

**SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA PARA LA BOMBA DE VACÍO DE
UN ESTERILIZADOR POR VAPOR**

ANGELICA JULIETH AYALA DUARTE

VALENTINA RAMÍREZ TRIANA

DANIEL FELIPE RINCÓN OVALLE

Universidad Autónoma de Bucaramanga

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Biomédica

Bucaramanga

2022

**SISTEMA DE REUSO DE AGUA PARA LA BOMBA DE VACÍO DE UN
ESTERILIZADOR POR VAPOR**

ANGELICA JULIETH AYALA DUARTE

VALENTINA RAMÍREZ TRIANA

DANIEL FELIPE RINCÓN OVALLE

Director

MARIO FERNANDO MORALES CORDERO

Co-director

LUSVIN JAVIER AMADO FORERO

Universidad Autónoma de Bucaramanga

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Biomédica

Bucaramanga

2022

Agradecimientos.

Agradecemos a los profesores de la Universidad Autónoma de Bucaramanga por orientarnos y compartirnos el conocimiento requeridos para el desarrollo tanto de este presente proyecto como nuestra formación académica.

Al personal de STERICLINIC por su disposición y apoyo incondicional durante la construcción y evaluación de este proyecto.

A nuestras familias, por enseñarnos la importancia de la perseverancia en la consecución de nuestros objetivos y por apoyarnos en nuestros proyectos.

A todas las personas en general que se vieron involucrados durante la elaboración del presente proyecto, les agradecemos profundamente por su apoyo y compromiso.

TABLA DE CONTENIDO

Abstract.....	8
Resumen.....	8
CAPÍTULO 1	9
1.1. Problema u oportunidad.....	9
1.2. Introducción.....	10
1.3. Planteamiento problema.....	11
1.4. Pregunta investigación.....	11
1.5. Justificación	11
1.6. Objetivo general	12
1.7. Objetivos específicos	12
1.8. Limitaciones y delimitaciones	13
1.8.1. Limitaciones	13
1.8.2. Delimitaciones	14
CAPÍTULO 2	15
2.1. Marco teórico.....	15
2.1.1. Generalidades de la esterilización	15
2.1.1.1. Esterilización por vapor	16
2.1.1.2. Funcionamiento del proceso de esterilización	16
2.1.1.3. Fases de la esterilización por vapor.....	16
2.1.1.4. Sistemas hidráulicos.....	17
2.1.1.5. Caldera.....	17
2.1.1.6. Bombas hidráulicas.....	17
2.1.1.7. Bomba de vacío	17
2.1.1.8. Sistemas de Retorno.....	18
2.1.2. Hidráulica.....	18
2.2. Marco legal.....	18
2.2.1. Manual de esterilización	19
2.3. Estado del arte	20
2.3.1. Contexto internacional	20
2.3.2. Contexto nacional	23
2.3.3. Contexto local.....	24

CAPITULO 3	25
3.1. Metodología	25
3.1.1. Fase de diseño	25
3.1.2. Fase de implementación	27
3.1.3. Fase de evaluación	27
CAPITULO 4	28
4.1. Resultados	28
4.1.1. Características para intervenir del Esterilizador	28
4.1.2. Listado y selección de Materiales	28
4.1.3.1 Diseño del sistema de monitoreo de temperatura	33
4.1.3.2. Diseño del sistema de control y alarmas	33
4.1.4. Diseño CAD y planos de instalación del sistema	35
4.1.5. Consumo real en litros del esterilizador por ciclo de trabajo	36
4.1.6. Instalación de sistema de enfriamiento	38
4.1.7. Ecuación experimental del modelo de sistema de enfriamiento	39
4.1.8. Resultados de la implementación del sistema de enfriamiento en el proceso de esterilización	41
4.1.10. Sistema de recirculación implementado en físico	43
4.1.11. Informe de costos	46
CAPITULO 5	48
5.1. Conclusiones	48
5.2. Recomendaciones	49
BIBLIOGRAFIA	50
ANEXOS	54
Anexo 1	54

LISTA DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Diagrama del sistema de recirculación del esterilizador	26
Figura 2. diagrama de flujo de la programación del sistema de monitorización	32
Figura 3. Simulación en Proteus del circuito de monitoreo de temperatura	33
Figura 4. Simulación en Proteus del circuito de alarma en estado inactivo - Estado 1	34
Figura 5. Simulación en Proteus del circuito de alarma en estado activo - Estado 2	34
Figura 6. Simulación en Proteus del circuito de alarma en estado098847 inactivo por botón de parada - Estado 3.....	35
Figura 7. Diseño CAD del área de instalación del sistema de recirculación	36
Figura 8. Fases del ciclo de esterilización a vapor y momentos de evacuación de agua.....	37
Figura 9. Termocupla tipo K – Modulo Max 6675 de Arduino (Duino LK, s.f.).....	38
Figura 10. Máquina frigorífica - Chiller	39
Figura 11. Placa de Arduino Uno (Mercado Libre, 2022).....	39
Figura 12. Visualización de datos de temperatura en el Monitor serial de Arduino	39
Figura 13. Gráfica de mediciones de la temperatura del agua en proceso de enfriamiento	40
Figura 14. Gráfica de la implementación del Chiller en la fase de Pre-Vacío.....	41
Figura 15. Gráfica de la implementación del Chiller en la fase de Post-Vacío	42
Figura 16. Diseño 3D del sistema de recirculación de agua para la bomba de vacío de un esterilizador por vapor en SolidWorks.	42
Figura 17. Sistema de recirculación instalado en el esterilizador modelo STE-400	43
Figura 18. Salida de agua del esterilizador y su conexión a la manguera del tanque 1.....	44
Figura 19. Vista superior del sistema de bombeo de agua, el chiller y la fuente de alimentación de la bomba.....	45
Figura 20. Tanques de agua del sistema, de izquierda a derecha el tanque reservorio 2 y el tanque reservorio 1.	45
Figura 21. Conexión de entrada de agua al equipo y vista del módulo MAX6675.....	46

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Lista de Materiales para intervenir en el esterilizador.....	28
Tabla 2. Lista de Materiales para el sistema de recirculación	29
Tabla 3. Cotización de la lista de materiales.....	29
Tabla 4. Porcentaje para la selección.....	30
Tabla 5. Evaluación de materiales	30
Tabla 6. Materiales según cotización realizada.	31
Tabla 7. Consumo real en litros del esterilizador STE-400 marca STERICLINIC.....	37
Tabla 8. Tabla de tiempos promedio de las fases del ciclo de esterilización.....	37
Tabla 9. Tabla de volumen y temperatura promedio evacuados en las fases del ciclo de esterilización	38
Tabla 10. Tabla de mediciones de temperatura de agua en proceso de enfriamiento.....	40
Tabla 11. Relación consumo de agua del esterilizador vs agua recolectada por ciclo en el sistema de recirculación.....	46
Tabla 12. Ahorro aproximado diario según ciclos de esterilización.....	47

Abstract

This project focuses on the design of a water recirculation system for the vacuum pump of a steam sterilizer of the brand STERICLINIC, which makes it possible to reduce the environmental impact produced in hospitals by the consumption of water in the steam sterilization processes. Although the steam sterilization process is one of the most economical processes implemented today, it consumes a lot of liters of water to operate properly. Therefore, through the implementation of simulation software such as SolidWorks, Proteus, and Arduino, the design and simulation of the system to be implemented is carried out in accordance with current regulations and recommendations of the manufacturer. After its implementation, it allows health institutions to reduce their carbon footprint in the sterilization plant.

Resumen

El presente proyecto se enfoca en el diseño de un sistema de recirculación de agua para la bomba de vacío de un esterilizador por vapor de la marca STERICLINIC, el cual permita reducir el impacto medioambiental producido en los hospitales por el consumo de agua en los procesos de esterilización por vapor. Pues, aunque el proceso de esterilización por vapor es uno de los procesos más económicos implementados en la actualidad, este consume una gran cantidad de litros de agua para operar correctamente. Motivo por el cual, mediante la implementación de softwares de simulación como SolidWorks, Proteus y Arduino se realiza el diseño y simulación del sistema a implementar conforme a la normativa vigente y recomendaciones del fabricante. El cual posterior a su implementación permite a las instituciones de salud disminuir su huella de carbono en la central de esterilización.

CAPÍTULO 1

PROBLEMA U OPORTUNIDAD

Para contextualizar sobre la problemática del presente proyecto y como se establece su solución, se encuentran a continuación ocho ítems. Primero, El problema u oportunidad, que relaciona el impacto medioambiental del último siglo con la reducción del consumo de agua en los procesos de esterilización. Segundo, introducción, en la cual se establece la importancia del impacto medioambiental generado por el hombre y mediante iniciativas como “hospitales verdes”, instituciones de salud implementan procesos que permiten la reducción o minimización del deterioro ambiental. Tercero, planteamiento del problema, se expone el porcentaje de tratamiento de aguas residuales por el sector agua potable en Colombia y como mediante la implementación del presente proyecto se contribuye al aprovechamiento de las aguas residuales generadas por un esterilizador a vapor. Cuarto, pregunta investigación, en la cual se cuestiona el desarrollo del sistema. Quinto, justificación, se presenta la importancia de la implementación del presente proyecto en los procesos de esterilización a vapor en instituciones de salud. Sexto y séptimo, objetivo general y específicos, a través de estos expone el fin al que se desee llegar durante el desarrollo del sistema de recirculación. Finalmente, se definen las limitaciones y delimitaciones del proyecto.

1.1. Problema u oportunidad

Uno de los problemas recurrentes en el último siglo ha estado ligado directamente al impacto medioambiental que se ha dejado en el planeta debido a procesos humanos, esto debido al derroche y gasto excesivo de diferentes recursos. Entre estos el de mayor impacto ambiental por ser un recurso no renovable y ligado a la permanencia de la vida es el agua, la cual es usada en infinidad de procesos en los cuales se contaminan y desechan millones de litros al año.

Dentro de esta problemática y alineando las acciones del hombre para reducir el impacto ambiental las instituciones de salud se han dado a la tarea de reducir su impacto ambiental generando ideas que permitan reducir su huella negativa. En Colombia esta iniciativa concede a las instituciones de salud que se acogen a ella un certificado de “hospital verde”, bajo esta premisa y siguiendo el enfoque ambiental se ha encontrado que uno de los servicios dentro de una institución de alta complejidad que más impacto ambiental posee es el servicio de esterilización pues consume una gran cantidad de litros de agua para operar correctamente.

Es por esto por lo que el presente proyecto plantea el desarrollo y construcción de un sistema electrohidráulico que permita la reutilización del agua proveniente de los ductos de salida de un esterilizador por vapor en procesos propios de pre- vacío y pos- vacío del equipo, en dónde se

pueda recircular el agua residual arrojada hacia la bomba de vacío, reduciendo el consumo de agua en procesos de esterilización por vapor, sin alterar o dañar su correcto funcionamiento.

1.2. Introducción

Uno de los problemas recurrentes en el último siglo ha estado ligado directamente al impacto medioambiental que se ha dejado en el planeta debido a procesos humanos, esto a casusa del derroche y gasto excesivo de diferentes recursos. Entre estos el de mayor impacto por ser un recurso no renovable y ligado a la permanencia de la vida es el agua, la cual es usada en infinidad de procesos en los cuales se contaminan y desechan millones de litros al año. Los procesos realizados diariamente en los hospitales producen un considerable efecto sobre el medio ambiente, en busca de disminuirlo se desarrollan construcciones ecológicas, enfocadas en la salud humana y mitigar el impacto ambiental que se genera en su entorno mediante la disminución de gasto energético y el consumo de agua potable. (Building design and Construction, 2019)

Dentro de esta problemática y alineando las acciones del hombre para reducir el impacto ambiental las instituciones de salud se han dado a la tarea de reducir huella negativa generando ideas que permitan reducir el consumo de diferentes recursos. En Colombia esta iniciativa concede a las instituciones de salud que se acogen a ella un certificado de “hospital verde”, con el propósito de transformación y desarrollo frente a las necesidades del cambio y deterioro ambiental, existen una variedad de actividades y estrategias implementadas con el fin de cumplir con el objetivo de la reducción del consumo de los distintos recursos. Para disminuir el impacto generado por el uso de agua en hospitales, se ponen en práctica actividades tales como, Implementar medidas de conservación, reciclado y tratamiento del recurso, establecer la relación entre la disponibilidad de agua potable y la resiliencia de los servicios de salud, promover la salud ambiental pública suministrando agua potable a la comunidad, entre otros.

Según el Análisis situacional de los hospitales verdes colombianos pertenecientes a la red global, 86 % de los hospitales manejan residuos hospitalarios, 63 % energía y agua, 37 % liderazgo, 35 % sustancias químicas, 22 % productos farmacéuticos, 17 % compras verdes, 11 % edificios, 10 % alimentos y 9 % transporte, donde para el año 2017 existían 96 hospitales adscritos a la red global de hospitales verdes en Colombia, que correspondían al 3,84 % de las 2500 IPS de Colombia, de los cuales solo 24 hospitales le aportaron a la huella ambiental y solo 1 institución cumplió con el desafío 2020. (Ardila, 2019)

Bajo esta premisa y siguiendo el enfoque ambiental se ha encontrado que uno de los servicios dentro de una institución de alta complejidad que más impacto ambiental posee es el servicio de estilización pues consume una gran cantidad de litros de agua para operar correctamente.

Es por esto por lo que el presente proyecto plantea el desarrollo y construcción de un sistema electrohidráulico que permita la reutilización del agua proveniente de los ductos de salida de un esterilizador por vapor en procesos propios de pre- vacío y post- vacío del equipo, en dónde se pueda recircular el agua residual arrojada hacia la bomba de vacío, reduciendo el consumo de agua en procesos de esterilización por vapor, sin alterar o dañar su correcto funcionamiento.

1.3. Planteamiento problema

Uno de los principales problemas a nivel mundial es el desperdicio, contaminación y uso excesivo de recursos no renovables para actividades productivas, en Colombia, según la gestión y resultados del sector de agua potable y saneamiento básico con énfasis en los recursos del sistema general, en Colombia hasta el año 2017 solo un 20% de las aguas residuales es tratada adecuadamente para procesos de reusó o vertimiento al alcantarillado, esta cifra refleja la inadecuada gestión y aprovechamiento del recurso natural.

La industria hospitalaria requiere del uso constante del agua para poder cumplir con su funcionamiento, debido a este uso constante y excesivo del recurso hídrico, los hospitales en Colombia se han acogido a la iniciativa global conocida como hospitales verdes. Esto con el propósito de mitigar la contaminación y el daño ambiental generado por el uso excesivo de distintos recursos. Entre las funciones que desempeñan los hospitales que requieren el uso del agua, está el servicio de esterilización por vapor, el cual por medio de inyecciones de agua caliente por presión desinfecta equipo necesario para atención del paciente. Aunque este método de esterilización se caracteriza por ser uno de los más económicos a implementar, sigue teniendo un elevado costo y un alto impacto ambiental. Para esto se plantea el diseño y construcción de un sistema de recirculación por vapor que permita la recolección del agua limpia obtenida del proceso de purga, para el uso en ciclos posteriores.

1.4. Pregunta investigación

¿Cómo desarrollar un sistema que permita la reutilización del agua para la bomba de vacío de un esterilizador a vapor?

1.5. Justificación

Los procesos de esterilización han permitido reducir los riesgos de infección por agentes microbianos en la atención de salud, convirtiéndose en un sistema indispensable que existe en la actualidad para poder reutilizar el instrumental médico sin poner en riesgo la vida de los pacientes. Debido a esto es necesario implementar controles de calidad en los procesos de esterilización que indiquen y garanticen la eficacia del proceso tales como agentes físicos, químicos y biológicos. (Ministerio de Protección Social, 2004)

Entre los métodos más efectivos para realizar el proceso de eliminación de microorganismos se encuentra la esterilización por vapor (A K Nagpal, 2007). la cual actúa bajo un agente físico, efectuado por medio de la inyección de vapor de agua en altas condiciones de presión y temperatura. Este proceso de esterilización es reconocido por su corto tiempo de duración en la eliminación de distintos virus y bacterias respecto a otros métodos de esterilización. Asimismo, de ser un proceso rápido a comparación de otros métodos existentes presenta la característica favorable de tener un bajo costo y no producir residuos tóxicos. Sin embargo, durante los procesos de esterilización por vapor, el alto consumo de agua realizado por los equipos representa un gasto institucional muy alto a nivel monetario, generando un impacto ambiental negativo.

En este escenario se hace necesario buscar mecanismos o sistemas que permitan reducir el consumo de agua de estos equipos con el fin de reducir la huella ambiental negativa generada por el consumo de este recurso. En el presente proyecto se plantea un sistema que permita la recirculación del agua proveniente de las fases de pre vacío y vacío del ciclo de esterilización, para ser reutilizada en la bomba de vacío de esterilizador por vapor. En busca de reducir el consumo de agua suministrado a la bomba de vacío del equipo en una institución que cuente con este servicio. Es importante tener en cuenta que el proceso de esterilización por vapor resalta entre otros métodos debido a que su costo es más económico es más bajo a diferencia de otros métodos, sin embargo, el consumo de agua requerido por este servicio y el incorrecto aprovechamiento del recurso refleja un gasto innecesario en el servicio. Con el fin de disminuir el impacto económico y ambiental se busca implementar un sistema de recirculación.

1.6. Objetivo general

Desarrollar un sistema de recirculación de agua para la bomba de vacío de un esterilizador por vapor, con el fin de disminuir el consumo de agua del dispositivo a lo largo del ciclo de esterilización.

1.7. Objetivos específicos

- Diseñar un sistema de recirculación de agua para la bomba de vacío de un esterilizador mediante software de diseño asistido por computador, con el fin de disminuir el consumo de agua del equipo.
- Implementar el dispositivo que permita la recirculación del agua hacia la bomba de vacío del esterilizador a través de mecanismos y componentes electrónicos.
- Evaluar el funcionamiento del sistema de recirculación de agua para la bomba de vacío de un esterilizador de vapor para poder determinar su funcionalidad en la recirculación del agua durante un periodo definido mediante comparativa pre y post el sistema en el equipo.

1.8. Limitaciones y delimitaciones

1.8.1. Limitaciones

Las limitaciones para el desarrollo del sistema de recirculación planteado se establecen bajo la normativa vigente aplicable para los procesos de esterilización por vapor requeridos para la prestación de servicios de salud en Colombia.

En el caso de este proyecto se establecen las limitaciones para el desarrollo del sistema de recirculación bajo los lineamientos establecidos en el Manual de Buenas Prácticas de Procesos de Esterilización.

1. La tubería del sistema de recirculación y demás instalaciones colgantes de los techos de las áreas de trabajo deben estar cubiertas por cielo rasos.
2. El tanque de reservorio (utilizado como sistema de agua) debe estar cerca al punto de uso (el esterilizador).
3. El agua utilizada en el esterilizador debe especificar y verificar que no contamine el producto y se debe cumplir la calidad establecida, teniendo como referencia los siguientes valores:

Valores típicos límites de contaminantes de vapor y/o agua

- Residuo por evaporación £15 mg/l
 - Sílice £2 mg/l
 - Hierro £0.2mg/l
 - Cadmio £0.005 mg/l
 - Plomo £0.05mg/l
 - Otros metales pesados £0.1 mg/l
 - Cloruro £3 mg/l
 - Fosfato £0.5 mg/l
 - Conductividad £50 µS/cm
 - pH 6.5 a 8
 - Apariencia Incoloro, limpio, sin sedimento
 - Dureza £0.1 mmol/l
 - Fuente: AAMI 1995
4. El sistema de recirculación debe contar con un diseño que no permita el paso de agentes físicos externo implementando un sistema de protección máxima.
 5. Los sistemas de tuberías y conexiones deben estar debidamente marcados indicando su contenido y dirección de flujo.

1.8.2. Delimitaciones

Las delimitaciones del desarrollo de este sistema de recirculación se establecen bajo las restricciones definidas para la implementación en un esterilizador por vapor

- El diseño del sistema de recirculación para este tipo de esterilizador se desarrolla basado en el rehusó de agua proveniente de la bomba de vacío del equipo, la cual se encarga de eliminar líquidos (agua) y gases (vapor de agua) presentes en la cámara aplicando presiones negativas para generar procesos de evacuación también conocidos como fase de purga.
- Se plantea el diseño y desarrollo del sistema para un esterilizador de la empresa STERICLINIC con capacidad máxima de esterilización de 300L.
- No se realizan pruebas de las condiciones químicas del agua obtenida del proceso de recirculación debido al sobre costo económico que conlleva la implementación de estas.

Teniendo en cuenta las bases introductorias y el problema que se plantea, se definen los objetivos que se buscan alcanzar con el diseño, desarrollo e implementación del sistema. Estos objetivos se desarrollan bajo las limitaciones establecidas por el marco el marco legal y normativo vigente en Colombia y las delimitaciones establecidas por el modelo del equipo en donde se busca llevar a cabo la implementación del sistema. Estos ítems son las bases de diseño para el sistema propuesto.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO Y ESTADO DE ARTE

Para el desarrollo e implementación del sistema de recirculación es importante entender y definir aspectos generales y relevantes de los procesos de esterilización y de manera específica como es el desarrollo en la implementación por el método a vapor, también se realiza una revisión documental de proyectos, artículos y tesis con un enfoque similar con el fin de tener una referencia de diseño para el sistema a implementar.

Para esto se hace un acercamiento conceptual del método de la esterilización por vapor, en donde se definen tres ítems generales que los establecen una explicación teórica de manera general. El primer ítem define las generalidades, funcionamiento, fases del proceso y componentes electrohidráulicos requeridos para llevar a cabo el proceso de esterilización de manera correcta y eficiente, en este inciso también se explica la importancia de la hidráulica en este proceso.

El segundo ítem es un acercamiento al marco legal y normativo vigente aplicado en Colombia, en donde se definen los requerimientos mínimos y normas para implementar los procesos de esterilización, en donde se tiene en cuenta aspectos de infraestructura, almacenamiento y empaquetado.

El tercer y último ítem es una explicación de los aportes obtenidos a partir de la revisión documental realizada en distintas bases de datos, las cuales permitieron obtener información confiable e importante para el desarrollo e implementación del sistema.

2.1. Marco teórico

2.1.1. Generalidades de la esterilización

Los procesos de esterilización permiten la prevención de infecciones asociadas a la atención en diferentes servicios de salud, por medio de la eliminación de vida microbiana presente en el material. Existe una variedad de métodos de esterilización empleando diferentes tipos de agentes para poder actuar en la destrucción de microorganismos, entre los agentes utilizado en este proceso se encuentran agentes físicos, como el calor húmedo (vapor a presión), calor seco y radiaciones; agentes mecánicos, como la filtración y agentes químicos, como el óxido de etileno, glutaraldehído y peróxido de hidrogeno. (Gamboa, 2008)

2.1.1.1. Esterilización por vapor

Este método que permite la esterilización por medio del uso de temperaturas elevadas (superiores a los 100°, de 121°) y altas presiones (15 libras). El proceso se realiza en una cámara cerrada de paredes metálicas, conocida como autoclave, los cuales pueden funcionar por principios de gravedad o pre-vacío. el cual se cierra de manera hermética permitiendo el correcto funcionamiento de la inyección del vapor. Este tipo de esterilización tiene la ventaja de ser un proceso rápido y de bajo costo, el cual no deja residuos tóxicos y emplea equipos de fácil manejo, teniendo como beneficio adicional el gran poder de penetración que posee el agua en su estado gaseoso a través de los poros de los artículos, este proceso es más efectivo, y menos tóxico, que el realizado con otros gases. sin embargo, este proceso requiere de un consumo de agua elevado, lo que genera una huella negativa en el aspecto ambiental. (Garnica, 2016)

2.1.1.2. Funcionamiento del proceso de esterilización

La autoclave tiene la función de inactivar los virus, bacterias y cualquier otro tipo de microorganismos presente en el material a esterilizar. Para que el proceso pueda realizarse de manera efectiva se somete al material de manera directa al contacto con el vapor y se debe generar un proceso de purga de aire con el fin de eliminar el aire contenido en la cámara. El funcionamiento de este proceso cuenta con una bomba de vacío que retira rápidamente todo el aire de la cámara, de modo que el vapor se introduce a mayor velocidad dentro de la cámara, mejorando la eficiencia de la autoclave al eliminar las bolsas de aire e incrementar la velocidad del proceso. (Zamora, El autoclave, 2013)

2.1.1.3. Fases de la esterilización por vapor

- *Marcha:* Se cierran las puertas herméticamente para que la cámara impidiendo la apertura durante el proceso y el ingreso de cualquier agente externo.
- *Purga de aire o pre-vacío:* En esta fase se eliminará el aire contenido en la cámara y favoreciendo la eliminación posterior del aire dentro de los paquetes. Para ello se inyecta vapor en la cámara y se activa el sistema de vacío.
- *Preparación o inyección de aire:* Para la extracción del aire de los productos y de la cámara, se realiza una serie de fases de inyección de vapor seguidas de fases de vacío, para eliminar el aire restante.
- *Calentamiento:* En esta fase se introduce vapor en la cámara y en el interior de los contenedores, hasta alcanzar la temperatura y presión de esterilización.
- *Esterilización:* Se mantiene constante la temperatura y presión en la cámara durante el correspondiente tiempo de esterilización.
- *Desvaporización:* El vapor de la cámara es eliminado por el sistema de vacío y disminuyendo la presión.

- *Secado*: Se inicia un vacío final, profundo y duradero. Se mantiene el vapor en la recámara, para mantener caliente la cámara y ayudar a secar el producto a fin de evitar todo tipo de contaminación bacteriana durante el transporte y el almacenamiento.
- *Igualación*: Entrada de aire atmosférico a la cámara, a través de un filtro de aire estéril, para compensar la presión de la cámara con la atmosférica. El vapor utilizado se condensa y se convierte en agua transportándose a un depósito.
- *Finalización del proceso*: Se liberan las puertas para que puedan ser abiertas. (Zamora, Instalaciones Hospitalarias , 2013)

2.1.1.4. Sistemas hidráulicos

Los sistemas hidráulicos permiten modificar las cargas térmicas por medio del uso de generadores, los cuales se encargan de extraer o aportar energía al fluido portador de calor, en el caso de los procesos de esterilización por vapor este fluido es el agua y el tipo de generador empleado es conocido como caldera o calderín. Este tipo de sistemas también cuentan con una serie de dispositivos que permiten el paso del fluido, entre ellos se encuentran las tuberías, bombas y válvulas. (Zamora, Instalaciones Hospitalarias , 2013)

2.1.1.5. Caldera

El sistema de calderas se encarga suministrar el vapor requerido en el proceso por medio de la elevación de la temperatura del agua, este vapor de agua que se inyecta pasa a través de una válvula que regula la presión que llega a la camisa del esterilizador. (Stempliuk, 2008)

2.1.1.6. Bombas hidráulicas

Estos dispositivos se encargan de convertir la energía mecánica transmitida del motor primario en energía hidráulica. Su propósito es generar un volumen creciente en la parte de succión y volúmenes decrecientes en el lado de presión. En sistemas industriales estas bombas de usan son de desplazamiento positivo. (Stempliuk, 2008)

2.1.1.7. Bomba de vacío

Este equipo se encarga de eliminar gases y agua existentes en la cámara de clave en determinadas fases del proceso de esterilización mediante la diferencia de presión, empleando presiones negativa o fluctuaciones de vacío, generando un proceso de purga en donde se elimina el agua utilizada durante el proceso. (Remacha, 2013)

2.1.1.8. Sistemas de Retorno

Este tipo de sistema permite el retorno del agua que sale del equipo a diferentes equipos que lo requieren de manera constante, en este caso la tubería de retorno normalmente es una tubería paralela a la de alimentación, pero que circula en sentido contrario, es decir, recoge primero el retorno del equipo que genera la purga de agua al final del proceso enviándola al equipo que requiera el uso del recurso para su funcionamiento con el fin de permitir la generación de agua fría o caliente. (Remacha, 2013)

2.1.2. Hidráulica

El sistema de generación por vapor del esterilizador se conforma de manera general por un circuito hidráulico y un sistema hidráulico, los cuales tienen la función de garantizar una estabilidad en el proceso teniendo en cuenta los parámetros termodinámicos, por medio de la implementación de sensores de alta precisión.

El circuito hidráulico del equipo tiene como característica el ser un sistema hermético, el cual debe permitir llevar a cabo de manera correcta el proceso conocido como purga o vacío, el cual se basa en eliminar agua y vapor de agua a altas presiones hacia un desagüe.

El sistema hidráulico permite tanto la inyección del vapor por presión a altas temperaturas y la eliminación del mismo, por ende dicho sistema debe contar con la característica de ser termoresistente ya que en el proceso se evidencian temperaturas superiores a los 100 °C.

2.2. Marco legal

Para el desarrollo del presente proyecto se toman como referencia las normas, leyes, resoluciones y decretos que regulan, rigen y establecen los diferentes requisitos y restricciones para una instalación hidráulica en una central de esterilización o en una institución de salud, así como los parámetros de cumplimiento de un equipo de esterilización. Entre estas se pueden encontrar:

La Ley 9 de 1979 en la cual se establecen las medidas y controles para el almacenamiento de los residuos de agua de una institución de salud. (El Congreso de Colombia, 1979) Junto con los decretos 495 de 1998 y el 3990 del 2010. En el primero, se expiden las normas técnicas referentes a la calidad del agua que serán tenidas en cuenta para el desarrollo del sistema. (Ministerio de Salud Pública, 1998) Mientras que, en el segundo, se expone una actualización de la Ley 9 de 1979 referente a la disposición y manejo de los recursos hídricos. (El Presidente de la República de Colombia, 2010)

La norma ICONTEC NTC 813 en la cual se encuentran los requisitos físicos, químicos y microbiológicos que debe cumplir el agua para poder ser abastecida en cualquier sistema (ICONTEC, 2013) junto con la resolución 2115 de 2007 que expone las características generales del instrumental implementado en el control y la vigilancia del agua potable. (Ministerio de Protección Social, 2007)

Las resoluciones 4445 de 1996 por la cual se dictan la normativa para el cumplimiento de las condiciones sanitarias e infraestructura que deben cumplir las instituciones prestadoras de servicios de salud (Ministerio de Salud, 1996)

Resolución 3100 de 2019 por la cual se definen los procedimientos y condiciones de inscripción de los prestadores de servicios de salud y de habilitación de los servicios de salud, así como adoptar, en el anexo técnico, el Manual de Inscripción de Prestadores y Habilitación de Servicios de Salud el cual hace parte integral del presente acto administrativo. (Ministerio de Salud, 2019)

Resolución 2183 de 2004 por la cual se adopta el manual de buenas prácticas de esterilización para las instituciones prestadoras de servicios de salud. (Ministerio de Protección Social, 2004), resolución 2003 de 2014 y su actualización 3100 de 2019. En las cuales se encuentran definidos los procedimientos y condiciones aplicables a las entidades prestadoras de servicios de salud para la habilitación de los diferentes servicios que las conforman. (Ministerio de Salud y Protección Social, 2019) .

Finalmente, La certificación LEED implementada en edificios que buscan reducir su huella de carbono mediante la conservación de los recursos energéticos y costos de operación. Para su aplicación en Colombia se toma como referencia la normativa suministrada por el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible encargado de promover las construcciones de edificios sostenibles en Colombia (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS), 2008).

2.2.1. Manual de esterilización

El Manual de buenas prácticas de esterilización se rige bajo la Resolución 2183 de 2004 y el cual tiene como objetivo la orientación de la limpieza, desinfección, esterilización, almacenamiento y transporte para material y equipo utilizado en procesos médicos. Bajo el enfoque de la infraestructura de este manual se establecen las delimitaciones para el sistema de recirculación.

El Capítulo II, en el ítem de instalaciones define los criterios y requerimientos del espacio y los aspectos que deben cumplir con respecto a provisiones de electricidad, instalación de tuberías, cielos rasos, pisos áreas de trabajo y el flujo de las instalaciones.

El Capítulo IV del Manual define los distintos métodos existentes para los procesos de esterilización y cuáles son los requisitos establecidos para garantizar los estándares de seguridad para el paciente. En este capítulo también se define la seguridad industrial en donde se enumeran una serie de parámetros de bioseguridad a tener en cuenta en el proceso de esterilización por vapor y en el momento de intervenir el equipo.

2.3. Estado del arte

Para el desarrollo del sistema de recirculación en un esterilizador por vapor, se realizó una revisión bibliográfica de sistemas existentes y proyectos basados en la implementación de sistemas de recirculación de agua en procesos de esterilización. Clasificados según el contexto geográfico en el que fueron publicados, tal y como se observa a continuación:

2.3.1. Contexto internacional

Dentro de los trabajos revisados es importante tener una base científica de los procesos y mecanismos que conllevan la esterilización por vapor, por esto se examinan los siguientes artículos de contexto internacional '*Principles of antiseptics, disinfection and sterilization*' de María-Jesús Hernández-Navarrete, José-Miguel Celorrio Pascual, Carlos Lapresta Moros, Victor-Manuel Solano Bernad que busca revisar los conceptos y técnicas generales implementadas en la neutralización de microorganismos y el impacto medioambiental que presenta este proceso.

El artículo '*Sterility maintenance assessment of moist/wet material after steam sterilization and 30-day storage*' de Giovana Abrahão de Araújo Moriya, Kazuko Uchikawa Graziano tiene como objetivo evaluar el mantenimiento de la esterilidad en materiales humedecidos posterior a ser sometidos a un proceso de esterilización por vapor y ser almacenados y permite conocer para el presente proyecto el proceso final a los que son sometidos el instrumental médico posterior al proceso de esterilización. (de Araújo Moriya & Uchikawa Graziano, 2010)

La realización de un correcto proceso de esterilización es afín al manejo que el personal de salud le brinda al autoclave, para comprender los posibles fallos que se pueden encontrar por un mal uso del esterilizador se revisa el artículo '*Hospital Takes Hard Look at Immediate-Use Steam Sterilization*' de Joseph Sheffer, en el cual se realiza un análisis del proceso de esterilización implementado en el hospital de Aultman, Ohaio, estados unidos y se exponen los posibles fallos del personal en el momento de realizar la esterilización del instrumental médico. (Sheffer, 2015)

En el artículo '*Process analysis applied to water reuse for a "closed water cycle" approach*' de Marina Prisciandaro, Mauro Capocelli, Vincenzo Piemonte y Diego Barba se busca mediante el uso de elementos termodinámicos y de ingeniería el desarrollar un sistema que promueva las aguas residuales, esto permite en el desarrollo del presente proyecto entender a cerca del tratamiento por osmosis inversa de los procesos de filtración para la recirculación del agua. (Marina Prisciandaro, 2016)

En relación con lo mencionado anteriormente es necesario conocer e identificar los procedimientos realizados en el autoclave que ocasionan un mayor gasto energético y poder cuantificar este

consumo. Para esto se toman como referencia los artículos '*Hospital steam sterilizer usage: could we switch off to save electricity and water?*' de Forbes McGain, Graham Moore y Jim Black enfocado en el análisis del consumo eléctrico e hídrico de un esterilizador por vapor y cómo varía si el esterilizador es apagado en el momento de inactividad entre ciclos. (Forbes McGain G. M., 2016) y '*Steam sterilisation's energy and water footprint*' de Forbes McGain, Graham Moore, Jim Black que tiene como objetivo cuantificar el consumo hídrico y energético de los esterilizadores por vapor e identificar las posibles disminuciones del consumo que permiten una eficiencia económica y ambiental. (Forbes McGain G. M., 2017)

Los métodos de verificación de la eficiencia de los ciclos de esterilización son generalmente evaluados a través de indicadores biológicos y químicos, esto se observa de manera más detallada en el artículo '*Evaluation of Various Sterilization Processes of Orthodontic Instruments using Biological Indicators and Conventional Swab Test Method: A Comparative Study*' de Rajeev Lall, Anshu Sahu, Ankita jaiswal, Cometa Sunder, AR Sowmya, MC Sainath en cual se realiza un estudio comparativo de la eficiencia de varios procedimientos de esterilización mediante métodos convencionales de monitoreo de esporas implementando hisopos e indicadores biológicos. (Rajeev Lall, 2018)

Además, para la construcción del sistema de recirculación de agua de un esterilizador por vapor es necesario tener claro los posibles sistemas de filtración por los que pasará el agua antes de ingresar nuevamente al autoclave, para esto se toma como referencia el artículo '*A review on the research status and development trend of equipment in water treatment processes of recirculating aquaculture systems*' de Ruichao Xiao Yaoguang Wei Dong An Daoliang Li Xuxiang Ta Yinghao Wu Qin Ren que compara los equipos de filtración física implementado para eliminar sólidos suspendidos en el líquido durante el tratamiento de aguas residuales con los equipos de filtración biológicos capaz de eliminar el nitrógeno amoniacal, nitrito y otras sustancias peligrosas. (Ren, 2018) Mientras que los métodos de filtración utilizados para obtención de agua potable se encuentran en el artículo escrito por David M. Warsinger, Sudip Chakraborty, Emily W. Towa, Megan H. Plumlee y Christopher Bellonaf, bajo el título de '*A review of polymeric membranes and processes for potable water reuse*', en donde se expone el avance tecnológico en membranas poliméricas para la microfiltración por medio de la implementación del tratamiento físico químico de osmosis inversa.

Con el fin de verificar la calidad del agua residual obtenida, se investigó sobre las características fisicoquímicas que se ven alteradas después de procesos de esterilización, donde se tuvieron en cuenta una serie de estudio acerca de las alteraciones del agua en este tipo de procesos, el primer documento fue realizado por Johanna Tapias, Christian Andrei Chacín Zambrano, Oscar Guarín

Villamizar, Juan Carlos Uribe, titulado “Evaluación de las características microbiológicas y fisicoquímicas del agua sometida a procesos de esterilización en autoclaves a vapor”, donde se evidencian las alteraciones del agua por medio de análisis microbiológicos y fisicoquímicas, las cuales son necesarias para identificar si el agua se encuentra bajo las condiciones requeridas para la debida recirculación. (David M. Warsinger, 2018)

El análisis de las temperaturas alcanzadas por el agua es fundamental en presente proyecto y para esto se toma como referencia el estudio ‘*Second case study on the orientation of phaco hand pieces during steam sterilization*’ de R A C van Wezel, H W J M van Doornmalen, J de Geus, S Rutten y J P C M van Doornmalen Gomez Hoyos encargado de realizar un análisis en los procesos de esterilización y las temperaturas promedio abarcadas en cada una de las etapas del ciclo de esterilización por vapor. (R A C van Wezel, y otros, 2016). Además, para poder entender la relación entre la carga, duración del ciclo y la capacidad de penetración del vapor en un proceso de esterilización por vapor se revisa el artículo ‘*The Relation Between the Load, Duration, and Steam Penetration Capacity of a Surface Steam Sterilization Process: A Case Study*’ de Josephus P C M van Doornmalen, Ralph A C van Wezel y Klaas Kopinga que tiene como objetivo el determinar la influencia de la carga en la esterilización por vapor. (M van Doornmalen, van Wezel, & Kopinga, 2018)

Posterior a la filtración del agua que ingresa al esterilizador es necesario revisar y evaluar los ciclos de esterilización y si se están llevando a cabo de la manera más eficaz, para esto se toma como referencia el artículo ‘*Effectiveness of steam sterilization of reusable medical devices in primary and secondary care public hospitals in Nepal and factors associated with ineffective sterilization: A nation-wide cross-sectional study*’ de Gopal Panta, Ann K Richardson, Ian C Shaw, Stephen Chambers, Patricia A Coope en el cual se realiza una evaluación de los ciclos de esterilización en busca de recopilar información acerca de los esterilizadores mediante la evaluación de 189 ciclos de esterilización en 13 hospitales de Nepal. (Gopal Panta, 2019)

Posterior a la filtración del agua que ingresa al esterilizador es necesario revisar y evaluar los ciclos de esterilización y si se están llevando a cabo de la manera más eficaz, para esto se toma como referencia el artículo ‘*Effectiveness of steam sterilization of reusable medical devices in primary and secondary care public hospitals in Nepal and factors associated with ineffective sterilization: A nation-wide cross-sectional study*’ de Gopal Panta, Ann K Richardson, Ian C Shaw, Stephen Chambers, Patricia A Coope en el cual se realiza una evaluación de los ciclos de esterilización en busca de recopilar información acerca de los esterilizadores mediante la evaluación de 189 ciclos de esterilización en 13 hospitales de Nepal. (Gopal Panta, 2019)

Mediante el artículo ‘*Automatic Drinking Water Recirculation System for Application in Sanitary Hot Water Installations*’ de Daniel Ferrandez, Ángel Gómez, Carlos Morón y Jorge Pablo Diaz el

presente proyecto logra tener un acercamiento a los sistemas economizadores de agua caliente y los materiales a implementar dentro del circuito de recirculación debido a que este explica los parámetros a tener en cuenta para el diseño y construcción de un sistema que permita la recirculación de manera continua de agua potable. (Ferrandez, Gómez, Morón, & Diaz, 2020)

En la actualidad existen hospitales que implementan prototipos de monitorización a sus sistemas de recirculación de aguas residuales, algunos de ellos se encuentran expuestos en el artículo ‘Propuesta de instrumento para el monitoreo de efluentes aguas residuales en hospitales ecuatorianos, caso de estudio’ de Escudero, Mayra V; LEON, Wilson P.; Manzano, Dennis R.; MINGA, Fadia E. Álvarez y Jorge J, los cuales permiten generar una relación entre el crecimiento de organismos patógenos y la temperatura de las aguas residuales en las unidades médicas. (Escudero, LEON, Manzano, & MINGA, 2020) También se realiza una revisión sobre el proyecto titulado “Análisis de la calidad de aguas residuales del laboratorio clínico en un hospital de la ciudad de Guayaquil”, en el cual se examina el estado del agua por medio de pruebas de pH y realiza un análisis de parámetros como DBO5, DQO, Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspendidos Totales, entre otros. En esta investigación el análisis se realiza en agua proveniente de distintas áreas de laboratorio clínico, con el fin de evaluar la calidad de agua en distintos procesos de laboratorio clínico. (Herrera & Macias, 2020)

Finalmente, gracias al artículo “Análisis de ahorro de energía de vapor de un esterilizador médico” de Jemmad Kamal, Abdelhamid Hmidat y Saad Abdallah en el cual se realiza un análisis de las posibles formas de ahorrar energía con los esterilizadores por vapor se logra comprender que el punto ideal de recolección de agua residual de un esterilizador por vapor es desde la bomba de vacío de este. (Kamal, Abdelhamid, & Saad, 2021)

2.3.2. Contexto nacional

Se identifican los parámetros necesarios para evaluar las condiciones fisicoquímicas óptimas para realizar los procesos de recirculación en esterilizadores por vapor gracias al artículo ‘Evaluación de las características microbiológicas y fisicoquímicas del agua sometida a procesos de esterilización en autoclaves a vapor’ de Johanna Tapias, Christian Andrei Chacín Zambrano, Oscar Guarín Villamizar, Juan Carlos Uribe que implementa la evaluación de características fisicoquímicas del agua antes y después de ser sometidas a un proceso de esterilización en un autoclave (Tapias, Chacín Zambrano, Guarín Villamizar, & Uribe, 2017).

Posteriormente, para comprender la normativa aplicable para la recirculación de aguas en el territorio Colombiano junto con sus tratamientos se realiza la revisión del artículo ‘Desarrollo de alternativas para el aprovechamiento y uso eficiente del agua y verificación del cumplimiento de

los valores máximos permisibles de los vertimientos en el Instituto Nacional de Salud' de García Gamboa, Juliana Torres Mosquera y Christian Leandro enfocado en proponer alternativas para el aprovechamiento de agua y realizar un seguimiento al funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales no domésticas. (García Gamboa, 2019)

Finalmente, en la investigación del contexto nacional para comprender la viabilidad del proyecto en los ámbitos económicos, técnicos y ambientales se toma como referencia el artículo “Viabilidad Económica, Técnica y Ambiental del Reúso de Aguas de los Autoclaves de la Institución Inversiones Médicas de Antioquia S.A” de Frank Danilo Gómez Quintana en el cual se expone la amplia viabilidad económica y ambiental del proyecto debido al alto consumo de agua de la central de esterilización en la institución hospitalaria. (Gómez Quintana, 2021).

2.3.3. Contexto local

Después de realizadas las búsquedas no se encontraron investigaciones relacionados con el contexto local del presente proyecto en una ventana de los años 2010 a 2021.

La investigación teórica y documental de los procesos de esterilización y la implementación de sistemas de recirculación en los mismos dan paso al planteamiento de la metodología de desarrollo, la cual se fundamenta en los conceptos y la teoría investigada sobre conocimientos de hidráulica, electrónica y termodinámica enfocada al área de esterilización y sus respectivos procesos.

CAPITULO 3

METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la implementación del sistema de recirculación para la bomba de vacío se establecen las actividades generales para su desarrollo y construcción, para ello se plantea una serie de fases que se implementan de manera secuencial para su ejecución. La fase inicial se basa en la investigación teórica sobre los procesos de esterilización para definir los parámetros y el diseño del sistema, luego del desarrollo del diseño se implementa la segunda fase, la cual se basa en la adquisición de materiales y la implementación del diseño en el esterilizador seleccionado, al realizar la implementación del sistema se realiza la tercera fase de la metodología la cual, se basa en evaluar el funcionamiento del sistema teniendo en cuenta el almacenamiento de agua recolectada del desagüe y el ahorro del consumo del equipo.

3.1. Metodología

Para el desarrollo del presente proyecto se establecieron tres fases, con las cuales se logró recopilar la información de los procesos de esterilización, para su implementación en el diseño del sistema de recirculación de agua en un esterilizador por vapor y posterior evaluación del sistema mediante la estimación de ciclos que puede ser recirculada el agua, las fases de esta metodología se plantean de manera secuencial teniendo en cuenta la metodología tipo cascada.

Cada fase se compone de una serie de ítems y actividades que deben ser desarrolladas con el fin de alcanzar los objetivos previamente planteados, dichas actividades se relacionan en el cronograma, teniendo en cuenta el orden cronológico de las fases.

3.1.1. Fase de diseño

En la primera fase se realizó una investigación documental y una investigación teórica, las cuales se basaron en artículos, libros, manuales, documentos, resoluciones, entre otros, con el fin de poder conocer el funcionamiento de los esterilizadores por vapor y sus componentes electrónicos y de control. Los cuales permitieron reconocer las características a intervenir en el esterilizador, mediante una inspección técnica del autoclave.

Además, se realizó un diseño CAD preliminar del sistema de recirculación de agua del esterilizador y un diagrama para la elaboración del sistema, tal y como se observa en la figura 1. El cual se usó para el desarrollo de los circuitos implementados en el sistema mediante la utilización de softwares electrónicos.

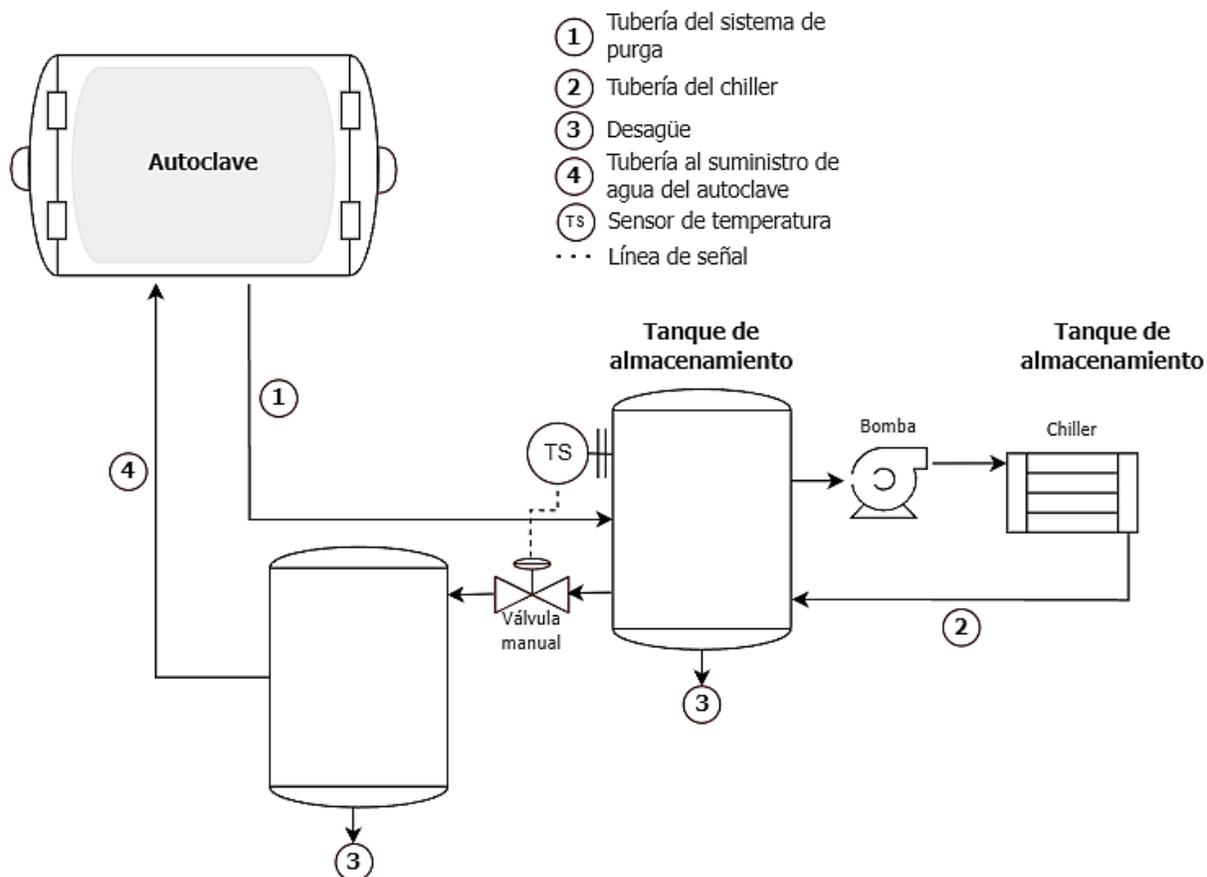


Figura 1. Diagrama del sistema de recirculación del esterilizador

En la fase de diseño, se planteó la lista de materiales requeridos teniendo en cuenta el diagrama de la figura 2, esta lista de materiales se realizó teniendo como referencia el consumo de agua del equipo en el tiempo en el que se ejecuta un ciclo completo del proceso de esterilización, en la lista también se incluyeron los materiales necesarios para la implementación del sistema de refrigeración requerido para poder reingresar el agua nuevamente al proceso de esterilización.

En el diseño se planteó un sistema de control guiado integrado por un microcontrolador y un sensor de temperatura, dicho sensor se encarga de controlar la medición de la temperatura del agua almacenada en el tanque 1, el diseño del sistema plantea el uso de una válvula de 3 vías que permite el paso de agua hacia el tanque 2, cuando esta cumpla las condiciones óptimas para ser utilizada en la bomba de vacío. Dicha válvula permite el paso del agua cuando el sistema de refrigeración logra reducir la temperatura del agua a menos de 28°C. En el diseño del sistema de refrigeración se planteó disminuir 2° C, por cada vez que el agua pasaba por el chiller.

3.1.2. Fase de implementación

La fase de implementación consistió en la adquisición de los materiales establecidos en la lista de diseño y la elección de estos mediante una evaluación de criterios de selección como características técnicas, costos de adquisición y disponibilidad geográfica. Para ello se realizaron tres cotizaciones de los materiales requeridos (teniendo en cuenta el costo de envío).

Al obtener la selección de los materiales con las características ideales para la implementación del sistema, teniendo en cuenta el factor económico, se procedió a realizar la instalación del sistema planteado en el diseño. Para dicha implementación, primero se requirió de un acople entre el esterilizador hacia el tanque de almacenamiento 1, los cuales se conectaron entre sí por medio de una manguera hidráulica la cual soporta una temperatura superior a los 150° C.

También se implementó un sistema de refrigeración el cual se basa en la implementación de un chiller, que tiene como objetivo disminuir la temperatura del agua proveniente del esterilizador a una temperatura ideal en este caso temperatura ambiente. Para verificar que la temperatura que ingresa a la bomba de vacío cumple con las características deseadas se instaló un sensor de temperatura el cual se encarga de enviar alarmas visibles y audibles para que el usuario del sistema permita el paso de agua hacia el tanque de almacenamiento 2 por medio de una válvula de 3 vías.

El sistema diseñado no requiere de un sistema de osmosis teniendo en cuenta que el esterilizador cuenta con este sistema internamente para evitar el paso de sedimentos provenientes del suministro de agua.

3.1.3. Fase de evaluación

En la fase de evaluación se realizaron las pruebas de funcionamiento requeridas para la evaluación del desempeño del sistema posicionado en el esterilizador, para lo cual se realizó la estimación del número de ciclos que puede ser reusada el agua sin afectar el proceso de esterilización. Por último, se estimaron los puntos de mejora y recomendaciones del presente proyecto y se generaron las conclusiones que permitieron consolidar los conocimientos adquiridos en el desarrollo de este.

En esta fase se evaluó el funcionamiento del sistema calculando el ahorro generando por medio de la recirculación del agua, teniendo en cuenta cuantas veces puede recircularse el agua utilizada normalmente para un solo ciclo. La evaluación de la cantidad de ciclos en los que el agua puede ser recirculada se realiza teniendo en cuenta si la carga pasa la prueba biológica realizada normalmente durante el proceso de esterilización por vapor, cuando la carga no pasa la prueba biológica se establece el límite de veces que se permite la recirculación.

La implementación secuencial y detallada de cada una de las fases es de vital importancia para la correcta ejecución del proyecto, por ende, se relacionan cada una de las actividades tanto como con los objetivos como con las fases de la metodología. Se establece una metodología en cascada teniendo en cuenta la limitación del tiempo y los entregables definidos para cada fase.

CAPITULO 4

RESULTADOS

Para el correcto desarrollo se planteó una lista de chequeo con los resultados esperados para cada una de las fases establecidas en la metodología. La implementación del sistema se llevó a cabo con el uso de elementos de ingeniería termodinámicos teniendo en cuenta las necesidades para la solución del problema planteado. Al completar la instalación del sistema electrohidráulico planteado se verificó el funcionamiento del sistema de recirculación teniendo en cuenta el llenado del tanque de almacenamiento y el ahorro en el consumo de agua del equipo posterior a la instalación. Según esto se obtuvo durante el desarrollo del presente proyecto los siguientes ítems.

4.1. Resultados

4.1.1. Características para intervenir del Esterilizador

Relacionadas las características de funcionamiento del esterilizador por vapor marca STERICLINC y cada uno de sus componentes, se procedió a realizar la inspección técnica del esterilizador modelo STE-400 ubicado en la sede de Líneas Hospitalarias, Girón, Santander de lo cual se obtuvo que las partes a intervenir en el esterilizador para el acople del sistema de recirculación son:

Tabla 1. Lista de Materiales para intervenir en el esterilizador.

No.	Componentes para intervenir en el esterilizador	Uso
1	Salida de agua de la bomba de vacío	Conexión de la entrada del sistema de recirculación de agua y extracción del agua residual del esterilizador.
2	Entrada de agua del sistema de osmosis	Conexión de la salida del sistema de recirculación de agua.

4.1.2. Listado y selección de Materiales

Bajo las necesidades del proyecto y el sistema de recirculación previamente diseñado en un modelo CAD, se definieron los materiales requeridos para la implementación e instalación del sistema en un esterilizador de la marca STERICLINIC.

Tabla 2. Lista de Materiales para el sistema de recirculación

Material	Cantidad
Tanques de almacenamiento de 150 L	2
Chiller	1
Manguera Hidráulica	10 metros
Microcontrolador - Arduino	1
Termocupla - Módulo Max 6675	1

Tabla 3. Cotización de la lista de materiales

C	Material	Cotización 1	Cotización 2	Cotización 3
2	2 Tanques de almacenamiento de 150 L	\$149.000 c/u (Homecenter /Bucaramanga)	\$175.000 c/u (Constructores Colombia /San Gil)	\$135.000 c/u (Imsaguas Ltda/ Florida Blanca)
1	Manguera Hidráulica (10 metros)	\$199.900 (MercadoLibre) Envío Gratis	\$176.500 (Homecenter /Bucaramanga)	\$210.00,00 (MercadoLibre) Envío Gratis
1	Microcontrolador – Arduino Uno	\$37.842,00 (Vistronica/Fusagasuga) Envío: \$8000	\$35.100 (Dynamo Electronics /Bucaramanga)	\$40.000 (Merkatronik/Medellin) Envío: \$6500
1	Termocupla - Módulo Max 6675	\$29.000 (Servotronik/Neiva) Envío: \$7500	\$32.606 (MercadoLibre) Envío Gratis	\$22.000 (Ferretronica/Tunja) Envío: \$6000
1	Bomba ¼ hp	\$483.000 (Bombas 360 / Envío gratis)	\$545.000,00 (Equipmaster / Envío gratis)	\$520.000,00 (MercadoLibre / Envío Gratis)

Para la selección de los materiales al momento de la compra se realizaron tres cotizaciones por cada material en donde no solo se tiene en cuenta su valor, si no su ubicación geográfica de donde este se encuentra, debido a que él envío del material conlleva un gasto y tiempo adicional. Para esta selección se implemento la metodología de pesos ponderados, en la cual se realiza una evaluación de cada una de las características mencionadas anteriormente. En la tabla que se muestra a continuación se evidencia la valoración realizada para cada uno de los materiales requeridos en la implementación.

Tabla 4. Porcentaje para la selección

Característica	Porcentaje asignado
Características técnicas	40%
Costo	35%
Ubicación	25%

Para continuar con el proceso de selección se otorgó una puntuación a cada alternativa, teniendo como menor puntuación 1, puntuación media 3 y puntuación máxima 5. En la calificación de las alternativas se le asigna la debida puntuación sin repetir el puntaje de los criterios entre las diferentes alternativas.

Tabla 5. Evaluación de materiales

Material		Costo	Ubicación	Características técnicas
Tanques de almacenamiento de 150 L	Cotización 1	3	3	1
	Cotización 2	1	5	3
	Cotización 3	5	1	5
Microcontrolador - Arduino	Cotización 1	5	5	3
	Cotización 2	3	1	5
	Cotización 3	1	3	1
Termocupla - Módulo Max 6675	Cotización 1	3	1	1
	Cotización 2	1	3	5
	Cotización 3	5	5	3
Bomba ¼ hp	Cotización 1	5	3	5
	Cotización 2	3	1	3
	Cotización 3	1	5	1
Manguera Hidráulica	Cotización 1	3	1	5
	Cotización 2	5	5	3
	Cotización 3	1	3	1

Tabla 6. Materiales según cotización realizada.

Material	Cotización seleccionada
Tanques de almacenamiento de 150 L	Cotización 3
Microcontrolador - Arduino	Cotización 1
Termocupla - Módulo Max 6675	Cotización 3
Bomba ¼ hp	Cotización 1
Manguera Hidráulica	Cotización 2

4.1.3 Diseño del sistema de control del sistema de recirculación

Para el desarrollo del sistema de control del presente proyecto se establecieron dos subsistemas, el primero realiza un monitoreo constante de la temperatura residual del esterilizador, mientras que el segundo genera una alerta visual y auditiva al personal encargado de maniobrar el sistema para cambiar el sentido del flujo del agua que circula por el sistema. Para ello se realizó inicialmente un diagrama de flujo con la lógica a implementar para el desarrollo de sistema de monitorización propuesto, el cual se puede observar en la figura 2.

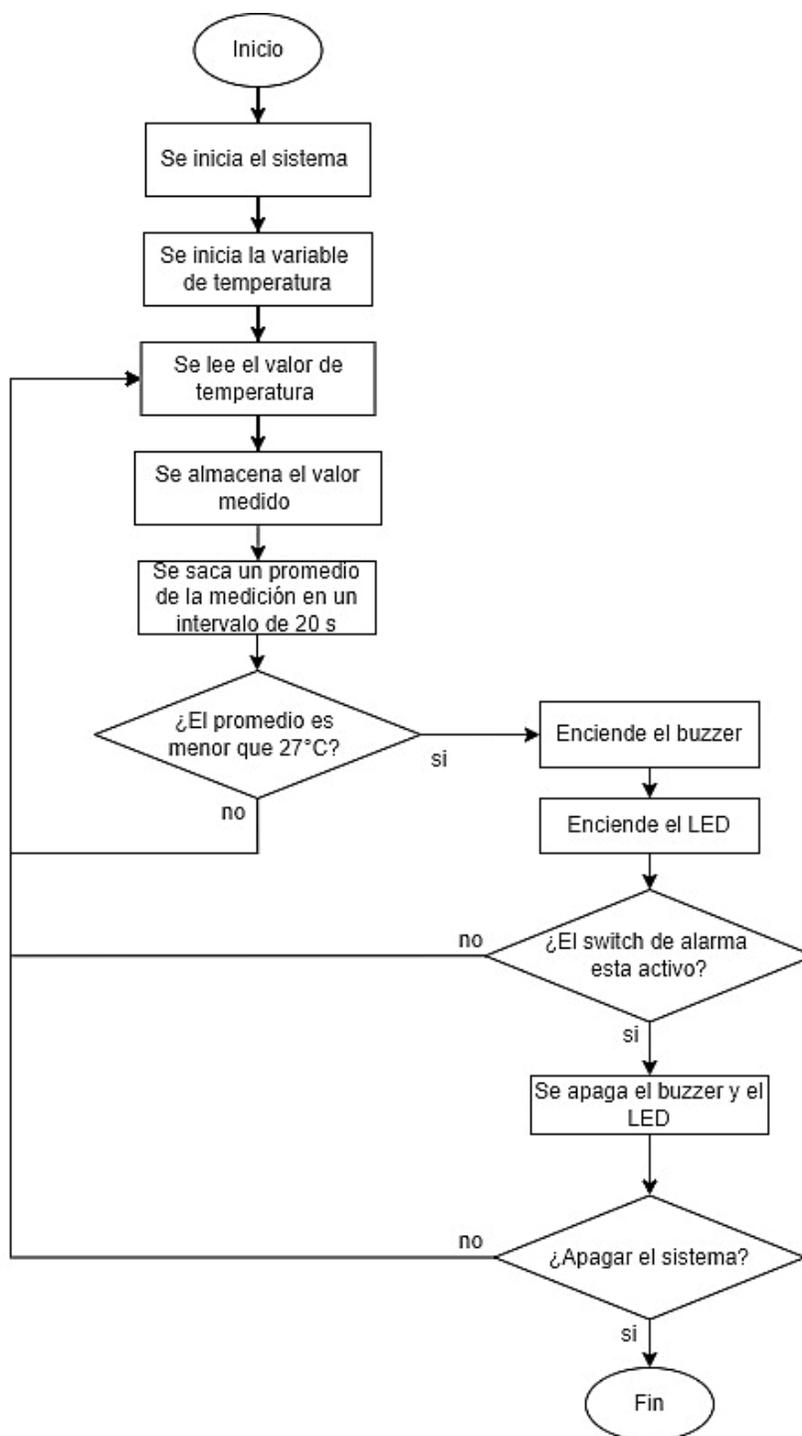


Figura 2. diagrama de flujo de la programación del sistema de monitorización

Una vez se definió el proceso a llevar a cabo en código para el sistema se procedió a diseñar el circuito y las conexiones del sistema por medio de simulación por medio de etapas como se muestra a continuación:

4.1.3.1 Diseño del sistema de monitoreo de temperatura

Para el sistema de monitoreo de temperatura se planteó un sistema de censado que permite evidenciar el nivel de la temperatura luego de pasar por el sistema de enfriamiento (chiller), el diseño de este se compone de una termocupla tipo K junto a un módulo de Arduino MAX6675, el cual permite la lectura y transmisión de datos a un microcontrolador de Arduino. Para verificar el funcionamiento del diseño planteado previo a la instalación física se realiza una simulación del circuito en Proteus implementando la codificación para la lectura de la variable.

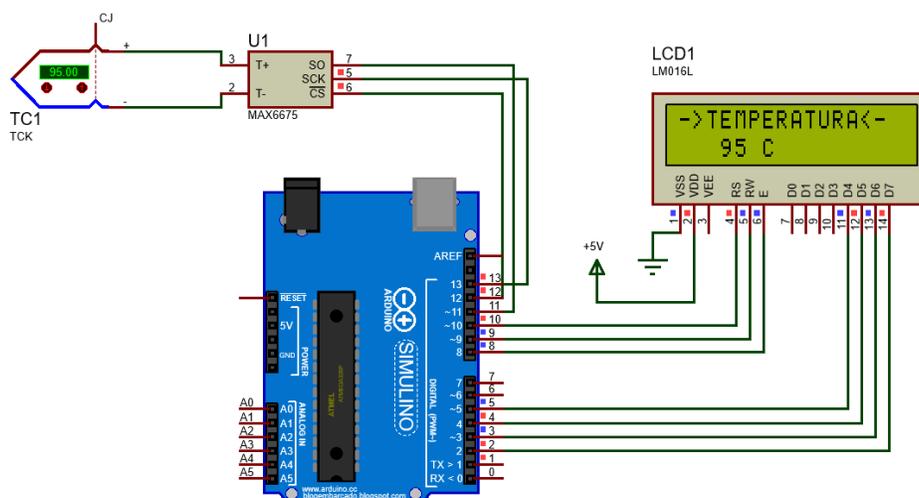


Figura 3. Simulación en Proteus del circuito de monitoreo de temperatura

4.1.3.2. Diseño del sistema de control y alarmas

Para la parte de control del sistema de recirculación se planteó y diseñó un circuito de alarma visual y audible que alerte al usuario al momento en el que se pueda abrir la válvula de paso del agua recirculada hacia la bomba de vacío del equipo. Cuando el agua proveniente del chiller (almacenada en el tanque 1) disminuya su temperatura a un nivel menor de los 27 °C, el sistema encenderá una luz verde como alarma visual y activará una bocina como alarma audible. Las alarmas se desactivan manualmente por el usuario en el momento en el que este presione el botón del sistema de control.

En la imagen que se muestra a continuación se evidencia la simulación del sistema de control cuando la temperatura del agua del tanque no ha alcanzado una temperatura menor a los 27 °C, por lo cual el sistema de paso se encuentra inactivo.

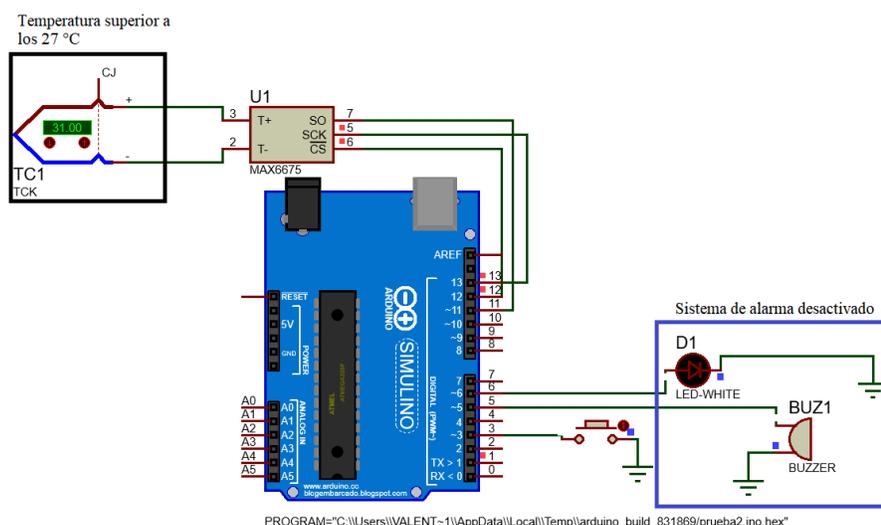


Figura 4. Simulación en Proteus del circuito de alarma en estado inactivo - Estado 1

Cuando el sensor de temperatura tiene un promedio de lecturas menor a los 27 °C por un tiempo de 2 minutos el sistema de alarmas se activa emitiendo la alarma visual y audible (Estado 2 del sistema de alarma), hasta que el usuario accione el botón de parada para desactivar las alarmas (Estado 3) o hasta que el promedio de las lecturas de la variable supere los 27 °C (Estado 1). En la imagen que se muestra a continuación se evidencia el Estado 2 del circuito del sistema de alarmas en una simulación de Proteus.

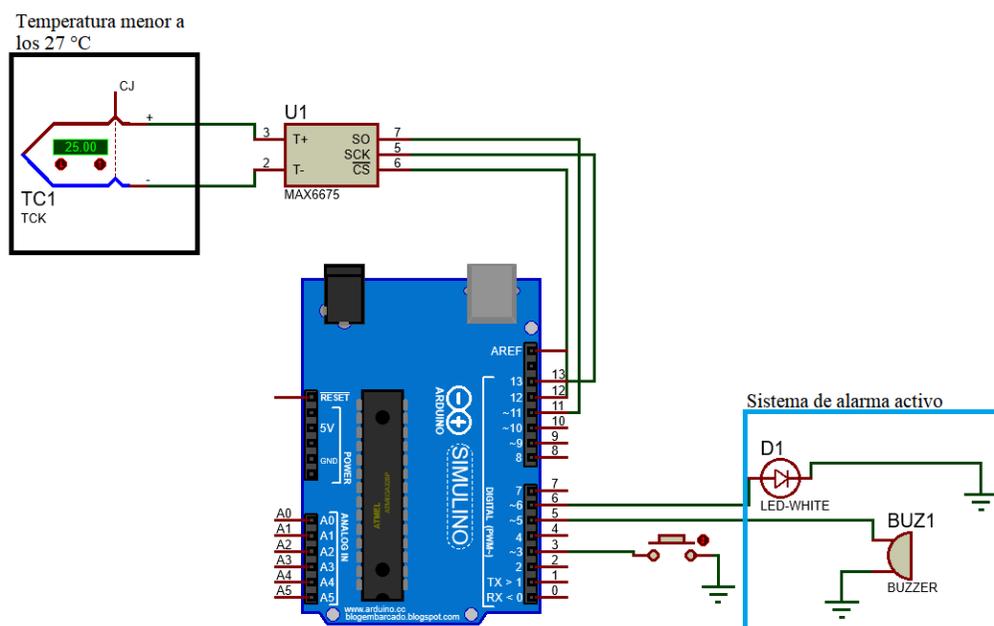


Figura 5. Simulación en Proteus del circuito de alarma en estado activo - Estado 2

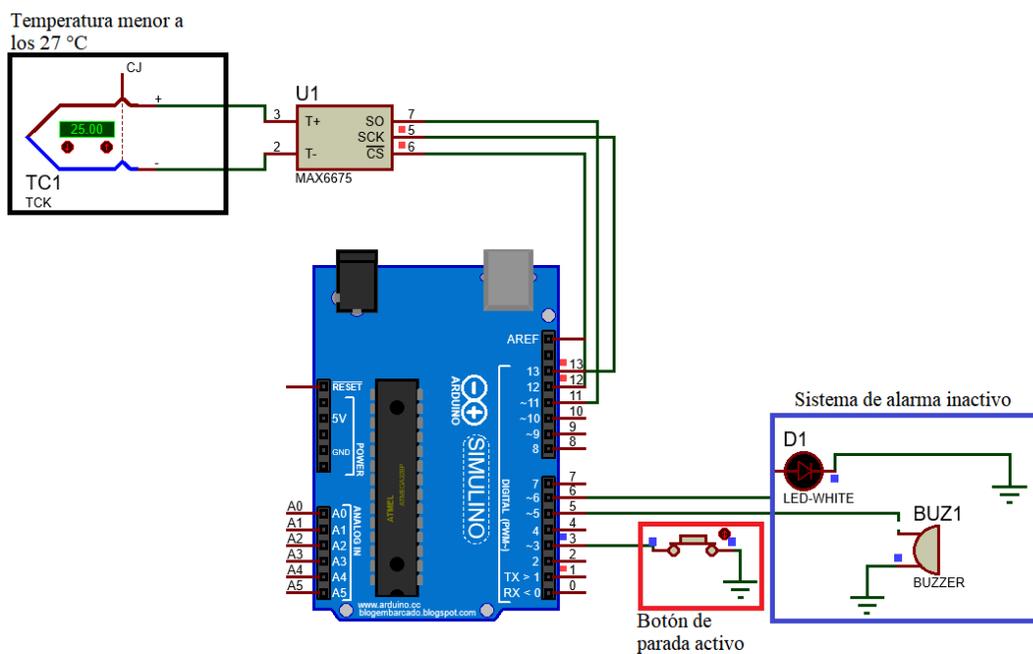


Figura 6. Simulación en Proteus del circuito de alarma en estado inactivo por botón de parada - Estado 3

4.1.4. Diseño CAD y planos de instalación del sistema

Para el diseño CAD se tomaron como referencia las medidas del esterilizador y una consideración dada por el fabricante, la cual establece una separación entre el esterilizador y las paredes que lo rodean de 90 cm. Con estos datos se crea el modelo 3D mostrado en la figura 7, en el cual se puede observar la distribución del sistema de recirculación, así como el espacio que ocupa el esterilizador y los espacios requeridos estipulados por el fabricante alrededor del mismo.

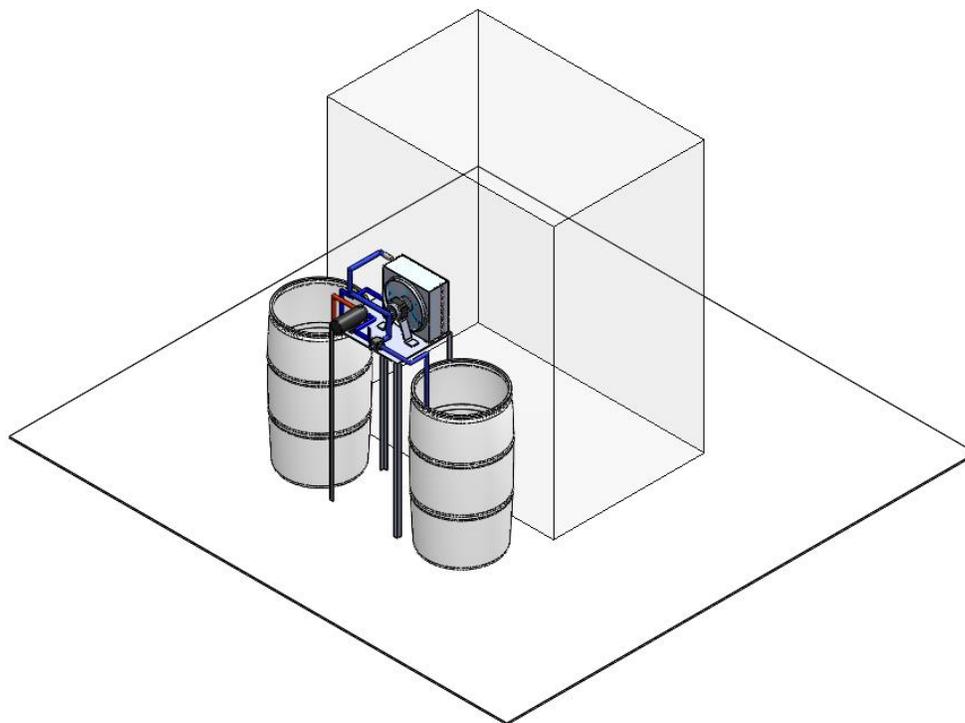


Figura 7. Diseño CAD del área de instalación del sistema de recirculación

Una vez definido el modelo 3D y los espacios requeridos ocupados tanto por el sistema de recirculación y el esterilizador se realizó un plano que cuente con estos espacios demarcados y el área total requerida para la instalación de estos elementos. Este plano se puede encontrar en el anexo 1 del presente documento.

4.1.5. Consumo real en litros del esterilizador por ciclo de trabajo.

Se estimó el consumo real de agua por ciclos de esterilización, ya que es indispensable en el desarrollo del presente proyecto, para esto se implementó la medición del flujo que ingresa al equipo realizada por la empresa STERICLINIC, lo cual proporciona un acercamiento a la cantidad de agua a reutilizar en el sistema de recirculación. Con base en esto se establece la siguiente tabla.

Tabla 7. Consumo real en litros del esterilizador STE-400 marca STERICLINIC

Esterilizador	Volumen (L)
STE-400	180

Además, se realizó el análisis de la gráfica de presión vs tiempo de las fases del ciclo de esterilización proporcionada por la empresa STERICLINIC del esterilizador modelo STE-400 para así determinar los tiempos aproximados de evacuación de agua del esterilizador. De lo cual se obtuvo la siguiente figura.

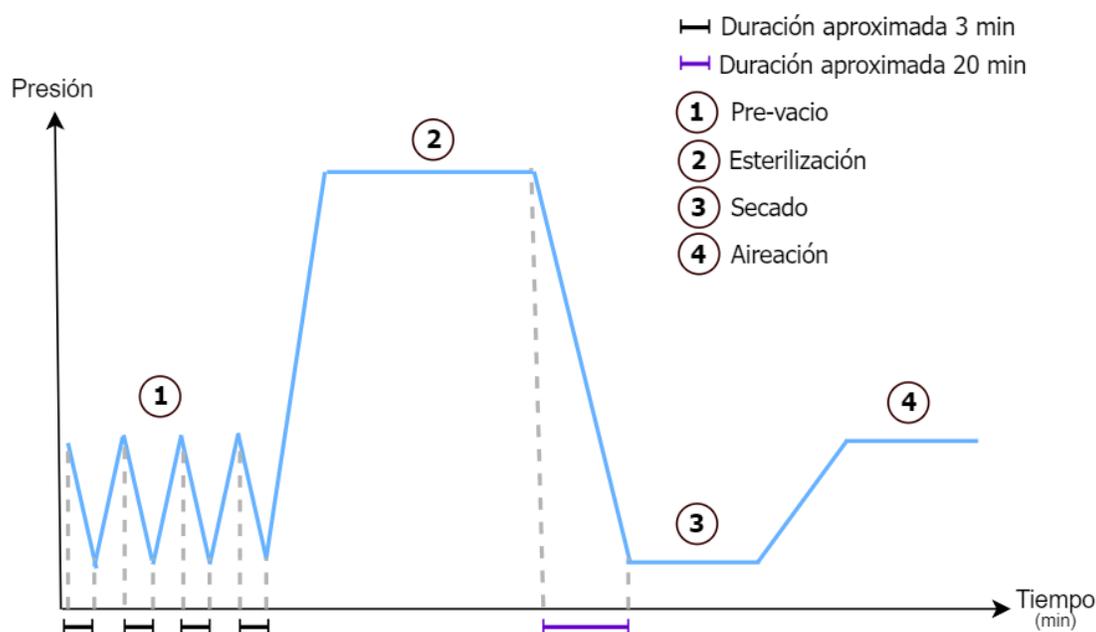


Figura 8. Fases del ciclo de esterilización a vapor y momentos de evacuación de agua.

Además, fue necesario analizar los tiempos promedios del ciclo de esterilización, los cuales se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla 8. Tabla de tiempos promedio de las fases del ciclo de esterilización.

Fase	Tiempo (min)
Pre-vacio	18
Esterilización	20
Secado y aireación	20
Total	58

Según la figura 8 las fases de interés del presente proyecto son Pre-Vacío y el final de la fase de esterilización denominada Post-Vacío debido a que en estos momentos el esterilizador presenta la evacuación del agua a recircular. Con ayuda de la termocupla y sensor de flujo se determinaron los valores de temperatura y volumen evacuados por el esterilizador en estas fases, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 9. Tabla de volumen y temperatura promedio evacuados en las fases del ciclo de esterilización

Fase	Volumen (L)	Temperatura (°C)
Pre-vacio	37,241	40°C
Post-vacio	62,069	90°C
Total	99,310	

4.1.6. Instalación de sistema de enfriamiento

Con el fin de poder disminuir el nivel de temperatura proveniente del sistema de purga del esterilizador a menos de 27 ° C, se instaló un sistema de enfriamiento conformado por un chiller, dos tanques de almacenamiento y una termocupla tipo K con un módulo Max 6675 de Arduino. Esta termocupla es un sensor de temperatura que permite la medición de la variable de interés del agua de los tanques de almacenamiento, teniendo en cuenta que es sumergible, su conexión se realiza con un modulo MAX 6675 de Arduino para poder enviar así la información obtenida al microcontrolador.



Figura 9. Termocupla tipo K – Modulo Max 6675 de Arduino (Duino LK, s.f.)

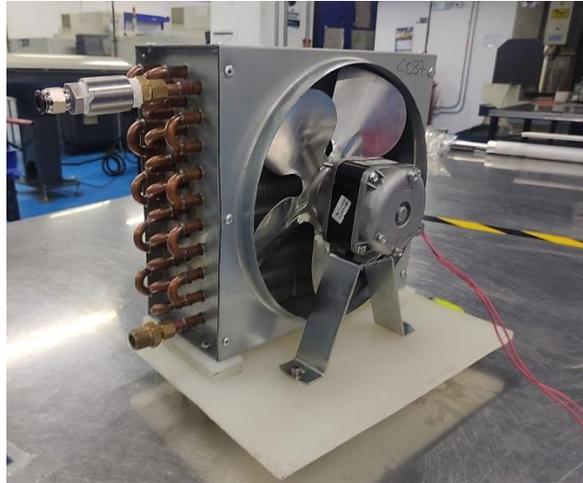


Figura 10. Máquina frigorífica - Chiller

Para adquirir los datos obtenidos por el Módulo de Temperatura Max 6675, se realizó una conexión del módulo a una placa de Arduino Uno, en la cual se carga un código que permite visualizar la medición de la variable en la herramienta Monitor Serial de Arduino.

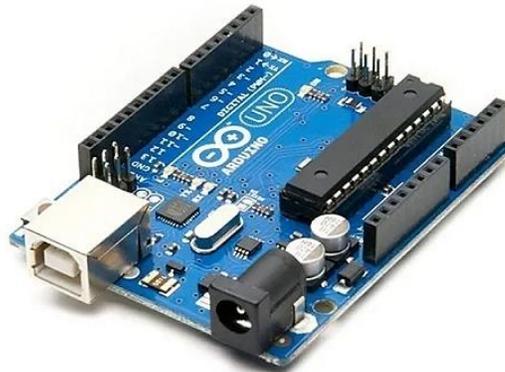


Figura 11. Placa de Arduino Uno (Mercado Libre, 2022)

```
14:36:51.129 -> Temperatura = 72.25 C
14:36:56.138 -> Temperatura = 71.50 C
14:37:01.141 -> Temperatura = 71.50 C
14:37:06.142 -> Temperatura = 71.25 C
14:37:11.144 -> Temperatura = 69.75 C
```

Figura 12. Visualización de datos de temperatura en el Monitor serial de Arduino

4.1.7. Ecuación experimental del modelo de sistema de enfriamiento

Los datos tomados por el módulo de temperatura se importaron a una hoja de cálculo de Excel, para así poder graficarlos y obtener la línea de tendencia y la ecuación que modela el funcionamiento del chiller, teniendo como periodo de muestreo 1 segundo para la toma de la

temperatura del agua. En la tabla que se muestra a continuación se evidencia los datos censados en los primeros 10 s, del agua proveniente del sistema de purga luego de pasar por el chiller.

Tabla 10. Tabla de mediciones de temperatura de agua en proceso de enfriamiento.

Temperatura °C	Tiempo (s)
79,75	1
79,25	2
78,75	3
78,5	4
78,5	5
78,5	6
78	7
78,5	8
77,75	9
77,75	10

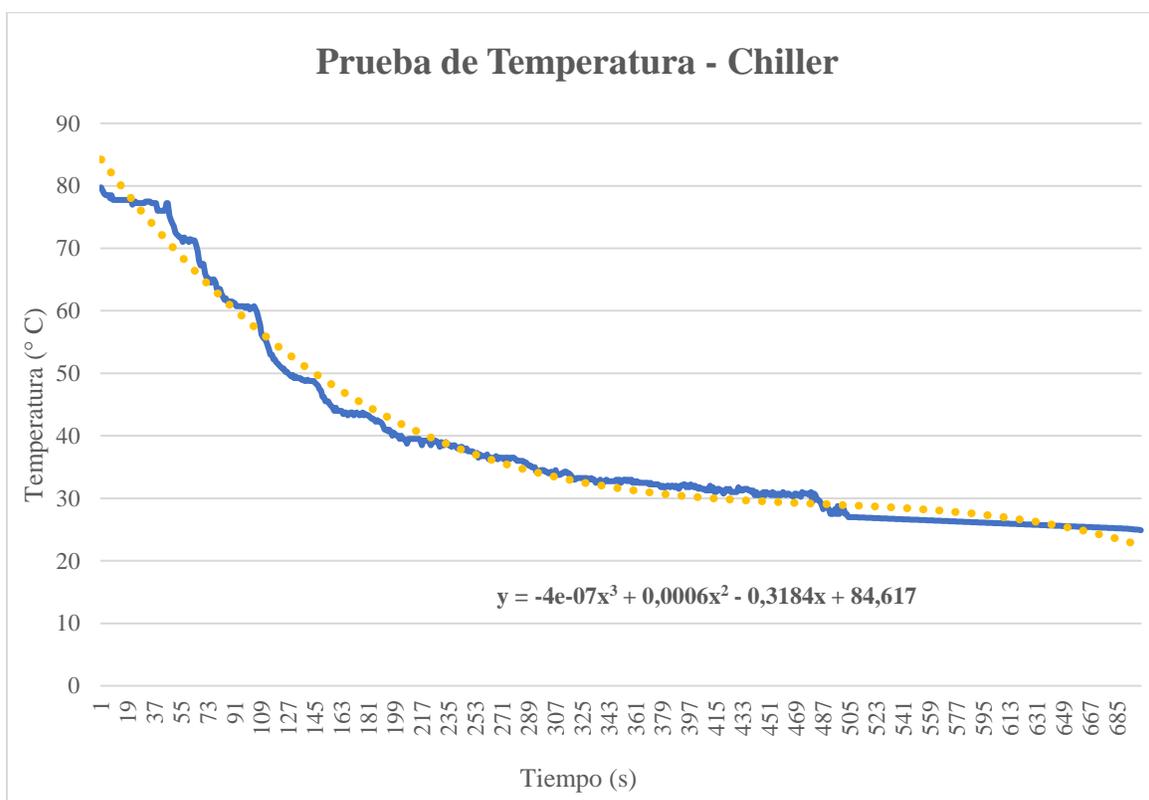


Figura 13. Gráfica de mediciones de la temperatura del agua en proceso de enfriamiento

En la gráfica anterior se evidencia que el tiempo requerido para disminuir la temperatura del agua desde los 80°C (temperatura del agua proveniente del sistema de purga) a 25°C (temperatura ambiente – ideal para el funcionamiento de la bomba de vacío), es mayor a los 11 min.

4.1.8. Resultados de la implementación del sistema de enfriamiento en el proceso de esterilización

En la gráfica que se muestra a continuación se observa el comportamiento del funcionamiento del sistema de enfriamiento sobre el agua proveniente del sistema de purga del esterilizador, en la fase inicial del proceso (*fase de pre-vacío*). Durante esta fase se evidencia una fluctuación en el nivel de la temperatura debido al comportamiento característico del proceso de esterilización en su primera fase, en donde se presenta una eyección de agua a una temperatura cercana a los 45 °C durante un periodo de tres minutos con pausas de dos minutos entre cada eyección, teniendo, así como duración total de la fase un tiempo cercano a los 18 minutos. Estas sierras representativas del proceso se presentan cuatro veces en el momento previo a la meseta de esterilización.

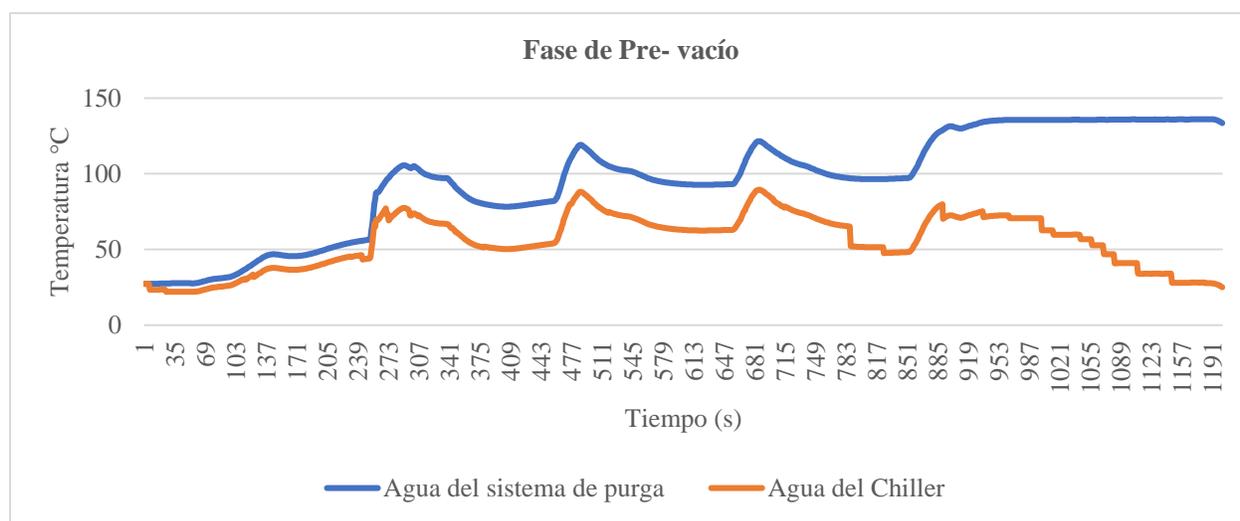


Figura 14. Gráfica de la implementación del Chiller en la fase de Pre-Vacío

En la gráfica que se muestra a continuación se evidencia el funcionamiento del sistema de enfriamiento implementado en el esterilizador durante la fase de Post-vacío, en donde el sistema recibe agua proveniente del sistema de purga del equipo durante alrededor de 20 minutos. Sin embargo, el sistema de enfriamiento requiere de un periodo entre 8 – 10 minutos adicionales para poder estabilizar la temperatura de agua alcanzando las condiciones óptimas para el funcionamiento de la bomba de vacío. Durante este proceso el agua ingresa al sistema de enfriamiento de manera constante a una temperatura de 90 °C.

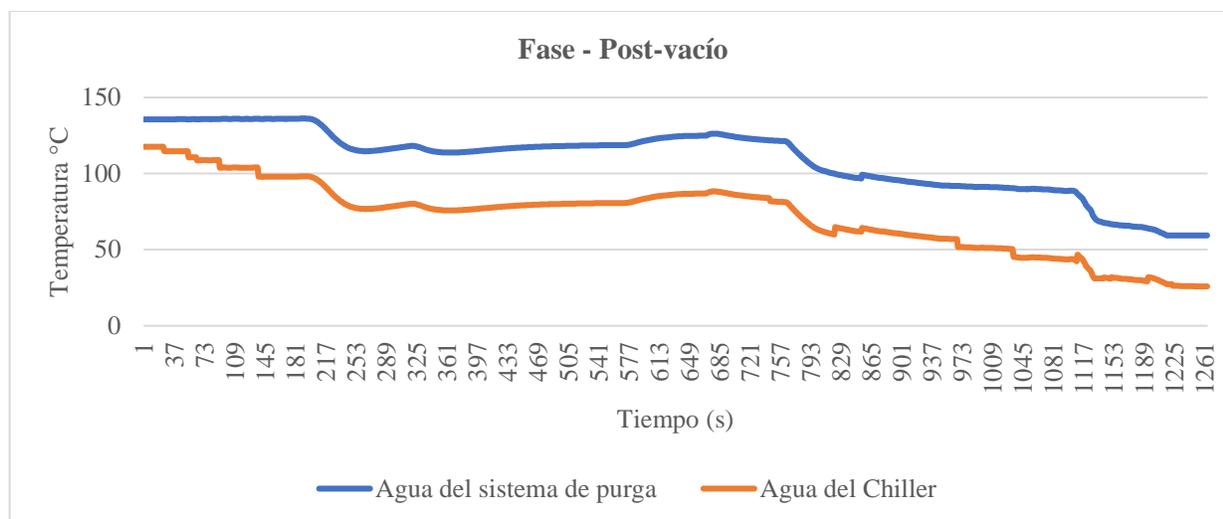


Figura 15. Gráfica de la implementación del Chiller en la fase de Post-vacío

4.1.9. Diseño CAD del sistema de recirculación final

Una vez seleccionadas las partes a intervenir del esterilizador y los materiales implementados se procedió a definir la arquitectura del prototipo, con sus respectivas dimensiones, tanto en conjunto, como para cada uno de los materiales que los componen, esto con el fin de realizar el modelado 3D del sistema de recirculación de agua para la bomba de vacío de un esterilizador por vapor mediante la implementación del software SolidWorks. En busca de simular a escala real la estructura del prototipo. De esta forma se obtiene el diseño que se muestra en figura 16. El cual cuenta con 2 tanques de reservorio, una bomba de agua de 24V - 5A, un chiller, una válvula manual de 3 vías y una mesa pasa soportar los componentes.

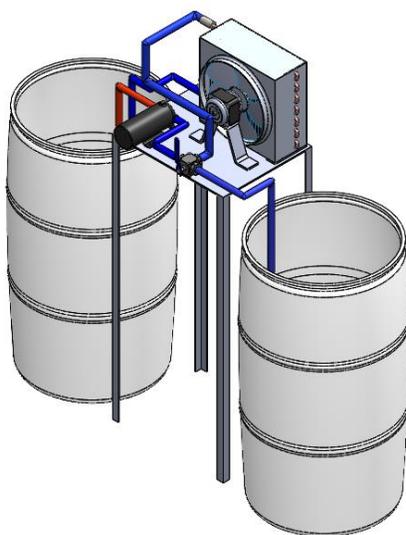


Figura 16. Diseño 3D del sistema de recirculación de agua para la bomba de vacío de un esterilizador por vapor en SolidWorks.

4.1.10. Sistema de recirculación implementado en físico

La implementación física del sistema de recirculación se realizó en las instalaciones de la empresa STERICLINIC quienes permitieron el uso de un esterilizador modelo STE-400 para probar el sistema de recirculación propuesto, en la figura 17 se muestra el montaje del sistema en mención junto al esterilizador.



Figura 17. Sistema de recirculación instalado en el esterilizador modelo STE-400

El sistema instalado es semejante al diseño propuesto, con ligeras modificaciones en su distribución debido a limitaciones en el área de trabajo donde se realizaron las pruebas y la

instalación. Debido a que en el área donde se realizaron las pruebas no se contaba con una mesa de las características diseñadas para ubicarla en el centro de los dos tanques, se optó por extender las tuberías que comunicaban el equipo con los tanques y la bomba como se observa en la figura 17. Además, debido a que la salida de agua se encontraba en una cara opuesta al lugar de instalación del sistema y esta era propulsada por una bomba se decidió realizar la conexión al tanque mediante una manguera más larga y pasarla por la parte inferior del equipo como se muestra en la figura 18.

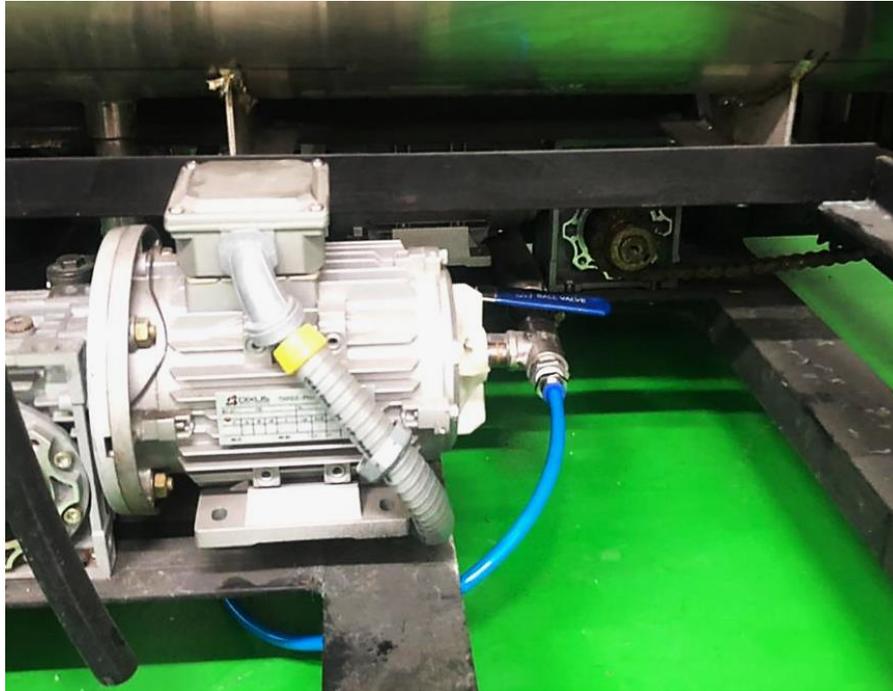


Figura 18. Salida de agua del esterilizador y su conexión a la manguera del tanque 1.

Por último, en las figuras 19 y 20 se pueden observar en detalle los elementos que componen el sistema de recirculación, con la adición respecto al diseño de una fuente de 24VDC para la alimentación de la bomba la cual se puede observar en la figura 18 y una conexión en T con llaves de paso para reemplazar la válvula de 3 vías propuesta en el diseño del sistema la cual se puede observar en la figura 19 sobre el tanque reservorio 1. La distribución de los tanque se encuentra en la descripción de la figura 19.

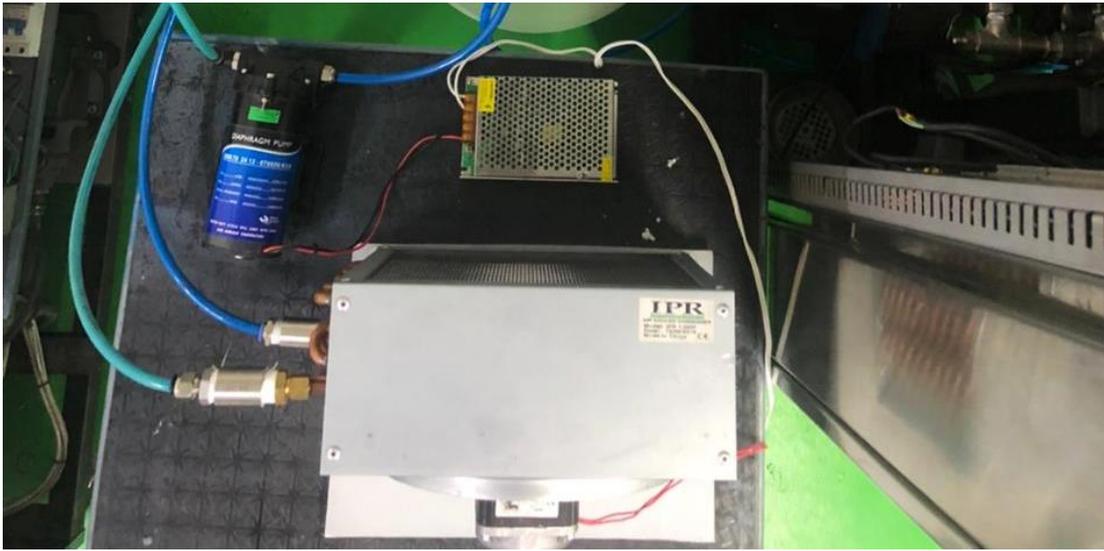


Figura 19. Vista superior del sistema de bombeo de agua, el chiller y la fuente de alimentación de la bomba



Figura 20. Tanques de agua del sistema, de izquierda a derecha el tanque reservorio 2 y el tanque reservorio 1.

Para la alimentación del sistema en la figura 21 se muestra la conexión a la entrada de agua del equipo la cual está directamente conectada al tanque reservorio 2, a su vez en la parte superior del tanque reservorio 1, se muestra el módulo de acople de la termocupla usada para la medición de la temperatura sin su carcasa protectora. De este módulo se desprende la conexión a una carcasa externa donde se encuentra el Arduino, junto a los sistemas de alarma implementados.



Figura 21. Conexión de entrada de agua al equipo y vista del módulo MAX6675

4.1.11. Informe de costos

El consumo total de agua que tiene un esterilizador de la marca STERICLINIC con capacidad de 300L en su ciclo más crítico es de 180 L aproximadamente. Teniendo como referencia los datos presentados en la tabla 11 y el consumo mencionado anteriormente, se estableció que por cada ciclo se recolectan 99,310 L, correspondiente a la eyección de agua del sistema de purga durante las fases de Pre-Vacío y Post- Vacío.

Teniendo en cuenta que en un solo ciclo se obtiene el 55,17% del volumen total de agua requerida para la ejecución del proceso de esterilización, se define un periodo de dos ciclos previos para la recolección y el acondicionamiento del agua en el sistema de recirculación. Para el proceso de enfriamiento se tomaron en cuenta el tiempo de duración de las fases de secado y aireación, esto con el fin de que la temperatura del agua sea estable y alcance las condiciones mínimas requeridas para poder ingresar a la bomba de vacío.

Tabla 11. Relación consumo de agua del esterilizador vs agua recolectada por ciclo en el sistema de recirculación.

Consumo de agua por ciclo (L)	Agua recolectada por ciclo (L)
180	99,31

Se definió un porcentaje de ahorro del 45,45% del consumo, bajo la premisa de que se requieren 2 ciclos iniciales para iniciar el proceso de recirculación y que cada ciclo intermedio el proceso se realiza con agua proveniente del sistema de recirculación, también se tiene en cuenta que esta agua

puede recircularse durante tres meses presentando un ahorro exponencial debido a la implementación del sistema de osmosis del esterilizador por vapor de marca STERICLINIC STE-400. Este tiempo de recirculación es estimado por la empresa STERICLINIC debido análisis de agua realizados en el equipo. Diariamente se realiza un promedio ente 8 y 12 cargas en un servicio de esterilización, por lo que se concluye con un ahorro mínimo diario tras la implementación del sistema como se muestra en la tabla 12.

Tabla 12. Ahorro aproximado diario según ciclos de esterilización.

Numero de ciclos	Consumo de Agua	Ahorro diario
8	1440 L	654,5 L
12	2160 L	981,72 L

Esto supondría que una institución que realice un número de ciclos acorde a la tabla 12, al mes tendría un gasto en agua de entre \$168,480 a \$252,720. Y al implementar el sistema de recirculación propuesto estos valores se reducirían a un gasto entre \$91,904 a \$137,859 lo cual se vería reflejado en un ahorro al año de entre \$918,912 y \$1'378,332 pesos colombianos, estos datos son valores de ahorro por esterilizador, por lo cual si se instala más de un equipo con el sistema de recirculación propuesto el ahorro aumentará proporcionalmente.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Al diseñar el sistema de recirculación en la herramienta SolidWorks, se obtuvo un modelo del sistema y su espacio a ocupar, para posteriormente con las medidas del equipo y las consideraciones del fabricante definir el área de instalación. La cual permitió acotar los espacios físicos reales del equipo y realizar un levantamiento y construcción del sistema propuesto permitiendo su correcta implementación, reduciendo de esta manera los errores en el montaje y las falencias en aspectos fundamentales como el espacio de trabajo y las conexiones del sistema.

A su vez el modelo CAD permitió observar con mayor detalle las partes que componen el sistema brindando una herramienta para realizar cambios durante las etapas de diseño sin generar gastos por modificaciones ni afectar el proceso de construcción del sistema, no obstante debido a que el sistema diseñado es para un empresa comercial no se pudo contar con planos detallados del equipo que se intervino por lo cual las conexiones entre el esterilizador y el sistema de recirculación fueron más universales para evitar que esta limitante fuese un factor de error durante la construcción y prueba del equipo.

Al implementar el sistema propuesto y teniendo en cuenta los diseños realizados previamente se obtuvo un sistema muy semejante al diseño propuesto lo cual permitió un correcto acople al esterilizador STE-400 que se trabajó. Esto permitió realizar las conexiones eléctricas e hidráulicas necesarias para iniciar con el proceso de pruebas y evaluación del sistema. A su vez se pudo evidenciar que el sistema de alarmas propuesto, aunque es funcional aún presenta opciones de mejora pues no es lo ideal que el operario del esterilizador deba realizar el llenado del segundo tanque de manera manual pues esta acción se puede prestar para errores en el proceso de recirculación del agua y el funcionamiento del equipo.

Al evaluar el funcionamiento del sistema de recirculación de agua para la bomba de vacío en el esterilizador STE-400, se encuentra que el sistema implementado es viable ya que permite reducir tanto el consumo del recurso hídrico en el servicio de esterilización como el costo que refleja el mismo en la institución evidenciando un ahorro del 45,45%, disminuyendo así, la huella de carbono generada por el servicio. A su vez observa que el sistema de refrigeración implementado cumple con el propósito establecido, logrando reducir la temperatura del agua proveniente del sistema de purga hasta 2 °C menos de la temperatura ambiente de donde este se encuentre instalado, permitiendo así que el agua recolectada de los ciclos anteriores cumpla con las condiciones mínimas para ingresar nuevamente a la bomba de vacío del esterilizador, creando un ahorro en el consumo de agua requerida por el equipo de manera continua.

5.2. Recomendaciones

Realizar las pruebas de funcionamiento para cada uno de los diferentes ciclos del esterilizador, para garantizar el ahorro calculado según la carga a esterilizar en el equipo y evidenciar las diferencias de funcionamiento en el sistema de refrigeración para cada tiempo de exposición y como la variación de este influye tanto en el ahorro como en el consumo del equipo.

Automatizar el sistema de control y alarmas del sistema hidráulico de recirculación, mediante la implementación de una electroválvula de tres vías en lugar de una válvula manual, comandada por un microcontrolador, optimizando el funcionamiento del sistema.

Implementar un sistema de refrigeración usando refrigerantes como el nitrógeno líquido para disminuir la temperatura del agua aún más garantizando que la bomba de vacío trabaje en sus condiciones ideales

Aumentar la capacidad de los tanques usados por tanques de 200L, generando un mayor ahorro contando con mayor capacidad de almacenamiento de agua.

Implementar otros filtros de agua, como el de carbón activado, para garantizar que el agua recirculada ingrese en las mejores condiciones posibles al esterilizador.

Realizar pruebas de calidad del agua para garantizar la calidad del agua recirculada y el tiempo que esta puede ser usada.

BIBLIOGRAFIA

- (22 de Enero de 2019). Obtenido de Building design and Construction:
https://www.rccd.edu/admin/bfs/fpd/Documents/planning/LEED_BDG.pdf
- A K Nagpal, A. K. (2007). *Pub Med*. Obtenido de National library of Medicine:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10247240/>
- Ardila, I. C. (Junio de 2019). *Research Gate*. Obtenido de
https://www.researchgate.net/publication/337719470_Analisis_situacional_de_los_hospitales_verdes_colombianos_pertencientes_a_la_red_global_Analise_situacional_dos_hospitais_verdes_colombianos_pertencentes_a_rede_global_Situational_Analysis_of_Colombi
 bi
- Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS). (2008). Obtenido de
<http://www.spaingbc.org/files/Guide%20to%20LEED%20Certification%20Commercial%20ESP.pdf>
- Daniel Ferrandez, Á. G. (2020). *Polired*. Obtenido de
http://polired.upm.es/index.php/anales_de_edificacion/article/view/4458
- David M. Warsinger, S. C. (2018). *Science Direct*. Obtenido de
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670017300102>
- de Araújo Moriya, G. A., & Uchikawa Graziano, K. (2010). *Pub Med*. Obtenido de National Library of Medicine: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20922327/>
- Duino LK.* (s.f.). Obtenido de <https://www.duino.lk/MAX6675-Temperature-Sensor?tag=max6675%20sensor%20in%20sri%20lanka>
- El Congreso de Colombia. (24 de enero de 1979). *Universidad Pontificia Bolivariana*. Obtenido de
http://copaso.upbbga.edu.co/legislacion/ley_9_1979.Codigo%20Sanitario%20Nacional.pdf
- El Presidente de la Republica de Colombia. (25 de Octubre de 2010). *Alcaldía mayor de Bogotá*. Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=40620>
- Escudero, M. V., LEON, W. P., Manzano, D. R., & MINGA, F. E. (2020). *Revista espacios*. Obtenido de <http://www.1.revistaespacios.com/a20v41n17/a20v41n17p16.pdf>
- Ewa Röhm-Rodowald, B. J. (2004). *Pub Med*. Obtenido de National Lybrary of Medicine:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15730015/>
- Ferrandez, D., Gómez, Á., Morón, C., & Diaz, J. P. (2020). *Polired*. Obtenido de
http://polired.upm.es/index.php/anales_de_edificacion/article/view/4458
- Forbes McGain, G. M. (2016). *Pub Med*. Obtenido de National Library of Medicine:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26769573/>

- Forbes McGain, G. M. (2017). *Pub Med*. Obtenido de National Library of Medicine: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27075773/>
- Gamboa, S. G. (2008). *UCV*. Obtenido de http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_farmacia/catedraMicro/10_Métodos_de_esterilización.pdf
- García Gamboa, J. (2019). *Repositorio institucional de la Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas*. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/24603/GarcíaGamboaJuliana2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Garnica, G. (21 de Marzo de 2016). *Asociación de farmaceuticos municipales de la ciudad de buenos aires*. Obtenido de http://www.afam.org.ar/textos/esterilizacion_por_vapor_de_agua_parte_uno.pdf
- Giovana Abrahão de Araújo Moriya, K. U. (2010). *Pub Med*. Obtenido de National Library of Medicine: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20922327/>
- Gómez Quintana, F. D. (2021). *Sistema de Bibliotecas de la Universidad de Antioquia*. Obtenido de https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/24188/1/GomezFrank_2021_AguaAutoclaveReuso.pdf
- Gopal Panta, A. K. (Noviembre de 2019). *Pub Med*. Obtenido de National Library of Medicine: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31751421/>
- Herrera, G. P. (2020). *Repositorio*. Obtenido de Análisis de la calidad de aguas residuales del laboratorio clínico en un hospital de la ciudad de Guayaquil
- Herrera, G., & Macias, P. (2020). *Repositorio*. Obtenido de Análisis de la calidad de aguas residuales del laboratorio clínico en un hospital de la ciudad de Guayaquil
- ICONTEC. (2013). Obtenido de https://alquimdecim.files.wordpress.com/2013/10/normas_oficiales_para_la_calidad_del_agua_colombia.pdf
- Johanna Tapias, C. A. (Diciembre de 2017). *Revista institucional de la universidad Francisco de Paula Santander*. Obtenido de <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/respuestas/article/view/1175/1154>
- Josephus P C M van Doornmalen, R. A. (27 de Noviembre de 2018). *Pub Med*. Obtenido de National Library of Medicine: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30482803/>
- Kamal, J., Abdelhamid, H., & Saad, A. (26 de Abril de 2021). *AIP*. Obtenido de <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/5.0049410>
- M van Doornmalen, J., van Wezel, R., & Kopinga, K. (27 de Noviembre de 2018). *Pub Med*. Obtenido de National Library of Medicine: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30482803/>

- Marina Prisciandaro, M. C. (15 de Noviembre de 2016). *Science direct*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894716309408>
- Mercado Libre*. (2022). Obtenido de https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-815998066-arduino-uno-r3-compatible-cable-usb-_JM?matt_tool=97749113&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14634237773&matt_ad_group_id=122266243330&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creat
- Ministerio de Protección Social. (9 de Julio de 2004). *Ministerio de Salud*. Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resolucion-2183-de-2004.pdf>
- Ministerio de Protección Social. (22 de Junio de 2007). *Ministerio de Ambiente*. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislacion/C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf
- Ministerio de Salud. (2 de Diciembre de 1996). *Ministerio de Salud*. Obtenido de https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/RESOLUCION%2004445%20de%201996.pdf
- Ministerio de Salud Publica. (10 de Marzo de 1998). *Red Jurista*. Obtenido de https://www.redjurista.com/Documents/decreto_475_de_1998_ministerio_de_salud.aspx#/
- Ministerio de Salud y Protección Social. (25 de Noviembre de 2019). *Ministerio de Salud*. Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-3100-de-2019.pdf>
- R A C van Wezel, H. W. (Octubre de 2016). Obtenido de [https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0195-6701\(16\)30171-2](https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0195-6701(16)30171-2)
- R A C van Wezel, H. W., Van Wezel, R., Van Doornmalen, H., de Geus, J., Rutten, S., & Doornmalen, J. (Octubre de 2016). Obtenido de [https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0195-6701\(16\)30171-2](https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0195-6701(16)30171-2)
- R L Sandler, R. D. (2001). *Pub Med*. Obtenido de National Library of Medicine: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/428958/>
- Rajeev Lall, A. S. (2018). *Pub Med*. Obtenido de National Library of Medicine: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29959299/>
- Remacha, L. G. (2013). *Universidad Politecnica de Cataluña*. Obtenido de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/19294/Memoria_PFC_LauraGarrido.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ren, R. X. (08 de Julio de 2018). *Wiley Online Library*. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/raq.12270>

- Sheffer, J. (2015). *Pub Med* . Obtenido de National Library of Medicine:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26196916/>
- Stempliuk, S. I.-G. (2008). *Organización Panamericana de Salud*. Obtenido de
[https://www1.paho.org/PAHO-USAID/dmdocuments/AMR-
Manual_Esterilizacion_Centros_Salud_2008.pdf](https://www1.paho.org/PAHO-USAID/dmdocuments/AMR-Manual_Esterilizacion_Centros_Salud_2008.pdf)
- Tapias, J., Chacín Zambrano, C., Guarín Villamizar, O., & Uribe, J. C. (Diciembre de 2017).
Revista institucional de la universidad Francisco de Paula Santander. Obtenido de
<https://revistas.ufps.edu.co/index.php/respuestas/article/view/1175/1154>
- Zamora, M. d. (2013). *El autoclave*. Obtenido de
<https://elautoclave.files.wordpress.com/2018/06/autoclave.pdf>
- Zamora, M. d. (2013). *Instalaciones Hospitalarias* . Obtenido de
http://dea.unsj.edu.ar/ihospitalarias/Apuntes_IH-Esterilización_rev2011.pdf

ANEXOS

Anexo 1.

