



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ciencias Físicas
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos

**Implementación de un nuevo prototipo de torre de
enfriamiento para proyectos cogenerados con caudales
superiores a los 3000m³/h**

MONOGRAFÍA TÉCNICA

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

AUTOR

Diego Armando POVIS DE LA CRUZ

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Povis, D. (2022). *Implementación de un nuevo prototipo de torre de enfriamiento para proyectos cogenerados con caudales superiores a los 3000m³/h*. [Monografía técnica de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Povis De La Cruz Diego Armando
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	47223672
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-6371-6266
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número de documento de identidad	
URL de ORCID	
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	JAIRO PINEDO TAQUIA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	44754057
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	ELISEO PAEZ APOLINARIO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	04998335
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	GUSTAVO ORDOÑEZ CÁRDENAS
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08587025

Miembro del jurado 3	
Nombres y apellidos	
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	
Datos de investigación	
Línea de investigación	A.2.5.1. Energética
Grupo de investigación	
Agencia de financiamiento	PROPIA
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Callao Provincia: Callao Distrito: Callao Latitud: 11° 58' 31" Longitud: 77° 7' 38"
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2022
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería mecánica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.01



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
(Universidad del PERÚ, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

XIII CAP DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS

**ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE LA MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECANICO DE FLUIDOS, MODALIDAD DE
TITULACIÓN M-3 – POR SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Siendo las 19:00 horas del día jueves 29 de diciembre de 2022, en la Sala de Sesión Virtual de la Facultad de Ciencias Físicas, bajo la presidencia del Mg. Ing. JAIRO PINEDO TAQUIA y con la asistencia de los miembros Mg. Ing. ELISEO PAEZ APOLINARIO y el Mg. Ing. GUSTAVO ORDOÑEZ CÁRDENAS, se dio inicio a la Sesión Pública Virtual de Sustentación de la Monografía Técnica para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos, mediante la Modalidad de Titulación M-3 Por Suficiencia Profesional, del Bachiller:

DIEGO ARMANDO POVIS DE LA CRUZ

El Presidente del Jurado Examinador dio lectura del Resumen del Expediente, e invitó al Bachiller DIEGO ARMANDO POVIS DE LA CRUZ, a realizar la Exposición del trabajo de la Monografía Técnica titulada “IMPLEMENTACIÓN DE UN NUEVO PROTOTIPO DE TORRE DE ENFRIAMIENTO PARA PROYECTOS COGENERADOS CON CAUDALES SUPERIORES A LOS 3000M³/H”.

Concluida la exposición del candidato y luego de las preguntas de rigor por parte del Jurado Examinador, el Presidente invitó al Bachiller a abandonar momentáneamente la sala de sesión para dar paso a la deliberación y calificación por parte del Jurado. Se procedió a promediar la nota final del curso de actualización y la nota de la sustentación para obtener la calificación final.

Al término de la deliberación del Jurado, se invitó al candidato a regresar a la sala de sesión para dar lectura a la calificación final obtenida por el Bachiller, la misma que fue:

.....QUINCE..... 15.....

El Presidente del Jurado Mg. Ing. JAIRO PINEDO TAQUIA, a nombre de la Nación y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, declaró al Bachiller DIEGO ARMANDO POVIS DE LA CRUZ Ingeniero Mecánico de Fluidos.

Siendo las 20:00 horas, del mismo día, se levantó la sesión.

Mg. Ing. JAIRO PINEDO TAQUIA
PRESIDENTE DEL JURADO

Mg. Ing. ELISEO PAEZ APOLINARIO
MIEMBRO DEL JURADO

Mg. Ing. GUSTAVO ORDOÑEZ CÁRDENAS
MIEMBRO DEL JURADO



UNMSM

Firmado digitalmente por LOZANO
BARTRA Whualkuer Enrique FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 30.12.2022 19:57:11 -05:00

DR. WHUALKUER ENRIQUE LOZANO BARTRA
VICEDECANO ACADÉMICO FCF

Datos de la plataforma virtual institucional del acto de sustentación:

<https://us06web.zoom.us/j/82884685224?pwd=dVBIT0F2b3Nid2FJN0Y5bFI5U0VKUT09>

ID de reunión: 828 8468 5224

Código de acceso: 697929

Grabación archivada en el siguiente enlace:

https://drive.google.com/file/d/1K-tz2dTS6oV5AB4hl42WvRgOToUJz8-M/view?usp=share_link

Anexo 1

Informe de evaluación de Originalidad

1. Facultad de Ciencias Físicas
2. Escuela/Unidad de Posgrado
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos
3. Autoridad Académica que emite el informe de originalidad
El Director de la EPIMF
4. Apellidos y nombres de la autoridad académica
Sarango Julca Douglas Donal
5. Operador del programa Informático de similitudes
Dr. Ing. Douglas Sarango Julca
6. Documento evaluado (1)
"IMPLEMENTACIÓN DE UN NUEVO PROTOTIPO DE TORRE DE ENFRIAMIENTO PARA PROYECTOS COGENERADOS CON CAUDALES SUPERIORES A LOS 3000M³/H"
7. Autor del documento (2)
DIEGO ARMANDO POVIS DE LA CRUZ
8. Fecha de recepción del documento 16/12/22
9. Fecha de aplicación del programa informático de similitudes 17/12/22
10. Software utilizado
 - Turnitin (X)
 - Ithenticate
 - Otro (especificar)
11. Configuración del programa detector de similitudes
 - Excluye textos entrecomillados
 - Incluye Bibliografía
 - Excluye cadenas menores a 40 palabras
12. Porcentaje de similitudes según programa detector de similitudes³
10%
13. Fuentes originales de las similitudes encontradas⁴
14. Observaciones
Ninguna
15. Calificación de originalidad
 - Documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones (X)
 - Documento cumple criterios de originalidad, con observaciones
 - Documento no cumple criterios de originalidad
16. Fecha del Informe 30 /12 /22



Firmado digitalmente por SARANGO
JULCA Douglas Donal FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01.01.2023 10:47:27 -05:00

DR. ING. Douglas Sarango Julca
DIRECTOR (e) DE LA EPIMF

-
- 1 Otro (especificar) Monografía Técnica Modalidad de Titulación M-3 Suficiencia Profesional
 - 2 Apellidos y Nombres completos
 - 3 En letras y números
 - 4 Indicarlas en orden decreciente y su respectivo porcentaje

DEDICATORIA

Con mucho amor y cariño, dedico esta monografía técnica a mis padres, los que en vida fueron, Julio Cesar Povis Joaquín y Rosario Estela De La Cruz Rosales, que desde el cielo guían mis pasos; a mis hermanos Julio, Emiliana, Ana Cristina y José, los cuales siempre han estado conmigo en los buenos y malos momentos.

A mis tíos Florentino De La Cruz, Adolfo De La Cruz, y a mi María Huamán, los cuales me brindaron su apoyo en el proceso de mi estudio universitario.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por estar en todo momento conmigo, para poder culminar y cumplir con mis estudios académicos, también agradezco a las personas que me apoyaron en la realización del tema monográfico, y especialmente a nuestra querida alma mater Universidad Nacional Mayor De San Marcos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
RESUMEN.....	10
ABSTRACT	11
1 Capítulo 1: Introducción.....	12
1.1 Situación Problemática.....	12
1.2 Formulación del Problema	12
1.3 Formulación del Problema General.....	13
1.4 Formulación de Problema Específico.....	13
1.5 Justificación Teórica	13
1.6 Objetivos	13
1.6.1 Objetivo General	13
1.6.2 Objetivos Específicos.....	13
2 Capítulo 2: Marco Teórico	14
2.1 Marco Filosófico	14
2.2 Antecedentes de Investigación	17
2.3 Base Teórica.....	19
2.3.1 Torres de Enfriamiento	19
2.3.2 Torres de tiro mecánico	22
2.3.3 Clasificación de las torres de enfriamiento.....	22
2.3.4 Torres de enfriamiento con ventilación mecánica	23
2.3.5 Torres de enfriamiento con ventilación natural	25
2.3.6 Equipos Mixtos	26
2.3.7 Fundamentos de transferencia de masa.....	28
2.3.8 Componentes de una Torre de Enfriamiento	28
2.3.9 Desempeño de las Torres de Enfriamiento	36
3 Capítulo 3: Proceso Metodológico	38
3.1 Hipótesis General	38
3.2 Hipótesis Específicas.....	38
3.3 Tipo y Diseño de Investigación.....	38

3.4	Demanda de la torre y numero de Merkel.....	39
Figura 18.	Diagrama de una torre de enfriamiento con intercambiador	39
3.5	Unidad de Análisis	39
4	Capítulo 4: Resultados y Discusión	40
4.1	Elección del Tipo de Torre de Enfriamiento	40
4.1.1	Cálculo de la sección transversal de una Torre de Enfriamiento.....	40
4.1.2	Sección del Ventilador	41
5	Conclusiones	52
6	Recomendaciones.....	52
7	Estimación de Costos	53
8	Referencias Bibliográficas	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Costos de equipamiento y suministros.....	47
Tabla 2.	Detalles técnicos	48
Tabla 3.	Detalles del motor - ventilador	48
Tabla 4.	Características de la torre de enfriamiento.....	49
Tabla 5.	Capacitación en la operación de la torre de enfriamiento.....	50
Tabla 6.	Costos de equipamiento y suministros.....	53
Tabla 7.	Costos de construcción, montaje, y accesorios para la medición y control.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Esquema de una torre de enfriamiento.....	20
Figura 2.	Tipos de torre de enfriamiento.....	21
Figura 3.	Torre de Enfriamiento SICREA COLPACK.....	22
Figura 4.	Torres de enfriamiento de tiro forzado.....	23
Figura 5.	Torre de enfriamiento de tiro inducido.....	24
Figura 6.	Torre de enfriamiento de circuito cerrado.....	25
Figura 7.	Torre de enfriamiento con ventilación natural.....	25
Figura 8.	Esquema general de una torre de enfriamiento.....	26
Figura 9.	Torre de enfriamiento Mixta.....	27
Figura 10.	Conjunto motor.....	29
Figura 11.	Porta motor de diámetro 1250mm.....	30
Figura 12.	Eliminadores de gotas.....	31
Figura 13.	Tubos de distribución.....	32
Figura 14.	Toberas.....	33
Figura 15.	Rellenos por salpicadura.....	34
Figura 16.	Rellenos.....	34
Figura 17.	Rellenos ubicados dentro de la torre de enfriamiento.....	35
Figura 18.	Diagrama de una torre de enfriamiento con intercambiador.....	39
Figura 19.	Gráfico utilizado para el cálculo del área de la torre de enfriamiento.....	44
Figura 20.	Gráfico utiliza para el cálculo de la presión y el modelo de tobera.....	45
Figura 21.	Detalles del motor eléctrico.....	51

RESUMEN

La presente monografía técnica se orienta a realizar los cálculos al diseñar un nuevo prototipo de torres de enfriamiento para su posterior implementación, donde el objetivo general es implementar una torre de enfriamiento para caudales superiores a 3000 m³/h, así mismo entenderemos el proceso para intercambiar calor por medio del enfriamiento de agua.

La selección y cálculos de las diferentes fórmulas y equipos fueron realizados con la aplicación de los conocimientos obtenidos en los cursos y sub áreas de ingeniería, así mismo datos y experiencias obtenidas en el campo laboral.

Palabras claves: Torre de enfriamiento, toberas, intercambiadores de calor, perfiles pead, rellenos, difusor, transferencia de calor.

ABSTRACT

This technical monograph is oriented to carry out the calculations when designing a new cooling tower prototype for its subsequent implementation, where the general objective is the implementation of a cooling tower for flows greater than 3000 m³/h, likewise we will understand the process to exchange heat by cooling water.

The selection and calculations of the different formulas and equipment were carried out with the application of the knowledge obtained in the courses and sub areas of engineering, as well as data and experiences obtained in the labor field.

Keywords: Cooling tower, nozzles, heat exchangers, HDPE profiles, fillers, diffuser, heat transfer.

1 Capítulo 1: Introducción

1.1 Situación Problemática

En cada proceso industrial, se genera frecuentemente gran cantidad de calor, las que tendrán que ser disipadas, con el fin de que las maquinas operen de forma eficiente. Los intercambiadores de calor natural son las vertientes de agua y ríos, donde el proceso de evaporación es de bajo costo y más efectivo. Con el fin de preservar el medio ambiente como necesidad primaria esta forma de trabajar utilizando los intercambiadores naturales presenta inconvenientes, debido a que no cuenta con supervisión humana, y control para sus operaciones.

Los disturbios y anomalías que puedan existir en las variaciones atmosféricas, desechando el agua de un proceso industrial en temperaturas elevadas a un yacimiento de agua natural, pudiendo mermar de forma considerable la fauna y flora. Muchas industrias consideran que, en un proceso industrial con cientos de litros en su proceso, al ser liberado en un rio con un caudal de cientos de miles de litros, poco o nada influye, aún son escasos las investigaciones que demuestran el gran impacto ambiental que se genera el aumentar la temperatura en una vertiente natural.

La inclusión e implementación del sistema de enfriamiento que se basa en alguna torre de enfriamiento proporciona reutilizar el agua con el intercambiador de calor, al usar este sistema se conseguirá que el agua desechada al cauce natural disminuya considerablemente. Además, que el agua que se devuelve a una cuenca, vertientes o cauce natural, tengan temperaturas menores. Lo cual resulta menos perjudicial al ecosistema de ríos.

1.2 Formulación del Problema

Con lo argumentado anteriormente planteamos la problemática.

1.3 Formulación del Problema General

Cuáles son los resultados de implementar y diseñar un nuevo prototipo de una torre de enfriamiento en base a caudales superiores a 3000 m³/h.

1.4 Formulación de Problema Específico

- a. ¿Como la variación en el área de una torre de enfriamiento, genera un cambio en la tasa global de transferencia de masa a través de un nuevo prototipo de “torre de enfriamiento”?
- b. ¿Como influye este nuevo prototipo, en el uso de equipos y componentes, como conjunto motor?

1.5 Justificación Teórica

La presente investigación me permitió conocer con mayor detalle, un sistema de enfriamiento basado en torres de enfriamiento fabricado en base a PRFV (Fibra de vidrio). Se ha logrado obtener un nuevo diseño el cual se está estudiando en la presente monografía, que es de un valor económico bajo en relación con lo que importan las industrias en general.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

El objetivo general es “implementar un nuevo prototipo de torre de enfriamiento para caudales superiores a los 3000 m³/h”

1.6.2 Objetivos Específicos

Se plantea dos objetivos específicos:

1. Mejorar la eficiencia de la torre de enfriamiento
2. Aminorar el uso de equipos tales como motores, porta motores, ventiladores.

2 Capítulo 2: Marco Teórico

2.1 Marco Filosófico

Varios escritos antiguos describen en detalle de que forma los egipcios, hindúes, entre otras civilizaciones crearon hielo artificial usando procedimientos similares en principio a lo que se usa hoy. Hacían uso de recipientes de arcilla porosas poco profundas llenándolas con agua, luego las colocaban sobre una cama gruesa de paja toda la noche. Si el entorno atmosférico era favorable: aire frío y seco y noches sin nubes, el desgaste de calor por evaporación nocturna puede provocar la formación de una fina capa de hielo en la superficie. La paja bloquea la conducción del calor de la tierra más cálida, y la forma poco profunda del recipiente y la gran superficie permiten la pérdida de calor y la evaporación mediante radiación. Dichos métodos para producir refrigeración artificial se consideran ejemplos importantes de los hábiles que son los seres humanos. Respecto a la máquina térmica y la termotecnia, pudo observarse su innovación útil, que tenía sentido práctico, luego se asentó su fundamento racional, científico y metodológico.

Según García (2015), alrededor del año 1550, el médico de nacionalidad española, Blas Villafranca en la ciudad de Roma, hizo público su libro denominado “Methodes refrigerandi del enfriamiento del agua y el vino mediante mezclas refrigerantes”, así, por primera vez se utilizó la palabra "refrigeración", que significa el éxito de conservar la temperatura por debajo de la temperatura ambiente. (pág.1).

En los años 1600 y 1610, había comentarios sobre la posibilidad de congelar agua usando una mezcla con agua salada. Dichos métodos se están utilizando actualmente para producir muestras de hielo en escala industrial.

Después de 1600, esta mezcla refrigerante fue utilizada por Robert Boyle junto al físico

francés Philippe Lair en la investigación científica. En el siglo 18, tanto físicos como químicos ya usaban una combinación de refrigerantes en su laboratorio (Reyes, 2015, pág. 3).

Desde el año 1800, diversos científicos incluidos Von Karsten (1840), Hanemann (1864), Rudorff (1869), Pfandler (1875) y Brendel (1892), desarrollaron leyes que rigen las mezclas de refrigerantes, mezcla de hielo y sales similares para que la temperatura disminuya hasta -20°C . dichos resultados se usaron para congelar alimentos. Emilio Carbonell (1904) y José Gres (1912) patentaron en España una mezcla refrigerante para conservar todo tipo de alimentos. (Reyes, 2015, pág. 3).

Pero esta mejora solo se originó unos años después de 1900, cuando un caballero que habitaba en Nueva York tuvo que lidiar en su negocio (una imprenta) con variaciones repentinas de temperaturas o humedad a medida que avanzaba el proceso de impresión. Estas variaciones afectan levemente el tamaño del papel, impidiendo la alineación de la tinta y además, la impresión a color. Eso llevó a Willis Carrier, recientemente graduado de la Universidad de Cornell, a investigar cómo abordar la alta humedad en el aire que se está enfriando. Por ello, en 1902, diseñó un aparato que regula tanto la humedad como la temperatura mediante conductos de refrigeración, y este es el primer aparato de climatización del mundo. Dicho equipo de refrigeración por aire ha sido patentado, dándole una solución al hombre del negocio, quien se mostró bastante feliz, porque se redujeron sus inconvenientes (Cabezas, 2011).

Según Cabezas (2011), Willis Carrier (1915) junto a sus seis amigos de ingeniería, fundaron la “Compañía de Ingeniería Carrier”, conocida a nivel mundial como “Carrier”, para innovar y desarrollar su producto. Para ese tiempo, el negocio se centraba únicamente en el control de la humedad y la temperatura en la fabricación industrial, como empresas cinematográficas, de tabaco, de carnes procesadas y las boticarias que fabricaban cápsulas médicas. En cuanto a la

calidad del producto ha mejorado significativamente.

Cabe señalar que Carrier cuenta con equipos patentados como “Purificador de Aire” (Córdoba, 2009, p. 19). Carrier en 1921 inventó y patentó la "Maquina de Refrigeración Centrifuga", que se convirtió en el primer sistema de ventilación en grandes salas. Las máquinas de antes operaban con pistones, las cuales las empujaban mediante el circuito refrigerante, ahora para las máquinas nuevas se implementaron compresores centrífugos (Cabezas, 2011).

El nuevo sistema debutó en 1924, en los grandes almacenes Hudson (ciudad de Detroit) cuando el sistema de ventilación del popular "venta de sótano" presentaba problemas debido al aire fresco no circulaba lo suficientemente y causaba mareos e incluso vómitos. Llegando a tener un asombroso éxito, llegó a instalarse dispositivos similares en salas de cine, hosterías, hospitales, departamentos, aeropuertos y más. La asistencia a dichas instituciones era muy agradable gracias al buen clima y la presencia de aire acondicionado (Cabezas, 2011).

Para la usanza doméstica, Carrier Industries (1928) desarrolló la primera unidad de aire acondicionado para uso en hogares de América del Norte, y la gran depresión en los Estados Unidos en 1929 lo obstaculizó, pero la demanda del público se redujo significativamente. Posterior a la guerra (1945) florecieron los ingresos gracias a la venta de purificadores de aire y electrodomésticos (casas y apartamentos). Lo que sí se notó fue el confort y la mejora en las condiciones de vida debido al buen clima interior. (Cabezas, 2011).

De acuerdo con lo anterior, las TE tienen muchas aplicaciones, como la refrigeración por agua para uso industrial, la refrigeración por agua utilizada en sistemas de refrigeración (comercial, industrial, hostelera, aire industrial, confort de edificios, etc.) Por lo dicho, el motivo de este estudio estará basado de acuerdo al método experimental. Para concluir el punto, se demuestra que

“los experimentos manipulan tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (denominadas variables independientes) para observar sus efectos sobre otras variables (las dependientes) en una situación de control” (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014, pág. 129).

Para exponer de qué forma se abordan los conocimientos sobre el tratamiento refrigerante, se señala lo siguiente acerca del propósito de un método experimental: “Es investigar las posibles relaciones causa-efecto, exponiendo a uno o más grupos experimentales a acción de dos o más condiciones de tratamiento, comparando los resultados con uno o más grupos de control que no reciben tratamiento” (Ávila, 2001). Asimismo, Ávila considerando a Mario Bunge, menciona: “El método experimental consiste en someter a un sistema material a ciertos estímulos y en observar su reacción a estos, para resolver algún problema sobre la relación estímulo-respuesta” (Bunge, 1959).

Cabe referirse a lo señalado por Bunge, pues asevera que: “La ciencia fáctica emplea el método experimental concebido en un sentido amplio. Este método consiste en el testempírico de conclusiones particulares extraídas de hipótesis generales” (Bunge, 1959, p. 16). Y asegurar que: “La experimentación involucra la modificación deliberada de algunos factores, es decir, la sujeción del objeto de experimentación a estímulos controlados” (Bunge, 1959, p. 35).

Los métodos experimentales se caracterizan por controlar las variables, estas son propiedades, caracteres o particularidades del objeto de estudio, por ejemplo: actitud, género, edad, educación, y más. (Briones, 2001).

2.2 Antecedentes de Investigación

Tomé varias tesis como referencia para realizar este estudio, menciono algunas:

“Prestaciones termo-electro-fluidodinámicas de una torre de enfriamiento de agua de tiro

forzado” (Álamo & Fernández, 2014).

“Análisis del Desempeño de una Torre de Enfriamiento a Escala de Laboratorio para Diversos Materiales de Empaque, Temperatura de Entrada de Agua y Relación de másica deFlujo Agua – Aire” (Obregón, Pertuz, & Domínguez, 2017).

“Cálculo y selección de las torres de enfriamiento de la Empresa Siderúrgica José Martí” (Díaz, 2016).

“Diseño e implementación de una torre de enfriamiento con un relleno alternativo identificando las correlaciones de la tasa global de transferencia de calor y caída de presión” (Armando Fabrizzio López Vargas, 2019).

“Diseño operacional de una torre de enfriamiento adiabática de agua de tiro mecánico inducido contracorriente a escala de laboratorio” (Jonatan Restrepo García, 2011)

2.3 Base Teórica

2.3.1 Torres de Enfriamiento

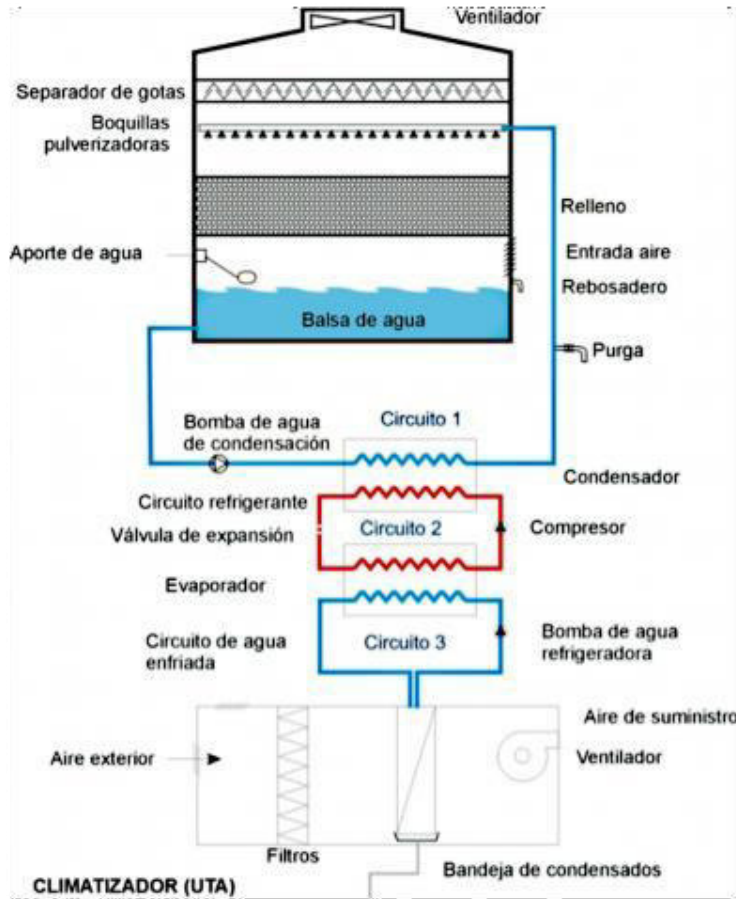
La operación de transmisión de masas, energías y cantidades de movimiento que ocurren en el sistema de contacto de líquidos y vapores constituyen un amplio enfoque que, al pasar del tiempo, ha contribuido a la mejora e implementación de modernos mecanismos en los procesos. Por lo tanto, una herramienta versátil para la transferencia simultánea de energía y materia en estudios fenomenológicos. Su finalidad es enfriar la corriente del agua por evaporación parcial por medio del intercambio de calor latente y perceptivo de las corrientes del aire seco o frío que circulan en el igual equipo. (Foust Alan, 1980, pág. 15)

Existen los siguientes conceptos que describen los objetivos del estudio de investigación: “Una torre de enfriamiento es una máquina térmica utilizada para enfriar agua, mediante la evaporación de un pequeño porcentaje de la misma agua que se enfría (enfriamiento evaporativo)” (Glaciar Ingeniería, 2015). Asimismo, se menciona lo siguiente: “Se trata de dispositivos semiabiertos, diseñados para enfriar el agua mediante su evaporación en contacto con el aire ambiente” (MorFernández, 2004, pág. 13).

Las Torres de Enfriamiento son aparatos mecánicos que tienen la finalidad de “enfriar masas de agua en procesos que requieren una disipación de calor, el principio de enfriamiento de dichos equipos se fundamenta en la evaporación” (Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social [MSCBS], 2004, pág. 1). Esta máquina origina gotas de agua las cuales son pulverizadas normalmente en caída libre, cuando se conecta con el aire. Es importante prestar atención a: “La cantidad de calor extraído para enfriar el agua depende de las condiciones climáticas del sitio de operación (altura sobre el nivel del mar, temperatura de bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo)” (Glaciar Ingeniería, 2015).

A continuación, mostramos el esquema (Fig. 2.1) de una torre de enfriamiento que se orienta a formar frío que se usará en una industria.

Figura 1. Esquema de una torre de enfriamiento

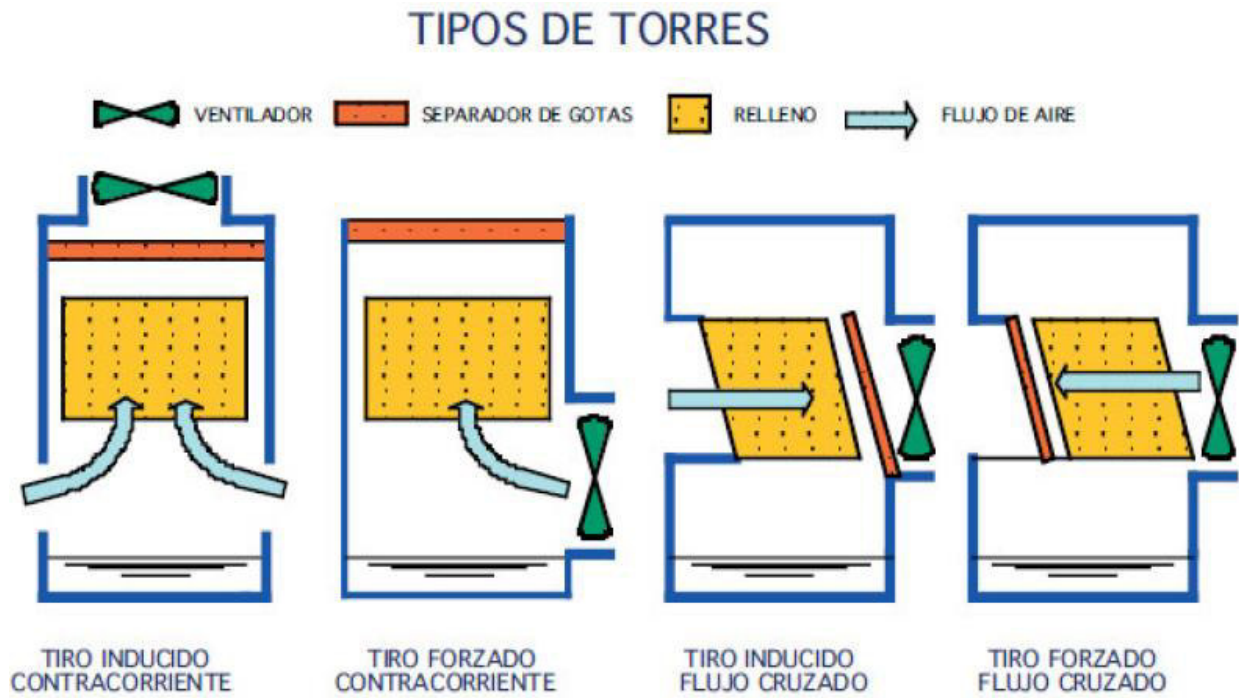


Fuente: Página web <http://www.climayoreo.com/blog/torres-deenfriamiento>

(Climayoreo.com 2022)

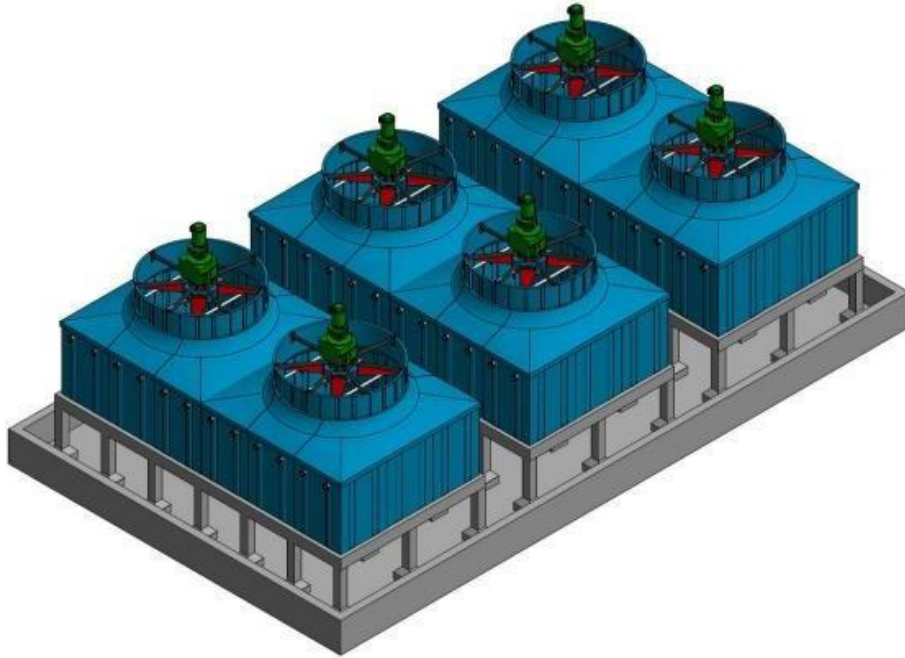
Veamos algunos tipos de torres de enfriamiento:

Figura 2. Tipos de torre de enfriamiento



Fuente: Página web <http://www.climayoreo.com/blog/torres-de-enfriamiento>
(Climayoreo.com 2022)

Figura 3. Torre de Enfriamiento SICREA COLPACK



Fuente: Página web <https://sicrea.net/> (SICREA SAC, 2022)

2.3.2 Torres de tiro mecánico

Se caracteriza por rociar agua caliente provista desde la torre a través de boquillas o por utilizar cámaras con orificios que admiten la circulación del agua sobre su empaque o relleno. Suelen ser de madera y tratados con fungicidas a presión. Una característica importante también es el número de huecos cuando el relleno supera el 90%, esto asegura menos presión baja. (Treybal Robert, 1967, pág. 212)

2.3.3 Clasificación de las torres de enfriamiento

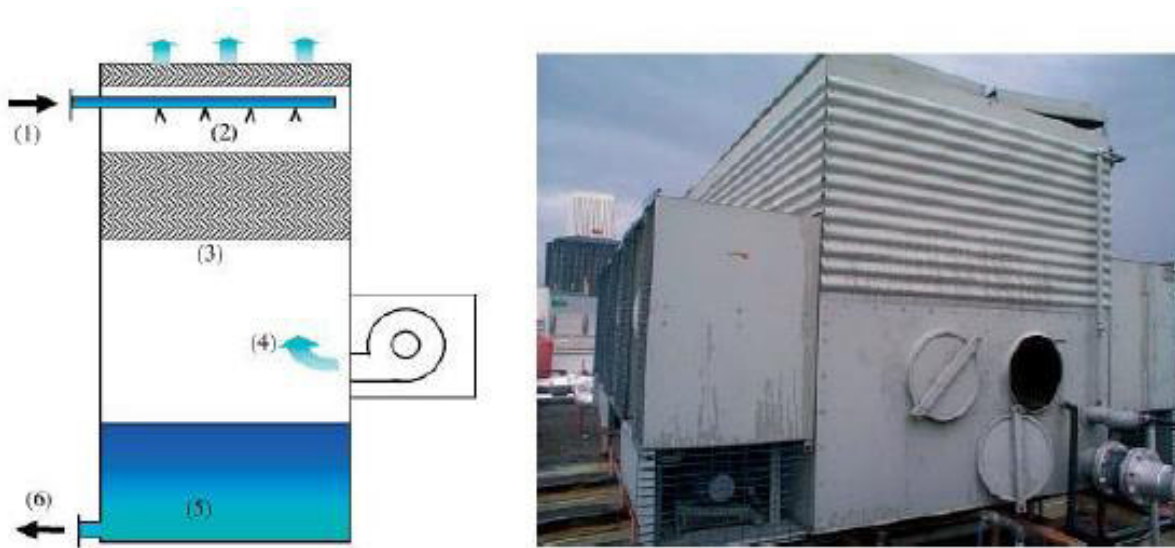
Podemos catalogar las torres de enfriamiento en dos grupos, según su carga térmica que disipará, según los materiales, fabricantes, etc., estos grupos son:

- Torres de enfriamiento con ventilación mecánica
- Torres de enfriamiento de tiro natural

2.3.4 Torres de enfriamiento con ventilación mecánica

- **Tiro Forzado:** Su velocidad para descargar es mínima, lo cual puede reducir la eficiencia de la torre, donde el ventilador se dispone en el segmento inferior de la torre de enfriamiento, lo que conlleva a una recirculación de aire húmedo y caliente, donde el aire se descarga arriba de la torre de enfriamiento.

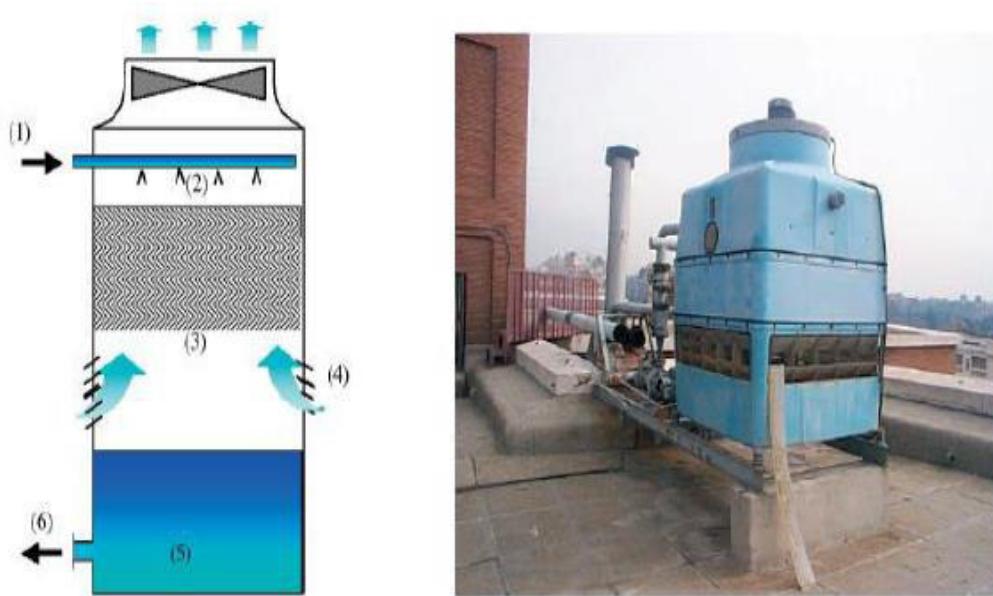
Figura 4. Torres de enfriamiento de tiro forzado



Fuente. Página Web: <http://www.climayoreo.com/blog/torres-de-enfriamiento>
(Climayoreo, 2019)

- **Tiro Inducido:** Normalmente son usadas bastante por su eficiencia, el aire se succiona por la torre de enfriamiento mediante un ventilador ubicado en el segmento superior, donde se logra una correcta distribución equivalente del aire por medio de los rellenos o empaques.

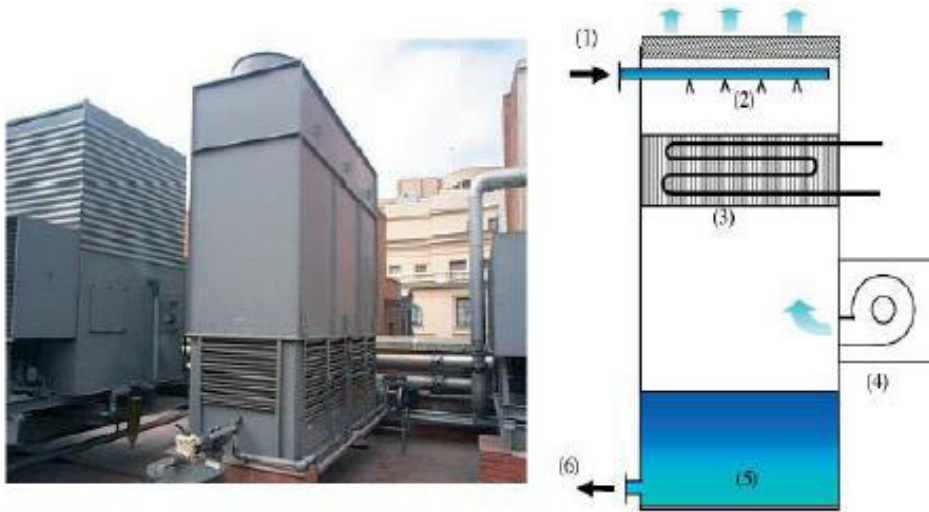
Figura 5. Torre de enfriamiento de tiro inducido



Fuente: Página Web: <http://www.climayoreo.com/blog/torres-de-enfriamiento>
(Climayoreo, 2019)

- **Torres de circuito cerrado:** acerca de la clasificación de estos condensadores. el acuerdo sobre la torre de refrigeración (formación para la instalación, vigilancia y programas para proteger la salud de las bacterias o bacilos clasificados como “legionellas”) como señala el ‘Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social del Gobierno de España’ son: “equipos en los que el relleno se sustituye por un serpentín que realiza la condensación directa del gas refrigerante en el caso de condensador evaporativo y actúa de intercambiador de calor en el caso de una torre a circuito cerrado” (MSCBS, 2004, p.6).

Figura 6. Torre de enfriamiento de circuito cerrado

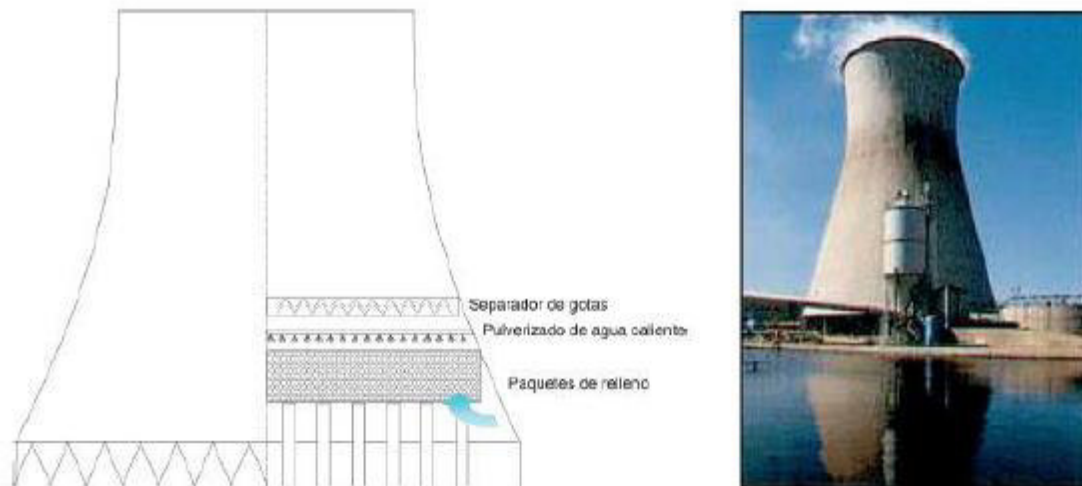


Fuente: Página Web <http://www.climayoreo.com/blog/torres-de-enfriamiento> (Climayoreo, 2019)

2.3.5 Torres de enfriamiento con ventilación natural

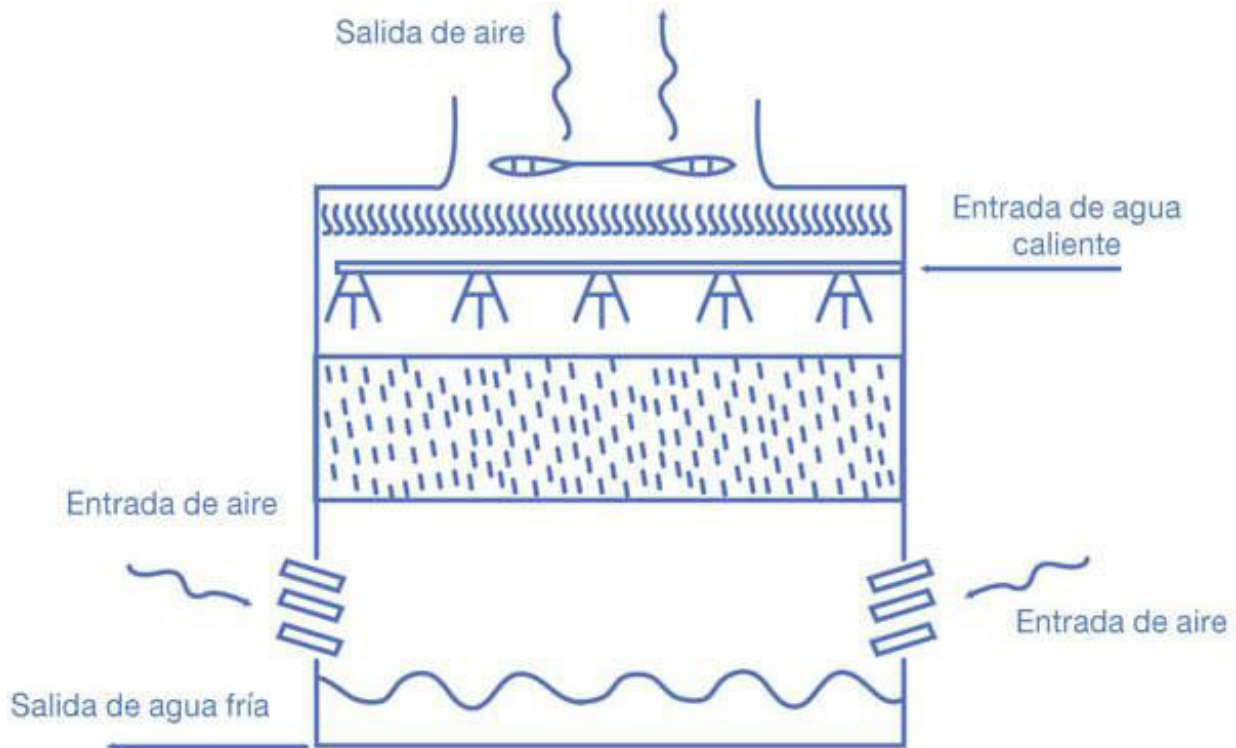
- **Tiro natural:** Donde el agua que se pulverizó calienta la parte baja de una torre provocando que el aire ascienda en contracorriente.

Figura 7. Torre de enfriamiento con ventilación natural



Fuente: Página Web <http://www.climayoreo.com/blog/torres-de-enfriamiento> (Climayoreo, 2019)

Figura 8. Esquema general de una torre de enfriamiento



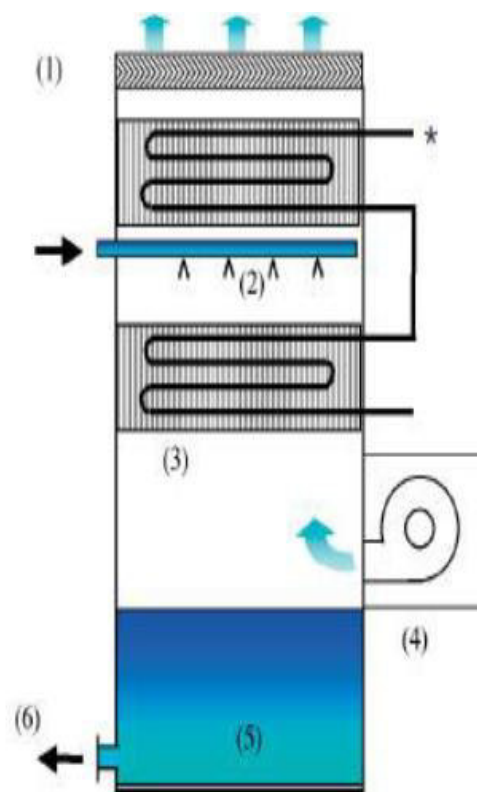
Fuente: Página Web <https://0grados.com/gran-clasico-torres-enfriamiento/>

2.3.6 Equipos Mixtos

El MSCBS (2004) acerca de dichos equipos afirma lo siguiente, “disponen de un sistema de doble batería de condensación, se llaman mixtos porque pueden funcionar como condensadores por aire en las épocas frías y como condensadores evaporativos en épocas cálidas” (pág. 6). Se aprecia en (Figura 9) que tanto la instalación como su estructura de funcionamiento, es bastante efectiva para tiempos calientes pues disminuye su visibilidad de las emisiones de gotas, excluyéndolo como condensación de aire.

Una de sus desventajas es su alto costo de inversión.

Figura 9. Torre de enfriamiento Mixta



Fuente: Página Web <http://www.climayoreo.com/blog/torres-de-enfriamiento>
(Climayoreo, 2019)

2.3.7 Fundamentos de transferencia de masa

La torre de enfriamiento podría considerarse como la máquina que intercambia calor con un contacto directo, donde tanto el agua como el aire se encuentran en un estado superficial. Usar el coeficiente para transferir calor por convección para describir el proceso de transferencia energética en dicho sistema es complejo porque no existe algún método estándar que calcule con precisión toda la superficie en contacto del agua y aire [4-5]. Además, las soluciones analíticas estrictas son difíciles de obtener por el acoplamiento del transporte de cantidades de movimiento, energías y masas. Esta es la razón por la que a menudo se requieren estudios experimentales y análisis adimensionales para determinar el coeficiente de transferencia de las masas generales del paquete, lo cual permite diseñar un dispositivo específico. (Prentice Hall, 1999, pág. 4)

2.3.8 Componentes de una Torre de Enfriamiento

Están compuestas de un sistema de componentes básicos, tales como:

2.3.8.1 Carcasa y estructura

Las torres de enfriamiento en su mayoría poseen formas estructurales para soportar los equipos e instrumentos adicionales a la carcasa (ventilador, tubos de distribución, motores, rellenos, toberas, entre otros componentes), estas carcasas esta fabricadas en base a PRFV (fibra de vidrio) en base a moldes prediseñados.

2.3.8.2 Conjunto motor

Está conformado por las siguientes partes:

- **Motor**
- **Porta Motor**
- **Ventilador:** Puede ser tipo centrífugo y axial, son utilizadas en la torre de enfriamiento, con el fin de introducir en ella los flujos de aire requeridos para enfriar

el agua al punto requerido.

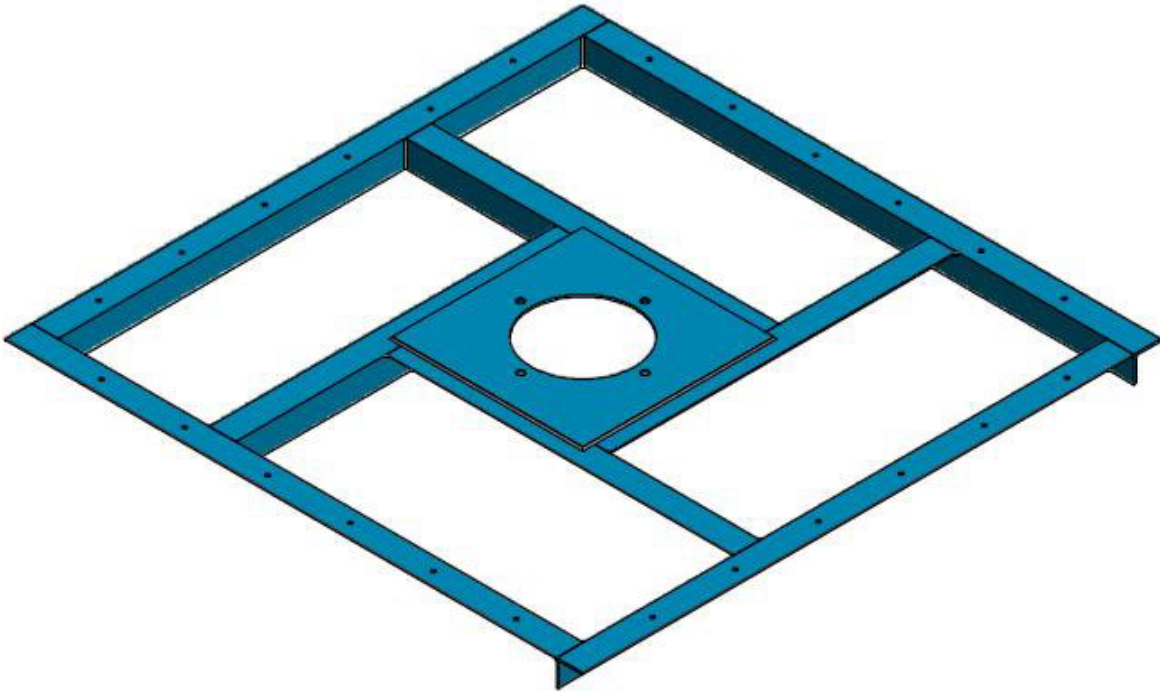
Un ventilador está conformado por paletas las cuales están fabricados en PRFV, y un cubo que está fabricado con fierro cincado, sus paletas ajustables pueden ser usadas en un vasto rango de potencias (kW), esto porque las paletas pueden ajustarse para reemitir los flujos de aire requeridos a la más baja potencia de trabajo o consumo de energía.

Figura 10. Conjunto motor



Fuente: Autor

Figura 11. Porta motor de diámetro 1250mm

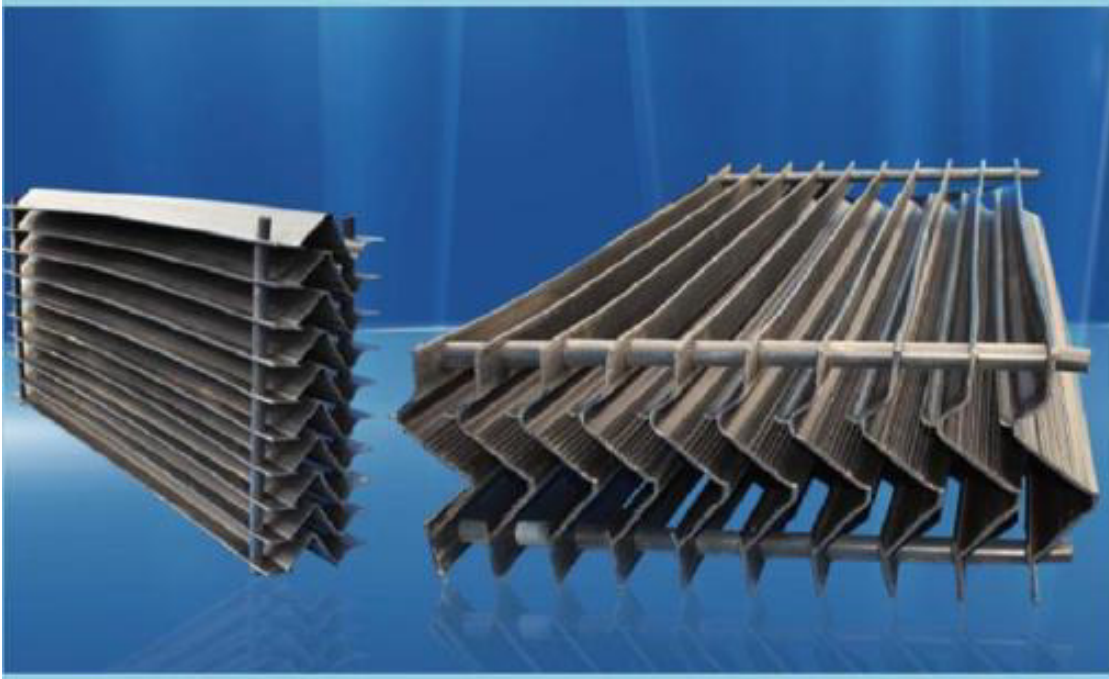


Fuente: Página web <https://sicrea.net/>

2.3.8.3 Eliminadores de gotas

Este complemento tiene como función atrapar las gotas del agua que se encuentran en los flujos de aire, en otro caso se perdería dentro de la atmosfera, en la cual podría llegar al conjunto motor, específicamente al motor y ventilador, acortando así su tiempo de funcionabilidad.

Figura 12. Eliminadores de gotas



Fuente: Página web <https://sicrea.net/>

Algunas características son:

- Es de polietileno de gran densidad.
- Elevada resistencia a la rotura, desgarro y perforación.
- Excelente flexibilidad y estabilidad a altas y bajas temperaturas.
- Similar comportamiento y resistencia al estiramiento lineal y biaxial.
- Esencialmente diseñado para capturar las gotas de la evaporación de los sistemas de enfriamiento.
- Los bloques de perfil son fáciles de limpiar con agua.
- Prolongada vida útil.

2.3.8.4 Tubo de distribución

Son los tubos que están dentro de la torre de enfriamiento, comenzando con la conexión de entrada, donde su función principal es llevar el agua caliente hacia las toberas para su próxima dispersión en los rellenos.

Figura 13. Tubos de distribución



Fuente: Autor

2.3.8.5 Toberas

Las toberas son complementos fabricados en PRFV cuya finalidad al diseñar el equipo es la eculización del flujo de agua dentro de las torres de enfriamiento.

Las toberas dispersan los flujos de agua para humectar el relleno, logrando una distribución equivalente de agua, esto es importante para que se alcance una buena humidificación en toda la parte superficial del relleno, estas toberas son fijadas en el tubo de distribución, y la cantidad adecuada radica en el modelo de torre de enfriamiento, y en base al caudal en m^3 .

Figura 14. Toberas



Fuente: Autor

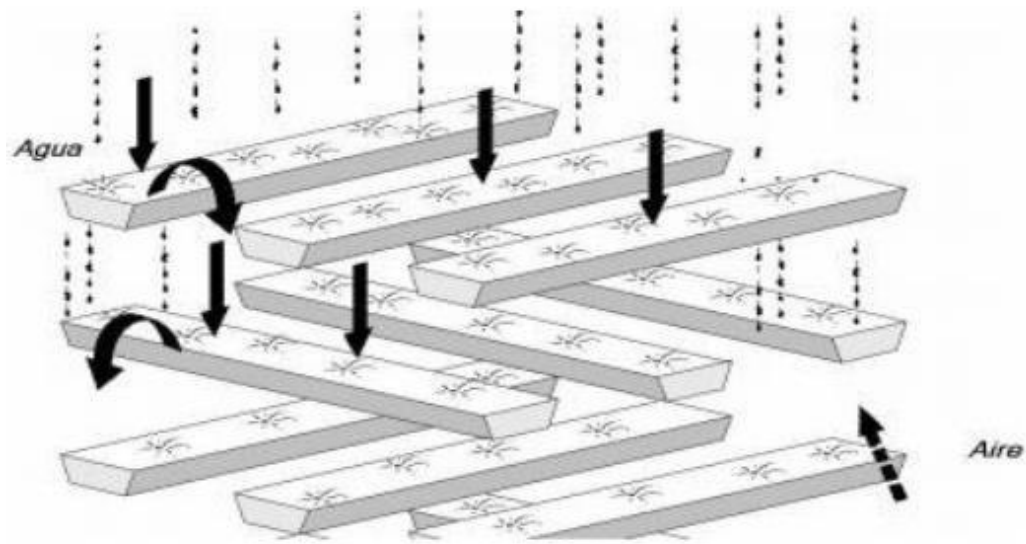
2.3.8.6 Rellenos

Como mencionan Sirena, Galeasso y Najle (2010), “el relleno en una torre de enfriamiento es el elemento a través del cual pasa el agua y tiene el objetivo de aumentar la eficacia general de la transferencia de calor de la torre por unidad de volumen de la misma” (p.26).

La gran mayoría de torres emplean rellenos, estos fabricados en polipropileno, estos facilitan la transmisión de calor, extendiendo los contactos directos del flujo de aire con del agua, existen tipos de rellenos:

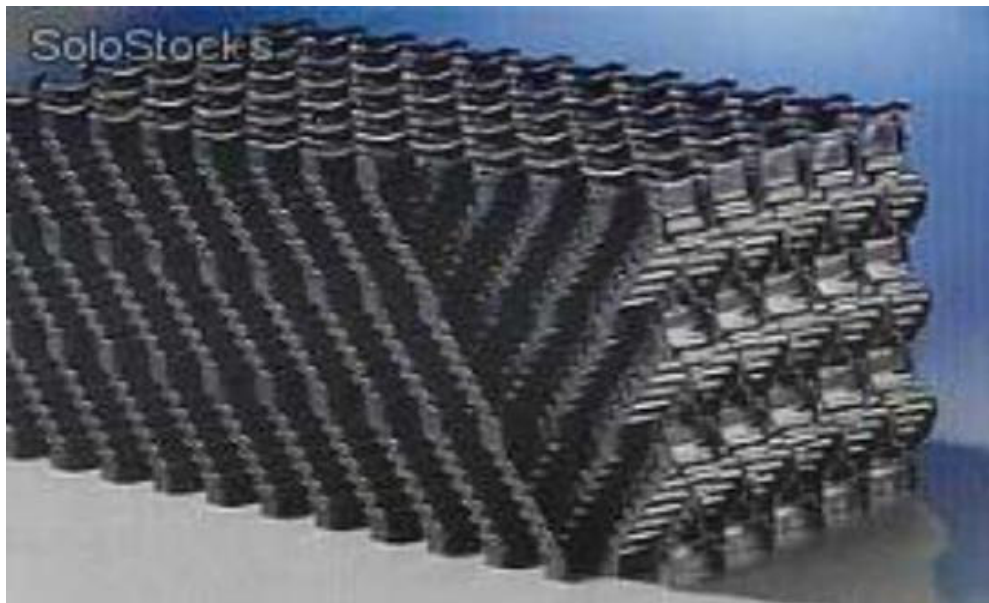
- **Relleno filmico**
- **Relleno salpique:** El relleno de salpicadura suele ser de tiras o listones prismáticos o cilíndricos colocados lateralmente sobre pistas por donde baja el agua. Dichos listones se distribuyen de cierta manera, pero deben colocarse de forma que sus gotas golpeen los listones inferiores a una velocidad suficiente para atomizar dichas gotas (Sirena et al, 2010, p.26).

Figura 15. Rellenos por salpicadura



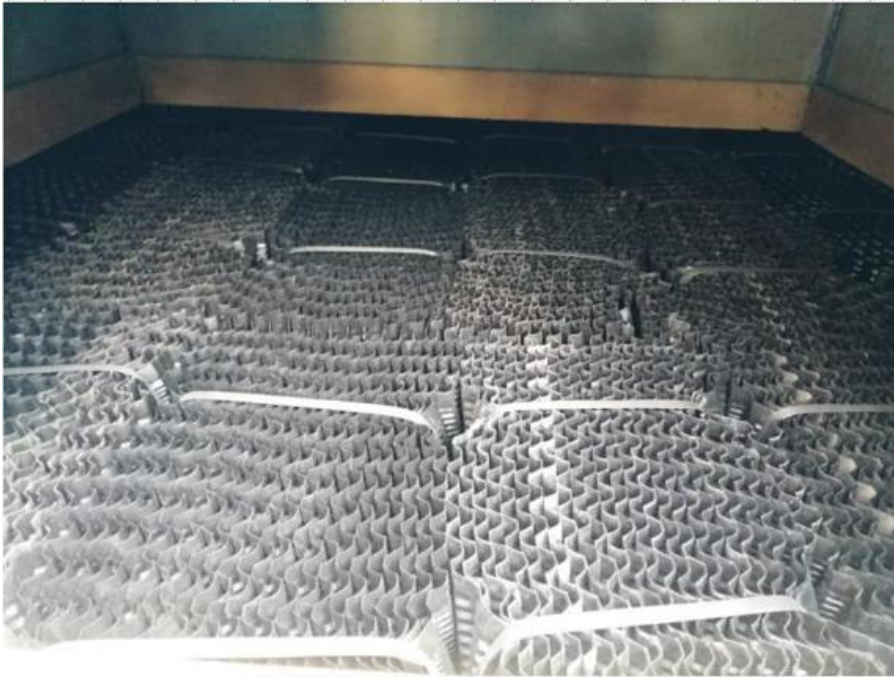
Fuente: (Sirena, Galeasso, & Najle, 2010) 'Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica. Vol. 14'

Figura 16. Rellenos



Fuente: Página web <https://sicrea.net/>

Figura 17. Rellenos ubicados dentro de la torre de enfriamiento



Fuente: Autor

Algunas características de los rellenos constituido de material polipropileno (PP):

- Soportan picos de temperatura de trabajo de hasta 80 °C.
- Debido a la alta turbulencia mezcla por transversal acanalada estructura.
- Alta resistencia a la erosión proporcionado por dobles plegados.
- Alta carga debido a la gran cantidad de puntos para conexión.
- Flexibilidad en materiales y conexiones.
- Adaptación a los requerimientos de la planta de acuerdo al modelo de torre de enfriamiento.
- Prolongada vida útil.

- Buena resistencia mecánica y buena resistencia a los agentes químicos.
- Altura de rellenos escalables hasta 2.00m en incrementos de 300mm.
- Inalterables a la radiación UV

2.3.8.7 Bandeja o depósito de agua fría

La bandeja se ubica en la parte baja de la torre de enfriamiento, donde recibe el agua refrigerada la cual fluye en caída en lo que dura el relleno, normalmente conserva un punto abajo de conexión o sumidero para conectar la descarga del agua fría, la cual será enviada nuevamente al proceso industrial.

2.3.9 Desempeño de las Torres de Enfriamiento

Con la finalidad de establecer el desempeño de la torre de enfriamiento, sus factores más importantes son:

- **Eficiencia:** viene a ser de valor porcentual, la razón de los rangos ideales de enfriamiento con la razón de los rangos de enfriamiento, entonces:

$$\text{Rango} / (\text{Rango} + \text{Acercamiento})$$

- **Rango:** Es la diferencia entre la temperatura a la salida y la temperatura del agua a la entrada de la torre.
- **Acercamiento:** Es la diferencia entre la temperatura del bulbo húmedo del ambiente y la temperatura del agua a la salida de la torre de enfriamiento, donde este es un buen indicador para medir el desempeño de la torre de enfriamiento.
- **Capacidad de enfriamiento:** Es el intercambio de calor del aire y agua en KJ/h, como resultados de las velocidades del flujo de agua, diferencia de temperatura y calor

específico.

- **Pérdidas por evaporación:** vienen a ser los flujos volumétricos del agua evaporada debido a la carga de calor transferida, sabemos que en teoría por cada 1000000 Kcal que se liberan al ambiente, la cantidad que se evapora sería 1.8 m^3 . Donde usamos la siguiente relación empírica:

$$Evap. \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] = 0.00085 * 1.8 * Velocidad.de.Circulación \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] * Rango$$

- **Temperatura de bulbo húmedo:** Este factor determina el nivel de temperatura con la que operan los procesos o sistemas de una planta, es la menor temperatura que podría alcanzar en el proceso de enfriamiento.

3 Capítulo 3: Proceso Metodológico

3.1 Hipótesis General

Con la implementación y diseño de un nuevo prototipo de torre de enfriamiento basado en un área mayor a 45m², para caudales superiores a 3000m³/h, obtendremos una mejor eficiencia, y una disminución significativa en los costos y presupuestos asignados al proyecto en las diferentes industrias.

3.2 Hipótesis Específicas

Se determina 2 hipótesis específicas en la presente monografía técnica:

1. Disminución en los costos de operación e inversión.
2. Menos equipos electromecánicos.

3.3 Tipo y Diseño de Investigación

Una investigación aplicada, según Carrasco (2013), “se distingue por tener propósitos prácticos inmediatos bien definidos, es decir, se investiga para actuar, transformar, modificar o producir cambios en un determinado sector de la realidad” (p.43). Dicha investigación está estrechamente relacionada con la investigación básica, pero se determina por un interés en su aplicación, el uso y los resultados prácticos del conocimiento. Asimismo, trata de conocer, para operar, construir y modificar. (Zorrilla, 1993).

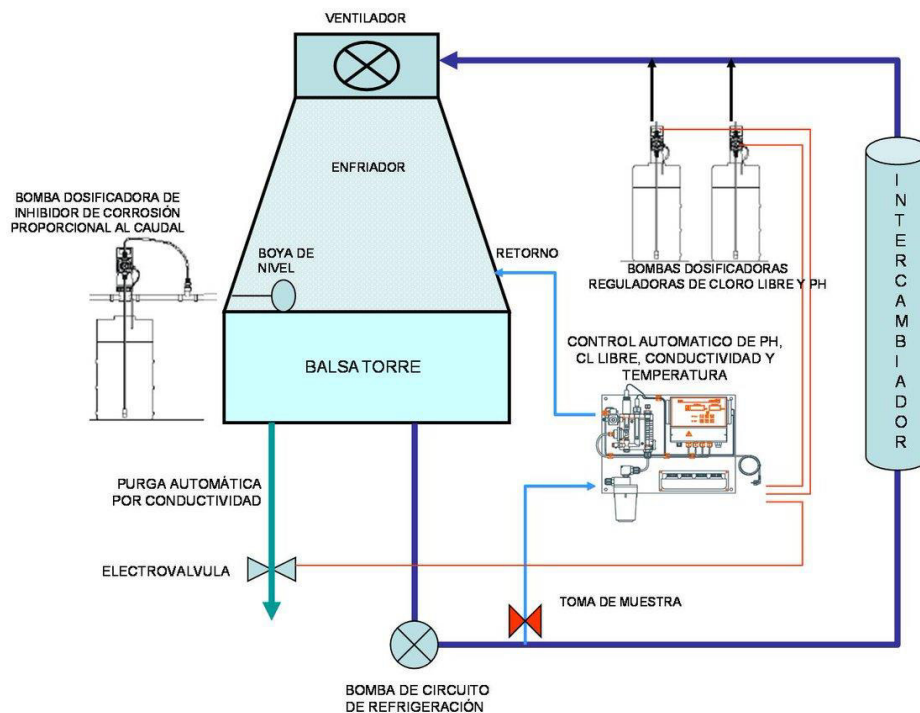
“El establecimiento de que, en un experimento, una variable independiente produce una variación específica (que solo puede ser atribuida a la variable independiente) en la variable dependiente depende fundamentalmente de la manera como esté diseñado el experimento” (Ramón, 2000, pág. 1). Cabe mencionar que el procedimiento estadístico ayuda a dar validez y/o confirmar los procedimientos usados, no obstante, de acuerdo con Ramón (2000), “el hecho de aplicar procedimientos estadísticos no permite afirmar que el experimento está bien diseñado, al

punto de que se puede afirmar que las variaciones producidas en los sujetos experimentales sólo y exclusivamente pueden ser atribuidas a la variable independiente” (p.1).

3.4 Demanda de la torre y numero de Merkel

Esta demanda define su capacidad de la línea de enfriamiento que se estableció antes, así como los parámetros dentro del dispositivo, mediante los resultantes números adimensionales que conciernen a las variables que transfieren masa y/o calor. (Reynolds Prandtl, Schdmit y Lewis, 2011, pág. 35)

Figura 18. Diagrama de una torre de enfriamiento con intercambiador



Fuente: Coydo https://twitter.com/_coydo_/status/799909127325646849

3.5 Unidad de Análisis

Para esta monografía es la implementación del nuevo prototipo de las torres de enfriamiento.

4 Capítulo 4: Resultados y Discusión

En este capítulo de la esta monografía técnica se muestra a detalle el proceso para diseñar la torre de enfriamiento, mediante el análisis de variables que actúan en los procesos de disminución de la temperatura del componente hídrico que ingresa a las torres de enfriamiento, aplicando las ecuaciones detalladas líneas abajo.

Diseñar una torre de enfriamiento depende de factores como los siguientes:

- a) Tipo de proceso y/o maquina a enfriar
- b) Calor a disipar
- c) Caudal de agua a enfriar
- d) El tipo de agua a enfriar: Agua blanda (Tratada) o agua dura (con partículas)
- e) Temperatura de ingreso del agua
- f) Temperatura de salida del agua
- g) Ubicación geográfica (donde será ubicada la torre), para el cálculo del bulbo húmedo.
- h) Tensión (220/380/440/460)

4.1 Elección del Tipo de Torre de Enfriamiento

4.1.1 Cálculo de la sección transversal de una Torre de Enfriamiento

Como un detalle teórico, a través de la siguiente ecuación se calcula la sección transversal de una torre de enfriamiento, partiendo de la ecuación de continuidad para el flujo de aire.

$$A = \frac{G * v}{V}$$

Donde:

A : Área de la sección transversal de la torre de enfriamiento

G : Flujo másico de aire

V : Volumen específico saturado a temperatura de bulbo húmedo

V : Velocidad de aire

4.1.2 Sección del Ventilador

Usando la siguiente ecuación podemos hallar la sección del ventilador:

$$Q = G X V$$

Donde:

Q : Caudal en m^3 / s

G : Flujo másico de aire en Kg/s

V : Volumen específico saturado m^3 / kg

Para elegir la torre de enfriamiento es necesario conocer los factores o condiciones antes descritas, para dar exactamente con el diseño, precisamos saber y operar las siguientes ecuaciones descritas:

Datos de rendimiento:

$$Q = (m_w) \times (C_e) \times (D_t) = k \text{ cal/h} \quad (1)$$

$$Q = \left(\frac{m_w \times C_e \times D_t}{860} \right) = kw$$

Donde:

Q : Calor disipado

m_w : Caudal de agua

C_e : Calor específico

D_t : Función delta, $D_t = T_E - T_S$

T_E : Temperatura de agua en la entrada ($^{\circ}C$)

T_S : Temperatura de agua en la salida ($^{\circ}C$)

Para aplicar la ecuación de rendimiento, se debe aplicar estos valores:

Caudal de agua

$$m_w = 3200 \text{ m}^3/\text{h}$$

Calor específico $C_e = 1 \text{ Kcal}/^{\circ}\text{CKg}$

Función delta

$$D_t = T_E - T_S = 40 - 30 = 10^{\circ}C$$

Reemplazamos en la ecuación (I), tenemos:

$$Q = \left(3200 \frac{m^3}{h}\right) \times \left(1 \frac{Kcal}{^\circ C Kg}\right) \times (10^\circ C) = 32,000,000.00 kcal$$

$$Q = \frac{32000000.00}{860}$$

$$Q = 37,209.30 KW$$

Datos de Operación:

$$m_{wrep} = \left(\frac{m_w \times D}{600}\right) = m^3/h \quad (2)$$

Donde:

Caudal de reposición : m_{wrep}

Caudal de agua : $m_w = 3200 \frac{m^3}{h}$

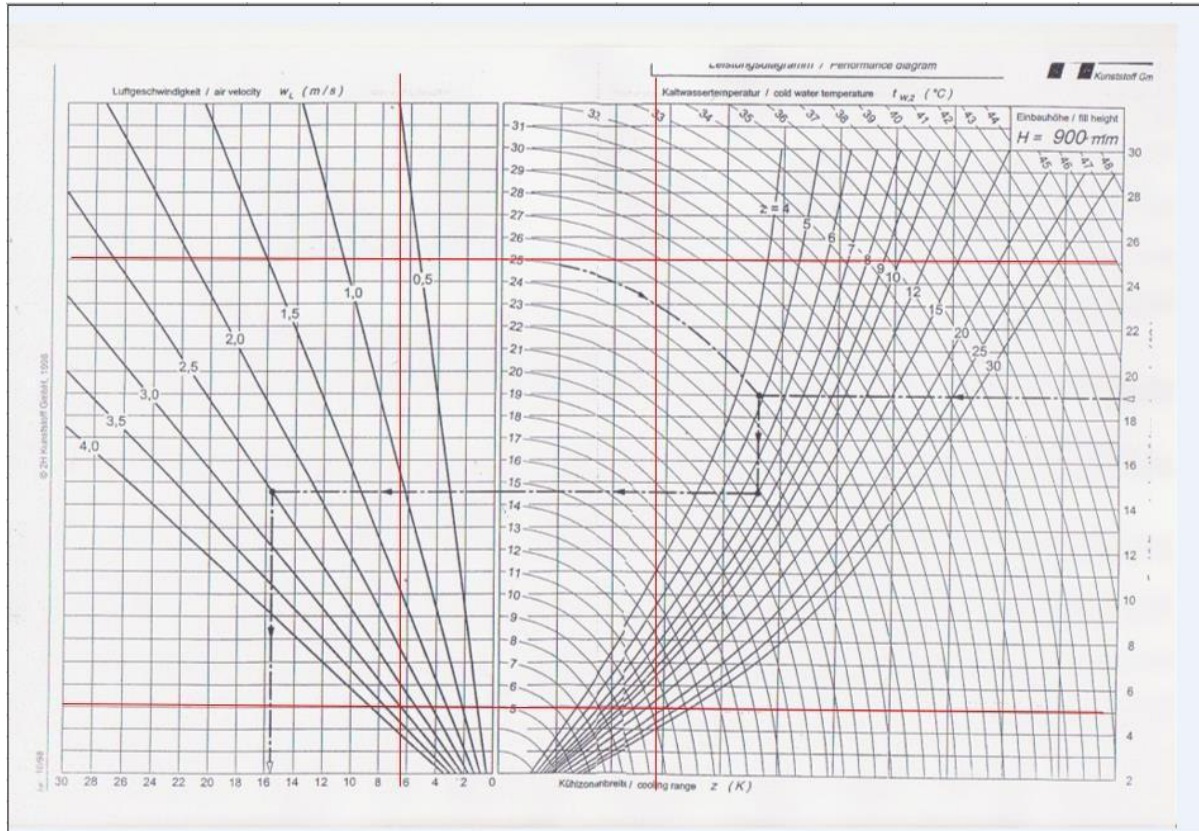
Función delta : $Dt = T_E - T_S = 40 - 30 = 10^\circ C$

Reemplazando en la ecuación (2), tenemos:

$$m_{wrep} = \left(\frac{3200 \times 10}{600}\right) = 53.3 \frac{m^3}{h}$$

Damos con el cálculo de la torre, mediante el siguiente gráfico:

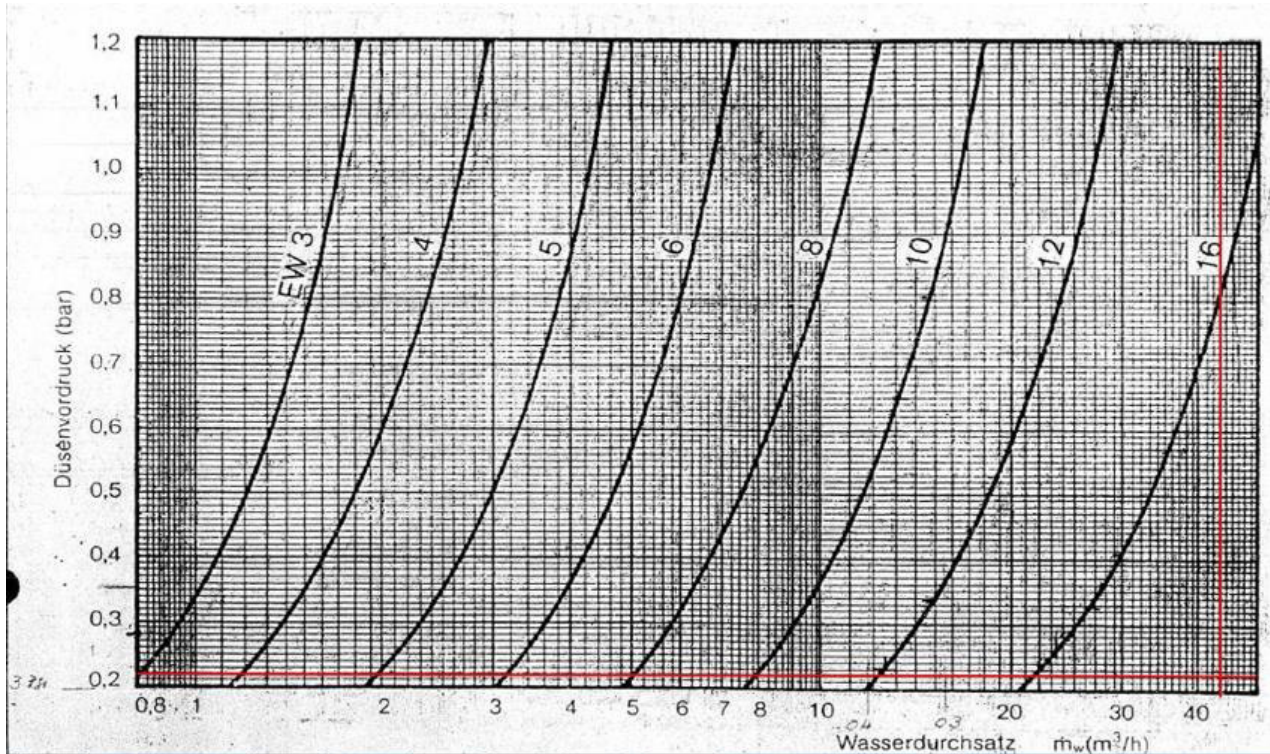
Figura 19. Gráfico utilizado para el cálculo del área de la torre de enfriamiento.



Fuente: Base de datos SICREA SAC

Hacemos el cálculo de la tobera y presión, en base al siguiente gráfico:

Figura 20. Gráfico utiliza para el cálculo de la presión y el modelo de tobera



Fuente: Base de datos SICREA SAC

De ambos gráficos, obtenemos:

1. Superficie efectiva de la torre = $190.44m^2$
2. Superficie requerida de la torre = $179.30m^2$
3. Margen de seguridad = 6.2%

Nota: La superficie depende del tipo de relleno, si es tipo rejilla, el área será mayor que las folias del PP C10.12, la cual será referenciada por la calidad de agua.

De los datos obtenidos, llegamos a la conclusión, que el modelo sugerido es:

Nota: Este nuevo diseño de torre de enfriamiento se complementa con los datos que se obtienen a través de un programa propia de la empresa, con el análisis de datos y los datos obtenidos líneas arriba, se concluye el modelo y diseño de torre de enfriamiento.

Tabla 1. Costos de equipamiento y suministros

RESULTADO DE LA SELECCIÓN TORRE	
Calculation date.....	12/11/2022
Water inlet temperature (Design/Actual).....	40.00/39.83 [degC]
Water outlet temperature (Design/Actual).....	30.00/29.83 [degC]
Caudal de Agua	3200.00 [m3/hr] (888.9 [kg/s])
Maximum Caudal de Agua	5520.00 [m3/hr] (1533.0 [kg/s])
Air inlet wet bulb temperature.....	26.00 [degC]
Air inlet dry bulb temperature.....	30.00 [degC]
Dry air mass flow rate (Actual).....	664.05 [kg/s]
Air velocity through tower (Actual).....	3.20 [m/s]
Altitude.....	4.00 [m]
Barometric pressure.....	101.28 [kPa]
Fill type.....	Munters C10.12
Fill depth/effective rain zone depth.....	900.0/1.5 [mm]
Louvre type.....	None
Fan inlet geometry.....	Radius : R/D = 0.10
Fan diameter/Inlet area.....	5.486 [m]/126.000 [m2]
Pressure drop : obstruct/fan inlet/de/spray.....	20.9/4.2/14.6/24.7 [Pa]
Pressure drop : fill/rain/louvre/inlet.....	136.8/13.9/0.0/37.7 [Pa]
Total pressure drop/dPtot at 1 kg/m3.....	252.74/226.61 [Pa]
Heat load.....	37215.11 [kW]
Evaporation loss.....	12.840 [l/s]
Drift loss.....	0.064 [m3/hr]
Superficie de Torre exacta	179.30 [m2]
Cooling tower selection.....	2EWL92/30
AIR PROPERTIES	
Air inlet enthalpy.....	80.83 [kJ/kg]
Air inlet density.....	1.1501 [kg/m3]
Air inlet volume flow.....	588.80 [m3/s]
Air inlet dry mass flow rate.....	664.05 [kg/s]
Air inlet absolute humidity.....	0.01979 [kg/kg dry air]
Air outlet enthalpy.....	136.87 [kJ/kg]
Air outlet density.....	1.1153 [kg/m3]
Air outlet volume flow.....	607.16 [m3/s]
Air outlet absolute humidity.....	0.03912 [kg/kg dry air]
Air outlet temperature (saturated).....	36.07 [degC]
GENERAL	
Rain intensity.....	17.39 [m3/hr m2]
L/G ratio.....	17.39 [m3/hr m2]
Mass transfer coefficient (KaV/L).....	2.0299
Water efficiency.....	0.72
Thermal capacity ratio.....	0.92
Factor of Merit.....	0.69
NOZZLE SELECTION	
Nozzle type.....	EWFq16
Total Caudal de Agua.....	3200.00 [m3/hr]
Number of nozzles.....	127
Nozzle flow.....	25.00 [m3/hr]
Nozzle pressure.....	26.0 [kPa]

Fuente: Elaboración propia

Así mismo una vez ya teniendo el modelo y diseño de torre, se resume en una tabla todos los datos técnicos obtenidos.

Tabla 2. Detalles técnicos

Datos de rendimiento:			
↻	Calor disipado	kcal/h 32,000,000.00	kW 37,209.30
↻	Caudal de agua		m ³ /h 3,200
↻	Temp. de agua entrada		°C 40
↻	Temp. de agua salida		°C 30
↻	Temp. de bulbo húmedo		°C 26
↻	Margen de seguridad		% 6
Datos de operación:			
↻	Reposición por evaporación		m ³ /h 53.3
↻	Reposición por arrastre		m ³ /h 0.08
↻	Tipo de tobera		STB 16
↻	Presión hidráulica		bar 0.27
Garantizamos los datos de acuerdo con "VDI cooling tower standard DIN 1947"			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Detalles del motor - ventilador

Datos del motor - ventilador:			
↻	Potencia del motor	4 x kW	55
↻	Potencia absorbida por el ventilador	4 x kW	50
↻	Velocidad del motor	4 x rpm	243
↻	Velocidad del ventilador	4 x rpm	243
↻	Voltaje	~3 x V	3 x 220/460
↻	Frecuencia	Hz	60
↻	Protección: - del motor	IP	65
	- caja bornera	IP	65
	- NEMA		364/365

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Características de la torre de enfriamiento

<p><u>Características constructivas</u></p> <p>Carcaza</p> <p><input type="checkbox"/> Con bandeja colectora de poliéster reforzado por fibra de vidrio</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Sin bandeja colectora</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Caja autoportante, hecha de poliéster reforzado por fibras de vidrio</p> <p>Relleno: Tipo rejilla</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> De PP (C10.12) Folia.</p> <p><input type="checkbox"/> De PP (C70.34) Rejilla</p> <p>Eliminadores de Gotas (Alta eficiencia y baja pérdida de presión)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> De HDPE</p> <p><input type="checkbox"/> De PVC</p> <p>Sistema de distribución de agua</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Acero galvanizado o acero inoxidable, toberas en PRFV</p> <p>Sistema de Ventilación</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Ventilador (es) con palas de perfil aerodinámico, hechas de material (PRFV) duroplástico, graduables cuando están detenidas.</p> <p>Máquina motriz</p> <p><input type="checkbox"/> Electromotor - reductor</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Electromotor MARCA SEW EURODRIVE / SIEMENS</p>	
<p><u>Accesorios</u></p> <p><input type="checkbox"/> Canastilla</p> <p><input type="checkbox"/> Válvula flotadora para reposición de agua</p> <p><input type="checkbox"/> Protectores de salpicadura</p> <p><input type="checkbox"/> Variador de frecuencia para regulación de velocidad del ventilador</p> <p><input type="checkbox"/> Escalera</p> <p><input type="checkbox"/> Baranda en la plataforma</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> 01 Copia del Manual de Operación</p>	

Fuente: Elaboración propia

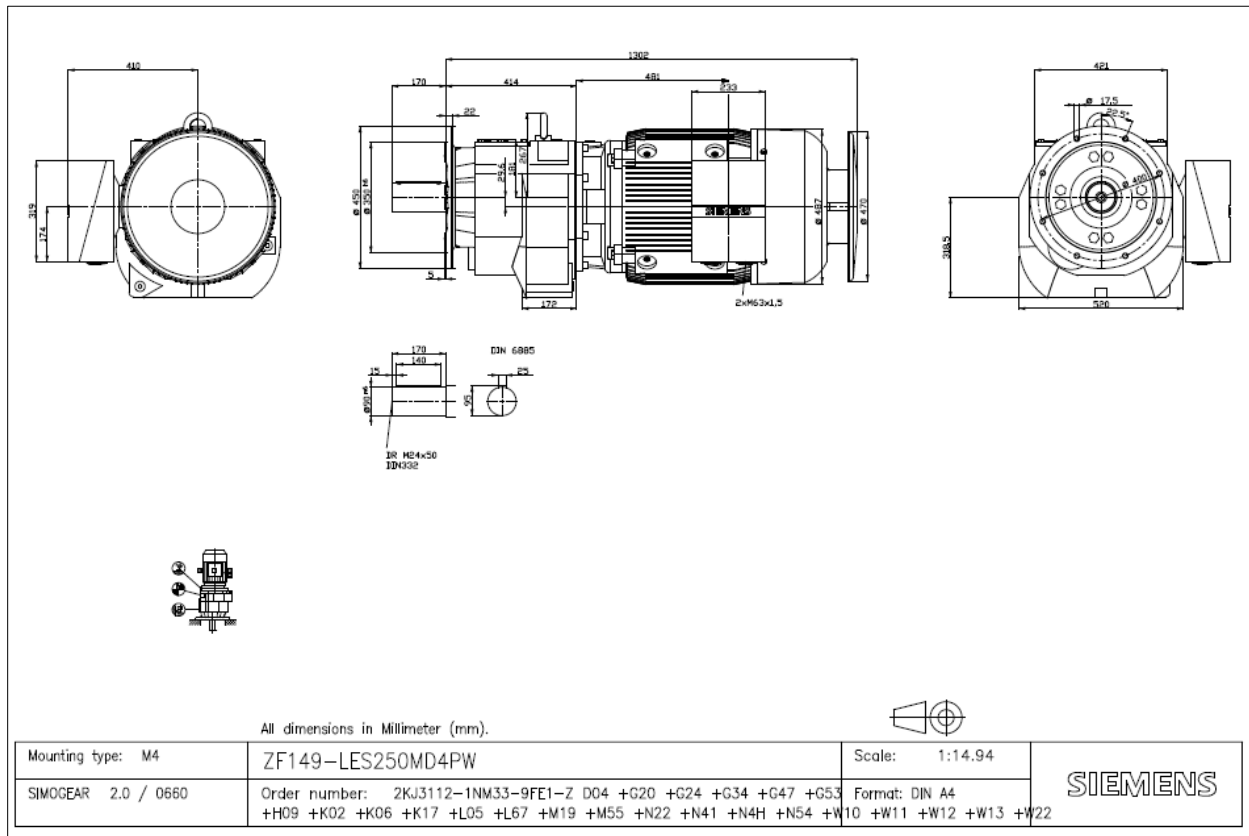
Como un adicional a la venta de la torre de enfriamiento, se le brinda al cliente una capacitación al personal, lo cual está basado en dos partes: operación de torres de enfriamiento y el mantenimiento general del equipo, véase el Anexo C, así como detalles del motor eléctrico.

Tabla 5. Capacitación en la operación de la torre de enfriamiento

OPERACIÓN DE TORRES DE ENFRIAMIENTO			
N°	Tema	Involucrados	Duración (horas)
1	Descripción general Torres de enfriamiento SICREA COOLPACK	Operación	2
2	Principio de funcionamiento de Torres de enfriamiento	Operación	1
3	Componentes principales de la Torre de enfriamiento	Operación	1
4	Accesorios principales de la Torre de enfriamiento	Operación	1
5	Circuito de enfriamiento de agua	Operación	1
6	Ubicación recomendada de la torre de enfriamiento	Operación	1
7	Calidad de agua	Operación	1
8	Operaciones antes de la puesta en marcha	Operación	1
9	Operación en invierno	Operación	1
10	Vibraciones causadas por el ventilador	Operación	1
11	Tendencia de temperatura según operación	Operación	1
12	Enfriamiento Insuficiente	Operación	1
13	Tipos de contaminantes (Algas, limos, etc).	Operación	1
14	Corrosión	Operación	1
		Total Horas Teoría	15
		Total días Teoría	2
		Total días Práctica	2
		Total Operación	4

Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Detalles del motor eléctrico



Fuente: EDIPESA <https://www.edipesa.com.pe/tienda/manufacturero/siemens/motores>

5 Conclusiones

- Se desarrolló, y está en proceso de fabricación el modelo estudiado donde se aprecian las recomendaciones operaciones y de procedimiento experimental que permitirá la obtención del coeficiente global de la transferencia del calor.
- Se llegó al nuevo prototipo de torre de enfriamiento, la cual trabaja con caudal superior a los 3000m³/h.
- Se estimó los costos de fabricación e instalación de la torre de enfriamiento, así como los accesorios complementarios.

6 Recomendaciones

- Se recomienda aprender otros prototipos de torre de enfriamiento, los cuales serán utilizados para caudales superiores a lo revisado. Siempre buscando bajos costos y una mayor eficiencia.
- Realizar y poner en práctica los programas de mantenimiento, para mantener en buenas condiciones el desempeño y funcionalidad de la TE.
- Antes de ser utilizada, y una vez se dé la puesta en marcha de la torre de enfriamiento, en el próximo periodo académico, se recomienda al encargado, realizar un manual de prácticas, para el correcto uso y desempeño del equipo, con una adecuada transmisión de conocimientos a los beneficiarios.

7 Estimación de Costos

Realizamos la estimación de costos para implementar el nuevo prototipo de torres de enfriamiento, estos precios se obtuvieron basadas en diferentes proveedores nacionales, así, primero describimos el precio de cada unidad interna de dicha torre de enfriamiento.

Tabla 6. Costos de equipamiento y suministros

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	COSTO
1	1	Relleno C.10.12	\$ 155.00
2	1	Eliminador de gotas	\$ 130.00
3	1	Toberas STB 16	\$ 140.00
4	1	Ventilador de diametro 1250mm	\$ 2,000.00

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla estimamos el costo para montaje lo cual implica, el costo de accesorios, suministros y equipos solicitados.

Tabla 7. Costos de construcción, montaje, y accesorios para la medición y control

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	COSTO
1	1	TORRE SICREA COOLPACK MODUPOL PRFV	\$ 105,100.00
2	1	ESTRUCTURA METALICA PARA TORRE DE ENFRIAMIENTO	\$ 42,500.00
3	1	TRANSMISOR DE FLUJO ELECTROMAGNETICO	\$ 4,524.00
4	1	TRANSMISOR DE NIVEL TIPO RADAR	\$ 3,939.00
5	1	TRANSMISOR DE PRESION	\$ 1,490.00
6	1	TRANSMISOR DE TEMPERATURA	\$ 750.00
7	1	TRANSMISOR DE VIBRACION,	\$ 856.00
8	1	VALVULA DE MARIPOSA CON ACTUADOR ELECTRICO	\$ 7,500.00
TOTAL			\$ 166,659.00

Fuente: Elaboración propia

8 Referencias Bibliográficas

- Ballestrini, M. (2006). Como se elabora el Proyecto de Investigación. Cabezas, S. (2011).
Ávila, A. (2001). Metodología de la Investigación. Lima, Perú: Estudios y Ediciones R.A.
- Bernal, C. (2006). Metodología de la Investigación. México: Pearson.
- Briones, G. (2001). Metodología de la Investigación cuantitativa en las ciencias sociales. Bogotá, Colombia.
- Bunge, M. (1959). La ciencia. Su método y su filosofía. Buenos Aires: Sudamericana.
- Cabezas, S. (2011). El origen del aire acondicionado.
- John R. Howell & Richard O. Buckius. (1990). Principios de termodinámica para ingenieros. Carrier. Manual de aire acondicionado. Marcombo S.A
- Foust Alan S. (1980) Principios de operaciones unitarias, segunda edición.
- Treybal Robert E. (1967) Operaciones de Transferencia de Masa, segunda edición.
- Prentice Hall (1999) Fundamentos de la Transferencia de Calor, cuarta edición
- El origen del aire acondicionado. Obtenido de Carrasco, S. (2013). Metodología de la Investigación Científica. Lima: Editorial SanMarcos.
- Díaz, Y. (2016). Obtenido de:
https://www.researchgate.net/publication/315111140_Calculo_y_seleccion_de_las_torres_de_enfriamiento_de_la_Empresa_Siderurgica_Jose_Marti
- Climayoreo. (2019). climayoreo.com. Obtenido de:
<http://www.climayoreo.com/blog/torres-de-enfriamiento>
- Mor Fernández, J. (2004). Problemática sanitaria y ambiental de las torres de refrigeración y condensadores evaporativos. Barcelona, España.
- Restrepo, J. R. (2011). 1. Diseño operacional de una torre de enfriamiento adiabática de agua de

tiro mecánico inducido contracorriente a escala de laboratorio. Obtenido de:

<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2011/142022.pdf>

Empresa SICREA SAC (2022), Tratamiento de agua, diseño, fabricación y mantenimiento de torres de enfriamiento, obtenido de: <https://sicrea.net/>

García, J. (2015). Resumen de la Historia de la Refrigeración. Obtenido de:

https://www.academia.edu/10854780/Resumen_de_la_Historia_de_la_Refrigeraci%C3%B3n

Glaciar Ingeniería. (2015). Torres de enfriamiento.

Kern, D. (1999). Procesos de Transferencia de Calor. México.

Mor Fernández, J. (2004). Problemática sanitaria y ambiental de las torres de refrigeración y condensadores evaporativos. Barcelona, España.

Zorrilla, S. (1993). Introducción a la Metodología de la Investigación.

Sirena, J., Galeasso, Á., & Najle, P. (2010). Predicción y evaluación empírica del coeficiente de pérdida de carga en rellenos de torres de enfriamiento de agua. Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica, 14, 25-40.