



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TORRE DE
ENFRIAMIENTO DE AGUA POR TIRO INDUCIDO PARA EL
LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTORES:

MARIA FERNANDA CUEVA ACARO

JHORDY MAURICIO VIVANCO MONCAYO

Riobamba-Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TORRE DE
ENFRIAMIENTO DE AGUA POR TIRO INDUCIDO PARA EL
LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTORES: MARIA FERNANDA CUEVA ACARO

JHORDY MAURICIO VIVANCO MONCAYO

DIRECTOR: Ing. CESAR ARTURO PUENTE GUIJARRO PhD.

Riobamba-Ecuador

2022

© 2022, María Fernanda Cueva Acaro & Jhordy Mauricio Vivanco Moncayo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

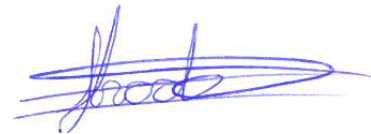
Nosotros, MARIA FERNANDA CUEVA ACARO y JHORDY MAURICIO VIVANCO MONCAYO, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 22 de noviembre de 2022



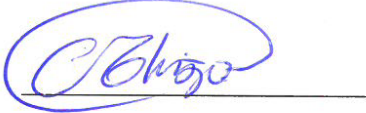
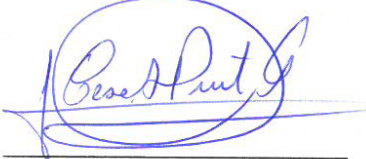
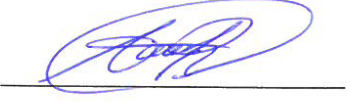
Maria Fernanda Cueva Acaro
190080762-7



Jhordy Mauricio Vivanco Moncayo
172003018-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular, Tipo: Proyecto Técnico. **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA POR TIRO INDUCIDO PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS**, realizado por los estudiantes: **MARIA FERNANDA CUEVA ACARO** y **JHORDY MAURICIO VIVANCO MONCAYO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Marco Raul Chuiza Rojas, Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-11-22
Ing. Cesar Arturo Puente Guijarro PhD. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-11-22
Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos, Mgs. ACESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-11-22

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico al más sublime creador, a ti mi Dios, quién estuvo en mis noches de desvelo, en mis días malos y en todos mis tropiezos, ya que sin ti no sería nadie y no hubiese podido culminar esta meta. A mi madre Rosa, por ser un ejemplo de valentía y por creer en mí, tus bendiciones siempre me acompañan en cada paso que doy y me van forjando a ser mejor persona. A mi padre Máximo por ser mi modelo de lucha y perseverancia, por enseñarme a no rendirme y que todo en esta vida puedo conseguirlo con un poco de lucha y sacrificio. A mis hermanas Rosangélica, Yeorleny y Ainoha, han sido el apoyo emocional que siempre necesite y el hombro con el que siempre puedo contar. A mi hermano Elian, ya que nunca te cansaste en repetirme lo valiosa que soy y lo orgulloso que te sientes de tener una hermana como yo. A mis sobrinos Christopher, Axel y Adriel por ser mi motivo de felicidad y el motor para triunfar en la vida. A mis abuelitos Porfirio y Lucinda, por darme las bases para ser buena persona y a mis tíos Pepe y Teresa por siempre confiar en mí. Esto es un pequeño gesto de agradecimiento y espero siempre seguir contando con ustedes.

Maria

Este trabajo está dedicado a mi padre Yoder Vivanco por convertirse en fuente de inspiración y demostrarme que a pesar de las adversidades siempre se puede lograr nuestras metas. A mi madre Elina Moncayo por siempre darme su apoyo y cariño sin pedir nada a cambio, por darme la fortaleza para seguir mis sueños. A mi hermano Joan Vivanco, que pese a la distancia siempre me ha demostrado su cariño y confianza en mí. Sin dejar atrás a todo mi familia y amigos que han apoyado y confiado en mí. Espero siempre contar con ustedes.

Jhordy

AGRADECIMIENTO

La vida es fugaz y debemos aprovechar cada momento bueno o malo para aprender y crecer como personas. Agradecemos a Dios por darnos la salud, la paciencia y la sabiduría, con lo cual nos permitió culminar con este escalón en nuestra vida. A nuestros padres por siempre apoyarnos económicamente y apostar por nosotros, por confiar y creer en que vamos a lograr nuestras metas, por enseñarnos a no rendirnos y ser perseverantes ante cualquier adversidad. A nuestra alma mater, la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por abrirnos las puertas para forjarnos como ingenieros químicos y darnos oportunidades incomparables. A los docentes de la carrera de Ingeniería Química, quienes con su granito de arena fueron formando nuestras mentes y ayudarnos a llegar a cumplir un objetivo más de nuestra vida. Al ingeniero Cesar Arturo Puente Guijarro, por su compromiso y paciencia en todos los semestres de la carrera y más aún en nuestro trabajo final. Al ingeniero Adrián Rodríguez Pinos por su apoyo incondicional y por su confianza hacia nosotros. Dios pone a muchas personas en nuestra vida y algunos de ellos se convierten en amigos, es por ello que agradecemos a la ingeniera Erika Elizabeth Cazorla García por enseñarnos que lo más valioso en esta vida es la familia y la amistad, nunca faltó un consejo y el apoyo moral de su parte, a nuestros amigos Chrystopher Samaniego, Cristhian Pulgar, Brayan Pérez, Geovanny Ordoñez y Diana Cabrera por acogernos en una ciudad nueva y hacer que los días lejos de nuestros seres queridos sean menos tristes y hacernos sentir como en casa, por estar en cada alegría y tristeza. Cada persona forja su camino, es por ello que quiero finalmente agradecer a mi compañer@ de trabajo por la paciencia, la ayuda y la dedicación en este nuestro trabajo.

Maria & Jhordy

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. <i>Objetivo General</i>	4
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes de investigación	5
2.2. Referencias Teóricas	6
2.2.1. <i>Torre enfriamiento</i>	6
2.2.2. <i>Tipos de torres de enfriamiento</i>	6
2.2.3. <i>Estructura de la torre de enfriamiento</i>	7
2.2.4. <i>Carta psicométrica</i>	10
2.2.5. <i>Dureza del agua</i>	14

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO.....	15
3.1. Parte experimental.....	15
3.1.1. <i>Plan de muestreo</i>	15
3.2. Metodología	16

3.2.1. <i>Métodos y técnicas</i>	16
3.3. Ecuaciones	21
3.3.1. <i>Dureza</i>	21
3.3.2. <i>Ecuaciones de diseño</i>	21
3.3.3. <i>Balance de masa</i>	21
3.3.4. <i>Balance de energía</i>	21
3.3.5. <i>Parámetro mínimo de funcionamiento de la torre</i>	22
3.3.6. <i>Altura de la torre</i>	23
3.3.7. <i>Curva de equilibrio-Aire Saturado</i>	23
3.3.8. <i>Número de unidades de transferencia</i>	24
3.3.9. <i>Altura de las unidades de transferencia</i>	24
3.3.10. <i>Potencia del ventilador</i>	25
3.3.11. <i>Potencia de la bomba</i>	25
3.4. Datos	26

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	27
4.1. Cálculos	27
4.1.1. <i>Dureza</i>	27
4.1.2. <i>Balance de masa</i>	28
4.1.3. <i>Balance de energía</i>	29
4.1.4. <i>Parámetro mínimo de funcionamiento de la torre</i>	29
4.1.5. <i>Cálculo de la altura de la torre</i>	30
4.1.6. <i>Curva de equilibrio-Aire Saturado</i>	30
4.1.7. <i>Cálculo del número de unidades de transferencia</i>	31
4.1.8. <i>Cálculo de la altura de las unidades de transferencia</i>	34
4.1.9. <i>Potencia de bomba</i>	34
4.1.10. <i>Potencia del ventilador</i>	34
4.1.11. <i>Eficiencia de la torre</i>	35
4.2. Elección de materiales y componentes	36
4.2.1. <i>Selección del ventilador</i>	36
4.2.2. <i>Selección del reservorio de agua</i>	36
4.2.3. <i>Altura de la torre</i>	36
4.2.4. <i>Capacidad de la bomba</i>	37
4.2.5. <i>Relleno</i>	37
4.2.6. <i>Aspersores</i>	37

<i>4.2.7. Selección de variables</i>	37
<i>4.2.8. Esquema de la torre</i>	38
<i>4.2.9. Análisis e interpretación de resultados</i>	40
CONCLUSIONES	42
RECOMENDACIONES	43
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3: Determinación de la temperatura del bulbo seco.....	17
Tabla 2-3: Determinación de la temperatura del bulbo húmedo.....	17
Tabla 3-3: Determinación de porcentaje de humedad relativa.....	17
Tabla 4-3: Determinación de la dureza del agua.....	18
Tabla 5-3: Determinación del pH.....	19
Tabla 6-3: Determinación de las condiciones de operación.....	20
Tabla 7-3: Datos experimentales para fijar las condiciones de operación.	26
Tabla 1-4: Curva de equilibrio-Aire Saturado	30
Tabla 2-4: Resolución por métodos numéricos con la ayuda de Excel.....	31
Tabla 3-4: Tabla eficiencia promedio de la torre.	35
Tabla 4-4: Datos experimentales de la torre de enfriamiento.	35
Tabla 5-4: Datos experimentales para fijar las condiciones de operación	36
Tabla 6-4: Componentes de la torre de enfriamiento.....	39
Tabla 7-4: Dimensiones de la torre de enfriamiento.....	40

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2: Torre de enfriamiento.	7
Ilustración 2-2: Relleno de salpicadura o goteo.	8
Ilustración 3-2: Rellenos laminares o de película.....	8
Ilustración 4-2: Rellenos mixtos.....	9
Ilustración 5-2: Carta Psicrométrica.....	12
Ilustración 6-4: Diagrama Torre de enfriamiento.....	27

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS A: ACTA DE VALIDACIÓN DEL EQUIPO

ANEXOS B: VALIDACIÓN DEL EQUIPO

ANEXOS C: PARTES INTERNAS DEL PANEL DE CONTROL

ANEXOS D: DETERMINACIÓN DE LA DUREZA DEL AGUA

ANEXOS E: TORRE DE ENFRIAMIENTO

ANEXOS F: DIAGRAMA LÓGICO

ANEXOS G: DIAGRAMA ELÉCTRICO

ANEXOS H: CÓDIGO EN ARDUINO

RESUMEN

El objetivo del presente Trabajo Integración Curricular fue el diseño y construcción de una torre de enfriamiento de agua por tiro inducido a contracorriente, cuyo funcionamiento principal es rechazar el calor procedente del agua de diversos procesos industriales, para determinar el tamaño de la torre de enfriamiento de tiro inducido a contra flujo. Se tomó como referencia la torre de enfriamiento que existe en el laboratorio de operaciones unitarias de la ESPOCH, se efectuó análisis como la dureza y pH del agua a emplear en el equipo, luego se calcularon los valores correspondientes al diseño, para finalmente realizar la construcción, la misma que servirá para confirmar su funcionamiento, mediante los resultados de los cálculos de ingeniería se construyó la torre con la estructura en acero inoxidable 304; en los lados se empleó 4 placas de acrílico de 6 mm; el sistema de distribución de agua se conformó por una bomba de 0.5 HP y 60 aspersores distribuidos en 10 tuberías; el depósito de agua fría con capacidad de 80 l y el calentador de agua con una capacidad de 73 l constituido por 4 resistencias 1500 W; un extractor de aire de 350 W, empleando la electricidad 220 V como fuente de energía. Además, la automatización del equipo mediante Arduino y el empleo de 4 sensores de temperatura y 2 de nivel de agua. La validación del equipo se realizó con la entrada de agua a la torre en un intervalo de 40-60 °C y se obtuvo una salida de la torre de 20 °C en un periodo de tiempo de 5 min. La torre de enfriamiento tiene una eficiencia del 95 % cumpliendo con el objetivo planteado. Se recomienda el empleo de Agua Luz por su baja dureza con la finalidad de evitar incrustaciones de minerales.

Palabras Clave: <TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA> <TIRO INDUCIDO A CONTRACORRIENTE> <SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA> <CONTROL AUTOMÁTICO> <ARDUINO>.

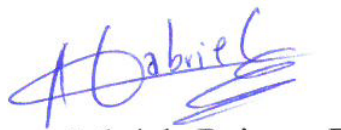
2475-DBRA-UPT-2022



ABSTRACT

The objective of this Curricular Integration Work consisted of the design and construction of a counterflow induced draft water cooling tower, whose main function is to reject the heat coming from the water of different industrial processes, to determine the size of the counterflow induced draft cooling tower. It was taken as reference the cooling tower that exists in the laboratory of unitary operations of the ESPOCH; analyses were made such as the hardness and pH of the water to be used in the equipment, then the values corresponding to the design were calculated, to finally carry out the construction, which will serve to confirm the operation. Through the results of the engineering calculations the tower was constructed with the structure in stainless steel 304; in the sides 4 plates of acrylic of 6 mm were used; the system of the water distribution was made up of a 0.5 HP pump and 60 sprinklers distributed in 10 pipes; the cold water tank with a capacity of 80 l and the water heater with a capacity of 73 l constituted by 4 1500 W resistances; a 350 W air extractor, using 220 V electricity as the power source. In addition, the automation of the equipment by means of Arduino and the use of 4 temperature sensors and 2 water level sensors were used. The validation of the equipment was performed with the water input to the tower in a range of 40-60 °C and a tower output of 20 °C was obtained in a time period of 5 min. The cooling tower has an efficiency of 95%, meeting the proposed objective. The use of light water is recommended due to its low hardness in order to avoid mineral incrustations.

Key words: <WATER COOLING TOWER> <CONTRA-CURRENT INDUCED HEATER> <WATER DISTRIBUTION SYSTEM> <AUTOMATIC CONTROL> <ARDUINO>.



Mgs. Ana Gabriela Reinoso Espinosa

C.I: 110369613-2

INTRODUCCIÓN

Con el tiempo, la producción industrial y los avances tecnológicos han seguido creciendo, y este crecimiento industrial ha dado como resultado máquinas cada vez más complejas que deben disipar constantemente grandes cantidades de calor para operar de manera eficiente, el uso principal del agua industrial es eliminar el calor para condensar y enfriar varios productos o sistemas. El agua utilizada de esta manera todavía está caliente y se puede drenar o enfriar y reutilizar. Las torres de enfriamiento se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, desde pequeños sistemas de aire acondicionado hasta generación de energía grande y compleja. Las torres de enfriamiento de agua deben ayudar a mejorar la transferencia de calor y lograr un mayor ahorro de energía durante el enfriamiento, al elegir un relleno que se adapte a nuestras condiciones, proporcionaremos una mejor regulación del enfriamiento que nos brindan una mejor transferencia de masa de vapor de agua para un cierto tiempo de trabajo.

Con el diseño y construcción de la torre por tiro inducido a contracorriente se pretende reforzar los conocimientos adquiridos en la Carrera de Ingeniería Química dentro de las diferentes materias como son Operaciones Unitarias, Termodinámica, entre otras, al describir un modelo a escala piloto del funcionamiento de un proceso industrial generalizado se crea un referente para el proceso de aprendizaje y el uso adecuado de la tecnología. Además, la automatización del equipo mediante Arduino empleando tanto sensor de temperatura y sensores de nivel de agua, lo cual permite un mayor control de los resultados, reducir el consumo energético y aprovechamiento del agua una vez enfriada, evitando las pérdidas por evaporación.

CAPÍTULO I

1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

Los procesos de enfriamiento de agua han existido desde la antigüedad, desde las labores domésticas hasta el trabajo, en el cual pretende disminuir la temperatura del agua exponiendo su superficie al aire, para obtener una correcta disipación exotérmica es necesario que una parte del agua sea evaporada. La primera torre de enfriamiento nació de la necesidad de minimizar la utilización de combustibles en el siglo XIX, las mismas que las empleó en los condensadores de motores de vapor.

Posteriormente, el sector industrial empezó a incrementar a grandes cantidades, en el cual el consumo energético fue en auge, trayendo consigo una gran demanda energética, es por ello que en 1918 los holandeses Frederik Van e Iterson Gerard Kuypers patentaron las torres de enfriamiento hiperbólicas las mismas que se utilizaron en las centrales eléctricas de carbón. Con el fin de mejorar la eficiencia de las torres de enfriamiento se desarrolló diversos modelos como las de tiro natural y mecánico.

Actualmente, se han investigado varios tipos de rellenos para una mayor eficiencia, la composición de este difiere desde listones de madera, mallas metálicas, componentes arcillosos y PVC, siendo este último el más utilizado en las industrias por su costo accesible, su adaptabilidad y eficiencia.

1.2 Planteamiento del problema

Con el desarrollo de la industria en el país, el uso del agua ha ido en incremento, cuyo propósito fundamental es remover calor permitiendo condensar y disminuir la temperatura de otros productos. El agua utilizada para estos fines permanece caliente, la cual puede drenarse provocando una contaminación térmica directa, llegando a ser tan grave como cualquier otro tipo de contaminación, puesto que el agua caliente incita al crecimiento desproporcional de algas, reduciendo los niveles de oxígeno presentes en el agua. Una vía accesible para esta contaminación y reducción del consumo de esta, es enfriarla y luego recircularla mediante diversos equipos como las torres de enfriamiento y torres de refrigeración, las cuales rechazan el calor procedente del agua de diversos procesos industriales como lo es el condensador. Este proceso de enfriamiento se logra exponiendo las gotas de agua con el aire, por medio de una evaporación controlada, logrando así que la capa exterior se evapore a través de la absorción del calor de la misma, generando una reducción de temperatura.

El Laboratorio De Operaciones Unitarias de la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo (ESPOCH), cuenta con una torre de enfriamiento, la cual sufre fallas de diseño, presentando fugas, aumentado el consumo de agua, no arroja datos correctos debido a que las termocuplas están pegadas al material de la torre por lo que los datos obtenidos son del material y no del líquido; por lo cual se ha optado por diseñar, construir y automatizar una torre de enfriamiento por tiro inducido a flujo a contracorriente. La misma reducirá el consumo de agua, minimizando costos, obteniendo datos precisos y reduciendo el impacto ambiental, además de permitir un mejor estudio de este procedimiento.

1.3 Justificación

Según el (Yánes, Franco, Bastidas , & Córdova, 2017, págs. 124-132), el Ecuador tiene 376,0 km³ de recursos hídricos a nivel nacional, o 26.000 m³ por año de población, pero estos recursos no están distribuidos de manera igual en el tiempo y el espacio, con lluvia estacional y ausencia de lluvia durante la estación seca. La demanda de agua doméstica aumentará de 15.800 hm³ en 2010 a 20.320 hm³ en 2025, un aumento del 28,6 %, superando la previsión de David Seckley de un aumento del 25 % en el consumo medio mundial de agua para 2025 (Changjiang Institute of Survey Planning Design and Research, 2016, págs. 33-34). En 2010, el agua consumida en el Ecuador es 15,8 km³, de los cuales 1,48 km³ de agua doméstica representan el 9,4 % del consumo total; mientras que el consumo en la agricultura ascendió a 13,05 km³, lo que representa el 82,6 % del consumo total de agua; la producción industrial y otros consumos de agua ascendieron a 1,27 km³, lo que corresponde a un consumo total de agua del 8,0 %.

Por esta razón, en las industrias se emplea sistemas de recirculación que permiten el enfriamiento del agua y con ello la minimización de costos y el aprovechamiento de esta, uno de estos ejemplos son los evaporadores y condensadores; por lo tanto, un “Diseño Y Construcción De Una Torre De Enfriamiento” ayudará a las industrias con un procedimiento más eficiente, optimizado y amigable con el medio ambiente.

La importancia de este proceso nos lleva al **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA POR TIRO INDUCIDO PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS”**, correspondiente a la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias en la ESPOCH, con la finalidad de ofrecer a los estudiantes un equipo piloto que facilite el aprendizaje práctico de los conocimientos impartidos de las diferentes cátedras, logrando conocimientos básicos para su desenvolvimiento profesional.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Diseñar y construir una torre de enfriamiento de agua por tiro inducido para el laboratorio de operaciones unitarias.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Establecer las variables de diseño de sistema de enfriamiento mediante técnicas experimentales y datos bibliográficos.
- Realizar cálculos de ingeniería para el diseño de la torre de enfriamiento.
- Ensamblar la torre de enfriamiento de agua por tiro inducido con el uso de materiales adecuados.
- Automatizar la torre de enfriamiento para el control de temperaturas y el flujo de aire.
- Validar técnicamente la eficiencia de la torre de enfriamiento de agua mediante la ejecución de prácticas experimentales.
- Elaborar un manual del uso y mantenimiento del equipo.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de investigación

Según (Keyan, Mingseheng, & Jili, 2021) la demanda de sistemas de agua fría para que el consumo de energía se minimice está aumentando en la actualidad. Basado en la función de transferencia de calor de una torre de enfriamiento, este artículo sugiere un tipo de transferencia de calor para el modelo propuesto. Para evaluar la precisión del modelo y determinar la entrada de las condiciones de salida, se desarrolló un sistema de monitoreo para evaluar el rendimiento de la transferencia de aire/agua caliente de la torre de enfriamiento. Los resultados del experimento mostraron que el modelo propuesto para una torre de frío tenía el potencial para un mayor pronóstico inicial, así como también para adaptarse a condiciones impredecibles. Además (Dawei, Shasha, Minghua, Shuguo, & Yuanbin, 2020) en su artículo mencionan que para aclarar el efecto de la salinidad del agua fría en el rendimiento de refrigeración de la torre de agua fría (NDWCT) y el sistema de efecto relevante, se establece un sistema tridimensional (3D) de NDWCT teniendo en cuenta la salinidad del agua fría, lo que se confirma por comparación junto con el código de política y los datos de prueba de campo de agua de NDWCT. Del mismo modo se abordó el efecto de la salinidad del agua fría en la calidad del aire y factores importantes como la temperatura del agua que libera la torre de enfriamiento y la tasa de flujo de aire. Los resultados muestran que el rendimiento de enfriamiento de NDWCT en la distribución de agua salada es menor que en agua dulce.

El artículo de (Raj, Yogesh, Rashmi Rani, & Dalvir, 2021, págs. 211-217) trata del análisis del rendimiento, identificando las causas de diversas pérdidas y brindando soluciones para la mejora del rendimiento en condiciones climáticas constantes. Para ello se selecciona una torre de enfriamiento hiperbólica del grupo electrógeno NTPC de 210 MW. Los cálculos se basan en observaciones realizadas en diferentes momentos, bajo diferentes condiciones climáticas. Proximidad, rendimiento, pérdida de calor y agua, temperatura y valor del aire, presión de aire requerida, etc., fue evaluado y comparado con los estándares organizacionales. Los resultados y la investigación muestran que el rendimiento es mayor en invierno, además, se sugiere que la eficiencia se puede aumentar considerablemente aumentando la altura de una torre.

2.2 Referencias Teóricas

2.2.1 Torre enfriamiento

Es un dispositivo que disipa el calor del agua por medio de la evaporación o conducción. Tiene como objetivo reducir la temperatura de los líquidos calientes en contacto con el aire, para posteriormente ser suministrado a calefacciones, aires acondicionados, en centrales térmicas y muchas más aplicaciones industriales.

Su funcionamiento se basa en utilizar agua como refrigerante para transferir calor de diferentes procesos al ambiente, el agua desciende desde la parte de arriba de la torre y el aire desde la parte inferior, con el fin de prolongar el tiempo de contacto entre los dos líquidos, permitiendo así una mayor transferencia de calor y masa, en algunos casos, (Padilla Medina & Sanchez Gomez, 2020, pág. 29).

2.2.2 Tipos de torres de enfriamiento

2.2.2.1 Torres de enfriamiento por tiro natural

En estas torres no se utilizan ventiladores por la circulación de aire este se da de manera natural.

- **Torres atmosféricas:** El aire se mueve de manera horizontal y el agua en flujo cruzado respecto al viento, el agua caliente puede producir un flujo a contracorriente debido a la convección, (De Olivera, 2015, p. 4).
- **Torres hiperbólicas:** El flujo de aire es originado debido a la diferencia de presiones de la parte inferior y superior de la torre producida por el agua caliente que entra en contacto con el aire al momento de subir por la torre, (De Olivera, 2015, p. 4).

2.2.2.2 Torres de enfriamiento por tiro mecánico

El caudal de aire que pasa por la torre es originado mediante ventiladores.

- **Torres de tiro forzado:** Los ventiladores son ubicados en la parte inferior, los mismos que introducen aire a la torre, (Policarpio de León, 2021, p. 28).
- **Torres de tiro inducido:** Se fuerza a salir el aire por la parte superior del equipo mediante un ventilador o extractor de aire, (Policarpio de León, 2021, p. 28).

2.2.3 Estructura de la torre de enfriamiento

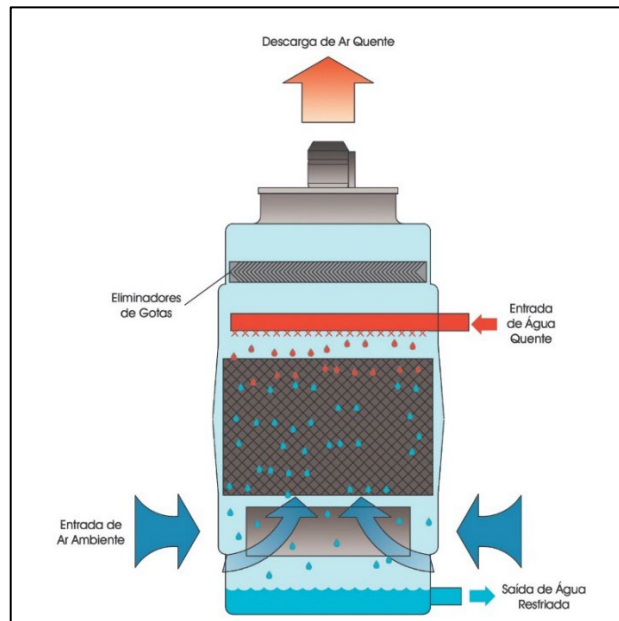


Ilustración 1-2: Torre de enfriamiento.

Fuente: (EVAPCO Brazil, 2020).

2.2.3.1 Armazón

Es el componente central del equipo, se encarga de soportar toda la carga de los componentes que lo conforman, por lo cual presenta gran rigidez. Generalmente, está constituido de acero inoxidable, el cual va a permitir durabilidad o en algunos casos de PVC.

2.2.3.2 Rellenos

Se trata de una estructura situada en el interior de la torre y puede ser creado de metal, cerámica, plástico o madera, cuya función es que el agua que fluye por ella se divida en pequeñas gotas y libere la mayor cantidad de agua posible, esto con el fin de que la torre asegure una mejor transferencia de calor. De la misma manera, ayuda a la circulación del aire en el cuerpo, (Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración, 2007, pág. 49).

Tipos

- **Rellenos de salpicadura o goteo:** el agua cae sobre una serie de listones superpuestos o suelos de rejilla. Al chocar con los listones, el agua se descompone en gotitas cada vez más pequeñas, al mismo tiempo el aire se mueve verticalmente (contraflujo) u horizontalmente (flujo cruzado), (Villa Jadán, 2008, págs. 34-36).

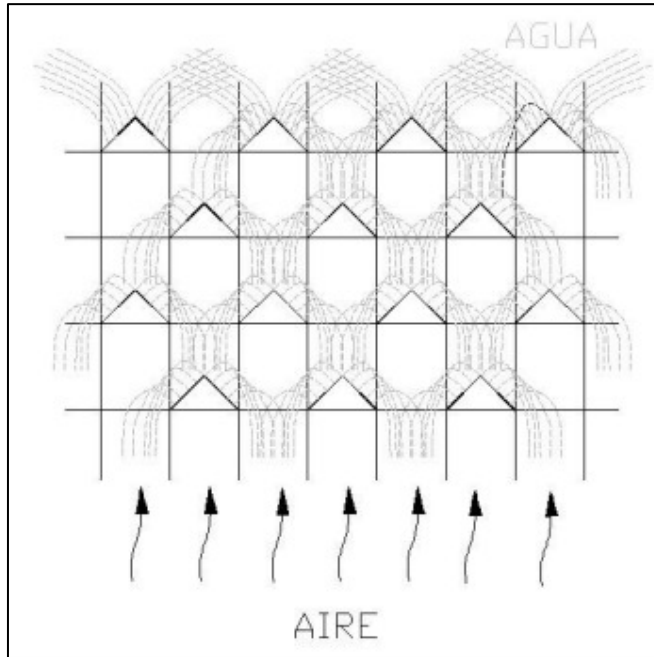


Ilustración 2-2: Relleno de salpicadura o goteo.

Fuente: (Villa Jadán, 2008).

- **Rellenos Laminares o de película:** en este tipo de relleno el agua se distribuye en una fina película que fluye sobre la superficie, exponiendo la película de agua al flujo de aire, la película de agua debe ser muy fina y debe cubrir la mayor superficie para una mejor evaporación, (Villa Jadán, 2008, pág. 37).

-

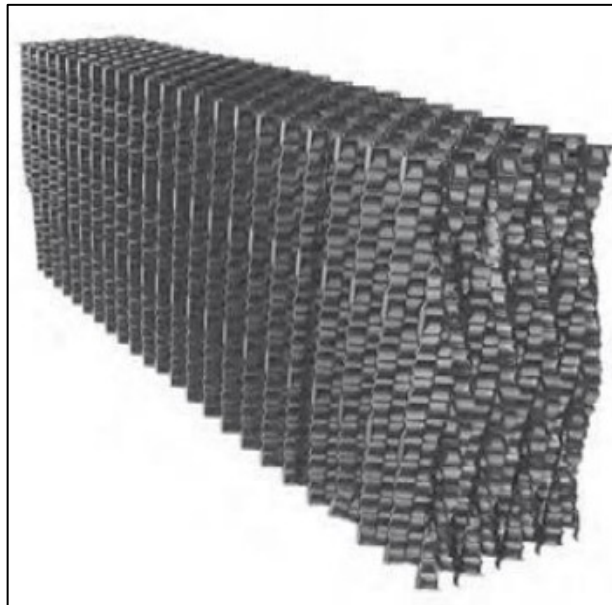


Ilustración 3-2: Rellenos laminares o de película.

Fuente: (SPX Cooling Technologies, 2010).

- **Rellenos mixtos:** combinan tanto los rellenos de salpicadura como los rellenos de película, ya que están formados por listones o rejillas con lados más anchos que en los de goteo, que forman la película, aumentando el efecto causado por la salpicadura, (Villa Jadán, 2008, pág. 39).

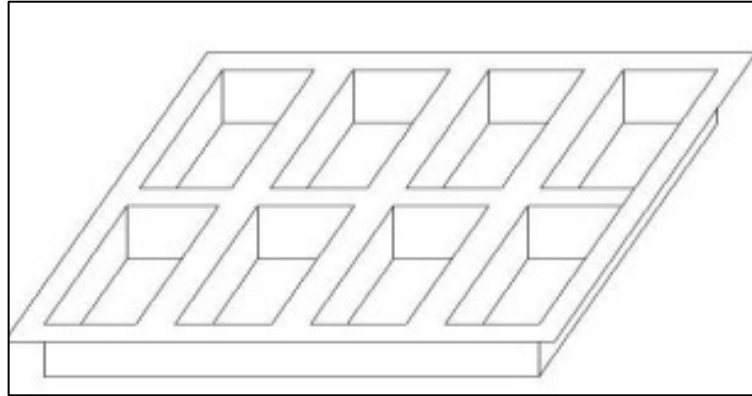


Ilustración 4-2: Rellenos mixtos.

Fuente: (Villa Jadán, 2008).

Condiciones para elegir un buen relleno

- El material para el relleno debe ser económico, fácil de instalar y el área del relleno debe ser lo más grande posible.
- El material debe permitir una distribución uniforme del agua y el paso del aire, y debe presentar una resistencia mínima.

Ventajas del relleno de salpicadura

- Menor caída de presión, comparada con los rellenos de película.
- Poseen un mínimo mantenimiento, debido a que no se atascan por la suciedad o acumulación de cal.
- Consiguen mayores saltos térmicos.

2.2.3.3 Aspersores

Distribuyen el agua en el interior de la torre por medio de la presión generada en la bomba. Se encuentran dirigidos hacia abajo, se los encuentra como tobera y picos pulverizadores mejorando las condiciones termodinámicas de la torre. En la mayoría de los casos se encuentra de PVC por

su costo accesible y también de acero, el cual conserva la temperatura y dará mayor durabilidad, (Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración, 2007, págs. 75-76).

El número de aspersores debe ir en relación con el área de la torre, garantizando una correcta distribución del agua y asegurando que el flujo del aire se distribuya uniformemente.

2.2.3.4 Calentador

En las torres de enfriamiento no se encuentra este elemento, ya que el agua a temperaturas elevadas proviene de diferentes procesos químicos de la industria, como intercambiadores de calor y condensador. Los calentadores de agua se encuentran en plantas piloto de las torres, el cual permite el incremento de temperatura del fluido por medio de una resistencia.

El calentador de agua dentro de esta planta piloto posee forma cilíndrica, ya que esta forma permite una mejor resistencia tanto a las presiones internas o externas a las que se ve expuesta el material, contrario a las formas cúbicas donde las presiones se pueden acumular en las esquinas generando rupturas.

2.2.3.5 Ventiladores

Es la parte más importante de la torre, este es de tipo axial donde el aire circula paralelo al eje del rotor, se usan en torres de varios tamaños porque son adecuados para transportar grandes volúmenes de aire a un costo relativamente bajo. Su eficiencia es directamente proporcional a su diámetro, generalmente operan a una eficiencia del 80 % o mayor, (Policarpio de León, 2021, pp. 26-27).

2.2.4 Carta psicométrica

2.2.4.1 Humedad

Aglomeración de vapor acompañada a una unidad de masa de gas. Según este enunciado, esta depende exclusivamente de la presión parcial del vapor en la composición cuando se ajusta la presión global, (Cengel & Ghajar, Fundamentos Teóricos, 2011, pág. 42).

Esta va a estar relacionada con la presión parcial del líquido en el gas presente en el aire y la presión general, (Geankoplis, 1998, pág. 585).

2.2.4.2 Humedad absoluta

Corresponde al conjunto de gas en el aire y la masa de gas de agua que se puede encontrar en la unidad de masa de aire libre de agua, (Cengel & Boles, Termodinámica , 2012, pág. 739). La humedad absoluta corresponde a la masa vapor/masa gas y esta se la puede representar en kg, lo que nos da como resultado un número adimensional, (Treybal, 2012, pág. 254).

2.2.4.3 Humedad relativa

Relación entre la cantidad existente de humedad en el aire y la cantidad total que este puede abarcar a una temperatura dada, (Cengel & Boles, Termodinámica , 2012, pág. 149).

Los resultados son expresados de manera porcentual, es decir, será la relación existente entre la presión parcial y la presión del vapor del líquido a las condiciones del gas, (McCabe, Smith, & Harriott, 2007, pág. 648).

2.2.4.4 Psicrometría

Este es un estudio de una mezcla gaseosa en la que uno o más componentes de vapor se condensan y los otros elementos mantienen su estado gaseoso. La formación de nubes, la lluvia y el enfriamiento producido por el viento se originan por la condensación y vaporización del agua en el aire, estos fenómenos están presentes en diversas aplicaciones en ingeniería, (Shallcross, 1997, pág. 1).

2.2.4.5 Carta psicrométrica

Los diagramas psicrométricos se emplean para explicar la relación entre la temperatura del bulbo seco ubicado en el eje de las abscisas, mientras en el eje de las ordenadas se representa el contenido de humedad existente en el aire, (Kader, 2011). se emplean para predecir los datos termodinámicos de mezclas de gases en los que cualquiera de sus componentes puede condensarse fácilmente, (Shallcross, 1997, pág. 1).

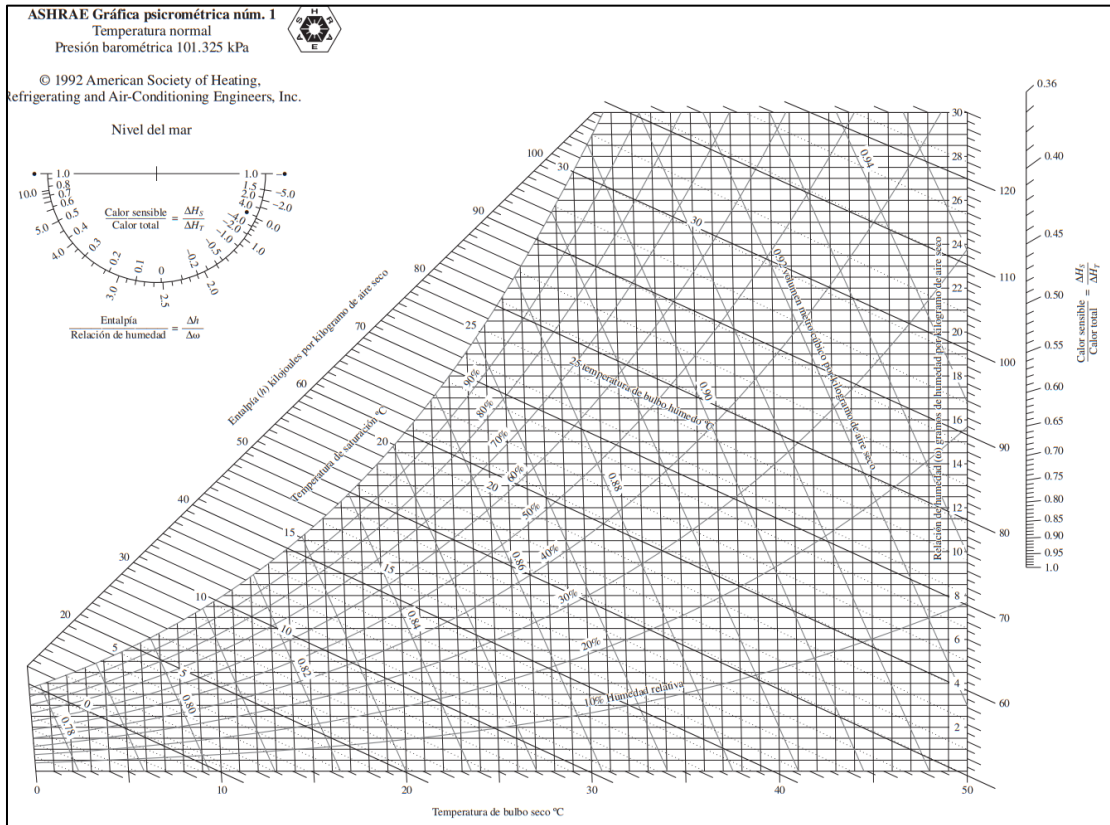


Ilustración 5-2: Carta Psicrométrica.

Fuente: (Cengel & Boles, Termodinámica , 2012).

2.2.4.6 Temperatura de bulbo seco

Cuando la temperatura del aire no posee ninguna cantidad de humedad se habla de este tipo de temperatura y se la puede calcular con ayuda de un termómetro común, (Geankoplis, 1998, pág. 587).

2.2.4.7 Temperatura del bulbo húmedo

Corresponde a la temperatura inicial mostrada en un periodo estacionario y no de equilibrio, que se logra cuando se sitúa en relación una minúscula cantidad de agua más una corriente ininterrumpida de vapor presentes en circunstancias adiabáticas, (Geankoplis, 1998, pág. 591).

2.2.4.8 Temperatura del punto de rocío

Cuando el aire inicia su condensación a presión constante, hablamos de esta temperatura. Puede ser también expresada como la temperatura a la cual se satura el agua a su correspondiente presión de gas, (Cengel & Boles, Termodinámica , 2012, pág. 742).

2.2.4.9 *Capacidad calorífica*

Es la porción de energía necesaria para incrementar la temperatura en 1 °C del líquido o sustancia a estudiar, (Geankoplis, 1998, pág. 18).

2.2.4.10 *Calor sensible*

Relación entre la energía interna del sistema y la cinética de la molécula, (Cengel & Ghajar, Fundamentos Teóricos, 2011).

2.2.4.11 *Transferencia de calor*

Involucra los sistemas sin igualdad térmica, por lo tanto, los fenómenos que no están en equilibrio, y el estudio no puede hacerse únicamente en principios termodinámicos. La condición básica para la transferencia de calor es que exista un gradiente de temperatura, la transferencia de calor no existe entre cuerpos que poseen la misma temperatura, (Cengel & Ghajar, Fundamentos Teóricos, 2011, pág. 2).

2.2.4.12 *Convección*

Es un método de transferencia de energía de una superficie sólida a un gas o líquido contiguo en movimiento, que consiste en el resultado combinado de conducción y el movimiento del fluido. Cuanto más rápido se mueve el fluido, este aumenta la transferencia de calor. Sin la presencia de un gran movimiento de fluidos, la transferencia se debe a la conducción pura, (Cengel & Boles, Termodinámica, 2012, pág. 93).

- **Convección forzada:** Medios externos fuerzan al líquido a fluir sobre la superficie, (Cengel & Boles, Termodinámica, 2012, pág. 93).
- **Convección natural:** El cambio de temperatura del líquido produce la diferencia de densidades, originando las fuerzas de empuje, (Cengel & Boles, Termodinámica, 2012, pág. 93).

2.2.4.13 *Radiación*

Es la energía emitida como resultado de un cambio en la configuración de un átomo o molécula, mediante ondas electromagnéticas. Es la más rápida y no requiere de un medio interventor, por eso no sufre variación en el vacío, (Cengel & Boles, Termodinámica, 2012, pág. 27).

- **Radiación térmica:** los cuerpos por encima del 0 absoluto emiten radiación térmica debido a su temperatura, (Cengel & Boles, Termodinámica , 2012, pág. 685).

2.2.4.14 Calor húmedo

Esta es el calor requerido en Joule para incrementar la temperatura de 1 kg de aire seco más vapor que está en el agua en 1 K o °C (Geankoplis, 1998, pág. 587). Este es el calor requerido para elevar la temperatura de 1 g de gas en 1 °C o K, (McCabe, Smith, & Harriott, 2007, pág. 768).

2.2.4.15 Volumen húmedo

Este es el volumen general por unidad de masa del gas que no es vapor más cualquier vapor que pueda contener a 1 atm y la temperatura del gas, (McCabe, Smith, & Harriott, 2007, pág. 648).

2.2.4.16 Entalpía

La entalpía global es la entalpía de una unidad de masa del gas y los vapores que lo acompañan. La entalpía total se calcula tomando dos estados de referencia, para el gas y para el vapor de agua, (McCabe, Smith, & Harriott, 2007, pág. 649).

2.2.5 Dureza del agua

Se considera como el aforo en el cual el jabón se precipita; este se asienta preferente sobre iones de calcio y magnesio. Pueden estar presentes otros cationes polivalentes, pero a menudo se encuentran en forma compleja, que incluyen elementos orgánicos, cuya dureza puede ser baja y difícil de cuantificar. Según las normas vigentes, la dureza total se puntualiza como la agregación de las concentraciones de Ca y Mg en CaCO_3 , en mg/l. Cuando esta es un valor numérico más que alcalino de carbonato y bicarbonato, esta dureza correspondiente a la alcalinidad total, la misma que tomará el nombre de “dureza de carbonato”; la dureza más allá de eso, esto se expresa como “dureza no carbonatada”.

Cuando se expresa con un valor numérico similar o inferior que la adición de la alcalinidad de carbonato y bicarbonato, el total de la dureza es de carbonato, ninguna de bicarbonato. Esta varía entre 0 a cientos de mg/l, según la procedencia y el tratamiento previo del agua, (APHA-AWWA-WPCF, 1992, págs. 33-39).

CAPÍTULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 Parte experimental

Dentro del diseño se considera el plan y los procedimientos, los cuales incluyen una sucesión de pasos y opciones que deben discutirse y analizarse secuencialmente.

Se debe tener en cuenta las consideraciones, restricciones y eficacias con las que contará la torre de enfriamiento.

La torre de enfriamiento construida es planta piloto, la misma que posee un fácil manejo y será empleada como material didáctico; esta planta piloto debe cumplir:

- Tamaño para nivel de laboratorio.
- Accesible.
- Fácil observación de sus partes.
- Elementos de medición (termocuplas y sensores).

3.1.1 *Plan de muestreo*

Las condiciones de operación del dispositivo que se estableció son la temperatura tanto de entrada y salida de la torre, considerando estas como el muestro pertinente.

Las muestras se toman de forma sencilla, en el lapso de 5 días se toman 4 muestras al día, dando un total de 20 ensayos, estos son tomados del equipo construido midiendo la temperatura de salida durante un periodo de 10 minutos por 90 minutos que dura la práctica.

La temperatura del bulbo húmedo correspondiente a 14,6 °C se estableció como referencia para realizar el análisis de enfriamiento de agua. Esta temperatura permite comprobar si las condiciones especificadas son satisfactorias para obtener la mayor eficiencia del sistema.

3.2 Metodología

3.2.1 Métodos y técnicas

3.2.1.1 Métodos

- Método inductivo

Para determinar el tamaño de la torre de enfriamiento de tiro inducido a contra flujo, se tomó como referencia la torre de enfriamiento que existe en el laboratorio de operaciones unitarias de la ESPOCH, se efectuó análisis como la dureza y pH del agua a emplear en el equipo, luego se calculan los valores correspondientes al diseño, para finalmente realizar la construcción, la misma que servirá para confirmar su funcionamiento.

- Método deductivo

Con la validación de la torre de enfriamiento de agua de tiro inducido a contra flujo, realizamos pruebas para obtener los valores requeridos para posteriormente realizar cálculos del caudal, del vapor de aire saturados, vapor de agua saturada, etc.

3.2.1.2 Técnicas

Es fundamental en el transcurso de la investigación científica, pues comprende la estructura por la cual se organiza el diseño, a través de formas generales que permiten la recolección de información para desarrollar teorías basadas en el estudio de fenómenos y técnicas.

Esto se hace a través del uso y análisis de varios diagramas que serán un apoyo a la investigación del diseño y construcción del equipo.

Tabla 1-3: Determinación de la temperatura del bulbo seco.

Materiales	Procedimiento
<ul style="list-style-type: none">• Anemómetro	<ul style="list-style-type: none">• Encender el anemómetro.• Seleccionar el modo de temperatura de bulbo seco• Registrar la temperatura.

Elaborado por: Cueva, María – Vivanco, Jhordy, 2022.

Tabla 2-3: Determinación de la temperatura del bulbo húmedo.

Materiales	Reactivos	Procedimiento
<ul style="list-style-type: none">• Termómetro de mercurio• Gasa o algodón	<ul style="list-style-type: none">• Agua	<ul style="list-style-type: none">• Humedecer la gasa o algodón en agua.• Recubrir el bulbo del termómetro• Esperar a que se estabilice la temperatura.• Registrar la temperatura.

Elaborado por: Cueva, María – Vivanco, Jhordy, 2022.

Tabla 3-3: Determinación de porcentaje de humedad relativa.

Materiales	Procedimiento
<ul style="list-style-type: none">• Anemómetro	<ul style="list-style-type: none">• Encender el anemómetro.• Seleccionar el modo %HR en el ambiente.• Registrar la humedad relativa.

Elaborado por: Cueva, María – Vivanco, Jhordy, 2022.

Tabla 4-3: Determinación de la dureza del agua.

Método	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Fórmula
Método 2340 B y C	<ul style="list-style-type: none"> Pipeta volumétrica de 25 ml Erlenmeyer Vaso de precipitación Pera de succión Espátula Pipeta de 5 ml 	<ul style="list-style-type: none"> Buffer pH 10 (2 ml) Cianuro de potasio (KCN) 1 ml al 1 % Negro de eriocromo T Solución EDTA (0.02 M) Agua de la llave (Lab. Suelos) Agua de tanques de almacenamiento (Lab. OPE) Agua embotellada (Tesalia – Agua Luz) 	<ul style="list-style-type: none"> Pipetear 25 ml de cada muestra. Colocar los 25 ml de la muestra en un Erlenmeyer. Agregar 1ml de KCN. Añadir 2 ml de buffer pH 10. Incorporar una pizca de negro de eriocromo T. Agitar y observar que se forma un color rosado. Titular de gota en gota en el EDTA. Agitar constantemente hasta obtener un color azul. Determinar los ml consumidos en la titulación con EDTA. 	$CaCO_3 = \frac{V_1 * [M] * 10^5}{V_2}$ <p>Donde: $CaCO_3$ = Concentración de carbonato de calcio en ppm (mg/L). V_1 = Volumen consumido de EDTA. $[M]$ = Molaridad de EDTA V_2 = Volumen de la muestra de agua.</p>

Elaborado por: Cueva, Maria – Vivanco, Jhordy, 2022.

Tabla 5-3: Determinación del pH.

Materiales	Reactivos	Procedimiento
<ul style="list-style-type: none">• pH-Metro• Vasos de precipitación (100 ml)	<ul style="list-style-type: none">• Agua de la llave (Lab. Suelos)• Agua de tanques de almacenamiento (Lab. OPE)• Agua embotellada (Tesalia – Agua Luz)• Agua destilada• Estándar de pH 7• Estándar de pH 4	<ul style="list-style-type: none">• Encender el equipo y esperar que se estabilice.• Enjuagar el electrodo agua destilada.• Introducir el electrodo en el estándar pH 7, y esperar a que se calibre el equipo.• Enjuagar con agua destilada.• Introducir el electrodo en el estándar pH 4, y esperar a que se calibre el equipo.• Enjuagar con agua destilada.• Introducir el electrodo en la sustancia a determinar el pH.• Enjuagar con agua destilada.• Repetir hasta completar la determinación del pH de las diferentes sustancias.

Elaborado por: Cueva, Maria – Vivanco, Jhordy, 2022.

Tabla 6-3: Determinación de las condiciones de operación.

Materiales	Reactivos	Procedimiento
<ul style="list-style-type: none"> • Torre de enfriamiento de agua • Anemómetro • Termómetro • Flexómetro • Calibre pie de rey • Cronómetro 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua Purificada 	<ul style="list-style-type: none"> • Conectar el equipo a una fuente 220 V. • Añadir el agua en el reservorio de agua fría. • Encender el equipo. • Establecer la temperatura del calentador. • Establecer la temperatura de salida del sistema. • Pulsar el botón inicio. • Cronometrar el tiempo que tarda en calentar el agua. • Cronometrar el tiempo en el que el agua se enfría a la temperatura establecida. • Observar las gráficas de temperatura. Roja: agua caliente Verde: agua fría • Observar el valor de flujo. • Una vez alcanzado la temperatura de agua fría seleccionada, el equipo se apagará automáticamente. • Vaciar el agua del equipo. • Desconectar la conexión.

Elaborado por: Cueva, María – Vivanco, Jhordy, 2022

3.3 Ecuaciones

3.3.1 Dureza

$$\text{CaCO}_3 = \frac{V_1 * M * 10^5}{V_2}$$

Donde:

V1= Volumen consumido de EDTA (ml)

M= Molaridad de EDTA

V2= Volumen de la muestra (ml)

3.3.2 Ecuaciones de diseño

3.3.3 Balance de masa

$$E = S$$

$$\text{Agua caliente} + \text{Aire seco} = \text{Aire humedo} + \text{Agua fria}$$

3.3.3.1 Balance de las corrientes gaseosas

$$\text{Aire seco} = \text{masa de aire seco} + \text{masa de aire seco}$$

$$* \text{ humedad en la corriente del aire seco}$$

$$\text{Aire seco} = \text{masa de aire seco} + \text{masa de aire seco}$$

$$* \text{ humedad en la corriente del aire humedo}$$

3.3.4 Balance de energía

$$E = S$$

$$L_2 C_{pL} T_{L2} + G_1 h_{y1} = L_1 C_{pL} T_{L1} + G_2 h_{y2}$$

$$L C_{pL} (T_{L2} - T_{L1}) = G (h_{y2} - h_{y1})$$

Donde:

L=Flujo del líquido($\frac{Kg}{s}$)

C_{pL} =Capacidad calorífica del agua ($\frac{J}{Kg^{\circ}C}$)

T_{L1} =Temperatura de ingreso del agua ($^{\circ}C$)

T_{L2} =Temperatura de salida del agua (°C)

G = Flujo del aire ($\frac{Kg}{s}$)

h_{y1} = Entalpia de entrada del aire ($\frac{J}{Kg \text{ Aire}}$)

h_{y2} = Entalpia de salida del aire ($\frac{J}{Kg \text{ Aire}}$)

3.3.5 Parámetro mínimo de funcionamiento de la torre

3.3.5.1 Línea de operación mínima

$$LC_{pL}(T_{L2} - T_{L1}) = G_{min}(h' - h_{y1})$$
$$G_{min} = \frac{LC_{pL}(T_{L2} - T_{L1})}{(h' - h_{y1})}$$

Donde:

L =Flujo del líquido ($\frac{Kg}{s}$)

C_{pL} =Capacidad calorífica del agua ($\frac{J}{Kg^{\circ}C}$)

T_{L1} =Temperatura de ingreso del agua (°C)

T_{L2} =Temperatura de salida del agua (°C)

G_{min} = Flujo del aire mínimo ($\frac{Kg}{s}$)

h_{y1} = Entalpia de entrada del aire ($\frac{J}{Kg \text{ Aire}}$)

h' = Entalpia de saturación ($\frac{J}{Kg \text{ Aire}}$)

3.3.5.2 Línea de operación

$$LC_{pL}(T_{L2} - T_{L1}) = G_R(h_{y2} - h_{y1})$$
$$G_R = 2 * G_{min}$$
$$h_{y2} - h_{y1} = \frac{LC_{pL}(T_{L2} - T_{L1})}{G_R}$$
$$h_{y2} = \frac{LC_{pL}(T_{L2} - T_{L1})}{G_R} + h_{y1}$$

Donde:

L =Flujo del líquido ($\frac{Kg}{s}$)

C_{pL} =Capacidad calorífica del agua ($\frac{J}{Kg^{\circ}C}$)

T_{L1} =Temperatura de ingreso del agua ($^{\circ}C$)

T_{L2} =Temperatura de salida del agua ($^{\circ}C$)

G_R = Flujo del aire real ($\frac{Kg}{s}$)

h_{y1} = Entalpia de entrada del aire ($\frac{J}{Kg Aire}$)

h_{y2} = Entalpia de salida del aire ($\frac{J}{Kg Aire}$)

3.3.6 *Altura de la torre*

$$Z = N_{tog} * H_{tog}$$

Donde:

Z =Altura de la torre de enfriamiento (m)

N_{tog} =Número de unidades de transferencia

H_{tog} =Altura de las unidades de transferencia (m)

3.3.7 *Curva de equilibrio-Aire Saturado*

3.3.7.1 *Presión de saturación*

$$P_{Sat} = e^{A - \frac{B}{T-C}}$$

Donde:

$A=16.3872$

$B=3885.7$

$C=230.17$

T =Temperatura del agua ($^{\circ}C$)

P_{Sat} = Presión de saturación (Kpa)

3.3.7.2 *Humedad absoluta*

$$y' = \frac{PM_{agua} * P_{Sat}}{PM_{aire}(101.325 - P_{Sat})}$$

Donde:

y' = Humedad absoluta

PM_{agua} = Peso molecular del agua ($\frac{g}{mol}$)

P_{sat} = Presión de saturación (Kpa)

PM_{aire} = Peso molecular del aire ($\frac{g}{mol}$)

3.3.7.3 Entalpia de saturación

$$H'^* = (1.005 + 1.88y') * T + 2501.4y'$$

Donde:

H'^* = Entalpia de saturación ($\frac{KJ}{Kg Aire}$)

y' = Humedad absoluta

T = Temperatura del agua (°C)

3.3.8 Número de unidades de transferencia

$$N_{tog} = \int_{H1}^{H2} \frac{dH'}{H'^* - H'}$$

Donde:

N_{tog} = Número de unidades de transferencia ($\frac{Kg}{s}$)

dH' = Variación de entalpia ($\frac{J}{Kg Aire}$)

H'^* = Entalpia de vapor saturado/entalpia en la curva de equilibrio ($\frac{J}{Kg Aire}$)

H' = Entalpia de aire saturado/entalpia en la línea de operación ($\frac{J}{Kg Aire}$)

$H1$ = Entalpia de entrada ($\frac{J}{Kg Aire}$)

$H2$ = Entalpia de salida ($\frac{J}{Kg Aire}$)

3.3.9 Altura de las unidades de transferencia

$$H_{tog} = \frac{G'}{K_{ya}}$$

H_{tog} = Altura de las unidades de transferencia (m)

G' = Flujo del aire por área $\frac{kg}{m^2s}$

K_{ya} =Coeficiente de transferencia del material $\frac{kg}{m^3s}$

3.3.10 Potencia del ventilador

$$P_V = \frac{Q dp}{n}$$

Donde:

P_V =Potencia de ventilador (W)

Q =Caudal ($\frac{m^3}{s}$)

dp =Incremento de presión total ($\frac{N}{m^2}$)

n = Eficiencia

3.3.11 Potencia de la bomba

$$P_B = \frac{Qpgh_b}{746 e}$$

Donde:

P_B =Potencia de bomba (Hp)

Q =Caudal ($\frac{m^3}{s}$)

p =Densidad del agua a 60°C ($\frac{Kg}{m^3}$)

g =Gravedad ($\frac{m}{s^2}$)

h_b =Cabeza neta de la bomba (m)

e =Eficiencia de bomba

3.3.11.1 Eficiencia de la torre

$$Eficiencia = \frac{enfriamiento\ real}{enfriamiento\ ideal} * 100$$

$$Eficiencia = \frac{T_{L2} - T_{L1}}{T_{L2} - T_{L1} + T_{L1} - T_{bh}} * 100$$

$$Eficiencia = \frac{T_{L2} - T_{L1}}{T_{L2} - T_{bh}} * 100$$

Donde:

T_{L2} =Temperatura de ingreso del agua

T_{L1} =Temperatura de salida del agua

T_{bh} =Temperatura de bulbo húmedo

3.4 Datos

Tabla 7-3: Datos experimentales para fijar las condiciones de operación.

Parámetro	Valor	Unidad
Temp. Bulbo seco	21,5	°C
W_b	14,6	°C
D_p	9,9	°C
%Rh	64,9	%
Presión	728,1	hPa
Altitud	2706	m.s.n.m

Elaborado por: Cueva, Maria – Vivanco, Jhordy, 2022.

CAPÍTULO IV

4 MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Cálculos

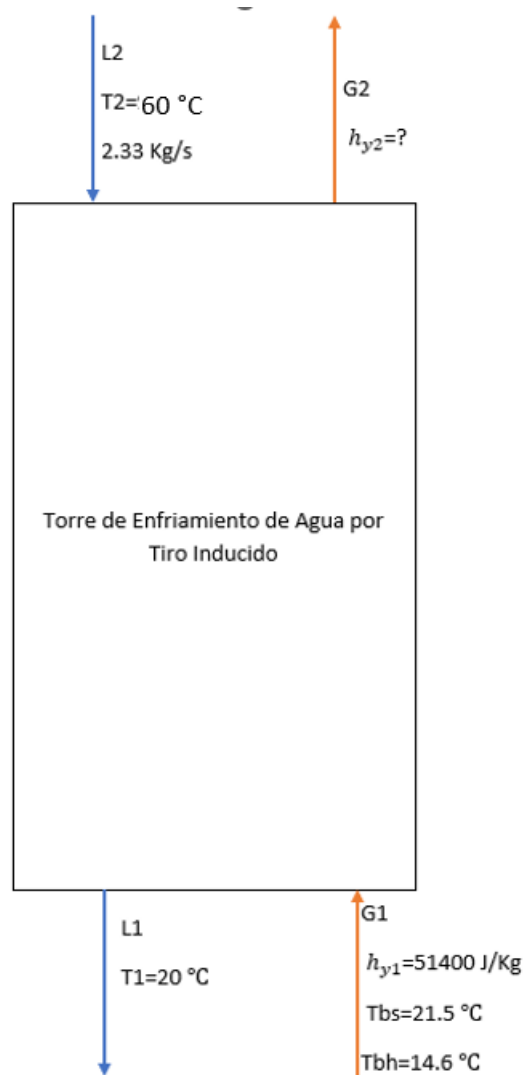


Ilustración 6-4: Diagrama Torre de enfriamiento.

Donde:

h_y entalpia

Y' humedad absoluta

4.1.1 Dureza

Dureza del agua luz

$$\text{CaCO}_3 = \frac{0.1\text{ml} * 0.02 * 10^5}{25\text{ml}}$$

$$\text{CaCO}_3 = 8 \frac{\text{ml}}{\text{L}}$$

Dureza del agua Tesalia

$$\text{CaCO}_3 = \frac{4.7\text{ml} * 0.02 * 10^5}{25\text{ml}}$$

$$\text{CaCO}_3 = 376 \frac{\text{ml}}{\text{L}}$$

Dureza del agua laboratorio de operaciones unitarias

$$\text{CaCO}_3 = \frac{7.5\text{ml} * 0.02 * 10^5}{25\text{ml}}$$

$$\text{CaCO}_3 = 600 \frac{\text{ml}}{\text{L}}$$

Dureza del agua laboratorio de calidad de agua y suelos

$$\text{CaCO}_3 = \frac{7.1\text{ml} * 0.02 * 10^5}{25\text{ml}}$$

$$\text{CaCO}_3 = 568 \frac{\text{ml}}{\text{L}}$$

4.1.2 Balance de masa

$$E = S$$

$$\text{Agua caliente} + \text{Aire seco} = \text{Aire humedo} + \text{Agua fria}$$

$$2.33\text{Kg} + 1.80 = 1.89 + 2.24$$

$$4.13\text{Kg} = 4.13\text{Kg}$$

4.1.2.1 Balance de las corrientes gaseosas

$$\text{Aire seco} = \text{masa de aire} + \text{masa de aire} * \text{humedad en la corriente del aire seco}$$

$$\text{Aire seco} = 1.79\text{Kg} + 1.79\text{Kg} * 0.0068$$

$$\text{Aire seco} = 1.80\text{Kg}$$

$$\text{Aire humedo} = 1.79\text{Kg} + 1.79\text{Kg} * 0.0558$$

$$\text{Aire humedo} = 1.81\text{Kg}$$

4.1.3 Balance de energía

$$E = S$$

$$L_2 C_{pL} T_{L2} + G_1 h_{y1} = L_1 C_{pL} T_{L1} + G_2 h_{y2}$$

$$L C_{pL} (T_{L2} - T_{L1}) = G (h_{y2} - h_{y1})$$

$$2.33 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 4186 \frac{\text{J}}{\text{Kg C}} (60 - 21.5) C = 1.79 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} (250479.4022 \frac{\text{J}}{\text{Kg}} - 40700 \frac{\text{J}}{\text{Kg}})$$

$$375505.13 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 375505.13 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

4.1.4 Parámetro mínimo de funcionamiento de la torre

4.1.4.1 Línea de operación mínima

$$L C_{pL} (T_{L2} - T_{L1}) = G_{min} (h' - h_{y1})$$

$$G_{min} = \frac{L C_{pL} (T_{L2} - T_{L1})}{(h' - h_{y1})}$$

$$G_{min} = \frac{(2.33 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}) 4186 \frac{\text{J}}{\text{Kg C}} (60 - 21.5)}{(460375.1664 - 40700) \frac{\text{J}}{\text{Kg}}}$$

$$G_{min} = 0.895 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

4.1.4.2 Línea de operación

$$L C_{pL} (T_{L2} - T_{L1}) = G_R (h_{y2} - h_{y1})$$

$$G_R = 2 * G_{min}$$

$$G = 2 * G_{min}$$

$$G = 2 * 0.895 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$G = 1.79 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$h_{y2} = \frac{L C_{pL} (T_{L2} - T_{L1})}{G} + h_{y1}$$

$$h_{y2} = \frac{(2.33 \frac{Kg}{s})4186 \frac{J}{Kg C} (60 - 21.5)C}{1.79 \frac{Kg}{S}} + 40700 \frac{J}{Kg}$$

$$h_{y2} = 250479.4022 \frac{J}{Kg}$$

4.1.5 Cálculo de la altura de la torre

$$Z = 4 * 0.375m$$

$$Z = 1.50m$$

4.1.6 Curva de equilibrio-Aire Saturado

$$P_{Sat} = e^{A - \frac{B}{T-C}}$$

$$y' = \frac{PM_{agua} * P_{Sat}}{PM_{aire}(101.325 - P_{Sat})}$$

$$H'^* = (1.005 + 1.88y') * T + 2501.4y'$$

Tabla 1-4: Curva de equilibrio-Aire Saturado

T	Psat	Y'	H'* (KJ/Kg)	H'* (J/kg)
15,6	1,780	0,011	43,834	43834,223
20,0	2,351	0,015	57,619	57619,269
25,0	3,188	0,020	76,615	76615,022
26,7	3,526	0,022	84,052	84051,684
29,4	4,127	0,026	97,063	97063,413
30,0	4,272	0,027	100,173	100173,242
32,2	4,841	0,031	112,324	112324,118
35,0	5,661	0,037	129,668	129668,488
37,8	6,598	0,043	149,434	149434,218
40,0	7,424	0,049	166,921	166920,635
40,6	7,665	0,051	172,021	172020,522
43,3	8,832	0,059	196,916	196915,624
45,0	9,642	0,065	214,388	214387,775
46,1	10,199	0,070	226,516	226515,896

50,0	12,405	0,087	275,476	275475,856
55,0	15,820	0,115	355,056	355056,442
60,0	20,007	0,153	460,375	460375,166

Elaborado por: Cueva, María – Vivanco, Jhordy, 2022.

4.1.7 Cálculo del número de unidades de transferencia

$$N_{tog} = \int_{H_1}^{H_2} \frac{dH'}{H'^* - H'}$$

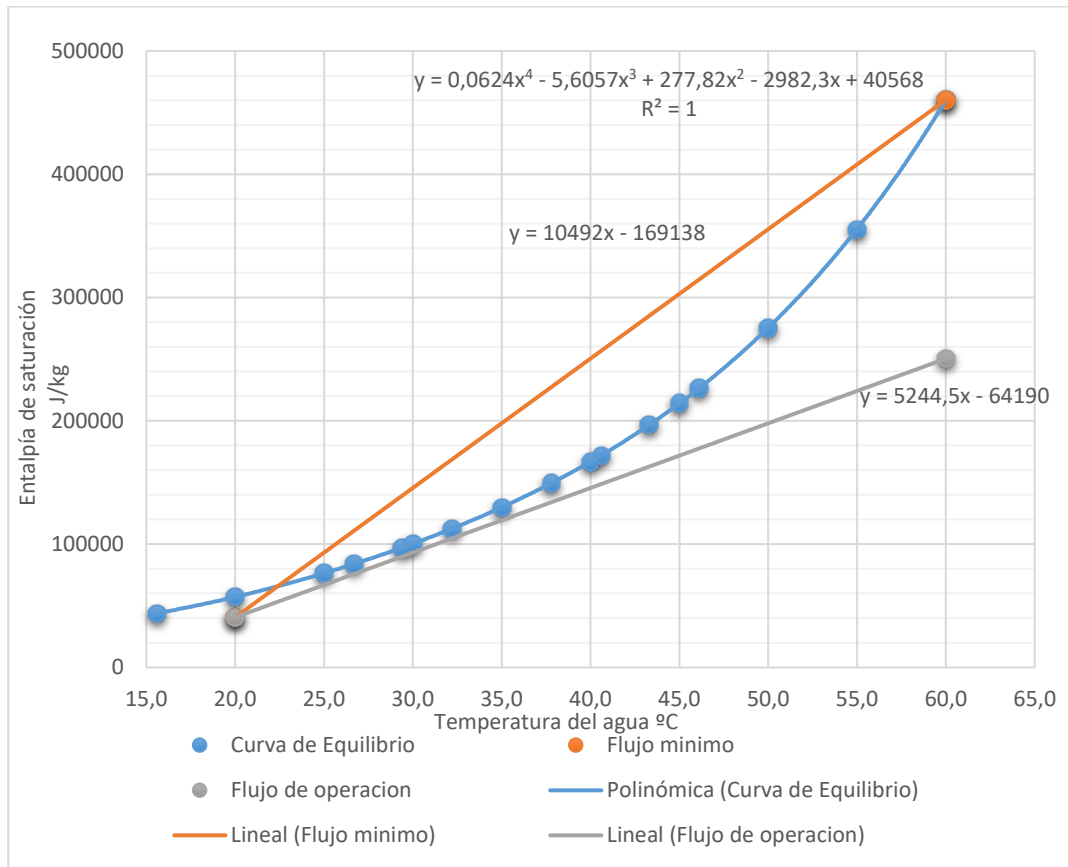


Ilustración 1-4: Curva de equilibrio y línea de operación.

Tabla 2-4: Resolución por métodos numéricos con la ayuda de Excel.

T	Entalpía en la línea de operación	Entalpía en la curva de equilibrio	dH'	H'*-H'	dH'/H'*-H'
21,5	40699,650	62492,620			
22,0	43044,200	64350,361	2344,550	21306,161	0,110
22,5	45388,750	66252,636	2344,550	20863,886	0,112
23,0	47733,300	68199,407	2344,550	20466,106	0,115

23,5	50077,850	70190,727	2344,550	20112,877	0,117
24,0	52422,400	72226,746	2344,550	19804,346	0,118
24,5	54766,950	74307,704	2344,550	19540,754	0,120
25,0	57111,500	76433,938	2344,550	19322,438	0,121
25,5	59456,050	78605,875	2344,550	19149,825	0,122
26,0	61800,600	80824,039	2344,550	19023,439	0,123
26,5	64145,150	83089,046	2344,550	18943,896	0,124
27,0	66489,700	85401,605	2344,550	18911,905	0,124
27,5	68834,250	87762,520	2344,550	18928,270	0,124
28,0	71178,800	90172,688	2344,550	18993,888	0,123
28,5	73523,350	92633,099	2344,550	19109,749	0,123
29,0	75867,900	95144,837	2344,550	19276,937	0,122
29,5	78212,450	97709,080	2344,550	19496,630	0,120
30,0	80557,000	100327,100	2344,550	19770,100	0,119
30,5	82901,550	103000,261	2344,550	20098,711	0,117
31,0	85246,100	105730,022	2344,550	20483,922	0,114
31,5	87590,650	108517,934	2344,550	20927,284	0,112
32,0	89935,200	111365,645	2344,550	21430,445	0,109
32,5	92279,750	114274,892	2344,550	21995,142	0,107
33,0	94624,300	117247,510	2344,550	22623,210	0,104
33,5	96968,850	120285,423	2344,550	23316,573	0,101
34,0	99313,400	123390,654	2344,550	24077,254	0,097
34,5	101657,950	126565,314	2344,550	24907,364	0,094
35,0	104002,500	129811,613	2344,550	25809,113	0,091
35,5	106347,050	133131,849	2344,550	26784,799	0,088
36,0	108691,600	136528,419	2344,550	27836,819	0,084
36,5	111036,150	140003,810	2344,550	28967,660	0,081
37,0	113380,700	143560,604	2344,550	30179,904	0,078
37,5	115725,250	147201,477	2344,550	31476,227	0,074
38,0	118069,800	150929,196	2344,550	32859,396	0,071
38,5	120414,350	154746,625	2344,550	34332,275	0,068
39,0	122758,900	158656,720	2344,550	35897,820	0,065
39,5	125103,450	162662,531	2344,550	37559,081	0,062
40,0	127448,000	166767,200	2344,550	39319,200	0,060
40,5	129792,550	170973,965	2344,550	41181,415	0,057
41,0	132137,100	175286,157	2344,550	43149,057	0,054
41,5	134481,650	179707,199	2344,550	45225,549	0,052
42,0	136826,200	184240,609	2344,550	47414,409	0,049
42,5	139170,750	188889,998	2344,550	49719,248	0,047

43,0	141515,300	193659,073	2344,550	52143,773	0,045
43,5	143859,850	198551,630	2344,550	54691,780	0,043
44,0	146204,400	203571,562	2344,550	57367,162	0,041
44,5	148548,950	208722,854	2344,550	60173,904	0,039
45,0	150893,500	214009,588	2344,550	63116,088	0,037
45,5	153238,050	219435,934	2344,550	66197,884	0,035
46,0	155582,600	225006,159	2344,550	69423,559	0,034
46,5	157927,150	230724,625	2344,550	72797,475	0,032
47,0	160271,700	236595,783	2344,550	76324,083	0,031
47,5	162616,250	242624,183	2344,550	80007,933	0,029
48,0	164960,800	248814,464	2344,550	83853,664	0,028
48,5	167305,350	255171,361	2344,550	87866,011	0,027
49,0	169649,900	261699,703	2344,550	92049,803	0,025
49,5	171994,450	268404,411	2344,550	96409,961	0,024
50,0	174339,000	275290,500	2344,550	100951,500	0,023
50,5	176683,550	282363,079	2344,550	105679,529	0,022
51,0	179028,100	289627,352	2344,550	110599,252	0,021
51,5	181372,650	297088,613	2344,550	115715,963	0,020
52,0	183717,200	304752,253	2344,550	121035,053	0,019
52,5	186061,750	312623,755	2344,550	126562,005	0,019
53,0	188406,300	320708,696	2344,550	132302,396	0,018
53,5	190750,850	329012,746	2344,550	138261,896	0,017
54,0	193095,400	337541,670	2344,550	144446,270	0,016
54,5	195439,950	346301,325	2344,550	150861,375	0,016
55,0	197784,500	355297,663	2344,550	157513,163	0,015
55,5	200129,050	364536,728	2344,550	164407,678	0,014
56,0	202473,600	374024,659	2344,550	171551,059	0,014
56,5	204818,150	383767,689	2344,550	178949,539	0,013
57,0	207162,700	393772,142	2344,550	186609,442	0,013
57,5	209507,250	404044,439	2344,550	194537,189	0,012
58,0	211851,800	414591,092	2344,550	202739,292	0,012
58,5	214196,350	425418,708	2344,550	211222,358	0,011
59,0	216540,900	436533,986	2344,550	219993,086	0,011
59,5	218885,450	447943,721	2344,550	229058,271	0,010
60,0	221230,000	459654,800	2344,550	238424,800	0,010

Elaborado por: Cueva, María – Vivanco, Jhordy, 2022.

4.1.8 Cálculo de la altura de las unidades de transferencia

$$N_{tog} = 4$$

$$H_{tog} = \frac{G'}{K_{ya}}$$

$$G' = \frac{G}{Area}$$

$$Area = 0.80m * 0.80m$$

$$Area = 0.64m^2$$

$$G' = \frac{1.79 \frac{Kg}{s}}{0.73m^2}$$

$$G' = 2.79 \frac{Kg}{sm^2}$$

$$K_{ya} = 7.44 \frac{Kg}{sm^3}$$

$$H_{tog} = \frac{2.79 \frac{Kg}{sm^2}}{7.44 \frac{Kg}{sm^3}}$$

$$H_{tog} = 0.375m$$

4.1.9 Potencia de bomba

$$P_B = \frac{Qpgh_b}{746 e}$$

$$P_B = \frac{(0.0023)(983.21)(9.8)(4.13)}{746(0.75)}$$

$$P_B = 0.16 HP$$

Como en el mercado no se encontró una bomba de esa potencia, se optó por compra una de 0.5 HP.

4.1.10 Potencia del ventilador

$$P_V = \frac{Q dp}{n}$$

$$P_V = \frac{2.79 \frac{m^3}{s} 83.95 \frac{N}{m^2}}{0.85}$$

$$P_V = \frac{2.79 \frac{m^3}{s} 105.72 \frac{N}{m^2}}{0.85}$$

$$P_V = 275.55W$$

4.1.11 Eficiencia de la torre

$$Eficiencia = \frac{T_{L2} - T_{L1}}{T_{L2} - T_{bh}} * 100$$

Eficiencia a 14.6 °C de temperatura de bulbo húmedo

$$Eficiencia = \frac{60 - 20}{60 - 14.6} * 100$$

$$Eficiencia = 88 \%$$

Eficiencia a 15.5 °C de temperatura de bulbo húmedo

$$Eficiencia = \frac{60 - 20}{60 - 15.5} * 100$$

$$Eficiencia = 90 \%$$

Eficiencia a 17.89 °C de temperatura de bulbo húmedo

$$Eficiencia = \frac{60 - 20}{60 - 17.5} * 100$$

$$Eficiencia = 95 \%$$

Tabla 3-4: Tabla eficiencia promedio de la torre.

Temperatura de bulbo húmedo	Temperatura de ingreso del agua	Temperatura de salida del agua	Eficiencia
14.6 °C	60 °C	20 °C	88 %
15.5 °C	60 °C	20 °C	90 %
17.5 °C	60 °C	20 °C	95 %

Elaborado por: Cueva, Maria – Vivanco, Jhordy, 2022.

Tabla 4-4: Datos experimentales de la torre de enfriamiento.

Torre de enfriamiento			
Ø tubería (in)	Ø aspersores (mm)	Z (m)	Z _T (m)
½	1	1,50	2,15

Elaborado por: Cueva, Maria – Vivanco, Jhordy, 2022.

Tabla 5-4: Datos experimentales para fijar las condiciones de operación

N.º	T entrada (°C)	T salida (°C)	Eficiencia
1	80	34.69	70.58
2	75	32.60	71.62
3	70	28.38	76.78
4	65	25.81	79.65
5	60	22.25	85.41
6	55	21.80	84.69
7	50	21.32	83.85
8	45	20.60	83.49
9	40	20	82.64

Elaborado por: Cueva, María – Vivanco, Jhordy, 2022.

4.2 Elección de materiales y componentes

4.2.1 Selección del ventilador

Se ha seleccionado un ventilador axial, el cual nos permite una circulación del aire que enfría el agua caliente sin extraer ésta del equipo, además de estar adaptado para condiciones húmedas.

4.2.2 Selección del reservorio de agua

El reservorio de agua fría está construido en acero inoxidable 304 con una capacidad de 60 litros, que permite una observación correcta de la transferencia de energía entre el agua y el aire.

4.2.3 Altura de la torre

De acuerdo con las ecuaciones de diseño la altura de nuestro equipo será de 1,56 m, sin contar la parte mecánica, contando esta parte sería 2,15 m.

4.2.4 Capacidad de la bomba

Para cumplir con las condiciones a la cual está diseñada la torre se ha seleccionado una bomba de 0.5 HP, la misma que permite impulsar hasta 140 l/pm de agua.

4.2.5 Relleno

Se ha seleccionado un relleno tipo salpicadura de cerámica que permite que las gotas que caen de los aspersores se dividan en gotas más pequeñas, aumentando la interface aire-agua, permitiendo un proceso de enfriamiento más eficiente. Además, que este material tiene una gran resistencia química y estabilidad térmica.

4.2.6 Aspersores

Se ha seleccionado 10 tuberías de acero inoxidable 304, con un diámetro de 0,5 in en la que se ha elaborado perforaciones de 1 mm, permitiendo que el agua salga pulverizada de los mismos cubra un radio de 14 cm, logrando que el área total de la torre sea pulverizada.

4.2.7 Selección de variables

Flujo: 140 l/pm.

Temperatura del agua caliente: temperatura que ingresa a la torre (máximo 80).

Temperatura del agua fría: temperatura que va a salir de la torre, no menor a la temperatura ambiente.

Temperatura del bulbo húmedo: 14.6 °C (temperatura teórica que puede alcanzar el agua fría en una torre de enfriamiento infinita).

Rango de enfriamiento: diferencia entre la temperatura del agua caliente y agua fría.

Aproximación al bulbo húmedo: variación entre la temperatura de agua fría y la del bulbo húmedo.

4.2.8 Esquema de la torre

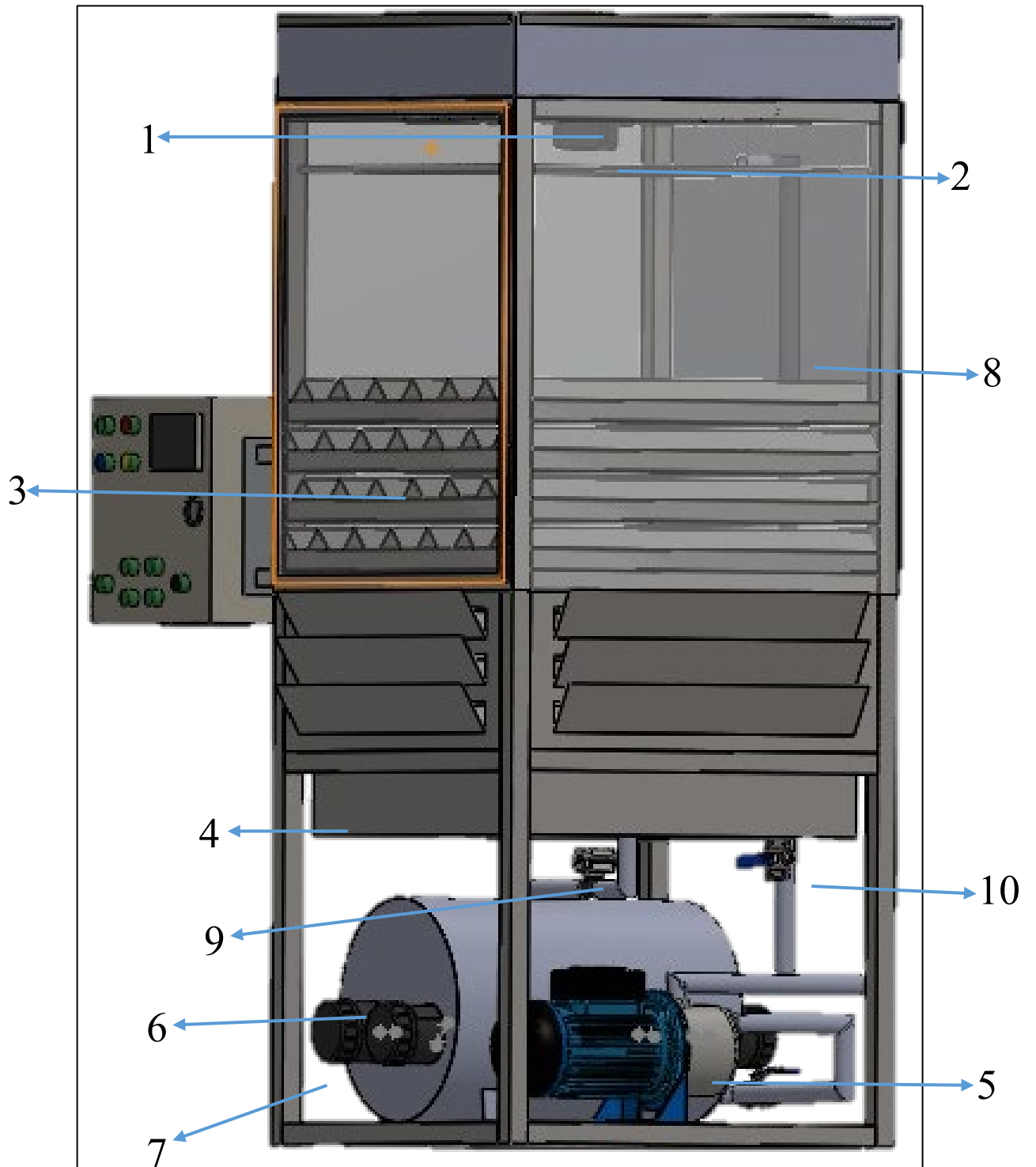







Ilustración 1-3: Diseño en 3D “Torre de enfriamiento”.

Tabla 6-4: Componentes de la torre de enfriamiento.

Número	Nombre	Imagen	Características
1	Ventilador axial		<p>Marca: Yilida Modelo:VA306 Motor:350 W RPM: 998 Voltaje:220 AMP:0.6 Velocidad regulable</p>
2	Aspersores		<p>Material: acero inoxidable 304 Diámetro: 1 mm</p>
3	Relleno		<p>Material: cerámica Espesor: 5 cm Área: 80*80 cm</p>
4	Reservorio de agua fría		<p>Material: acero inoxidable 304 Altura: 15 cm Ancho: 80 cm Profundidad: 80 cm Capacidad: 80 l</p>
5	Bomba		<p>Marca: LEO Material: acero inoxidable Flujo máximo: 140 l/pm Cabeza máxima: 90 m Potencia de salida: 0.3 – 2.2. kW Succión máxima: 9 m Grado de protección: IPX4 Clase de aislamiento: F Temperatura ambiente máxima: 40 °C Temperatura máxima del líquido: 60 °C</p>

6	Calentador		Material: acero inoxidable 304 Diámetro: Capacidad: 73 l
7	Resistencia		Marca: Thermowatt Material: cobre Potencia: 1500 W Voltaje: 220 V
8	Tubería		Material: acero inoxidable 304 Diámetro externo: 1,9 cm Diámetro interno: 1,27 cm
9	Electroválvula		Marca: GOGO Número: CWX-15N Potencia: eléctrico Voltaje: 220V
10	Llave de paso		Material: metal Diámetro: ½ in

Elaborado por: Cueva, Maria – Vivanco, Jhordy, 2022.

4.2.9 *Análisis e interpretación de resultados*

Tabla 7-4: Dimensiones de la torre de enfriamiento.

DESCRIPCIÓN	VARIABLE	UNIDAD
RESERVORIO DE AGUA FRÍA		
Volumen	73	L
Altura	15	Cm
Ancho	80	Cm
Material	Acero inoxidable 304	--
CALENTADOR		
Volumen	73	L
Material	Acero inoxidable 304	--
RELLENO		
Espesor	5	Cm
Área	80*80	Cm
Material	Cerámica	--

ASPERSORES		
Diámetro	1	Mm
Número	60	--
Área	0,64	m ²
Material	Acero inoxidable 304	--

Elaborado por: Cueva, Maria – Vivanco, Jhordy, 2022.

Luego de realizar las operaciones para el diseño de la planta piloto de la torre de enfriamiento de agua por tiro inducido se determinó una altura de 1.50 m de la torre y 2.15 m totales de planta, la altura y el área de transferencia (0.64 m²) están establecidas a las condiciones de diseño, siendo la temperatura máxima de entrada 60 °C y una temperatura de salida no menor a la temperatura bulbo húmedo del ambiente. El número de unidades de transferencia y la altura de los mismos se establecieron en 4 unidades de transferencia a 0.37 m de distancia entre sí, las cuales están construidas por material cerámico, ya que este ayudara a la absorción del calor del agua por ser un buen conductor térmico.

La eficiencia promedio del equipo, es del 91 % determinada a diferentes condiciones ambientales, siendo la primera prueba experimental: temperatura del bulbo seco 21.5 °C y temperatura del bulbo húmedo 14.6 °C, obteniéndose una eficiencia del 88 %; para la segunda prueba fueron 19.6 °C y 15.5 °C, respectivamente dando una eficiencia del 90 % y en la prueba final las condiciones fueron 22.3°C y 17.5 °C, correspondientemente a una eficiencia del 95 %; luego del análisis de estos resultados se determinó que la eficiencia variara con las condiciones ambientales y dependerá del grado de acercamiento entre la temperatura del agua fría y la del bulbo húmedo.

El análisis de la dureza del agua, Agua purificada fue la que menor dureza posee, siendo 8 mg/l; comparada a la dureza presente en el agua del Laboratorio De Operaciones Unitarias de 600 mg/l. El agua con menor dureza ayudará a que el equipo sea más eficiente y tenga una vida útil más larga, ya que no formará incrustaciones calcáreas (cal).

CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó una torre de enfriamiento de agua por tiro inducido de tipo piloto para el laboratorio de operaciones unitarias, permitiendo el estudio de transferencia de masa y energía.
- Se estableció las variables de diseño del sistema de enfriamiento, siendo temperatura del bulbo seco (21,5 °C), temperatura del bulbo húmedo (14,6 °C), temperatura del punto de rocío (9,9 °C); mediante las ecuaciones de diseño se determinó que la torre necesita un flujo de aire de 1,79 kg/s.
- Se realizó los cálculos de ingeniería para el diseño de la torre de enfriamiento, determinando una altura de 1,50 m (Z), 4 unidades de transferencia (N_{tog}), con una altura de estas de 0,375 m (H_{tog}) y un área de transferencia de 0.64 m^2 .
- Se ensambló la torre de enfriamiento de agua por tiro inducido, empleando acrílico transparente de 6 mm para las paredes, mientras que el resto de la estructura está construida en acero inoxidable 304 para evitar la corrosión del equipo, del mismo modo se seleccionó un ventilador de tipo axial diseñado para operar en condiciones de alta humedad.
- Se automatizó la torre de enfriamiento en Arduino, que nos permite establecer los datos de operación de la torre mediante una pantalla de control. Los datos seleccionados son comparados continuamente con sensores de temperatura y nivel, que comandan una electroválvula que permite la recirculación hasta alcanzar la temperatura seleccionada y dar por finalizado el proceso.
- Se validó técnicamente la eficiencia de la torre de enfriamiento de agua mediante la ejecución de prácticas experimentales a diferentes intervalos de temperatura, siendo 80 °C la temperatura máxima que soporta el equipo.
- Se elaboró un manual del uso y mantenimiento del equipo, los mismos anexados, recalcando los puntos de mantenimiento más importantes como: limpiar el acrílico con vinagre y destapar los aspersores.

RECOMENDACIONES

- Emplear agua de baja dureza, como el agua purificada para evitar la formación de incrustaciones de minerales.
- Realizar el mantenimiento total una vez al mes, para obtener mejores resultados.
- Colocar el equipo en un lugar ventilado para permitir un mejor ingreso de aire al equipo.
- Conectar el equipo directamente a la conexión sin el empleo de extensiones.
- Para una torre de tipo industrial se deberá reemplazar el acrílico por otro material, ya que el acrílico se emplea para una mejor visualización como medio didáctico.
- Emplear filtros tanto de aire como de agua, para evitar el ingreso de materiales que puedan dañar al equipo.

BIBLIOGRAFÍA

APHA-AWWA-WPCF. *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales.* Madrid: Editorial Díaz de Santos, S.A. Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración. (2007). Guía técnica de torres de refrigeración. *Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización.*

CENGEL, Y. A., & BOLES, M. A. *Termodinámica*. México D.F: McGrawHill. Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Trasferencia de calor y masa* (Cuarta ed.). Mexico D.F: McGrawHill.

CHANGJIANG INSTITUTE OF SURVEY PLANNING DESIGN AND RESEARCH. *Plan nacional de la gestión integrada e integral de los recursos hídricos de las cuencas y microcuencas hidrográficas de Ecuador.*

DAWEI, W., SHASHA, G., MINGHUA, L., SHUGUO, L., & YUANBIN, Z. Effect of cooling water salinity on the cooling performance of natural draft wet cooling tower. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 161 [en línea](120257). disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120257>.

DE OLIVERA, P. D. *Evaluación experimental de diferentes rellenos de película, empleados en torres de enfriamiento de agua.* Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.

GEANKOPLIS, C. J. *Procesos de transporte y operaciones unitarias.* México: Compañía Continental S.A.

KADER, A. A. *Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas.* UCANR.

KEYAN, M., MINGSEHENG, L., & JILI, Z. Online optimization method of cooling water system based on the heat transfer model for cooling tower. *Energy*, 231 [en línea] (120896). disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120896>.

MCCABE, W. L., SMITH, J. C., & HARRIOTT, P. *Operaciones unitarias de ingeniería química* (Septima ed.). México D.F.: McGrawHill.

PADILLA MEDINA, S., & SANCHEZ GOMEZ, L. S. *Propuesta para la reutilización de purgas provenientes de las torres de enfriamiento de O-I Peldar, en uno de los procesos de*

tratamiento térmico de la fabricación del vidrio. Bogotá: Fundación Universidad de América.
Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8201>

POLICARPIO DE LEÓN, M. A. *Mantenimiento a sistema de recirculación de agua fría para aires acondicionados a través de torres de enfriamiento en edificio Design Center*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

RAJ, K., YOGESH, S., RASHMI RANI, M., & DALVIR, S. *Natural draft cooling tower: Analytic study for performance enhancement*. *materialstoday: PROCEEDINGS*, 38(1) [en línea], 211-217. disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.591>

SHALLCROSS, D. *Handbook of Psychrometric Charts: Humidity diagrams for engineers*. Londres: Springer.

SPX COOLING TECHNOLOGIES. *Torre de enfriamiento MD de Marley*. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2916/14/torres%20de%20enfriamiento.pdf>

TREYBAL, R. E. *Operaciones de transferencia de masa*. México: McGrawHill.

VILLA JADÁN, S. F. *Determinación de correlaciones para tasa global de transferencia de calor y caída de presión en un determinado relleno de torre de enfriamiento utilizando un equipo experimental*. Guayaquil: ESPOL.

YÁNES, L., FRANCO, P., BASTIDAS, W., & CÓRDOVA, V Resumen del Plan Nacional de Gestión Integrada e Integral de los Recursos Hídricos y de las Cuencas y Microcuencas hidrográficas de Ec. *Aqua-LAC*, 9(2) [en línea], 124-132. disponible en: <https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2017-v9-2>

ANEXOS

ANEXOS A: ACTA DE VALIDACIÓN DEL EQUIPO

ACTA DE VALIDACIÓN DE EQUIPO

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, el día 08 del mes Agosto del año 2022 a las 9:00 a.m. se da la validación técnica del equipo Torre De Enfriamiento De Agua Por Tiro Inducido ubicado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, autorizado por los docentes miembros de la comisión: Ing. Darío Fernando Guamán Lozada e Ing. Mayra Paola Zambrano Vinueza

Se presentan así algunos aspectos generales:

- **Título Trabajo de Integración Curricular:**

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA POR TIRO INDUCIDO PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS”

- **Autores:**

Maria Fernanda Cueva Acaro

Jhordy Mauricio Vivanco Moncayo

- **Características generales de funcionamiento**

Objetivo: Rechazar el calor del agua del calentador o de otros procesos evaporando una fracción de esta agua, enfriando la restante.

General	
Nombre del equipo	Torre de enfriamiento
Tipo	Mecánico por tiro inducido
Material de construcción	Acero inoxidable tipo 304
Relleno	Cerámico
Capacidad	73l
Voltaje	220 V
Agua	
Tipo	Agua Luz
Dureza	8 ml/l
Carga a la torre	Manual
Temperatura	60 °C
Aire	
Temperatura	15°C
Humedad Relativa	46%
Agua fría	
Temperatura	25 °C
Aire Saturado	
Temperatura	30 °C
Humedad Relativa	82%

- **Evidencia fotográfica**



Por medio de la presente acta se otorga la VALIDACIÓN TÉCNICA de la Torre De Enfriamiento De Agua Por Tiro Inducido considerando que el mismo se encuentra en condiciones adecuadas de funcionamiento para ser entregado en el laboratorio de operaciones unitarias a cargo de la Ing. Erika Elizabeth Cazorla García.

Firmas:

Ing. Darío Fernando Guamán Lozada
Miembro Comisión de Validación

Ing. Mayra Paola Zambrano Vinuesa
Miembro Comisión de Validación



ANEXOS B: VALIDACIÓN DEL EQUIPO



ANEXOS C: PARTES INTERNAS DEL PANEL DE CONTROL

Imagen	Nombre
	<p>Selector</p>
	<p>Contactador</p>
	<p>Luz piloto</p>
	<p>Borneras</p>
	<p>Nextión S” HMI</p>
	<p>Breker</p>
	<p>Gabinete Metálico</p>

Elaborado por: Cueva, Maria – Vivanco, Jhordy, 2022

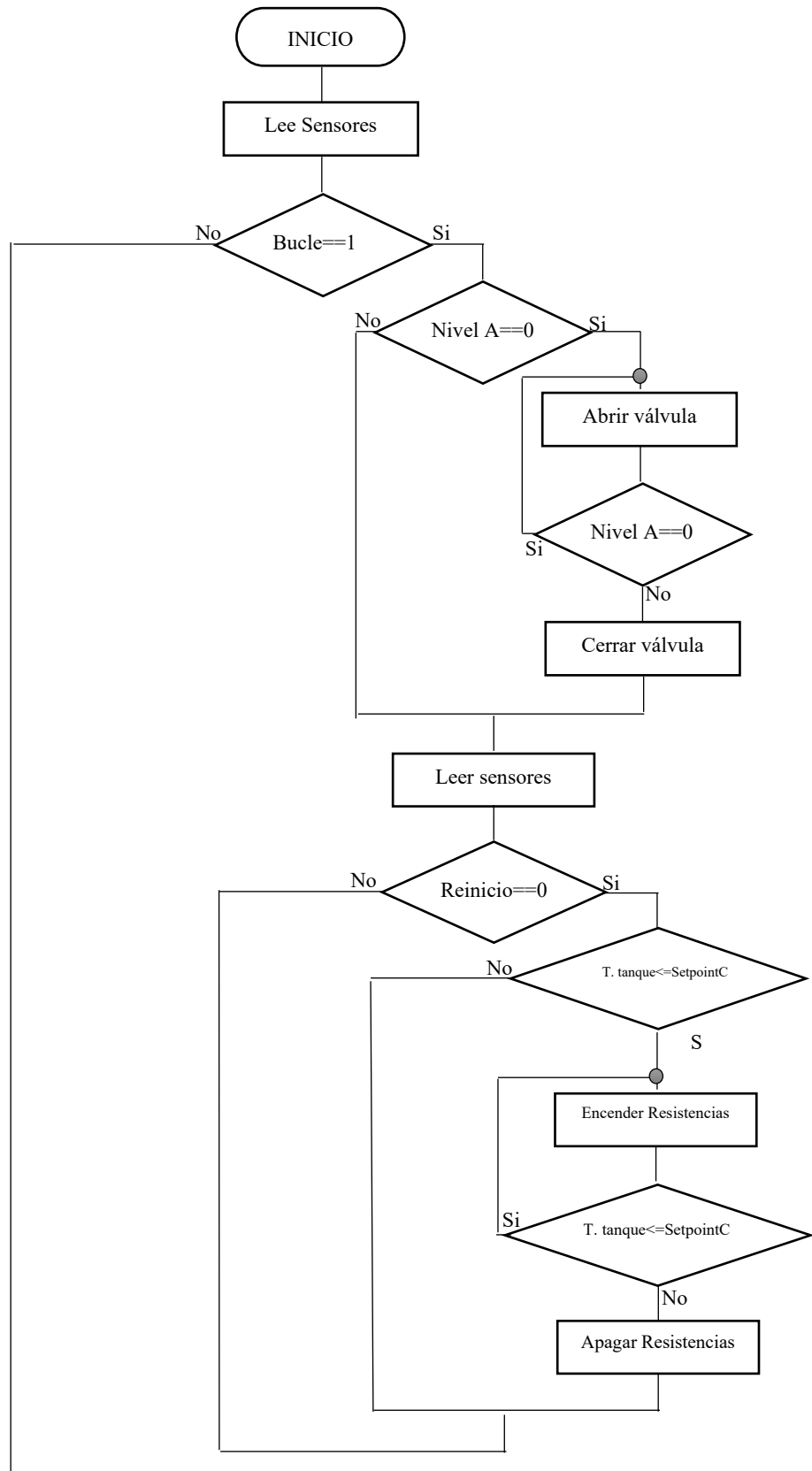
ANEXOS D: DETERMINACIÓN DE LA DUREZA DEL AGUA

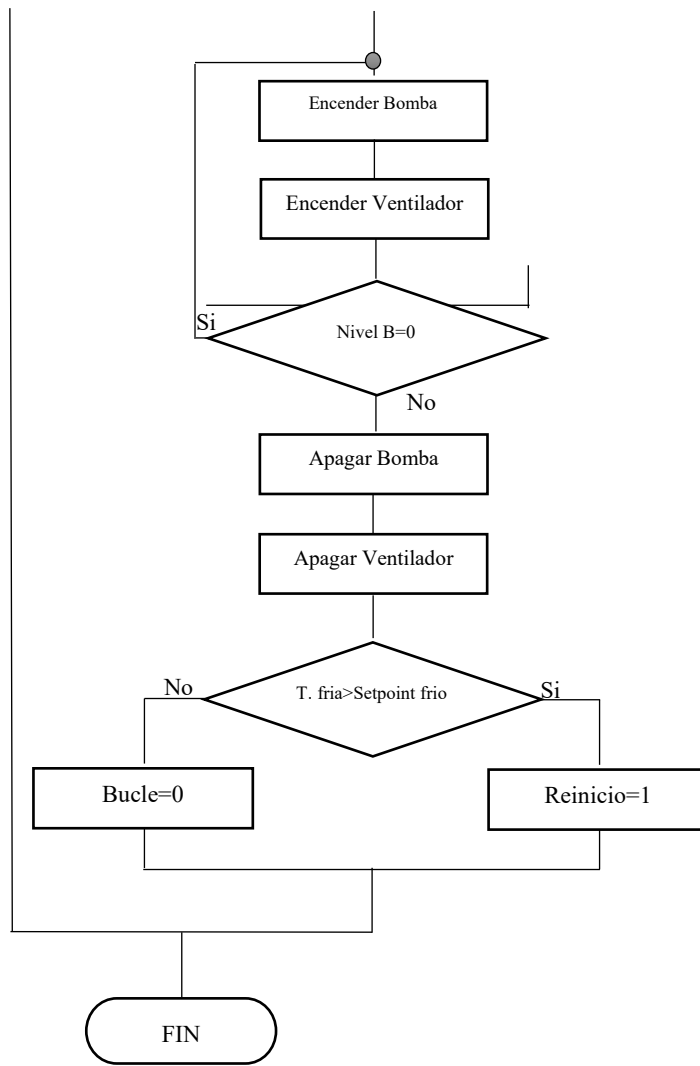


ANEXOS E: TORRE DE ENFRIAMIENTO

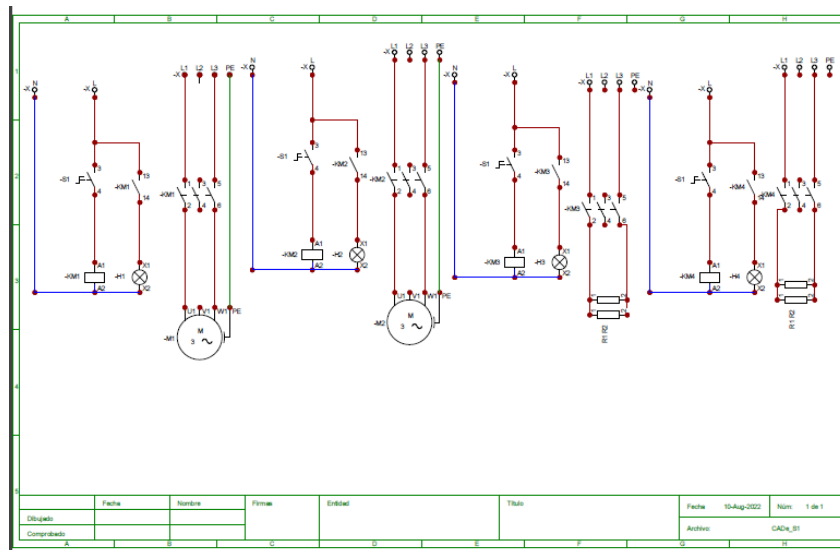


ANEXOS F: DIAGRAMA LÓGICO





ANEXOS G: DIAGRAMA ELÉCTRICO



ANEXOS H: CÓDIGO EN ARDUINO

```
#include "Nexion.h"
```

```
#include "max6675.h"
```

```
#include <OneWire.h>
```

```
#include <DallasTemperature.h>
```

```
#include <SPI.h>
```

```
#include <SD.h>
```

```
const int chipSelect = 53;
```

```
OneWire ourWire(38);
```

```
DallasTemperature sensors(&ourWire);
```

```
DeviceAddress address1 = {0x28, 0x4E, 0xE9, 0x95, 0xF0, 0x1, 0x3C, 0x65}; //dirección del  
sensor 1
```

```
DeviceAddress address2 = {0x28, 0x19, 0x25, 0x95, 0xF0, 0x1, 0x3C, 0xCD}; //dirección del  
sensor 2
```

```
DeviceAddress address3 = {0x28, 0x33, 0x18, 0x95, 0xF0, 0x1, 0x3C, 0xDC}; //dirección del  
sensor 2
```

```
NexPage page0 = NexPage(0, 0, "page0");
```

```
NexPage page1 = NexPage(1, 0, "page1");
```

```
NexPage page2 = NexPage(2, 0, "page2");
```

```
NexWaveform wavdata = NexWaveform(2, 2, "s0");
```

```
NexText nexttempcal= NexText(2,3,"t0");
```

```
NexText nexttempfri= NexText(2,4,"t1");
```

```
NexText nexttext= NexText(2,6,"t3");
```

```
NexText nextflujo= NexText(2,5,"t2");
```

```
NexText nextalert= NexText(1,4,"t0");
```

```
NexText nextasp= NexText(2,7,"t4");
```

```
NexNumber nextsetcal = NexNumber(1, 1, "n0");
```

```
NexNumber nextsetfri = NexNumber(1, 3, "n1");
```

```
NexTouch *nex_listen_list[] = { NULL };
```

```
int thermoDO = 40;
int thermoCS = 42;
int thermoCLK = 44;
int d;
float tempasper=0;
MAX6675 thermocouple1(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);
int i,j,cont,r;
int pmenu,pmas,pmen,pini,psto,pstor;
float tempcal,tempfri;
String NOMBRE;
int RLbomba=3;
int RLventilador=4;
int RLres1=5;
int RLres2=6;
int LedOn=13;
int Nivelagua;
int setpofri=10,setpocal=30;
int men=0,pant,bucle,auxt=0;
float rflujo;
float ttank;
String numTXT;
char buf[10];
unsigned long t1,t2,tiempo,tfin,ton,toff,t3,t4;
int cerr=0;
int abri=0;
int nbajo=0;
int nalto=0;
int ena=27;
int vopen=25;
int vclose(23);
int reinicio=0;

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  nexInit();
```

```
sensors.begin();

randomSeed(analogRead(0));
pinMode(7, INPUT_PULLUP);
pinMode(8, INPUT_PULLUP);
pinMode(9, INPUT_PULLUP);
pinMode(10, INPUT_PULLUP);
pinMode(11, INPUT_PULLUP);
pinMode(12, INPUT_PULLUP);
pinMode(34, INPUT_PULLUP);

pinMode(33,INPUT);
pinMode(35,INPUT);
pinMode(29,INPUT_PULLUP);
pinMode(31,INPUT);

pinMode(RLbomba,OUTPUT);
pinMode(RLventilador,OUTPUT);
pinMode(RLres1,OUTPUT);
pinMode(RLres2,OUTPUT);
pinMode(LedOn,OUTPUT);
pinMode(ena,OUTPUT);
pinMode(vopen,OUTPUT);
pinMode(vclose,OUTPUT);

if (!SD.begin(chipSelect)) {
  Serial.println("Card failed, or not present");
  // don't do anything more:
  while (1);
}

cont=cont+1;
page0.show();
delay(1000);
page1.show();

nextalert.setText("SISTEMA LISTO");
```

```

    delay(1000);
}

void loop() {

    leer();

    if(bucle==1)
    {
        nexttext.setText("INICIO DE FUNCIONAMIENTO");
        Serial.println("inicio bucle");

        leer();

        Serial.println("DO WHILE 1");
        //SI el tanque esta vacio llenamos el tanque abriendo la valvula
        guardarSD();
        if(nalto==0 ) // if(nalto==0 )
        {
            Serial.println("Tanque Vacio");
            nexttext.setText("ABRIENDO VALVULA ESPERE.....");
            Serial.println("Abriendo Valvula");
            abrirv();
            nexttext.setText("VALVULA ABIERTA");
            Serial.println("Valvula Abierta");
            do {
                //leemos sensores
                leer();
                //hasta que se llene el tanque
                nexttext.setText("LLENANDO TANQUE");
                delay(1000);
                Serial.println("Valvula Abierta LLENANDO TANQUE");
            }while(nalto==0);
            nexttext.setText("CERRANDO VALVULA");
            Serial.println("CERRANDO VALVULA");
            cerrarv(); //cerramos valvula

```

```

    nexttext.setText("VALVULA CERRADA");
    Serial.println("VALVULA CERRADA");
    delay(2000);
}
leer();
if(ttank<=setpocal)
{
    nexttext.setText("INICIO DE CALENTAMIENTO");
    Serial.println("INICIO DE CALENTAMIENTO");
    guardarSD();
    if(reinicio==0)
    {
    do{
        leer();
        nexttext.setText("CALENTANDO AGUA");
        delay(1000);
        Serial.println("CALENTANDO AGUA");
        digitalWrite(RLres1,HIGH);
        digitalWrite(RLres2,HIGH);
        emergencia();
        leer();
        guardarSD();
    }while(ttank<=setpocal);
    }
}

nexttext.setText("RESISTENCIAS APAGADAS");
delay(2000);
digitalWrite(RLres1,LOW);
digitalWrite(RLres2,LOW);
nexttext.setText("INICIO CICLO DE ENFRIAMIENTO");
delay(2000);
do{

    digitalWrite(RLbomba,HIGH);
    digitalWrite(RLventilador,HIGH);
    nexttext.setText("BOMBA ENCENDIDA");

```

```

    delay(500);
    nexttext.setText("VENTILADOR ENCENDIDO");
    delay(500);

    leer();
    guardarSD();
} while(nbajo==1);
if(tempfri>=setpofri)
{
    bucle=1;
    guardarSD();
    nexttext.setText("REINICIANDO CICLO DE ENFRIAMIENTO");
    delay(1000);
    nexttext.setText("****REINICIANDO CICLO DE ENFRIAMIENTO****");
    delay(1000);
    nexttext.setText("REINICIANDO CICLO DE ENFRIAMIENTO");
    delay(1000);
    nexttext.setText("****REINICIANDO CICLO DE ENFRIAMIENTO****");
    delay(1000);
    nexttext.setText("REINICIANDO CICLO DE ENFRIAMIENTO");
    delay(1000);
    reinicio=1;
    delay(500);
} else {
    bucle=0;
    reinicio=0;
    Serial.println("FIN BUCLE");
nexttext.setText("SISTEMA TERMINADO");
delay(500);
nexttext.setText("SISTEMA TERMINADO..");
delay(500);
nexttext.setText("SISTEMA TERMINADO.....");
delay(500);
nexttext.setText("SISTEMA TERMINADO.....");
delay(500);
nexttext.setText("SISTEMA TERMINADO.....");
}

```



```

delay(500);

pant=0; page1.show();
}

digitalWrite(RLbomba,LOW);
digitalWrite(RLventilador,LOW);
digitalWrite(RLres1,LOW);
digitalWrite(RLres2,LOW);

}

}

void emergencia()
{
    numTXT= String(ttank,2);
    buf[10] = {0};
    numTXT.toCharArray(buf,10);
    nexttext.setText("Temperatura Superior del Tanque: ");
    delay(500);
    nexttext.setText(buf);
    delay(500);
    if(ttank>=92)
    {

        while(1)
        {
            nexttext.setText("ALERTA TANQUE SOBRECARGADO ");
            delay(1000);
            nexttext.setText("PRESIONE EL BOTON DE EMERGENCIA");
            delay(1000);
            nexttext.setText("REINICIE EL SISTEMA");
            delay(1000);
        }
    }
}

```

```

        digitalWrite(RLbomba,LOW);
        digitalWrite(RLventilador,LOW);
        digitalWrite(RLres1,LOW);
        digitalWrite(RLres2,LOW);
    }
}

void leer()
{

    leersensores();
    pantalla();
    SerialData();
    pruebabot();
}

void leersensores()
{
    cerr=digitalRead(33);
    abri=digitalRead(35);
    nbajo=digitalRead(29);
    nalto=digitalRead(31);

    sensors.requestTemperatures();
    float tff = sensors.getTempC(address1);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 1
    float tta = sensors.getTempC(address2);//Se obtiene la temperatura en °C del sensor 1
    float tparr = sensors.getTempC(address3);
    delay(10);
    if(tta>5){ttank=tta; }
    if(tff>5){tempfri=tff;}
    if(tparr>5){tempasper=tparr;}
    tempcal=thermocouple1.readCelsius();
}

void SerialData()
{
    Serial.print(" V. abri: ");

```

```

Serial.print(abri);
Serial.print(" V. clos: ");
Serial.print(cerr);
Serial.print(" Nbajo: ");
Serial.print(nbajo);
Serial.print(" Nalto: ");
Serial.print(nalto);
Serial.print(" Pantalla: ");
Serial.print(pant);
Serial.print(" Temp Tanque: ");
Serial.print(ttank);
Serial.print(" Tempfri: ");
Serial.print(tempfri);
Serial.print(" Tempcali: ");
Serial.print(tempcal);
Serial.print(" TemASPER: ");
Serial.println(tempasper);
}

void pruebabot()
{

  pmenu=digitalRead(8);
  pmas=digitalRead(7);
  pmen=digitalRead(12);
  pini=digitalRead(11);
  psto=digitalRead(9);
  Nivelagua=digitalRead(34);

  if(pmenu== LOW){ if(men==0){ men=1; }else {men=0;} delay(500);}
  if(pmas == LOW)
  {
    //abrirv();
    ttank=90;
  }
}

```

```

if(men==0) { setpofri=setpofri+1; if(setpofri>=50){ setpofri=50;} }
if(men==1) { setpocal=setpocal+1; if(setpocal>=90){ setpocal=90;} }
}

if(pmen == LOW)
{
  //cerrarv();
  nbajo=0;
  if(men==0) { setpofri=setpofri-1; if(setpofri<=10){ setpofri=10;} }
  if(men==1) { setpocal=setpocal-1; if(setpocal<=30){ setpocal=30;} }
}
if(pini == LOW) { pant=1; page2.show(); bucle=1; }
if(psto == LOW) { pant=0; page1.show(); bucle=0; tempcal=100; tempfri=0;

  digitalWrite(RLres1,LOW);
  digitalWrite(RLres2,LOW);
  digitalWrite(RLbomba,LOW);
  digitalWrite(RLventilador,LOW);

  cerrarv();
  bucle=0;
}
}

void pantalla()
{
  guardarSD();
  if(pant==1){
    numTXT= String(ttank,2); //tempcal
    buf[10] = {0};
    numTXT.toCharArray(buf,10);
    nexttempcal.setText(buf);
    delay(5);

    numTXT= String(tempfri,2);
    buf[10] = {0};
    numTXT.toCharArray(buf,10);

```

```

nexttempfri.setText(buf);
delay(5);

    numTXT= String(tempasper,2);
buf[10] = {0};
numTXT.toCharArray(buf,10);
nextasp.setText(buf);
delay(5);

int aux1=map(ttank,0,100,0,300);
wavdata.addValue(0,aux1);

int aux2=map(tempfri,0,100,0,300);
wavdata.addValue(1,aux2);

int aux3=map(tempasper,0,100,0,300);
wavdata.addValue(2,aux3);

}
if(pant==0)
{

//guardarSD();
nextsetfri.setValue(setpofri);
nextsetcal.setValue(setpocal);
if(ttank<=91){
if(nbajo==0){ nextalert.setText("NIVEL DE AGUA OK "); }
if(nbajo==1){ nextalert.setText(" ERROR NIVEL DE AGUA BAJO ");}
} else {
    nexttext.setText("ERROR TANQUE CON SOBRECALENTAMIENTO");
    delay(100);
    numTXT= String(ttank,2);

```

```

    buf[10] = {0};
    numTXT.toCharArray(buf,10);
    nexttext.setText(buf);
    delay(1000);
    nexttext.setText("VERIFIQUE AGUA");
  }
  delay(5);
}
}

void guardarSD()
{
  digitalWrite(LedOn,HIGH);
  File dataFile = SD.open("DATAL.txt", FILE_WRITE);

  // if the file is available, write to it:
  if (dataFile) {
    dataFile.print("Setpoint Frio , ");
    dataFile.print(setpofri);
    dataFile.print(",Setpoint Tanque, ");
    dataFile.print(setpocal);
    dataFile.print(",Temp Frio: , ");
    dataFile.print(tempfri);
    dataFile.print(", Temp Tanque, ");
    dataFile.print(ttank);
    dataFile.print(", Temp Aspensor, ");
    dataFile.println(tempasper);
    dataFile.close();
    delay(100);

  }
  // if the file isn't open, pop up an error:
  else {
    Serial.println("error opening datalog.txt");
  }
  digitalWrite(LedOn,LOW);
}

```

```
void abrirv()
{
do {
    digitalWrite(ena,HIGH);
    digitalWrite(vopen,HIGH);
    digitalWrite(vclose,LOW);
    Serial.println("ABRIENDO");
    leersensores();
}while(abri==LOW);

digitalWrite(ena,LOW);
digitalWrite(vopen,LOW);
digitalWrite(vclose,LOW);
Serial.println("ABIERTOooooo");
}

void cerrarv()
{
do {
    digitalWrite(ena,HIGH);
    digitalWrite(vopen,LOW);
    digitalWrite(vclose,HIGH);
    Serial.println("CERRANDO");
    leersensores();
}while(cerr==LOW);

digitalWrite(ena,LOW);
digitalWrite(vopen,LOW);
digitalWrite(vclose,LOW);
Serial.println("CERRADOOOOOO");
}
```



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 24 / 01 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: MARIA FERNANDA CUEVA ACARO JHORDY MAURICIO VIVANCO MONCAYO
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: CIENCIAS
Carrera: INGENIERÍA QUÍMICA
Título a optar: INGENIERA/O QUÍMICO
f. Analista de Biblioteca responsable: Lcdo. Holger Ramos, MSc.

2475-DBRA-UPT-2022

