longitud accesorios (m)	1.69				
Longitud total (m)	5.804				
Perdida J	0.569				
Presión final pto 2. (m.c.a)	17.619				

<b>Tramo (2-3)</b>					
Item	Valor	Accesorios			
		Tipo	Cantidad	Le (m)	total
Unidades acumuladas	3	1 Tee pdl 1/2" PVC	1	0.76	0.76
Unidades totales	3				
Caudal (L/s)	0.19				
Velocidad (m/s)	1.50				
perdida hv (m)	0.11				
Coeficiente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.191				
Diametro (")	1/2"				
Longitud horizontal (m)	1.165				
Longitud vertical (m)	0				
Longitud accesorios (m)	0.76				
Longitud total (m)	1.925				
Perdida J	0.368				
Presión final pto 3. (m.c.a)	18.096				

<b>Tramo (3-4)</b>					
Item	Valor	Accesorios			
		Tipo	Cantidad	Le (m)	total
Unidades acumuladas	6	1 ampliación de 1/2" x 3/4" PVC	1	0.16	0.16
Unidades totales	6	1 Tee pd 3/4" PVC	1	0.29	0.29
Caudal (L/s)	0.32				
Velocidad (m/s)	1.12				
perdida hv (m)	0.06				
Coeficiente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.045				
Diametro (")	3/4"				
Longitud horizontal (m)	6.47				
Longitud vertical (m)	0				
Longitud accesorios (m)	0.16				
Longitud total (m)	6.63				
Perdida J	0.298				
Presión final pto 4. (m.c.a)	18.455				

<b>Tramo (4-5)</b>					
Item	Valor	Accesorios			
		Tipo	Cantidad	Le (m)	total
Unidades acumuladas	7	1 Tee pd 3/4" PVC	1	0.29	0.29
Unidades totales	7				
Caudal (L/s)	0.38				
Velocidad (m/s)	1.33				
perdida hv (m)	0.09				
Coeficiente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.093				
Diametro (")	3/4"				
Longitud horizontal (m)	1.50				
Longitud vertical (m)	0				
Longitud accesorios (m)	0.29				
Longitud total (m)	1.79				
Perdida J	0.166				
Presión final pto 5. (m.c.a)	18.711				

<b>Tramo (5-6)</b>					
<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Accesorios</b>			
		<b>Tipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Le (m)</b>	<b>total</b>
Unidades acumuladas	8	1 Tee pdI 3/4" PVC	1	1.02	1.02
Unidades totales	8				
Caudal (L/s)	0.44				
Velocidad (m/s)	1.54				
perdida hv (m)	0.12				
Coeficiente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.121				
Diametro (")	3/4"				
Longitud horizontal (m)	1.07				
Longitud vertical (m)	0				
Longitud accesorios (m)	1.02				
Longitud total (m)	2.09				
Perdida J	0.253				
Presión final pto 6. (m.c.a)	19.084				

<b>Tramo (6-7) CALENTADOR</b>			
<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Accesorios</b>	
		<b>Tipo</b>	
Unidades acumuladas	8	Perdida por calentador	11.5
Unidades simultaneidad	5	Reduccion por uso simultaneo	0.5
Caudal (L/s)	0.25	Perdida por calentador simultaneidad	5.75
Velocidad (m/s)	0.88		
perdida hv (m)	0.04		
Coeficiente C (PVC)	0.0001		
perdida j (m/m)	0.045		
Diametro (")	3/4"		
Longitud horizontal (m)	0.00		
Longitud vertical (m)	0		
Longitud accesorios (m)	0		
Longitud total (m)	0.00		
Perdida J	0.000		
Presión final pto 7. (m.c.a)	24.874		

Tramo (7-8)					
Item	Valor	Accesorios			
		Tipo	Cantidad	Le (m)	total
Unidades acumuladas	5				
Unidades totales	5				
Caudal (L/s)	0.25				
Velocidad (m/s)	0.88				
perdida hv (m)	0.045				
Coeficiente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.045				
Diametro (")	3/4"				
Longitud horizontal (m)	0.85				
Longitud vertical (m)	0				
Longitud accesorios (m)	0				
Longitud total (m)	0.85				
Perdida J	0.038				
Presión final pto 8. (m.c.a)	24.957				

Tramo (8-9)					
Item	Valor	Accesorios			
		Tipo	Cantidad	Le (m)	total
Unidades acumuladas	9	4 Tee Pd. 3/4" PVC	4	1.02	4.08
Unidades totales	9	1 válv. de compuerta ab 3/4"	1	0.1	0.1
Caudal (L/s)	0.50	6 codo r.m 3/4" x 90° PVC	6	0.39	2.34
Velocidad (m/s)	1.75				
perdida hv (m)	0.16				
Coeficiente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.151				
Diametro (")	3/4"				
Longitud horizontal (m)	2.10				
Longitud vertical (m)	0				
Longitud accesorios (m)	6.52				
Longitud total (m)	8.62				
Perdida J	1.302				
Presión final pto 9. (m.c.a)	26.419				

Tramo (9-10)					
Item	Valor	Accesorios			
		Tipo	Cantidad	Le (m)	total
Unidades acumuladas	15	1 Tee Pdl. 1" PVC	1	0.73	0.73
Unidades totales	15	1 aplicación 3/4" x 1" pvc	1	1.28	1.28
Caudal (L/s)	0.76				
Velocidad (m/s)	1.49				
perdida hv (m)	0.11				
Coeficiente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.08				
Diametro (")	1"				
Longitud horizontal (m)	1.09				
Longitud vertical (m)	0				
Longitud accesorios (m)	2.01				
Longitud total (m)	3.10				
Perdida J	0.248				
Presión final pto 10. (m.c.a)	26.777				

- Apartamento 2 fría

<b>Tramo (1-2)</b>					
Item	Valor	Accesorios			
		Tipo	Cantidad	Le (m)	total
Presion inicial (m.c.a)	15	2 Tee pdl 1/2" PVC	2	0.76	1.52
Unidades acumuladas	3	1 válv. De comp. Ab 1/2" Cu	1	0.09	0.09
Unidades totales	3	3 codo r.m. 1/2" 90° PVC	3	0.28	0.84
Caudal (L/s)	0.13	1 tee pd. 1/2" PVC	1	0.2	0.2
Velocidad (m/s)	1.03				
perdida hv (m)	0.05				
Coeficiente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.098				
Diametro (")	1/2"				
Longitud horizontal (m)	2				
Longitud vertical (m)	2				
Longitud accesorios (m)	2.65				
Longitud total (m)	6.65				
Perdida J	0.652				
Presión final pto 2. (m.c.a)	17.702				

<b>Tramo (2-3)</b>					
Item	Valor	Accesorios			
		Tipo	Cantidad	Le (m)	total
Unidades acumuladas	3	1 válv. De comp. Ab 1/2" Cu	1	0.09	0.09
Unidades totales	3	8 codo r.m. 3/4" 90° PVC	8	0.28	2.24
Caudal (L/s)	0.13				
Velocidad (m/s)	1.03				
perdida hv (m)	0.05				
Coeficiente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.098				
Diametro (")	1/2"				
Longitud horizontal (m)	6.85				
Longitud vertical (m)	0				
Longitud accesorios (m)	2.33				
Longitud total (m)	9.18				
Perdida J	0.900				
Presión final pto 3. (m.c.a)	18.651				

<b>Tramo (3-4)</b>					
Item	Valor	Accesorios			
		Tipo	Cantidad	Le (m)	total
Unidades acumuladas	6	1 codo r.m. 3/4" 90° PVC	1	0.39	0.39
Unidades totales	6	1 Tee pdl 3/4" PVC	1	1.02	1.02
Caudal (L/s)	0.32				
Velocidad (m/s)	1.12				
perdida hv (m)	0.06				
Coeficiente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.069				
Diametro (")	3/4"				
Longitud horizontal (m)	1.56				
Longitud vertical (m)	0				
Longitud accesorios (m)	1.41				
Longitud total (m)	2.97				
Perdida J	0.205				
Presión final pto 4. (m.c.a)	18.916				

- Apartamento 2 caliente.

<b>Tramo (1-2)</b>					
Item	Valor	Accesorios			
		Tipo	Cantidad	Le (m)	total
Presion inicial (m.c.a)	15	1 Tee pdl 1/2" PVC	1	0.76	0.76
Unidades acumuladas	3	1 válv. De comp. Ab 1/2" Cu	2	0.09	0.18
Unidades totales	3	3 codo r.m. 1/2" 90° PVC	3	0.28	0.84
Caudal (L/s)	0.19	1 Tee p.d. 1/2" PVC	1	0.2	0.2
Velocidad (m/s)	1.5				
perdida hv (m)	0.11				
Coeficiente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.191				
Diametro (")	1/2"				
Longitud horizontal (m)	5.88				
Longitud vertical (m)	2				
Longitud accesorios (m)	1.98				
Longitud total (m)	9.86				
Perdida J	1.883				
Presión final pto 2. (m.c.a)	18.993				

<b>Tramo (2-3)</b>					
Item	Valor	Accesorios			
		Tipo	Cantidad	Le (m)	total
Unidades acumuladas	4	2 Tee p.d. 1/2" PVC	2	0.2	0.4
Unidades totales	4	1 codo r.m. 1/2" 90° PVC	1	0.28	0.28
Caudal (L/s)	0.25				
Velocidad (m/s)	1.97				
perdida hv (m)	0.2				
Coeficiente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.308				
Diametro (")	1/2"				
Longitud horizontal (m)	3.25				
Longitud vertical (m)	0				
Longitud accesorios (m)	0.68				
Longitud total (m)	3.93				
Perdida J	1.210				
Presión final pto 3. (m.c.a)	20.404				

<b>Tramo (3-4) CALENTADOR</b>			
Item	Valor	Accesorios	
		Tipo	I
Unidades acumuladas	4	Perdida por calentador	8.61
Unidades simultaneidad	3	Reduccion por uso simultaneo	0.5
Caudal (L/s)	0.19	Perdida por calentador simultaneidad	4.305
Velocidad (m/s)	1.5		
perdida hv (m)	0.11		
Coeficiente C (PVC)	0.0001		
perdida j (m/m)	0.191		
Diametro (")	1/2"		
Longitud horizontal (m)	0.00		
Longitud vertical (m)	0		
Longitud accesorios (m)	0		
Longitud total (m)	0.00		
Perdida J	0.000		
Presión final pto 4. (m.c.a)	24.709		

<b>Tramo (4-5)</b>					
<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Accesorios</b>			
		<b>Tipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Le (m)</b>	<b>total</b>
Unidades acumuladas	6	1 codo r.m. 1/2" 90° PVC	1	0.28	0.28
Unidades totales	6	1 Tee pdl 1/2" PVC	1	0.76	0.76
Caudal (L/s)	0.32	2 Tee p.d. 1/2" PVC	2	0.2	0.4
Velocidad (m/s)	1.12	1 ampliación 3/4" x 1/2" PVC	1	0.08	0.08
perdida hv (m)	0.06				
Coeficiente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.069				
Diametro (")	3/4"				
Longitud horizontal (m)	1.85				
Longitud vertical (m)	0				
Longitud accesorios (m)	1.44				
Longitud total (m)	3.29				
Perdida J	0.227				
Presión final pto 5. (m.c.a)	24.996				

<b>Tramo (5-6)</b>					
<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Accesorios</b>			
		<b>Tipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Le (m)</b>	<b>total</b>
Unidades acumuladas	7	5 codo r.m. 3/4" 90° PVC	5	0.39	1.95
Unidades totales	7	1 válv. De comp. Ab 3/4" Cu	1	0.1	0.1
Caudal (L/s)	0.38				
Velocidad (m/s)	1.33				
perdida hv (m)	0.09				
Coeficiente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.093				
Diametro (")	3/4"				
Longitud horizontal (m)	1.60				
Longitud vertical (m)	0				
Longitud accesorios (m)	2.05				
Longitud total (m)	3.653				
Perdida J	0.340				
Presión final pto 6. (m.c.a)	25.425				

<b>Tramo (6-7)</b>					
<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Accesorios</b>			
		<b>Tipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Le (m)</b>	<b>total</b>
Unidades acumuladas	10	1 codo r.m. 3/4" 90° PVC	1	0.39	0.39
Unidades totales	10	1 Tee p.d. 3/4" PVC	1	0.29	0.29
Caudal (L/s)	0.50				
Velocidad (m/s)	1.75				
perdida hv (m)	0.16				
Coeficiente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.151				
Diametro (")	3/4"				
Longitud horizontal (m)	1.56				
Longitud vertical (m)	0				
Longitud accesorios (m)	0.68				
Longitud total (m)	2.24				
Perdida J	0.339				
Presión final pto 7. (m.c.a)	25.924				

- Apartamento 3 fría.

<b>Tramo (1-2)</b>					
<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Accesorios</b>			
		<b>Tipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Le (m)</b>	<b>total</b>
Presion inicial (m.c.a)	15	2 Tee pdl 1/2" PVC	2	0.76	1.52
Unidades acumuladas	3	2 válv. De comp. Ab 1/2" Cu	2	0.09	0.18
Unidades totales	3	8 codo r.m. 1/2" 90° PVC	6	0.28	1.68
Caudal (L/s)	0.19				
Velocidad (m/s)	1.5				
perdida hv (m)	0.11				
Coeficiente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.191				
Diametro (")	1/2"				
Longitud horizontal (m)	7.79				
Longitud vertical (m)	2				
Longitud accesorios (m)	3.38				
Longitud total (m)	13.17				
Perdida J	2.515				
Presión final pto 2. (m.c.a)	19.625				

<b>Tramo (2-3)</b>					
<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Accesorios</b>			
		<b>Tipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Le (m)</b>	<b>total</b>
Unidades acumuladas	6	1 Tee pd 3/4" PVC	1	0.29	0.29
Unidades totales	6	ampliación de 1/2" x 3/4" PV	1	0.16	0.16
Caudal (L/s)	0.32				
Velocidad (m/s)	1.12				
perdida hv (m)	0.06				
Coeficiente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.069				
Diametro (")	3/4"				
Longitud horizontal (m)	2				
Longitud vertical (m)	0				
Longitud accesorios (m)	0.29				
Longitud total (m)	2.29				
Perdida J	0.158				
Presión final pto 3. (m.c.a)	19.843				

<b>Tramo (3-4)</b>					
<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Accesorios</b>			
		<b>Tipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Le (m)</b>	<b>total</b>
Unidades acumuladas	12	2 codo r.m. 3/4" 90° PVC	2	0.39	0.78
Unidades totales	12	1 Tee pd 3/4" PVC	1	0.29	0.29
Caudal (L/s)	0.57				
Velocidad (m/s)	1.99				
perdida hv (m)	0.2				
Coeficiente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.189				
Diametro (")	3/4"				
Longitud horizontal (m)	2.96				
Longitud vertical (m)	0				
Longitud accesorios (m)	1.07				
Longitud total (m)	4.03				
Perdida J	0.762				
Presión final pto 4. (m.c.a)	20.805				

- Apartamento 3 caliente.

<b>Tramo (1-2)</b>					
Item	Valor	Accesorios			
		Tipo	Cantidad	Le (m)	total
Presion inicial (m.c.a)	15	2 Tee pdl 1/2" PVC	2	0.76	1.52
Unidades acumuladas	6	1 válv. De comp. Ab 1/2" Cu	1	0.09	0.09
Unidades totales	6	2 codo r.m. 1/2" 90° PVC	2	0.28	0.56
Caudal (L/s)	0.32	1 Tee p.d. 1/2" PVC	1	0.2	0.2
Velocidad (m/s)	2.5				
perdida hv (m)	0.33				
Coeficiente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.475				
Diametro (")	1/2"				
Longitud horizontal (m)	7.689				
Longitud vertical (m)	2				
Longitud accesorios (m)	2.37				
Longitud total (m)	12.059				
Perdida J	5.728				
Presión final pto 2. (m.c.a)	23.058				

<b>Tramo (2-3)</b>					
Item	Valor	Accesorios			
		Tipo	Cantidad	Le (m)	total
Unidades acumuladas	9	1 ampliacion 3/4" x 1/2" PVC	1	0.08	0.08
Unidades totales	10	2 Tee pd 3/4" PVC	2	0.29	0.58
Caudal (L/s)	0.50	1 codo r.m. 3/4" 90° PVC	1	0.39	0.39
Velocidad (m/s)	1.75				
perdida hv (m)	0.16				
Coeficiente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.151				
Diametro (")	3/4"				
Longitud horizontal (m)	2.6				
Longitud vertical (m)	0				
Longitud accesorios (m)	1.05				
Longitud total (m)	3.65				
Perdida J	0.551				
Presión final pto 3. (m.c.a)	23.769				

<b>Tramo (3-4) CALENTADOR</b>			
Item	Valor	Accesorios	
		Tipo	I
Unidades acumuladas	10	Perdida por calentador	11.5
Unidades simultaneidad	5	Reduccion por uso simultaneo	0.5
Caudal (L/s)	0.25	Perdida por calentador simultaneidad	5.75
Velocidad (m/s)	0.88		
perdida hv (m)	0.04		
Coeficiente C (PVC)	0.0001		
perdida j (m/m)	0.045		
Diametro (")	3/4"		
Longitud horizontal (m)	0.00		
Longitud vertical (m)	0		
Longitud accesorios (m)	0		
Longitud total (m)	0.00		
Perdida J	0.000		
Presión final pto 4. (m.c.a)	29.559		

<b>Tramo (4-5)</b>					
<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Accesorios</b>			
		<b>Tipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Le (m)</b>	<b>total</b>
Unidades acumuladas	10	1 Tee pd 3/4" PVC	1	0.29	0.29
Unidades totales	10	7 codo r.m. 3/4" 90° PVC	7	0.39	2.73
Caudal (L/s)	0.50	1 Tee pdL 3/4" PVC	1	1.02	1.02
Velocidad (m/s)	1.75				
perdida hv (m)	0.16				
Coeficiente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.151				
Diametro (")	3/4"				
Longitud horizontal (m)	3.85				
Longitud vertical (m)	0				
Longitud accesorios (m)	4.04				
Longitud total (m)	7.89				
Perdida J	1.191				
Presión final pto 5. (m.c.a)	30.911				

<b>Tramo (5-6)</b>					
<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Accesorios</b>			
		<b>Tipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Le (m)</b>	<b>total</b>
Unidades acumuladas	16	2 codo r.m. 3/4" 90° PVC	2	0.5	1
Unidades totales	16	1 Tee pd 3/4" PVC	1	0.38	0.38
Caudal (L/s)	0.76	1 ampliacion 3/4" x 1" PVC	1	0.21	0.21
Velocidad (m/s)	1.49				
perdida hv (m)	0.11				
Coeficiente C (PVC)	0.0001				
perdida j (m/m)	0.08				
Diametro (")	1"				
Longitud horizontal (m)	2.96				
Longitud vertical (m)	0				
Longitud accesorios (m)	1.38				
Longitud total (m)	4.34				
Perdida J	0.347				
Presión final pto 6. (m.c.a)	31.368				

**Anexo 5:** Tablas usadas a partir del libro *INSTALACIONES HIDROSANITARIAS, DE GAS Y DE PROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVAS EN EDIFICACIONES*, del ingeniero Pérez Carmona.

**Tabla 1.2**

▼ Coeficiente de simultaneidad

S	K <sub>s</sub>	S	K <sub>s</sub>	S	K <sub>s</sub>
1	1,00	9	0,35	17	0,25
2	1,00	10	0,33	18	0,24
3	0,71	11	0,32	19	0,24
4	0,58	12	0,30	20	0,23
5	0,50	13	0,29	21	0,22
6	0,45	14	0,28	22	0,22
7	0,40	15	0,27	23	0,21
8	0,38	16	0,26	24	0,21

**Tablas Flamant**

Tabla 3.1

Flamant

**1/2"**      $j = 4C (V^{1.75} / D^{1.2})$       $Q = AV$       $j = 6,1C (Q^{1.75} / D^{4.75})$

Unidades	Caudal Q			V	h <sub>v</sub>	Pérdidas por fricción en m/m				
	gal/min	l/min	l/s	m/s	m	Coeficiente de fricción C				
						Fundido 0,00031	Galva- nizado 0,00023	Acero 0,00018	Cobre 0,00012	P.V.C. 0,00010
1	1	3,79	0,06	0,47	0,01	0,079	0,058	0,046	0,030	0,025
2	2	7,57	0,13	1,03	0,05	0,304	0,226	0,177	0,118	0,098
3	3	11,35	0,19	1,50	0,11	0,591	0,439	0,343	0,229	0,191
5	4	15,14	0,25	1,97	0,20	0,956	0,709	0,555	0,370	0,308
6	5	18,92	0,32	2,53	0,33	1,472	1,092	0,855	0,570	0,475
7	6	22,71	0,38	3,00	0,46	1,989	1,475	1,155	0,770	0,642
8	7	26,50	0,44	3,49	0,62	2,587	1,919	1,502	1,001	0,834
10	8	30,28	0,50	3,98	0,81	3,267	2,424	1,897	1,265	1,054
12	9	34,07	0,57	4,48	1,02	4,015	2,979	2,331	1,554	1,295
14	10	37,85	0,63	4,98	1,26	4,828	3,582	2,804	1,869	1,558
16	12	45,42	0,76	5,98	1,82	6,643	4,929	3,857	2,571	2,143
20	14	52,99	0,88	6,97	2,48	8,700	6,455	5,052	3,368	2,806

Tabla 3.2

Flamant

**3/4"**  $j = 4C (V^{1.75} / D^{1.25})$   $Q = AV$   $j = 6,1C (Q^{1.75} / D^{4.75})$

Unidades	Caudal Q			V	hv	Pérdidas por fricción en m/m				
	gal/min	l/min	l/s			Coeficiente de fricción C				
				Fundido 0,00031	Galva- nizado 0,00023	Acero 0,00018	Cobre 0,00012	P.V.C. 0,00010		
2	2	7,57	0,13	0,46	0,01	0,044	0,033	0,026	0,017	0,014
3	3	11,35	0,19	0,67	0,02	0,086	0,064	0,050	0,033	0,028
5	4	15,14	0,25	0,88	0,04	0,139	0,103	0,081	0,054	0,045
6	5	18,92	0,32	1,12	0,06	0,215	0,159	0,125	0,083	0,069
7	6	22,71	0,38	1,33	0,09	0,290	0,215	0,168	0,112	0,093
8	7	26,46	0,44	1,54	0,12	0,375	0,278	0,218	0,145	0,121
10	8	30,24	0,50	1,75	0,16	0,469	0,348	0,272	0,181	0,151
12	9	34,07	0,57	1,99	0,20	0,585	0,434	0,340	0,227	0,189
14	10	37,80	0,63	2,21	0,25	0,702	0,521	0,408	0,272	0,226
16	12	45,36	0,76	2,67	0,36	0,975	0,723	0,566	0,377	0,314
20	14	52,92	0,88	3,09	0,49	1,260	0,935	0,732	0,488	0,406
23	16	60,48	1,01	3,54	0,64	1,604	1,190	0,931	0,621	0,517
27	18	68,04	1,13	3,96	0,80	1,952	1,448	1,133	0,755	0,630

Tabla 3.3

Flamant

**1"**  $j = 4C (V^{1.75} / D^{1.25})$   $Q = AV$   $j = 6,1C (Q^{1.75} / D^{4.75})$

Unidades	Caudal Q			V	hv	Pérdidas por fricción en m/m				
	gal/ min	l/min	l/s			Coeficiente de fricción C				
				Fundido 0,00031	Galva- nizado 0,00023	Acero 0,00018	Cobre 0,00012	P.V.C. 0,00010		
5	4	15,14	0,25	0,50	0,01	0,036	0,027	0,021	0,014	0,012
7	6	22,71	0,38	0,75	0,03	0,073	0,054	0,043	0,028	0,024
8	7	26,50	0,44	0,87	0,04	0,096	0,071	0,056	0,037	0,031
10	8	30,28	0,50	1,00	0,05	0,121	0,090	0,071	0,047	0,039
12	9	34,07	0,57	1,12	0,06	0,149	0,111	0,087	0,058	0,048
16	12	45,42	0,76	1,49	0,11	0,247	0,183	0,143	0,096	0,080
22	15	56,78	0,95	1,87	0,18	0,365	0,271	0,212	0,141	0,118
27	18	68,13	1,14	2,24	0,26	0,502	0,372	0,291	0,194	0,162
32	21	79,49	1,32	2,61	0,35	0,657	0,488	0,382	0,254	0,212
38	24	90,84	1,51	2,99	0,46	0,830	0,616	0,482	0,321	0,268
45	27	102,20	1,70	3,36	0,58	1,020	0,757	0,593	0,395	0,329
46	28	105,98	1,77	3,49	0,62	1,088	0,807	0,631	0,421	0,351
60	32	121,12	2,02	3,98	0,81	1,374	1,019	0,798	0,532	0,443

Anexo 6: Rubrica evaluación anteproyecto.

Nº	Tópico a Evaluar	Calificación Evalue cada numeral de (0 – 30 puntos)	Observación, detalle a atender
	<b>PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b>		
1	¿Presenta una descripción precisa y completa de la naturaleza y magnitud de la necesidad tecnológica?	25	
2	¿El prototipo, simulación o diseño es una respuesta a la necesidad tecnológica?	20	
3	¿Posee un título de Trabajo de grado pertinente y claro?	30	
	<b>ANTECEDENTES Y LIMITACIONES</b>		
4	¿Contiene una descripción clara de los antecedentes?	25	
5	¿Contiene una descripción clara incluye las limitaciones?	10	Se pretenden generalizar las conclusiones a partir del estudio realizado.
	<b>JUSTIFICACIÓN</b>		
6	¿Presenta una descripción precisa y completa de la justificación de la necesidad de la investigación en función del desarrollo de la región o empresa, comunidad del país y de su pertinencia a nivel mundial?	20	
	<b>MARCO TEORICO</b>		
7	¿La investigación tecnológica se ubica en el estado actual del conocimiento del problema (nacional y mundial)?	25	
	<b>ESTADO DEL ARTE</b>		
8	¿Identifica la comprensión de la necesidad tecnológica planteado con el fundamento de referentes de investigaciones previas?	30	
9	¿Identifica las brechas que existen y el vacío que se quiere llenar con el proyecto?	20	
10	¿El trabajo desarrollado es relevante y pertinente de acuerdo al estado del arte de la disciplina del programa académico?	20	
	<b>OBJETIVOS</b>		
11	¿Muestran una relación clara y consistente con la descripción de la necesidad tecnológica?	10	
12	¿Son alcanzables con la metodología propuesta?	15	
	<b>METODOLOGÍA</b>		
13	¿Está presentada en forma organizada y precisa para alcanzar cada uno de los objetivos específicos propuestos?	25	
14	¿Se presentan y describen los procedimientos, técnicas, diseño, simulaciones, ensayos, hardware, software y demás estrategias metodológicas requeridas?	30	
15	¿El análisis propuesto de resultados es pertinente, claro, sustentado técnicamente?	20	
	<b>CRONOGRAMA:</b>		

16	¿Las actividades, etapas y el tiempo previsto tienen buena secuencia y se ajustan al desarrollo del proyecto?	30	
<b>PRESUPUESTO</b>			
17	¿Están discriminados, los recursos físicos, humanos con cantidad, unidad y valores por cada fuente interna estudiante y universidad, además de la externa?	25	
<b>BIBLIOGRAFIA</b>			
18	¿Aparece completa y actualizada?	30	
19	¿Tiene directa pertinencia con el tema?	30	
20	¿El documento incluye como mínimo 20 referencias bibliográficas y el 20% de referencias en segunda lengua? (Dentro de las referencias se debe tener en cuenta las patentes que hagan referencia al proyecto planteado)	30	
21	¿El documento escrito utiliza todas las referencias bibliográficas que aparecen al final del mismo?	20	
<b>REDACCIÓN Y FORMA</b>			
22	¿El documento se encuentra bien redactado, con un correcto uso de la puntuación y ortografía y la normatividad de estructura, referenciación y citación IEEE?	25	
23	¿El documento es ordenado y contiene la estructura general recomendada (introducción, objetivos, desarrollo, y productos, así como las referencias y bibliografía adecuadas)?	30	
24	¿La numeración de tablas, imágenes, referencias, ecuaciones, gráficos etc. es clara, ordenada y guarda relación con el texto y su contenido?	30	
25	¿Los Anexos se encuentran ordenados y debidamente referenciados en el documento?	30	
<b>EVALUACIÓN DEL ANTE PROYECTO</b>			
Sumatoria Final de Puntajes (Entre 0 – 750 puntos)		605	
Calificación Final (C.F.) (Sumatoria Final/25)		24	
CONCEPTO (Cumple, Cumple parcialmente, No cumple)			Cumple



---

Firma Estudiante  
Sebastián Parada Celis  
Código: 506164

---

Firma Asesor del Trabajo de Grado  
Juan Sebastián De Plaza

FECHA (28/10/2019)