



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECÁNICA NAVAL

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:
INGENIERO EN MECÁNICA NAVAL

TEMA

DISEÑO, CÁLCULO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TORRE
DE ENFRIAMIENTO TIPO LLUVIA Y SISTEMA FORZADO,
PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL
TALLER DE MECÁNICA NAVAL.

AUTORES

ARMIJOS VÉLEZ MARCOS VINICIO
PATIÑO VÉLIZ MARCO ANTONIO

TUTOR

Ing. Héctor Ortíz Moncayo

MANTA - MANABÍ – ECUADOR

2016

DEDICATORIA

Este proyecto de grado va dedicado a nuestros padres ya que ellos han sido nuestra inspiración para seguir adelante y sin ellos nada de esto hubiera sido posible y a nuestros profesores a lo que debemos nuestros conocimientos adquiridos a través de toda esta etapa de aprendizaje.

Marcos Vinicio

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mi esposa, quien ha sido y es una mi motivación, inspiración y felicidad.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy.

Marcos Antonio

AGRADECIMIENTO

Los resultados de este proyecto, están dedicados a todas aquellas personas que, de alguna forma, son parte de su culminación.

Nuestros sinceros agradecimientos están dirigidos hacia el Ing. Héctor Ortíz M., quien con su ayuda desinteresada, nos brindó información relevante, próxima, pero muy cercana a la realidad de nuestras necesidades.

Pero, principalmente nuestros agradecimientos están dirigidos hacia el Tribunal de Evaluación y Sustentación, sin el cual no hubiésemos podido salir adelante.

A nuestras familias por siempre brindarnos su apoyo, tanto sentimental, como económico.

Gracias Dios, gracias padres y hermanos, y en especial, gracias a todos.

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. Héctor Ortíz M., docente de la Carrera de Ingeniería en Mecánica Naval de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, certifico que los egresados: Armijos Vélez Marcos Vinicio; y, Patiño Veliz Marco Antonio, realizaron la investigación sobre el tema: “DISEÑO, CÁLCULO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO TIPO LLUVIA Y SISTEMA FORZADO, PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL TALLER DE MECÁNICA NAVAL”, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto, por tal motivo doy mi aprobación para su presentación y sustentación.

.....

Ing. Héctor Ortíz Moncayo.

Director de Trabajo de Titulación

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO DE MANABÍ” CARRERA DE INGENIERÍA EN MECÁNICA NAVAL

CERTIFICACIÓN

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECÁNICA NAVAL

TEMA:

“DISEÑO, CÁLCULO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO TIPO LLUVIA Y SISTEMA FORZADO, PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL TALLER DE MECÁNICA NAVAL”

APROBADA POR:

DECANO _____

DIRECTOR DE TESIS _____

DELEGADO TRIBUNAL 1. _____

DELEGADO TRIBUNAL 2. _____

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

La responsabilidad de la investigación, resultados, ideas estadísticas y análisis, así como las conclusiones y recomendaciones planteadas en el presente trabajo de titulación, pertenecen exclusivamente a los autores.

.....

Armijos Vélez Marcos Vinicio

.....

Patiño Veliz Marco Antonio

ÍNDICE GENERAL

APARTADOS	DESCRIPCIÓN	PAG
	Introducción	1
1.	CAPÍTULO I	
1.1.	Localización física del proyecto de grado	3
1.2.	Diagnóstico de la comunidad	4
1.3.	Antecedentes	5
1.4.	Justificación	6
1.5.	Objetivos	8
1.5.1.	General	8
1.5.2.	Específicos	8
2.	CAPÍTULO II	
2.	MARCO TEÓRICO	9
2.1.	EL AGUA	9
2.1.1.	Motor de combustión interna	13
2.1.2.	Sistemas de enfriamiento de los motores	14
2.1.3.	Elevación de temperatura.	15
2.1.4.	Temperatura de salida.	15
2.1.5.	Fuerza del agua.	16
2.1.6.	Condiciones atmosféricas.	16
2.1.7.	Circuitos de refrigeración abiertos.	17
2.1.8.	Circuitos de refrigeración cerrados.	19
2.1.9.	Circuitos con vaporización	21
2.1.10.	Elección del circuito de refrigeración.	23
2.2.	Componentes del sistema de refrigeración de los motores de combustión interna.	25
2.2.1.	Radiador	25
2.2.2.	La tapa del radia	26
2.2.3.	La bomba de agua	27
2.2.4.	El termostato	28
2.3.	Torres de enfriamiento	29
2.4.	Tipos de torres de enfriamiento	31

2.4.1.	Torres de circulación natural atmosféricas	31
2.4.2.	Torres de tiro natural	32
2.4.3.	Torres de tiro mecánico	32
2.4.4.	Torres de tiro forzado	33
2.4.5.	Torres de tiro inducido	33
2.4.6.	Torres de flujo cruzado	34
2.5.	Componentes básicos	35
2.5.1.	Sistema de distribución de agua.	36
2.5.2.	Relleno	37
2.5.3.	Eliminadores de gotas.	39
2.5.4.	Chimeneas	39
2.5.5.	Ventiladores	39
2.5.6.	Bombas	41
2.5.7.	Eliminadores de gotas	41
2.6.	Importancia de las torres de enfriamiento.	42
2.7.	Fundamentos del método de enfriamiento.	43
2.7.1.	Aire y psicrometría	43
2.7.2.	Humidificación	47
2.8.	Simbología	48
3.	CAPÍTULO III	
	Metodología de la investigación	50
3.1.	Técnicas	51
3.2.	Técnica de Campo	51
3.3.	Actividades	52
3.3.1.	Diseñar una torre de enfriamiento tipo lluvia y sistema forzado, para motores de combustión interna para los motores del taller de la Carrera de Ingeniería Mecánica naval de la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”.	52
3.3.2.	Calcular una torre de enfriamiento tipo lluvia y sistema forzado, para motores de combustión interna para los motores del taller de la Carrera de Ingeniería Mecánica naval de la Universidad Laica “Eloy Alfaro	

	de Manabí”.	53
3.3.3.	Construir una torre de enfriamiento tipo lluvia y sistema forzado, utilizado en el taller de la Carrera de Ingeniería Mecánica naval de la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”.	71
3.3.4.	Elaborar plan de mantenimiento para equipos de la torre de enfriamiento tipo lluvia y sistema forzado, para los motores del taller de la Carrera de Ingeniería Mecánica naval de la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”.	84
3.4.	Recursos utilizados	88
3.4.1.	Humanos	88
3.4.2.	Institucionales	88
3.4.3.	Materiales	88
3.4.4.	Financieros	89
4.	Impacto ambiental	93
5.	Conclusiones y recomendaciones	94
6.	Bibliografía	96

RESUMEN

El objetivo del presente proyecto de grado fue diseñar, calcular y construir una torre de enfriamiento tipo lluvia y sistema forzado, que proporcione un eficiente sistema de refrigeración de agua para los motores de combustión interna del taller de la Carrera de Ingeniería Mecánica Naval de la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”.

El estudio de investigación realizado tuvo un carácter descriptivo experimental, confirmatorio. El mismo que concluyó con la construcción del proyecto en el taller de la carrera de Ingeniería Mecánica Naval. Aplicando la técnica de campo en un 100% durante todo el proceso de diseño y construcción de la torre de enfriamiento tipo lluvia y sistema forzado. Comprobándose de esta manera el trabajo eficiente y ergo-económico del proyecto.

De esta manera podemos concluir afirmando que el proyecto tuvo el éxito deseado, para el trabajo docente investigativo de estudiantes y profesores de la carrera de Ingeniería Mecánica Naval, específicamente en la disciplina de máquinas térmicas (motores de combustión interna). Además se contó con la colaboración y empoderamiento tanto de los Directivos de la Carrera como de las Autoridades de la Universidad, los que en conjunto con los investigadores hicieron posible el logro de los objetivos planteados.

Palabras claves: Torres de enfriamiento – Refrigeración – Circuitos – Radiador – Temperatura de aire – Motores de combustión interna.

SUMMARY

The aim of this graduation project was to design, calculate and build a tower type cooling rain forced system which provides an efficient water cooling for internal combustion engines workshop of the School of Mechanics Naval Engineering University Laica "Eloy Alfaro of Manabi"

The research study was an experimental, confirmatory descriptive. It ended with the construction of the project in the workshop Mechanical Engineering Naval career. Applying the technique of field by 100% during the whole process of design and construction of tower type rain and forced cooling system. Cheking thus efficient and ergo-economic project work.

Thus we can conclude by stating that the project had the desired success, for teaching research work of students and teachers career Naval Mechanical Engineering, specifically in the discipline of heat engines (internal combustion engines). It also counted with the collaboration and empowerment both managers Race and the authorities of the University, which together with the researchers made it possible to achieve the objectives.

Keywords: Cooling Towers - Cooling - Circuits - Radiator - Air Temperature - Internal combustion engines.

INTRODUCCIÓN

Las máquinas de combustión interna y los procesos industriales generan grandes cantidades de calor debido al trabajo al que son sometidos y con el fin de mantener un buen funcionamiento, ese calor excesivo debe ser disipado de alguna manera.

El uso principal del agua como refrigerante en las máquinas es el enfriamiento de los elementos que generan calor mediante la remoción de la temperatura para condensar y enfriar elementos con exceso de calor.

El método clásico de enfriamiento del agua se basa en exponerla a una corriente de aire por el tiempo y cantidad necesarios para que se lleve a cabo la transferencia de calor. Para ello se realizan el diseño y cálculos según al requerimiento del equipo o máquina para tales fines.

Las torres de enfriamiento tienen la finalidad de dar una correcta refrigeración a las máquinas o proceso industrial al que se lo haya acoplado mediante la evaporación controlada y esta va a llevar a reducir la cantidad de agua consumida a razón de que este sistema de enfriamiento permite la reutilización del refrigerante o agua. Este proceso se logra cuando la gota, en contacto con el aire se le evapora la parte exterior de la misma y ese proceso retira el calor de la gota ya que al evaporarse la parte caliente de la misma se enfría consecuentemente.

Este proceso se cumple debido a las partes constitutivas y diseño de la torre de enfriamiento como: son el relleno que es el que permite dispersar la gota y que tenga un mayor tiempo de exposición al aire, la altura, dimensiones, pulverizadores de agua, ventiladores, entre otros.

El taller de la Carrera de Mecánica Naval de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Eloy Alfaro de Manabí cuenta con 3 motores de combustión interna los cuales necesitan de un sistema de enfriamiento óptimo para su correcto funcionamiento. Este trabajo de titulación tiene como objetivo el diseño, cálculo y construcción de una torre de enfriamiento tipo lluvia y sistema forzado, para motores de combustión interna, permitiendo que

estos motores tengan un sistema de refrigeración adecuado con la finalidad de alargar el tiempo de vida útil de cada uno de ellos ya que son de suma importancia para los educandos de esta carrera porque permiten adquirir conocimientos basados en la práctica los mismos que van a ser fundamentales en la vida profesional.

En este contexto, la presente investigación consta de 3 capítulos.

El primer capítulo consta de la localización física del proyecto de grado, diagnóstico de la comunidad, antecedentes, justificación y objetivos.

El segundo comprende el marco teórico; mismo que contiene una recopilación bibliográfica extraída de libros, folletos, y páginas virtuales para la sustentación de la investigación.

El tercero contiene la metodología de la investigación, con sus técnicas e instrumentos a utilizar para la presente investigación, el detalle de las actividades del cumplimiento de los objetivos específicos para culminar con las respectivas conclusiones y recomendaciones, detallando a continuación el impacto ambiental y la bibliografía utilizada.

CAPÍTULO I

1.1. Localización física de la instalación en la torre de enfriamiento

La presente tesis de “Diseño, cálculo y construcción de una torre de enfriamiento tipo lluvia y sistema forzado, para motores de combustión interna del taller de mecánica naval”, tuvo lugar dentro de los predios de la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”, en la Escuela de Mecánica Naval, parroquia Manta, cantón Manta, provincia de Manabí, tal como se ilustra en la figura n° 1.



Figura n°1: Localización de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

FUENTE: <http://maps.google.com/>. AÑO: 2013.

Matriz: Av. Circunvalación y calle 12

Correo: uleam@uleam.edu.ec **Teléfono:** 593- 52623740

1.2. Diagnóstico de la comunidad

La Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí” como un organismo integral, que promueve la investigación y participación del alumnado en la realización de proyectos que contribuyan al bienestar general de la comunidad, con el aporte de conocimientos de los docentes en la realización de los mismos, es conjuntamente con otras universidades de la provincia pioneras en el desarrollo e implementación de proyectos de carácter educativo acompañado de la práctica que facilite el trabajo de campo de los estudiantes y el apoyo al desarrollo de nuevas tecnologías y metodologías que van a la par con el progreso nacional.

La implementación de un sistema de enfriamiento y abastecimiento de agua de los motores de combustión interna es de relevante importancia al prevenir el desgaste de piezas del motor y evitar las fallas aumentando su durabilidad y su eficiencia, haciendo que este proceso sea vital para las industrias que cuentan con motores para distintos propósitos permitiendo la reducción de costos, como también prevenir interrupciones en los procesos de producción industrial conllevados al iniciar un mantenimiento correctivo de los mismos, impulsando de esta manera la producción, ayudando a la economía de la sociedad.

Los motores de combustión interna que están en el taller necesitan un sistema que permita mantener la temperatura adecuada durante el período de trabajo, previniendo fallas asociadas a la mala refrigeración de las máquinas y optimizando el funcionamiento de las mismas.

El presente trabajo es un estudio de factibilidad ya que se obtiene resultados de eficiencia de los motores y comprueba técnicamente que las torres de enfriamiento son beneficiosas a la población comercial e industrial que utilizan motores de combustión interna para la producción en pro del comercio, al mejorar la eficiencia y evitar fallas del motor con lo que abarataría costos de operación, repuestos y mano de obra.

1.3. Antecedentes

A razón que la mayoría de los procesos industriales funcionan con el agua en sus diferentes estados como refrigerante y ésta debido a sus altos costos es desechable, no obstante en el momento de utilizar grandes cantidades de la misma se vienen incrementando los costos además de crear un impacto ambiental al desechar esta agua contaminada.

Es por esta causa que las torres de enfriamiento se las utilizan en diferentes procesos industriales porque permiten la reutilización de la materia, energía, y agua en grandes cantidades. El desecho del agua representa un alto costo de operación.

El proceso de enfriamiento del agua en las torres de enfriamiento se lleva a cabo mediante la interacción entre el agua y el flujo de aire que entra a la torre haciendo que haya una evaporación del agua en proporciones que permitan el enfriamiento.

La carrera de mecánica naval desde sus inicios cuenta con diversos tipos de máquinas, las cuales tienen como principal objetivo que los estudiantes mejoren sus conocimientos mediante la práctica en ellas.

Entre esas máquinas se encuentran los motores de combustión interna ubicados en el taller de dicha carrera, y uno de los principales sistemas con los que cuentan éste artefacto es el sistema de enfriamiento el cual se encuentra trabajando en conjunto desde la creación de la misma.

En este taller se cuenta con cuatro motores de combustión interna los cuales no tienen un correcto sistema de enfriamiento, debido a que faltan algunas de sus partes que lo complementan como son los radiadores. Con este proyecto de grado se complementarían y completarían el sistema de enfriamiento de estos motores de combustión interna y tomando en cuenta la eficiencia de esta torre de enfriamiento de tiro forzado y tipo lluvia se resolvería esta necesidad que tiene el taller.

1.4. Justificación

El objetivo de la presente investigación es Diseñar, calcular y construir una torre de enfriamiento tipo lluvia y sistema forzado, para motores de combustión interna del taller de la Carrera de Ingeniería Mecánica Naval de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, a fin de profundizar los conocimientos de los estudiantes en la carrera.

El desarrollo de la presente tesis está sustentado en brindar a la carrera, un sistema de refrigeración, el cual es de suma importancia para buen funcionamiento de los motores y permitir que puedan seguir trabajando por mayor tiempo y lleven al mínimo la posibilidad de deteriorarse tempranamente, debido a que en la actualidad los motores no cuentan con un sistema de refrigeración de adecuado.

Esta justificación se fundamenta debido a la comprobación de ciertos conocimientos teóricos que los estudiantes de la carrera obtendrán ya que podrán comprobar mediante la torre, ciertos conocimientos los cuales se impartieron y fueron fundamentales en la realización de esta tesis.

Mediante la construcción y puesta en marcha de la torre de enfriamiento tipo lluvia y sistema forzado para los motores del taller la cual permitirá alargar la vida útil de los motores otorgando un sistema eficiente para los mismos comprobando su importancia y efectividad.

La justificación ambiental de este proyecto de grado se debe a que las torres de enfriamiento funcionan mediante la recirculación del agua, además que esta en este proceso no se mezcla con agentes contaminantes y en el momento de desechar el agua esta no contribuiría a la contaminación.

Los beneficiarios directos de este proyecto de grado serán los docentes y estudiantes de la Escuela de Ingeniería Mecánica Naval, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí; y los indirectos, las personas que queden encargadas del mantenimiento y revisión del

funcionamiento general del taller; y, la comunidad en general. Los estudiantes que estuvieron a cargo del proyecto.

Al no desperdiciar el refrigerante (agua) este ahorraría un capital económico para la universidad ya que el agua tiene un valor económico que aunque es bajo, al necesitar grandes cantidades de agua este representaría un gasto económico considerable, un ejemplo claro es el campo ambiental que el valor económico destinado al agua como recurso industrial es muy alto. Este es el impacto del presente proyecto.

Los beneficiarios directos de la presente investigación serán los Docentes y estudiantes de la escuela de Ingeniería Mecánica Naval.

INDIRECTOS:

- Las personas que queden encargadas del mantenimiento y revisión del funcionamiento general del taller.
- Comunidad en general. - Los estudiantes que estuvieron a cargo del proyecto.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. GENERAL

Diseñar, calcular y construir una torre de enfriamiento tipo lluvia y sistema forzado, para motores de combustión interna, que proporcione un eficiente sistema de refrigeración de agua para los motores del taller de la Carrera de Ingeniería Mecánica Naval de la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”.

1.5.2. ESPECÍFICOS

- Poner en funcionamiento un método de transferencia de calor eficiente para el correcto funcionamiento el taller de motores de combustión interna de la carrera de Mecánica Naval.
- Elaborar plan de mantenimiento para equipos de la torre de enfriamiento tipo lluvia y sistema forzado, que permita la durabilidad de la misma.

METAS

- Contribuir al incremento de la eficiencia y durabilidad de los motores del taller de la Carrera de Ingeniería Mecánica Naval de la ULEAM mediante el uso de las torres de enfriamiento.
- Demostrar mediante la ejecución del presente proyecto los beneficios obtenidos en la aplicación de las torres de enfriamiento para motores de combustión interna.
- Mejorar el sistema de enfriamiento con los que cuentan los motores del taller para su óptimo funcionamiento.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. EL AGUA

El agua se la cataloga como una sustancia compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O). El término agua se lo utiliza cuando está en estado líquido, hielo en estado sólido y vapor en su estado gaseoso.

Una parte del agua que alcanza la superficie terrestre se convertirá en escorrentía superficial y circulará por regatas y arroyos hasta ríos más caudalosos (en los que pueden permanecer unas cuantas semanas o almacenarse en lagos y embalse, donde pueden permanecer almacenadas durante varios meses o años), que las devolverán de nuevo a mares y océanos para iniciar un nuevo ciclo. También la escorrentía puede ser discreta, como en los mansos cauces de los grandes ríos, o sumamente ostentosa e incluso violenta, como en las ramblas y arroyos de corto recorrido y elevada pendiente, modelando en cualquier caso a su capricho la superficie terrestre (Machuca, 2010, pág. 52).

La física ha demostrado que el agua circula de manera constante en un ciclo de evaporación o transpiración, luego se precipita y se desplaza hacia el mar.

El encargado de transportar al vapor como al agua vertida en los mares es el viento, en cantidades aproximadas a 45.000 km³ anuales. En

tierra, la evaporación y transpiración contribuyen con 74.000 km³ anuales al causar precipitaciones de 119.000 km³ cada año.

El agua constituye un recurso fundamental para el sector industrial, así como para el desarrollo de las actividades agropecuarias, domésticas y municipales. En principio, las existencias de agua en el Planeta parecen ilimitadas. Sin embargo, de los cerca de 1,4-10 m³ de aguas existentes en la Tierra, más de un 97% corresponde a agua salada en océanos y mares y más del 70% de los recursos potenciales de agua dulce se encuentran en forma de hielo, en su mayor parte en la región Antártica. Aun así, las existencias en lagos, ríos y aguas subterráneas técnicamente accesibles arrojan cifras importantes, si se consideran de manera global e independiente de su calidad. No obstante, tanto la localización de los recursos hídricos, como las exigencias de calidad que acompañan a la mayor parte de sus aplicaciones, constituyen factores esenciales que limitan la disponibilidad real de los mismos. En este sentido, el espectacular incremento de las cifras de consumo y la alteración negativa de las características del agua (contaminación) que se produce en la mayor parte de las operaciones de uso de la misma, configuran un panorama en el que el agua ha ido adquiriendo progresivamente el carácter de un bien cuya utilización queda sujeta a principios de economía de consumo (Vían Ortuño, 2006, pág. 94).

El agua es un recurso fundamental para la actividad industrial, su utilización ha variado a lo largo del tiempo, disminuyendo su aprovechamiento local o puntual como fuente de energía primaria pero continúa siendo imprescindible para el desarrollo industrial usada como medio de reacción y disolvente o como regulador térmico en calderas y torres de refrigeración.

Como transmisor de calor el agua, así como el vapor es de suma importancia en procesos de transferencia de calor por lo que muchos sistemas de intercambiadores de calor funcionan con estos ya que

tienen la capacidad de enfriar y calentar además de encontrarse en abundancia en el ambiente. Aunque hay desventajas de estos debido a que son corrosivos.

Un ejemplo de su utilización es en las centrales eléctricas ya que en estas se utiliza el agua como refrigerante, la que con el exceso de calor se evapora para luego pasar a las turbinas de vapor para generar energía mecánica, permitiendo el uso de generadores produciendo electricidad.

La industria precisa el agua para múltiples aplicaciones, para calentar y para enfriar, para producir vapor de agua o como disolvente, como materia prima o para limpiar. La mayor parte, después de su uso, se elimina devolviéndola nuevamente a la naturaleza. Estos vertidos, a veces se tratan, pero otras el agua residual industrial vuelve al ciclo del agua sin tratarla adecuadamente. La calidad del agua de muchos ríos del mundo se está deteriorando y está afectando negativamente al medio ambiente acuático por los vertidos industriales de metales pesados, sustancias químicas o materia orgánica (ONU, 2009, pág. 277).

La industria utiliza el agua para múltiples aplicaciones, para calentar y para enfriar, como vapor de agua o como disolvente, como materia prima o para limpiar. En su gran mayoría el agua es devuelta después de su uso a la naturaleza, la misma debería ser tratada para que no sea contaminante o afecte de alguna manera el equilibrio normal.

No existe una relación simple entre el índice de producción industrial de un país (volumen, valor y puestos de trabajo) y el total de su demanda industrial de agua. El aumento del consumo de agua para la industria y la energía coincide, cada vez más, con un rápido desarrollo que transforma los patrones de uso del agua en las economías de mercado emergentes. Algunos sectores, como el turismo, muestran grandes variaciones estacionales en el uso del agua que pueden provocar (en

las costas, islas y zonas de montaña) dificultades de abastecimiento en las temporadas altas. Alrededor del Mar Mediterráneo la demanda estacional de agua ligada a la industria del turismo supone un aumento anual del 5% al 20% (UNESCO, 2009, pág. 1).

La productividad industrial del agua (relación entre el valor que se utiliza y el valor de la producción industrial obtenida con la misma) es un indicador general de rendimiento en el uso de la misma. Se cree que la intensidad del uso en la industria está aumentando en términos generales, al igual que el valor añadido por la industria por unidad de uso de la misma. La utilización para fines industriales está sólo parcialmente relacionada con el grado de industrialización de un país, como lo demuestra la gran diferencia en la productividad de la misma entre dos países de altos ingresos: más de 138 USD por m³ en Dinamarca y menos de 10 USD por m³ en los Estados Unidos (UNESCO, 2009, pág. 1).

El agua es uno de los recursos más importantes en la industria, ya que es usada como materia prima, enfriante, solvente, agente de transporte y como fuente de energía. En el caso de países como Estados Unidos y Canadá, un 6% es extraíble y se destina a este uso (UACH, 2012, pág. 5).

Sin embargo no se puede obviar la importancia del agua para la mayoría de procesos industriales y maquinarias, además de ser un importante solvente químico.

Dentro de los procesos industriales es importante recalcar que uno de los usos más eficientes es el agua como refrigerante en torres de enfriamiento, permitiendo enfriar grandes cantidades de agua además de ser un método limpio y eficaz debido al reúso de la misma, siendo beneficiosa con el medio ambiente ya que evita los daños ambientales del agua caliente en ríos, playas entre otras.

2.1.1. Motor de combustión interna

El motor de combustión interna es toda máquina térmica que recibe calor o energía debido a un proceso de combustión o quemado de algún combustible dentro del motor.

El combustible que puede ser cualquier hidrocarburo (gasolina, diésel) o en algunos casos se usan gas metano, gas natural entre otros se mezcla con el aire dentro del motor, quemando esta mezcla rápidamente generando energía, creando a su vez gases de escape los cuales están a alta temperaturas y presión.

Este proceso es una liberación de energía química producto de la mezcla generada dentro del motor con el fin de crear un gas con altas temperaturas y alta presión dentro del motor con la finalidad de que los gases calientes se expandan dentro del motor y ello produzca trabajo o potencia. Los mismos gases saldrán del motor después de llegar a una baja presión y temperatura.

En cuanto a la refrigeración de los motores de combustión interna, debido a que la combustión de estos motores produce calor, es indispensable un sistema de refrigeración el cual disipe el exceso de temperaturas que estas máquinas generan.

Hay algunos sistemas de refrigeración, cuyo principal objetivo es el de mantener todos los componentes dentro del rango de temperatura de sus diseños y evitar su destrucción y mal funcionamiento por exceso de temperatura.

Algunos motores se refrigeran con aire, en otros motores el sistema de enfriamiento se lleva a cabo mediante el agua la cual se hace circular por las partes que más generan calor para llevar a cabo un

proceso de transferencia del mismo y eso se lleva a cabo mediante una bomba de agua.

Es de suma importancia que el líquido que va a utilizarse para la refrigeración tenga las cualidades que se requieren porque algunos motores de combustión interna trabajan con temperaturas por sobre los 100 grados centígrados y el agua a esa temperatura está en proceso de ebullición (Buenastareas, 2014).

Esto provocaría fallas en los elementos estructurales que se someten a este exceso de temperatura por lo que se utiliza en estos casos, compuestos químicos como refrigerante, esto provocaría fallas en el motor debido al exceso de presión. En los motores navales se suele utilizar agua marina para complementar su refrigeración.

2.1.2. Sistemas de enfriamiento de los motores

Los motores de combustión interna producen calor debido a la combustión y la fricción.

Este calor puede llegar a temperaturas muy altas en la cámara de combustión de hasta 1.925°C (3.500°F) afectando negativamente los componentes del motor como pistones, válvulas, culatas entre otras, por ende éste debe ser enfriado. Las temperaturas de los elementos tienen que estar trabajando en el rango de temperatura para el cual están diseñados. Además del sobrecalentamiento y el enfriamiento excesivo puede tener efectos negativos en el mismo. El sobreenfriamiento puede reducir el rendimiento y acortar la vida útil del mismo. Los sistemas de refrigeración se utilizan para gestionar el calor del mismo y deben estar correctamente diseñados, operados y mantenidos para su funcionamiento adecuado y una vida útil.

2.1.3. Elevación de temperatura.

Primero la influencia de la elevación de la temperatura, esta está directamente ligada al caudal de agua y ambos factores son importantes, dada la gran cantidad de calor que debe eliminarse. Si la velocidad de ésta es alta, una cierta cantidad de calor será absorbida por una masa de líquido grande y la temperatura subirá solo un poco. Si se disminuye el caudal, la misma cantidad de calor deberá ser absorbida por una masa de agua menor y por lo tanto la temperatura se elevará mucho más.

Cuanto mayor sea la diferencia entre temperaturas del agua a la entrada y salida, mayor será la diferencia entre las de partes superior e inferior de los cilindros, y esto significa más deformación a causa de la dilatación térmica, y por tanto más tensiones en el metal.

Además, si se limita la elevación de temperatura reforzando el caudal de agua, se conseguirá una ventaja adicional, ya que al circular más deprisa el agua por el interior de las camisas se reduce el riesgo de formación de bolsas de vapor y zonas calientes localizadas (Kates, 1982, págs. 44-46).

Como la temperatura se mide con mayor facilidad que el caudal, y ambos están relacionados, la efectividad de la refrigeración suele expresarse en función de la elevación de la temperatura.

2.1.4. Temperatura de salida.

Si se evita las deformaciones térmicas y puntos calientes localizados, se puede admitir sin peligro una temperatura de salida mayor. En otras palabras es mejor que un motor funcione con una elevación de temperatura reducida y una temperatura de salida alta que con una reducida. Un agua de refrigeración que circule por las camisas a temperatura alta aumenta el rendimiento del motor, reduce la corrosión y favorece el engrase. Además, si el agua se enfría fuera

del motor y se recircula, una temperatura fuera del motor alta proporcionaría una diferencia de temperatura mayor con la que trabajar en el equipo de enfriamiento, lo que reduce el tamaño y el precio de este.

2.1.5. Fuerza del agua.

Aun cuando se cumplieran las condiciones de un gran caudal de agua y una elevación de temperatura reducida, pueden presentarse dificultades si ésta es impura.

La mayoría de las aguas naturales contienen impurezas incrustantes y, a temperaturas que se dan en las camisas de los motores, los minerales disueltos se separan en forma sólida y recubren las superficies metálicas. En la marina forma depósitos salinos si la temperatura de salida supera los 50°C aproximadamente, que es poca temperatura para que el rendimiento sea aceptable.

Las incrustaciones interfieren la transmisión de calor desde las cámaras de combustión hacia las camisas de agua, provocando la elevación de la temperatura de los metales, lo que pueden facilitar los recalentamientos locales con grietas y roturas como resultados posibles. Los circuitos de refrigeración cerrados, que habitualmente se emplean hoy en día, evitan estos problemas casi en su totalidad.

2.1.6. Condiciones atmosféricas.

Otro factor a tomar en cuenta en muchas centrales son las condiciones atmosféricas. En los climas fríos, el agua puede congelarse y el lubricante espesarse, especialmente si el motor está en reposo. En tales casos se emplean sistemas de calentamiento auxiliar o bien se vacía el Carter para evitar averías.

2.1.7. Circuitos de refrigeración abiertos.

En los circuitos de refrigeración abiertos, el agua de salida del motor no regresa a este, o bien es expuesta a la acción directa del aire, tal como muestran los esquemas en la figura (2.1) el agua se desecha o se destina a otros procesos y no vuelve al motor. En la figura el agua caliente se enfría en una torre de enfriamiento o estanque de lluvia, en la que el agua se expone a la acción directa del aire, evaporándose una pequeña parte de la misma mientras que el resto pierde calor para que se forme este vapor.

Una vez enfriada el agua por este procedimiento, es devuelta al motor impulsada por un equipo de bombeo y vuelve a ser utilizada. Obsérvese que los circuitos de lluvia, aunque a veces llamados cerrados porque el agua se recircula, son circuitos abiertos, porque el agua entra en contacto con el aire exterior.

En los circuitos abiertos, las impurezas del agua y los peligros consiguientes de formación de incrustaciones y sedimentos en las camisas constituyen un gran problema. Si el agua no regresa al motor, el agua nueva introduce continuamente materias extrañas. Si el agua se recircula después de que se haya evaporado parte de ella en la torre o estanque, la inevitable pérdida, requiere más agua como relleno, lo que introduce más impurezas. Como el vapor no se lleva consigo las impurezas, éstas se concentran continuamente y pueden acabar formando más incrustaciones que si el agua se hubiera desechado.

No obstante, en los lugares donde el agua sea excepcionalmente pura y el abastecimiento amplio, los circuitos abiertos pueden emplearse sin peligro.

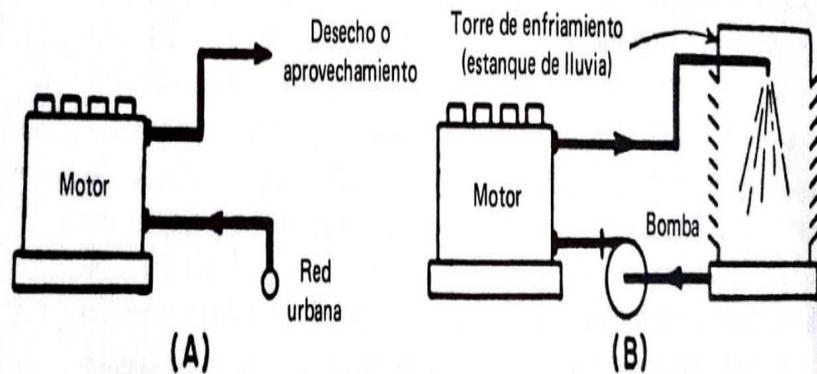


Figura # 2.1. Esquemas elementales de circuitos de refrigeración abiertos.

La circulación continua de agua nueva A en B y la necesidad de agua de relleno entrañan el peligro de formación de depósitos e incrustaciones.

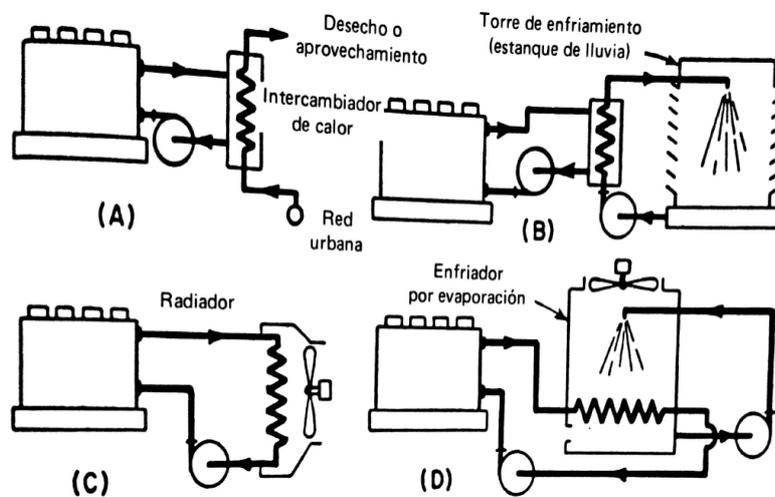


Figura # 2.2. Esquemas elementales de circuitos de refrigeración cerrados.

- A: con intercambiador de calor.
- B: con intercambiador y torre de enfriamiento.
- C: con radiador
- D: con enfriador por evaporación.

Obsérvese que en ninguno de los casos el agua de refrigeración del motor se pone en contacto con el aire.

2.1.8. Circuitos de refrigeración cerrados.

En estos sistemas el agua de refrigeración del motor se hace circular una y otra vez a través de intercambiadores de calor cerrados. (Los intercambiadores de calor son dispositivos que transfieren calor desde un fluido a otro, como desde agua o aceite a agua o aire) Así pues, en los circuitos cerrados, la misma agua permanece indefinidamente dentro del circuito y se enfría repetidamente sin contacto con el aire exterior. Si el agua es pura al comienzo, sigue siendo pura. Los intercambiadores de calor pueden ser de agua a agua (del tipo de haces tubulares o simplemente de tubos) o de agua a aire (radiadores o enfriadores por evaporación) en la figura se representan algunos circuitos de refrigeración cerrados elementales.

El esquema de la figura 2.2 representa un circuito cerrado con intercambiador de calor de agua a agua en el que el agua secundaria (que a veces se llama agua "bruta") puede atravesarlos sólo una vez si hay buen abastecimiento y no es necesario reponer. Sin embargo, las pérdidas de agua bruta pueden disminuir de 5% a 10% recirculándola después de enfriarla por evaporación en una torre o estanque de lluvia como en la figura 2.2.

En los intercambiadores de calor, las incrustaciones no son un problema tan grave como en las camisas del motor y además pueden limpiarse fácilmente. Por esto, es el agua bruta la que circula por dentro de los tubos del intercambiador, ya que el interior de un tubo es más fácil de limpiar que su exterior.

La figura 2.2 es el esquema de un circuito cerrado con radiador, en el que el aire que expulsa un ventilador enfría el agua que circula por

dentro de los tubos del radiador. El agua no entra en contacto con el aire ni se evapora.

Los circuitos cerrados con enfriador por evaporación son en cierto sentido una combinación de intercambiador de agua a agua y de torre de enfriamiento. En estos sistemas, el agua del motor pasa por los serpentines que son rociados con agua bruta, parte de la cual se evapora en la superficie de los serpentines por efecto del aire que es lanzado por el ventilador montado por encima de éstos, y así se enfría el agua del motor contenido dentro de ellos. El calor absorbido para evaporar 1 litro de agua basta aproximadamente para enfriar 100 litros de agua $5,5^{\circ}\text{C}$.

Dos zonas críticas para la refrigeración de los motores diésel, sean grandes o pequeños, son los inyectores y las válvulas. Para asegurar una buena refrigeración, en este motor cada inyector está montado en un manguito de cobre de pared delgada que atraviesa el espacio ocupado por el agua dentro de la culata, tal como puede verse en la figura mencionada.

El extremo inferior del manguito de cobre se monta a presión en la culata y se recalca para impedir fugas de agua. El extremo superior es rebordeado y se cierra con un retén de neopreno. Además de rodearse de agua de refrigeración, la refrigeración de los inyectores y asientos y guías de válvulas se aseguran aún más utilizando toberas de agua montadas en la culata. En la figura 2.2 estas se encuentran en tal posición que el agua fría que penetra en la culata es dirigida contra las zonas que reciben más cantidad de calor.

En algunos camiones se montan adelante del radiador obturadores accionados termostáticamente, que ayudan a calentar el motor y lo mantienen a una temperatura de funcionamiento determinada.

Otro procedimiento para regular la temperatura de funcionamiento de un motor es emplear un ventilador de accionamiento hidráulico regulado termostáticamente. El mecanismo de accionamiento del ventilador está compuesto de dos órganos tiroidales, uno conductor y otro conducido, muy similares a los de los transmisores hidráulicos que se emplean en los cambios automáticos. La velocidad de giro de ventilador es variable, dependiendo de la temperatura de funcionamiento. Cuando el motor está frío, al toro conducido se transmite muy poca potencia, o ninguna, y el ventilador gira loco o muy lentamente. Cuando el motor está caliente, al toro conducido llega la máxima potencia. Esto se consigue como se describe a continuación.

En el retorno de agua, y entre el radiador y la bomba, se instala una válvula termostática accionada por la temperatura del agua y que regula la cantidad de aceite contenido en la carcasa del accionamiento toroidal. Funcionando en frío, esta válvula está abierta y permite que el aceite regrese al carter del cigüeñal, con lo que no queda aceite suficiente para que los órganos toroidales se acople. Pero a medida que el refrigerante del motor gana temperatura, la válvula empieza a cerrarse y retiene más aceite en la carcasa, transmitiéndose gradualmente más potencia al ventilador.

2.1.9. Circuitos con vaporización

En algunas instalaciones se emplean los llamados circuitos con vaporización (y a veces circuitos con fase de vapor) en los que el agua de refrigeración al atravesar las camisas alcanzan temperaturas suficientes para que parte de ella se transforme en vapor de baja presión al llegar a un depósito cerrado llamado vaporizador rápido. El calor necesario para formar el vapor se toma del agua restante, que de esta forma se enfría y luego se recircula por el motor. Una velocidad de circulación rápida (de unos 112 litros por hora/circuito de

vaporación) impide que en las camisas se formen bolsas de vapor. En las camisas la temperatura permanece casi constante, sin la necesidad de regulación mecánica, independientemente de la carga, ya que cuando esta aumenta se produce más vapor.

En cuanto a los circuitos comunicados, existen ciertos dispositivos de refrigeración que utilizan conductos de comunicación para controlar la temperatura del agua a la salida del motor regulando la temperatura del agua que entra en el motor.

Este procedimiento es mucho mejor que los basados en la variación del caudal de agua que atraviesa el motor. En éste, la válvula que mantiene constante la temperatura del agua a la salida del motor, independientemente de las variaciones de la carga, actúa variando el caudal de agua; pero esto presenta algunos inconvenientes, entre los cuales están:

1. La temperatura del agua es fija y habitualmente es inferior a lo deseado. Supongamos que esta temperatura sea de 25°C y que el constructor del motor recomiende una temperatura de salida de 75°C. Entonces, la elevación de temperatura dentro del motor será de 50°C que es muy superior a los 5 u 8 °C que son deseables para evitar las deformaciones térmicas; 2. El pequeño caudal que corresponde a la gran elevación de temperatura puede facilitar la formación de bolsas de vapor y zonas calientes; y, 3. Además, bajo cargas reducidas, en que el caudal se reduce aún más, el peligro de bolsas de vapor y zonas calientes crece adicionalmente.

Con los circuitos comunicados se previene estos defectos. En estos circuitos parte del agua de salida se regresa (se desvía) al conducto de entrada, donde se mezcla con agua nueva fría y así en el motor penetra agua ya caliente.

Entonces, cuando el agua de salida está demasiado fría, su temperatura subirá al abrirse la válvula de comunicación y la temperatura a la entrada del motor será independiente de la fuente y podrá conseguirse que sea suficiente para que se produzca únicamente una elevación de temperatura reducida a través de las camisas.

Adicionalmente, el caudal será siempre alto, incluso bajo cargas pequeñas, y no habrá peligro en que la temperatura de salida sea alta, con el consiguiente beneficio respecto al rendimiento del motor.

2.1.10. Elección del circuito de refrigeración.

Los principales factores que determinan el mejor circuito de refrigeración para una instalación dada son: 1. Precio y disponibilidad del agua; 2. Pureza del agua; 3. Condiciones climáticas; 4. Espacio; y, 5. Necesidad de recuperación de calor

Estos factores afectan la elección de la siguiente manera:

El precio y abastecimiento del agua: Si existe gran cantidad de agua pura disponible a bajo precio, no habrá necesidad de recirculación y bastará un circuito abierto sencillo. Pese a ello, deberá incorporarse un sistema de comunicación para que la elevación de temperatura sea baja con un caudal alto. Si hay posibilidad de aprovechar el calor, podrá emplearse el agua caliente directamente procedente del motor.

La pureza del agua, cuando el agua sea impura, se empleará un circuito cerrado para que no entre agua de relleno en el motor. Si el agua bruta es barata y abundante, se empleará un intercambiador y se desechará el agua bruta una vez que haya servido para enfriar el agua del motor.

Cuando deba conservarse el agua bruta, se empleará un intercambiador y el agua bruta se refrigerará en una torre de enfriamiento, estanque de lluvia o enfriador por evaporación.

En los lugares donde el agua escasea (pura o no), el agua del motor debe refrigerarse en un radiador de agua aire, con lo que se requerirá muy poca o ninguna de relleno. Así, los circuitos con radiador son los empleados en vehículos automóviles y ferrocarriles.

En cuanto a las condiciones climáticas, éstas afectan al tamaño y precio de las torres de enfriamiento, enfriadores por evaporación y radiadores. El enfriamiento por evaporación depende de la humedad del aire circulante, ya que el aire puede admitir menos vapor cuanto más humedad contiene, y por ello debe hacerse circular más aire para eliminar la misma cantidad de calor. Una temperatura del aire alta también rebaja la capacidad de enfriamiento, porque al ser menor la diferencia de temperatura entre el agua y el aire hay menor transmisión de calor.

Respecto a las consideraciones de espacio, las torres de enfriamiento y los enfriadores por evaporación deben instalarse al aire libre para que el aire húmedo que desprenden pueda disiparse sin impedimentos. No es fácil utilizarlos como en locales cerrados, pues forman nubes de vapor a menos que se empleen canalizaciones para conducirlos al exterior.

Los radiadores pueden emplearse con menos precauciones, ya que no producen vapor y el aire caliente que arrojan no suele estar suficientemente caliente para causar molestias. Sin embargo, suelen ser más caros que las torres de enfriamiento y los enfriadores por evaporación y sus ventiladores absorben más potencia.

En cuanto a la generación de calor, cuando pueda aprovecharse el calor en forma de aire caliente, como en calefacción doméstica, los

circuitos con radiadores de agua y aire resultan sencillos, baratos y de buen rendimiento.

Para ello se emplean reguladores de tiro que dirigen el aire hacia las habitaciones en invierno y hacia el exterior durante el verano.

Cuando desee calor en forma de agua caliente, se emplearán siempre intercambiadores de calor salvo que el agua sea desacostumbradamente pura, pues de lo contrario las grandes cantidades de agua de relleno formarían depósitos en las camisas.

Los circuitos con vaporización, en los que se produce vapor a baja presión directamente desde el motor, son útiles cuando se necesita calor en forma de vapor más que como agua o aire calientes. Además, en estos circuitos dadas las altas y relativamente uniformes temperaturas, se reducen la formación de incrustaciones y la corrosión y el desgaste en los cilindros, especialmente cuando se emplean combustibles que contienen sulfuro de hidrógeno. Las altas temperaturas tienden también a reducir el consumo de combustible.

2.2. Componentes del sistema de refrigeración de los motores de combustión interna.

Generalmente la vida del motor de combustión interna depende de que todos los elementos y sus sistemas trabajen de forma óptima conformadas por los siguientes elementos:

2.2.1. Radiador

Es un componente del sistema de enfriamiento de la mayoría de las máquinas de combustión interna y tiene la función de transferir el calor del líquido refrigerante al aire. Es de suma importancia su localización porque depende del aire para lograr su intercambio de calor por lo que

generalmente se lo sitúa donde podría haber una corriente más de aire y en máquinas de automóviles van en la parte delantera para aprovechar el viento que recibe del movimiento del automóvil. La eficiencia del radiador depende de fallas en el mismo como fugas o aletas dobladas, barro acumulado, impurezas, entre otras (Widman de Widman, 2008).

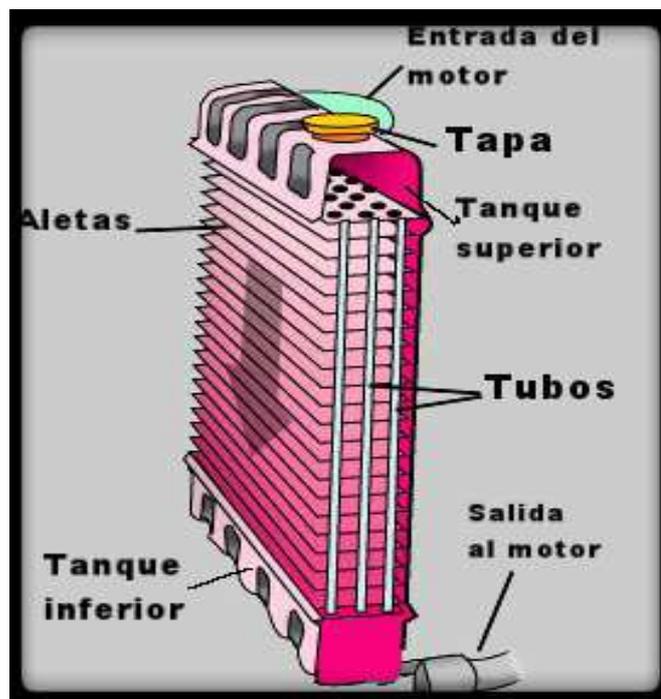


Figura # 2.3.- Radiador

2.2.2. La tapa del radiador

La función de ésta es la de mantener una correcta presión interna y el volumen del refrigerante dentro del sistema de enfriamiento. Hay que tomar en cuenta que la tapa del radiador tiene una capacidad de presión determinada y que al cambiarla por otra deben tomarse en cuenta esas capacidades por lo que siempre se debe utilizar la tapa correcta. Una tapa inadecuada o la falta de aquella pueden traer problemas a la vida útil del motor.

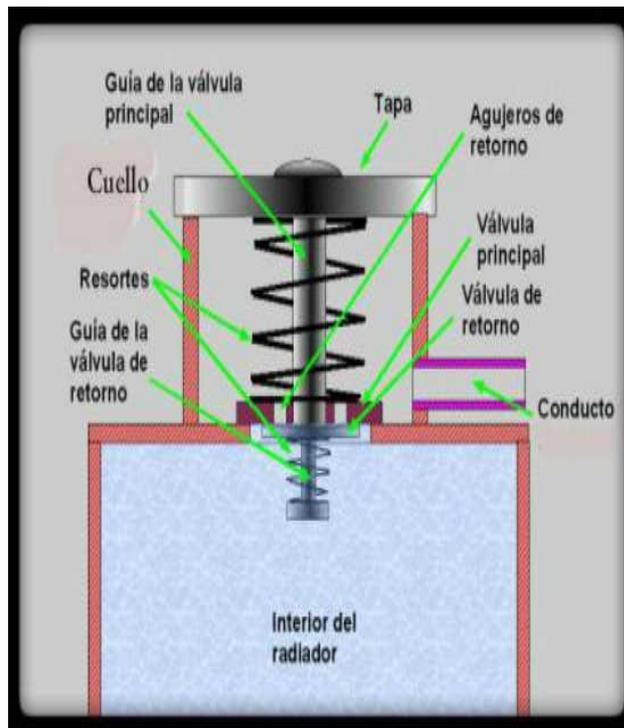


Figura # 2.4. Tapas de radiador

2.2.3. La bomba de agua

La bomba de agua de los motores tiene la función de hacer circular el refrigerante. Son bombas centrífugas que permiten impulsar grandes caudales de agua a poca presión. El

movimiento de la bomba se debe a una correa, como la de distribución y accesorios accionados por el motor con la relación de transmisión correspondiente. El caudal depende del régimen de giro del motor.

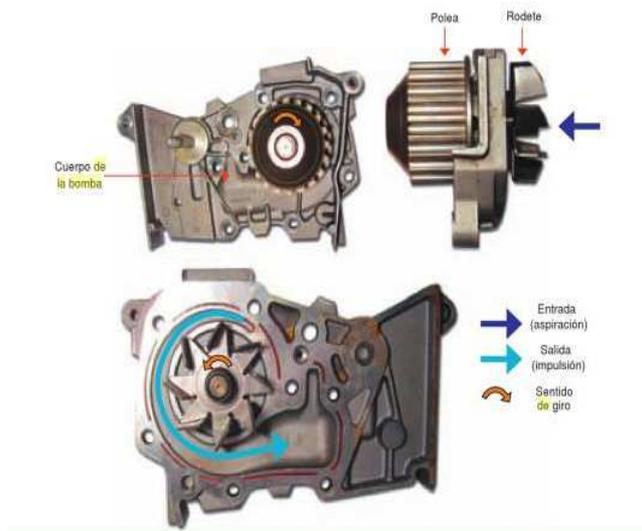


Figura # 2.5. Bombas de agua

2.2.4. El termostato

Tal como un atleta que tiene que calentarse antes de correr, el termostato funciona para calentar el motor antes de trabajar y lo mantiene a la temperatura óptima para su trabajo. Así el termostato es el controlador de la temperatura.

Cuando la temperatura del motor se acerca a la temperatura nominal del termostato (normalmente 80°C), este empieza a abrirse, dejando pasar un poco de agua para mezclarse con el agua caliente e iniciar el proceso de refrigeración. Cuando el motor se calienta totalmente, el termostato se abre a plenitud, controlando la velocidad de circulación del agua.

Cuando el motor está caliente y no está colocado el termostato, el agua pasa por el bloque demasiado rápido sin tener una

transferencia eficiente de temperatura, ocasionando el sobrecalentamiento del motor. Si la temperatura ambiente baja la temperatura del motor por debajo de 80°C , el termostato se cierra manteniendo la temperatura correcta para la quema eficiente del combustible.

El termostato de 80°C normalmente empieza a abrirse a 80°C y queda totalmente abierto. Después de los 93°C . Esto garantiza que el motor trabaje en su rango de temperatura ideal.



Figura # 2.6. Termostato

2.3. Torres de enfriamiento

Las torres de enfriamiento son elementos de mucha importancia para diversos campos de la industria ya que este tiene como principal funcionamiento disipar el excesivo aumento de temperatura de ciertos elementos principalmente el agua mediante principios de transferencia de calor.

En la actualidad la industria es uno de los principales pilares de desarrollo de la ciudad de Manta y del Ecuador y estas poseen maquinas que generan calor y necesitan un sistema eficaz que ayude a disipar ese exceso.

Las torres de enfriamiento son elementos de mucha importancia para diversos campos de la industria ya que este tiene como principal

funcionamiento disipar el excesivo aumento de temperatura de ciertos elementos principalmente por medio del agua mediante principios de refrigeración y transferencia de calor.

Si la planta térmica está ubicada en una región seca, o lejos de un río o lago, se tiene que enfriar el condensador de una forma u otra. Con frecuencia se utiliza evaporación para producir el efecto de enfriamiento. Para entender este principio, considere un lago que expone una gran superficie de aire circundante. Un lago se evapora continuamente, incluso a bajas temperaturas, y se sabe que por cada kilogramo de agua que se evapora, el lago pierde 2.4 MJ de calor. Por consiguiente, la evaporación hace que el lago se enfríe (Wildi, 2007, pág. 680).

El agua caliente puede venir de diferentes procesos industriales por ejemplo pasa por la parte superior de la torre de enfriamiento donde es rociada o cae por gravedad por un relleno donde se reduce la temperatura del agua cediendo su calor al aire que circula por la torres.

La mayoría de este intercambio de calor o enfriamiento del agua se debe a la evaporación de una parte del agua que se produce cuando esta cae a través de la torre, el calor necesario para evaporar el agua que se evaporó es conseguido del resto de la masa de agua, de tal manera que la temperatura de dicha masa de agua baja, el vapor de agua que se obtiene de este proceso de enfriamiento por evaporación se seca por el aire que circula a través de la torre debido a que la temperatura como la humedad del aire aumenta debido a que el aire pasa por la torre de enfriamiento y esto depende de la temperatura del bulbo húmedo que llega a la torre.

Otros factores que influyen en las características de las torres de enfriamiento son el total de superficie de agua expuesta y el tiempo de

exposición; la velocidad del aire que está pasando a través de la torre; y, la dirección del flujo de aire con relación a la superficie de agua expuesta (paralela, transversal o en sentido opuesto).

La superficie de agua expuesta contiene la superficie del agua en el depósito de la torre, todas las superficies humedecidas de la torre y la superficie combinada de agua cayendo a gotitas a través de la torre.

La temperatura más baja a la que puede el agua enfriarse en una torre de enfriamiento es la del bulbo húmedo del aire que obtiene la torre, en este caso quedaría saturado el vapor de agua del aire a la salida. El aire que escapa de la torre de enfriamiento generalmente estará debajo de las condiciones de saturación.

Generalmente cuando las condiciones permanecen sin variar, cuando mayor cantidad de agua circula por la torre de enfriamiento, el valor de la temperatura del agua de salida se acercara más a la del bulbo húmedo del aire, aunque a veces la cantidad de agua que entra a la torres se limita debido a la potencia de las bombas

2.4. Tipos de torres de enfriamiento

Existen torres de refrigeración de tiro natural y de tiro forzado. Las torres de refrigeración deben estar protegidas contra incendios. Pueden estar fabricadas con materiales no inflamables o pueden llevar un sistema de humidificación. Se deben observar todas las normas legales y los requisitos de la compañía aseguradora (Withman, 2000, pág. 221).

Las torres de enfriamiento se clasifican según la forma de suministro de aire en de circulación natural (atmosféricas); tiro natural (torres de tiro mecánico); torre de tiro inducido y forzado (torres de flujo cruzado) las cuales se detallan a continuación:

2.4.1. Torres de circulación natural atmosféricas

Las torres atmosféricas se caracterizan porque el agua cae en flujo cruzado con el aire. Estas torres pueden construirse con rellenos y sin ellos además de ser de muy bajo costo su construcción.

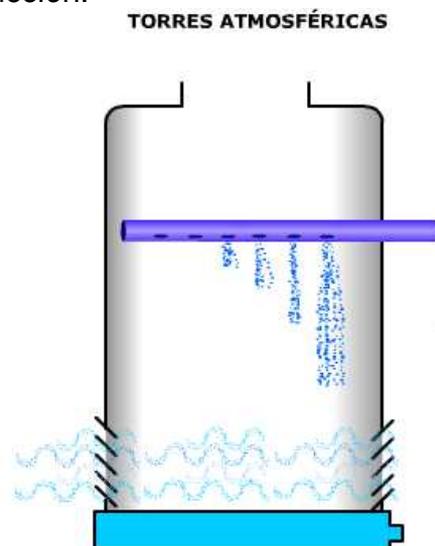


Figura # 2.7. Torres atmosféricas

2.4.2. Torres de tiro natural

Estas torres se caracterizan porque generalmente tienen la forma de torre hiperbólica. En las torres de tiro natural el fluido con exceso de temperatura se pone en contacto con el aire, llevando a cabo un calentamiento y debido a esto disminución de su densidad. Presentan bajos costos y mantenimiento, y esto se debe a que no tienen consumo eléctrico. Son comúnmente utilizadas en grandes industrias y centrales eléctricas. Estas también se pueden modificar y ser de tiro natural asistido en el

momento en que se acopla ventiladores en la parte de abajo con el fin de mejorar el flujo de aire.

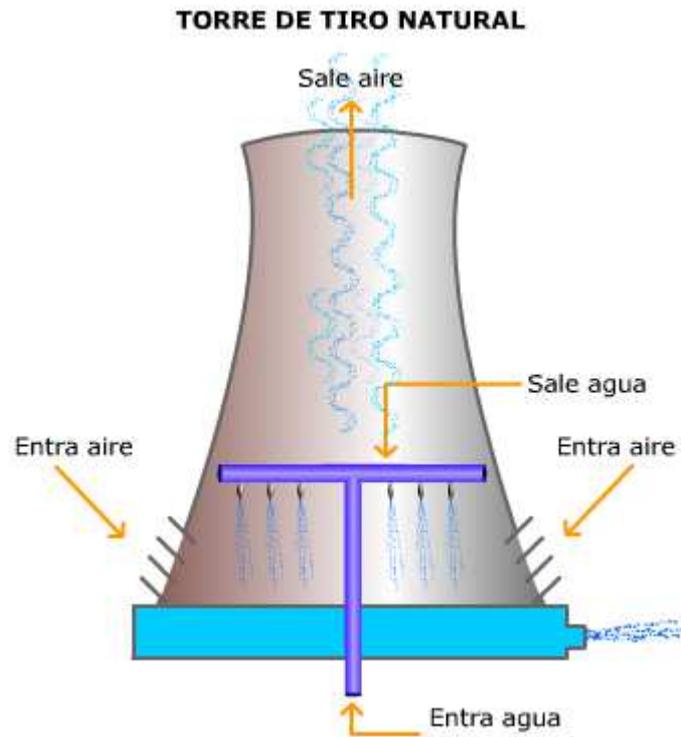


Figura # 2.8. Torre de tiro natural

2.4.3. Torres de tiro mecánico

Las torres de tiro mecánico son aquellas en las que se utilizan ventiladores para mejorar o controlar el flujo de aire que entra a la torre. Estas son muy eficaces y dan un buen control sobre las condiciones de salida del agua pero presentan altos costos de operación y mantenimiento en comparación con las torres de circulación natural. Existen dos tipos principales de torres de tiro mecánico:

2.4.4. Torres de tiro forzado

En las torres de tiro forzado el ventilador aspira aire del ambiente y lo impulsa por los rellenos, este tipo de torres es más eficiente

que el de tiro inducido, esto se debe a que el ventilador mueve aire frío.

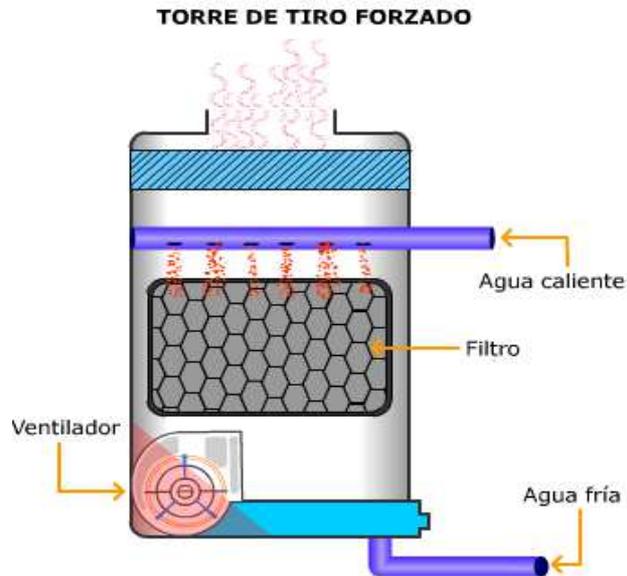


Figura # 2.9.- Torre de enfriamiento de tiro forzado

2.4.5. Torres de tiro inducido

En este tipo de torre los ventiladores despojan el aire del interior de la torre para luego despedirlo al exterior por la parte superior. Es el tipo de torre más utilizado en la industria.

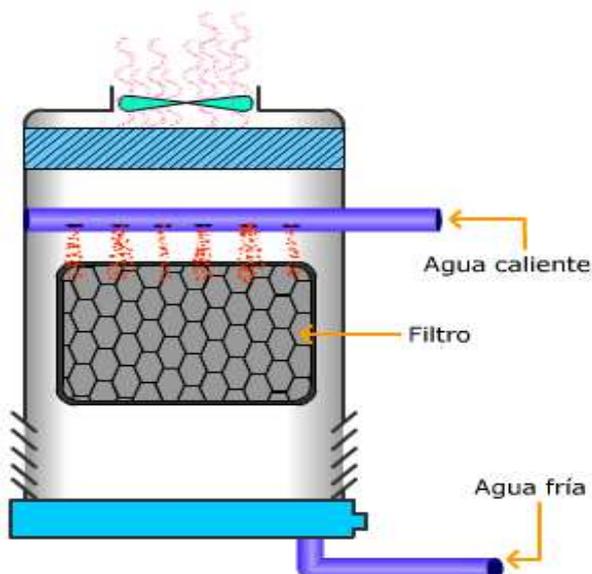


Figura # 2.10.- Torres de tiro inducido.

2.4.6. Torres de flujo cruzado

En este tipo de torres el aire entra a la torre por los lados, este fluye horizontal mente y pasa por el agua que cae. El aire que entra por los lados se encuentra en un pasaje interno y dejan la torre por el tope. Estas torres requieren una cantidad más elevada de aire, además de tener un costo de operación bajo

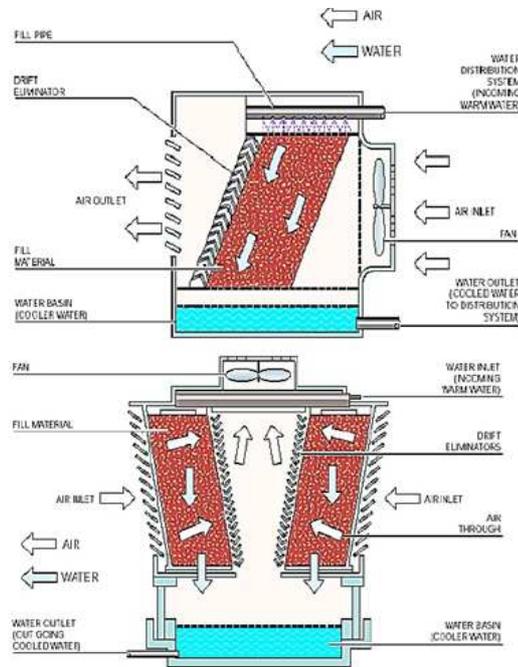


Figura # 2.11.- Torres de flujo cruzado.

2.5. Componentes básicos

La mayoría de las torres de enfriamiento disponen de 7 elementos básicos que se describen a continuación:

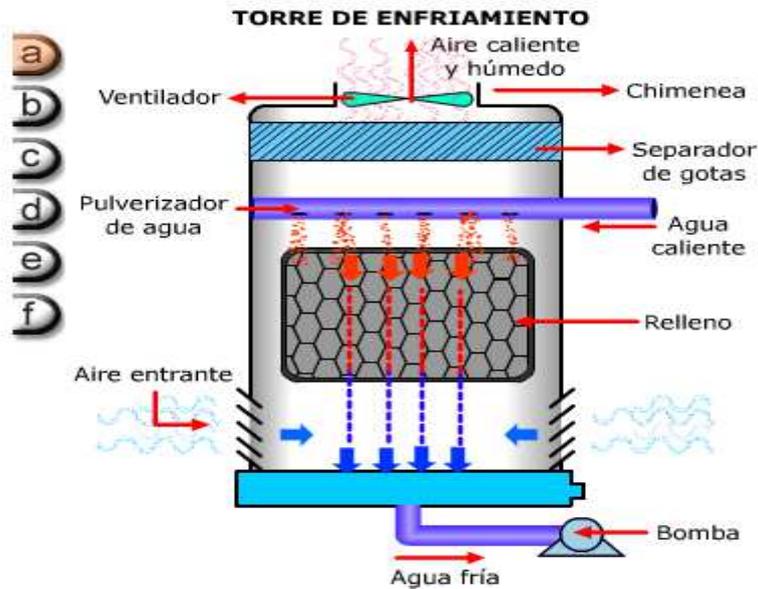


Figura # 2.12.- Torres de enfriamiento

2.5.1. Sistema de distribución de agua.

Este sistema se refiere al proceso de vertido del agua sobre las torres. Hay dos tipos de sistema de distribución del agua, el que trabaja por gravedad y el que trabaja por presión.

El sistema de distribución de agua por gravedad está formado por un recipiente y unos agujeros que distribuyen el agua, tienen bajo costos de operación a causa de que no tiene mucha potencia de bombeo y su mantenimiento es fácil. Aunque generalmente no se utiliza en las torres en contra flujo porque se muestran dificultades en la distribución uniforme del agua.

En el sistema de distribución de agua por presión está compuesto por sistemas de pulverización con toberas direccionadas hacia abajo que suelen tener forma de espina de pescado o rotativas. Estas dan un buen funcionamiento al sistema pero su mantenimiento es frecuente y el consumo de energía también se eleva.

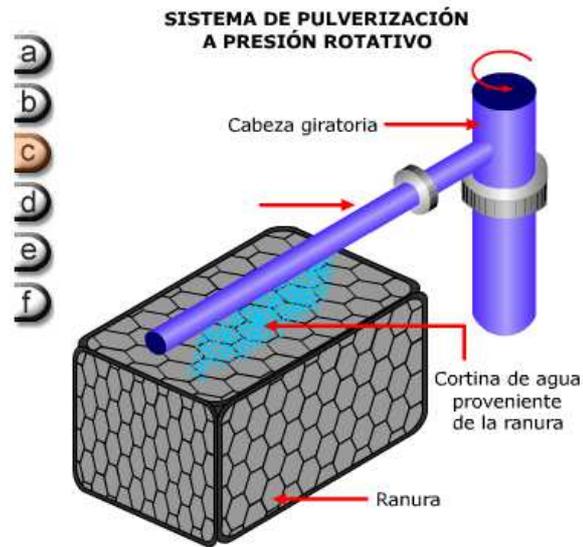


Figura # 2.13.- Sistema de pulverización a presión rotativo.

2.5.2. Relleno

El relleno en las torres de enfriamiento es el empaquetado o estructura que se encuentra en su interior, y su finalidad es acelerar el proceso de disipación de calor mediante la acción de brindar mayor tiempo y área de contacto del aire con el agua. El relleno debe mantener una distribución uniforme del agua además de dar un poco resistencia al paso de aire.

Pueden diferenciarse dos tipos de relleno: de goteo y de película o laminares. En los rellenos de goteo las gotas de agua caen sobre una serie de pisos superpuestos que van haciendo la gota cada vez más pequeña. Puede presentar arrastre de gota, por lo que se recomienda el uso de eliminadores de gota. Los rellenos laminares proporcionan mayor capacidad de enfriamiento, son más eficientes y no producen tanto goteo al exterior del equipo, sin embargo requiere un mantenimiento más frecuente.

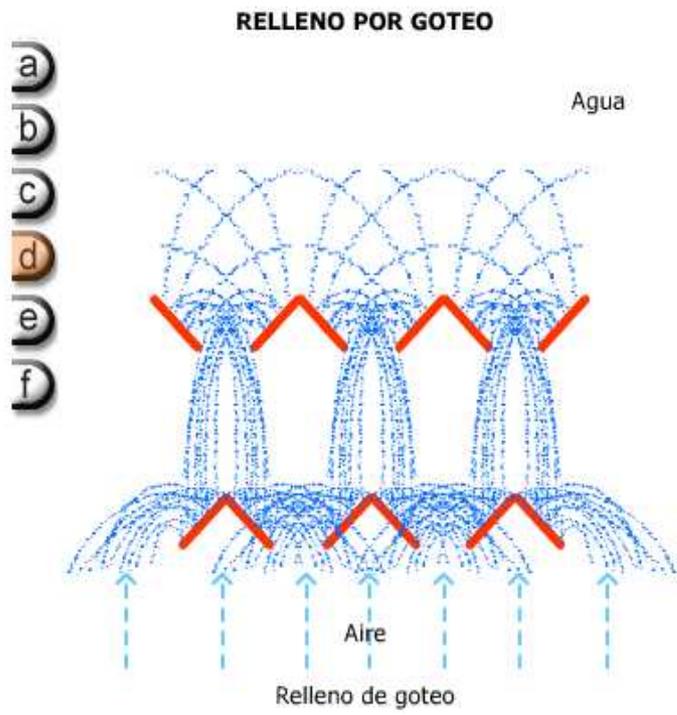


Figura # 2.14.- Relleno por goteo

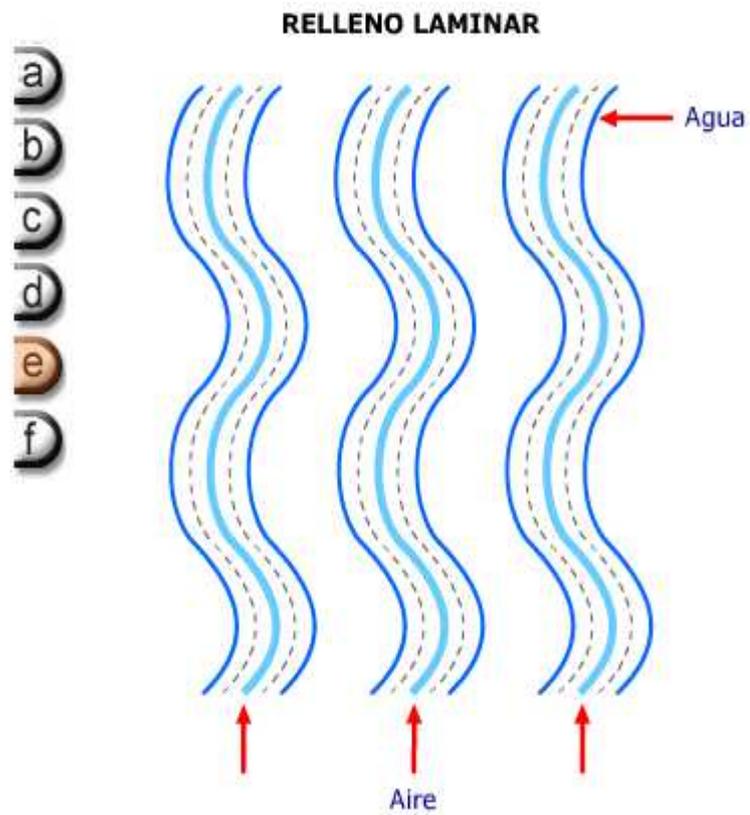


Figura # 2.15.- Relleno laminar

2.5.3. Eliminadores de gotas.

Los eliminadores de gotas cumplen con la función de retener las partículas de agua o gotas arrastradas por el aire que escapan de la torre.

Se los puede describir como paneles los cuales se ubican en la parte superior de la torre y cumplen la función de re direccionar el flujo además de aislar las gotas del aire, haciendo que caigan nuevamente en el relleno de la torre

Cumplen dos funciones fundamentales que son reducir la reposición del agua y evitar la creación de ambientes saturados que puedan afectar las torres adyacentes.

2.5.4. Chimeneas

Son utilizadas generalmente en las torres de tiro inducido con el fin de mejorar el funcionamiento o acción del ventilador, evitando efectos de recirculación de aire.

2.5.5. Ventiladores

Los ventiladores son de mucha importancia para la transferencia de calor de las torres de enfriamiento, los utilizados en las torres de enfriamiento son dos tipos:

Los *axiales*, utilizados generalmente para las torres de enfriamiento de tiro forzado e inducido que sirven para extraer el aire hacia afuera; y, los *centrífugos* para torres de tiro forzado, utilizados para mover enorme volúmenes de aire y con aplicaciones mayores en grandes equipos industriales; y, los centrífugos, mismos que son utilizados para impulsar caudales pequeños que a su vez presentan grandes caídas de presión.



Figura # 2.16.- Ventilador axial para tiro inducido



Figura # 2.17.- Ventilador

2.5.6. Bombas

La finalidad de la bomba es recibir el agua del proceso y alimentar a la torre. Estas requieren energía eléctrica para su funcionamiento por lo que necesita de una parte importante de la potencia requerida en el sistema.



Figura # 2.18.- Bomba de agua

2.5.7. Eliminadores de gotas

Los eliminadores de gotas cumplen con la función de retener las partículas de agua o gotas, arrastradas por el aire que escapan de la torre.

Se los puede describir como paneles los cuales se ubican en la parte superior de la torre y cumplen la función de redireccionar el flujo además de aislar las gotas del aire, haciendo que caigan nuevamente en el relleno de la torre. Cumplen dos funciones fundamentales que son reducir la reposición del agua y evitar la creación de ambientes saturados que puedan afectar las torres adyacentes.

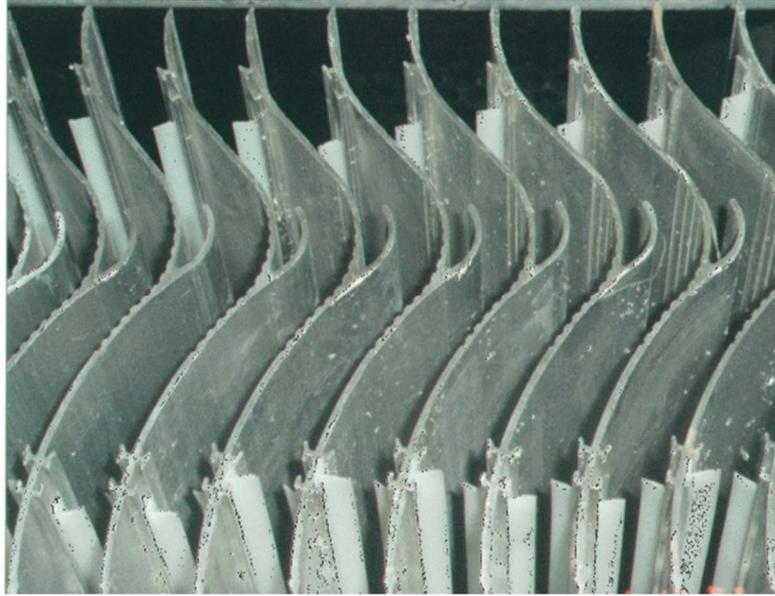


Figura # 2.19.- Separador de gotas

2.6. Importancia de las torres de enfriamiento.

En la industria la mayoría de los procesos que suceden hacen uso del agua en cualquiera de sus estados (líquido, sólido y gaseoso) para usarla como calefacción o para enfriamiento.

El agua como refrigerante es de mucha importancia ya que tiene propiedades que hacen que esta sea eficiente en la transferencia de calor.

Debido a esto a través del tiempo se ha diseñado diversos aparatos para el acondicionamiento de agua siendo las torres de enfriamiento las más comunes, ya que cumplen con eficiencia la misión de enfriamiento en el caso en que se lo requiera mediante la exposición del agua y el aire por circulación a través de elementos diseñados para que creen o permitan que la exposición de las superficie del agua sea mayor y así facilitar el proceso de transporte de materia y energía.

También otro factor importante es el uso continuo del agua de enfriamiento ya que las torres de enfriamiento permiten que no se

deseche el agua al exterior ya que la utiliza una y otra vez en un ciclo de recirculación.

Siendo la torres de enfriamiento un sistema eficiente de transferencia de calor y reutilización del agua, y esto trae beneficios económicos y ambientales.

2.7. Fundamentos del método de enfriamiento.

Las plantas o industrias ya sean que operen con combustibles fósiles van a generar calor excesivo y estas van a necesitar un sistema de enfriamiento por circulación de agua para remover ese exceso de calor y transferirlo al ambiente.

Por lo que algunas plantas o industrias aprovechan su localización ya que están cerca de ríos o esteros y usan torres de enfriamiento como un método eficaz para disipar el calor que excede.

Y las plantas o industrias que no se encuentran localizadas en zonas estratégicas en los cuales se hallen ríos o esteros van a necesitar de torres de enfriamiento para remover el calor sobrante del agua circundante.

2.7.1. Aire y psicrometría

El aire atmosférico es una mezcla de gases compuesta principalmente por nitrógeno y oxígeno, sin embargo existen otros como el vapor de agua y otros. En este sentido el aire seco consiste en la mezcla de vapores sin agua, el aire saturado corresponde a la mezcla con la cantidad máxima de agua que es posible estar en la fase de vapor. Cuando ocurre esto, no es capaz de recibir más agua en forma de vapor y por lo tanto, cualquier intento en ello provocaría la condensación del vapor, generándose la lluvia. De allí la importancia de conocer los principales parámetros que rigen el comportamiento de

esta mezcla, entre ellos la temperatura de bulbo seco, húmedo, de rocío; presión parcial; humedad absoluta y relativa; y, entalpía.

La temperatura de bulbo seco, es la temperatura medida con un termómetro cuyo bulbo o sensor se encuentra en contacto directo con el sistema, se expresa en °C o °F; la de bulbo húmedo, es medida con un termómetro cuyo bulbo o sensor se encuentra cubierto de un material humedecido con agua. El paso del aire en contacto con el termómetro cuyo bulbo está húmedo, provoca la evaporación del agua hasta que se logra la saturación del aire.

La temperatura que registra dicho termómetro es inferior a la observada en un termómetro de bulbo seco, debido a que la evaporación del agua en el bulbo húmedo requiere calor que se toma del termómetro logrando su enfriamiento; la temperatura de rocío que es la temperatura del aire en condiciones de saturación. Se evalúa determinando la temperatura de saturación a la presión de vapor en la mezcla.

Cuando ocurre la saturación la temperatura de bulbo húmedo, seco y punto de rocío tienen el mismo valor; la presión parcial, que según la ley de Dalton, en una mezcla de gases se denomina presión parcial de un componente a la presión que éste ejercería si ocupara todo el volumen que ocupa la mezcla. En el aire atmosférico se tiene que $P_{Total} = P_{vapor} + P_{aire\ seco}$. Normalmente la fracción de presión del vapor de agua no supera el 5% de la presión total, sin embargo esa pequeña fracción es determinante en las condiciones del aire; la humedad absoluta que es la relación entre la cantidad másica de vapor de agua y la cantidad másica de aire seco contenida en una muestra; la humedad relativa que es la relación que existe entre la presión del vapor en la mezcla y la presión de saturación del vapor de agua a la temperatura de bulbo seco en que se encuentra la mezcla.

Puede definirse también como la relación entre la masa de vapor de agua de la muestra y la máxima cantidad de vapor de agua posible a

las condiciones dadas; y, la entalpía, que no es otra cosa que el contenido energético de cierta sustancia. Para el caso del aire atmosférico es la suma de la energía asociada al aire seco y la energía asociada al vapor de agua (E-URE, 2015).

Carta psicrométrica es una representación gráfica de las propiedades termodinámicas de una mezcla aire-vapor de agua. En ellas se puede dibujar un proceso ubicando los diferentes estados. Una línea horizontal a humedad absoluta constante representa un proceso de calentamiento o enfriamiento; una línea diagonal paralelas a las líneas de entalpía constante o a las de temperatura de bulbo húmedo constante, representa un proceso de evaporación o de desorción; entre otros. En el archivo adjunto se presenta una hoja de cálculo que permite calcular las propiedades psicrométricas a partir de la temperatura de bulbo húmedo y la humedad relativa (E-URE, 2015).

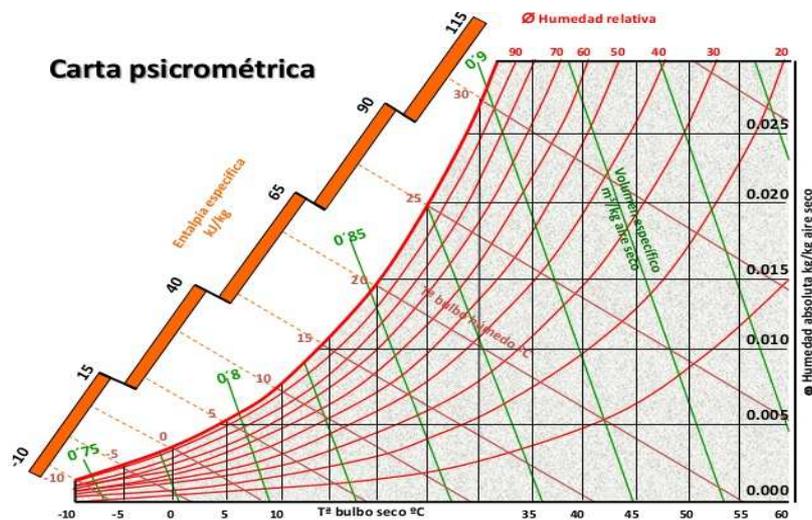


Diagrama # 2.1.- Propiedades termodinámicas de una mezcla aire-vapor de agua.

Acercamiento. Es la diferencia de temperatura entre el agua que sale de la torre y la temperatura de bulbo húmedo del aire que entra. Mientras menor sea el acercamiento mayor será el tamaño de la torre. Un acercamiento típico está por el orden de los 7°C, llegando hasta 3 o

4°C. En la figura a se muestra una gráfica sencilla donde se distingue el acercamiento (E-URE, 2015).

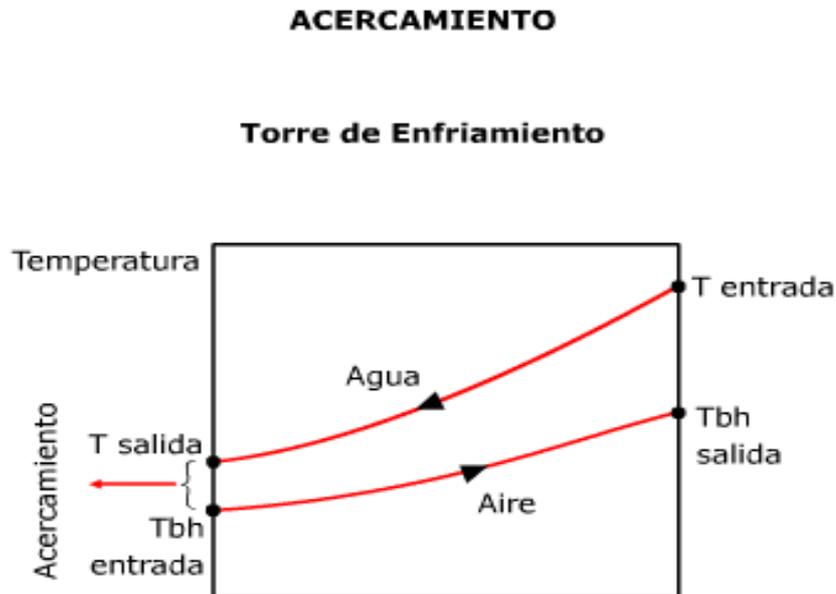


Diagrama # 2.2.- Acercamiento

Salto térmico, es la diferencia de temperatura entre el agua fría que sale de la torre y el agua caliente que entra. Determina la carga térmica de la torre y es un parámetro de selección importante. En la figura se presenta una gráfica sencilla donde se distingue el salto térmico. Una torre eficiente y bien seleccionada brinda, en condiciones atmosféricas favorables, un salto térmico cercano a los 10°C.

Cuando las condiciones ambientales no son buenas, es decir, la temperatura de bulbo húmedo es alta y/o la humedad relativa está por encima del 75%, no pueden esperarse buenos saltos debido a que la evaporación de agua se ve reducida (E-URE, 2015).

SALTO TÉRMICO

Torre de Enfriamiento

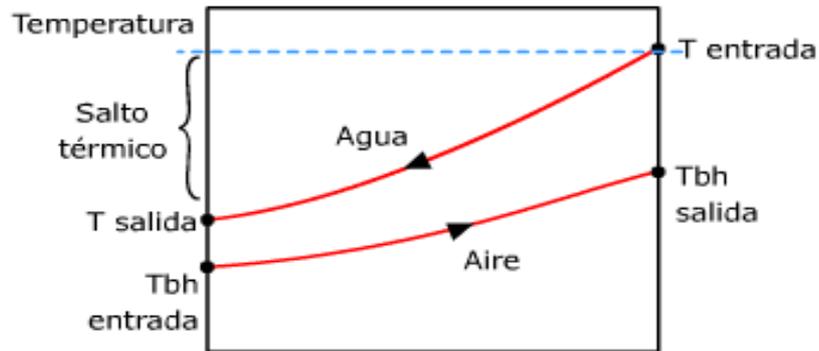


Diagrama # 2.3.- Salto térmico

2.7.2. Humidificación

La humidificación es el estudio de mezclas de aire y vapor de agua y es aplicable a cualquier mezcla constituida por gas y vapor

Este proceso se lleva a cabo cuando parte del agua se vaporiza en el aire tomando el calor del propio aire, es decir cuando un líquido puro hace contacto con un gas, logrando mediante esta interacción que se descienda la temperatura por lo tanto, se considera que la humidificación una transferencia de materia y calor.

Los procesos de humidificación son de suma importancia por sus aplicaciones en el campo industrial ya que pueden servir para controlar la humedad de un lugar o para enfriar o recuperar agua mediante los principios de la misma.

Debido a la importancia del agua de enfriamiento en procesos industriales el reúso y enfriamiento de la misma se ha hecho muy común e indispensable.

Es por eso que hay muchos equipos de humidificación siendo las torres de enfriamiento una de las más sobresaliente debido a su aplicabilidad ya que la torre de enfriamiento tiene por objetivo enfriar el agua aprovechando el proceso de humidificación que proviene cuando el agua se satura de humedad, incrementando el calor latente de vaporización, el mismo que absorbe del agua, disminuyendo su temperatura.

2.8. Simbología

HOH: Altura de la unidad de transferencia (m)

NOH: Número de unidades de transferencia

L: Flujo total del líquido (Kg-mol/hm²)

Gv: Flujo de aire (Kg/hm²)

Kya: Coeficiente volumétrico de transferencia de materia (Kg/hm³)

dH: Variación de la Entalpía (Kcal/Kg)

H1: Entalpía de entrada (Kcal/Kg)

H2: Entalpía de salida (Kcal/Kg)

H: Entalpía de aire saturado (Kcal/Kg)

H*: Entalpía de aire saturado

ΔP: Pérdida de presión

U: Velocidad del aire (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

ptotal: Presión atmosférica de Riobamba (mm Hg)

Q: Caudal del líquido (m³/h)

S: Área de la torre (m²)

T: Temperatura (°C)

Te= Temperatura de entrada del agua (°C)

Ts= Temperatura de salida de agua (°C)

Tw= Temperatura de bulbo húmedo (°C)

Z: Altura de la torre (m)

d: Diámetro de la tubería (m)

CPL: Capacidad calorífica (Kcal/Kg°C)

V = Volumen (L)

t= Tiempo(s)

P = Presión (mm Hg)

ρ= Densidad (Kg/m³)

Pw = Presión de vapor de agua (mm Hg)

G/L = Relación flujo aire y flujo líquido

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En todo proceso de diseño se requiere procedimientos que son formulados de una manera lógica para la adquisición de información y cumplimiento de objetivos.

Este estudio tiene carácter **descriptivo experimental** de tal forma que permite responder a las interrogantes que se presentan, producto del proceso de mejoramiento de los motores de combustión interna que proporcione un eficiente sistema de refrigeración de agua del taller de la Carrera de Ingeniería Mecánica Naval de la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí, seleccionando los medios y procesos más adecuados.

Así mismo es **inductivo**, porque partiendo del diagnóstico que permite diseñar, calcular y construir una torre de enfriamiento tipo lluvia y sistema forzado, para motores de combustión interna para posteriormente proporcionar un eficiente sistema de refrigeración de agua para los motores, y, luego de lo cual se calculó los valores correspondientes de diseño de la torre para su construcción y posterior verificación de su funcionamiento.

Es **deductivo** ya que en el desarrollo del estudio se parte de fundamentos y principios de la termodinámica, transferencia de materia y operaciones unitarias, partiendo así del diseño, cálculo y construcción de una torre de enfriamiento tipo lluvia y sistema forzado y su eficiente sistema de refrigeración de agua para motores, lo cual, es de gran ayuda para obtener los cálculos necesarios y la determinación de las variables del proceso con el fin de obtener la caracterización y muestreo apropiado en cuanto al mejor diseño se refiere.

Es **experimental** porque los métodos utilizados dentro de esta investigación son gravimétricos, volumétricos, físico-químicos e instrumentales. Los gravimétricos se basan en la determinación de pesos de la muestra a ser utilizada en las reparaciones; los volumétricos se basan en la determinación de

volúmenes para la toma de muestras y calibración de los equipos; los físico-químicos miden las propiedades diferentes a masa y volumen; y, los instrumentales de análisis como colorimetría, espectroscopía, con considerados como análisis físico-químicos representativos. Los mismos nos permitirán probar la validez de nuestros objetivos.

3.1. Técnicas

Es indispensable en el proceso de la investigación científica, ya que integra la estructura por medio de la cual se organiza el diseño, a través de formas generales la cual permitirá la recopilación de información para enunciar las teorías que se basan en el estudio de los fenómenos y procesos.

3.2. Técnica de Campo

Se realiza mediante el empleo y análisis de los diferentes diagramas, los cuales serán de gran ayuda dentro de la investigación del diseño, cálculo y construcción.

3.3. ACTIVIDADES

3.3.1. Diseñar una torre de enfriamiento tipo lluvia y sistema forzado para motores de combustión interna en los motores del taller de la Carrera de Ingeniería Mecánica Naval de la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”.

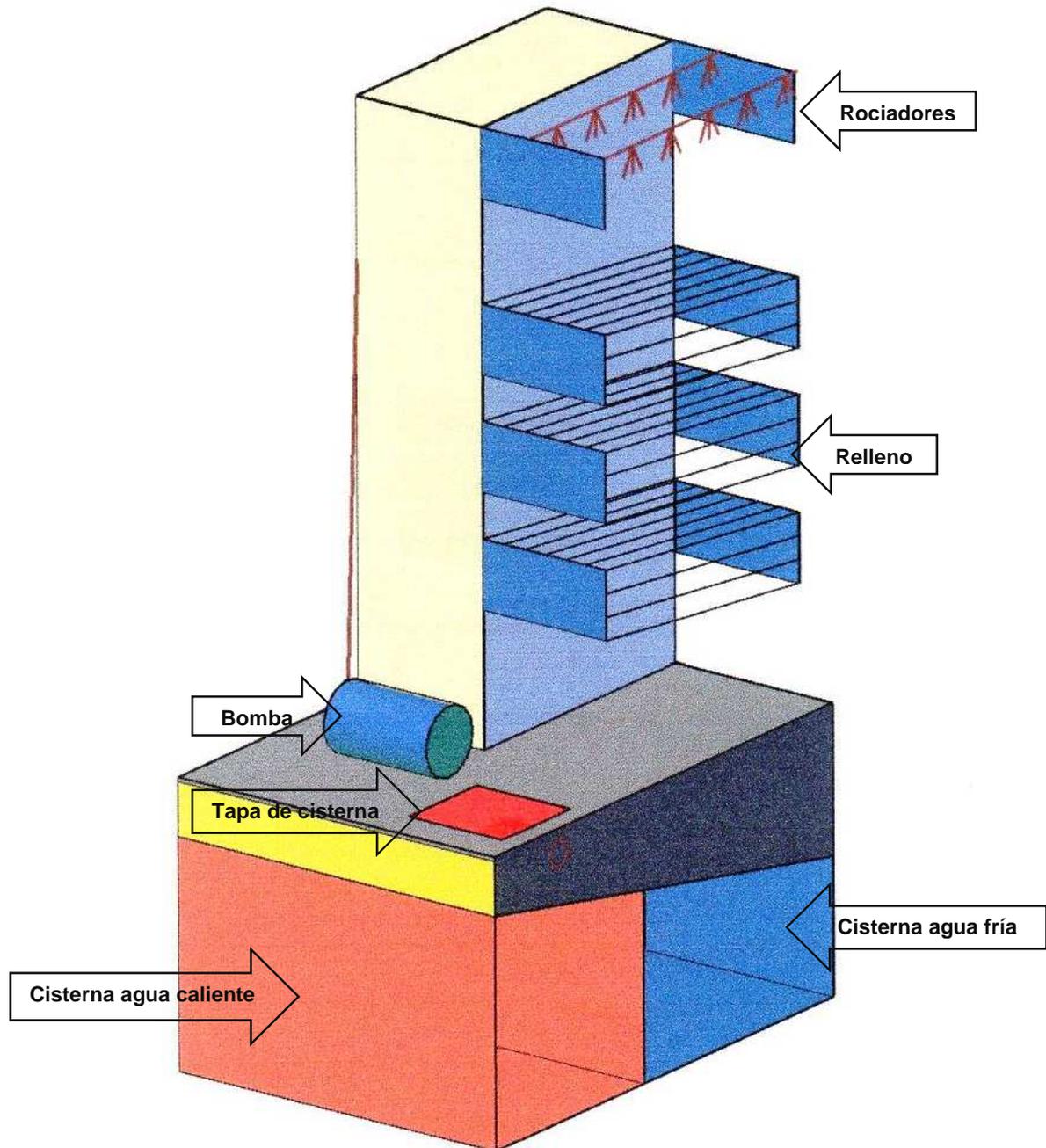


Figura # 2.20.- Estructura de torre de enfriamiento

3.3.2. Calcular una torre de enfriamiento tipo lluvia y sistema forzado, para motores de combustión interna para los motores del taller de la Carrera de Ingeniería Mecánica Naval de la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”.

DATOS DE PARTIDA

TEMPERATURA DE BULBO SECO, HUMEDAD RELATIVA Y VELOCIDAD DEL VIENTO

Es la temperatura medida en un ambiente seco. Para establecer este parámetro se recurre a los datos proporcionados por el INAMHI, por ejemplo para el período 1981 – 2010 se estableció una temperatura media de 25,6°C en la ciudad de Manta y para el año 2013 una media de 26,5°C.

Sin embargo como los equipos funcionaran, en el día, se tomara una temperatura de diseño de 29°C.

En lo que respecta a la humedad relativa, esta varia con las condiciones que se representan durante el día y de la misma fuente se toma una humedad relativa de 74%.

La velocidad del viento fluctúa entre 11 km/h y 16km/h pero se tomara como media 13.5km/h.= 3,75 m/s.

TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO

Es la temperatura que se obtiene con un termómetro bajo sombra, con el bulbo envuelto en una mecha de algodón húmedo bajo una corriente de aire.

La temperatura de bulbo húmedo es importante, ya que condiciona la refrigeración del sistema, constituyéndose en un límite inferior de refrigeración por debajo del cual no se puede enfriar.

Esta temperatura, es la temperatura de saturación adiabática del aire, en otras palabras, la temperatura con una humedad de 100%.

Empleando el diagrama psicrométrico se puede hallar esta temperatura con el siguiente procedimiento:

Localizamos la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa. Se avanza por la línea de la misma entalpia hasta llegar a la línea de saturación (humedad 100%) Descendemos verticalmente hasta llegar al eje de las abscisas, que nos indica la temperatura de bulbo húmedo de 25.2°C.

Al llegar al eje de las abscisas, que nos indica la temperatura de bulbo húmedo de 25,2°C.

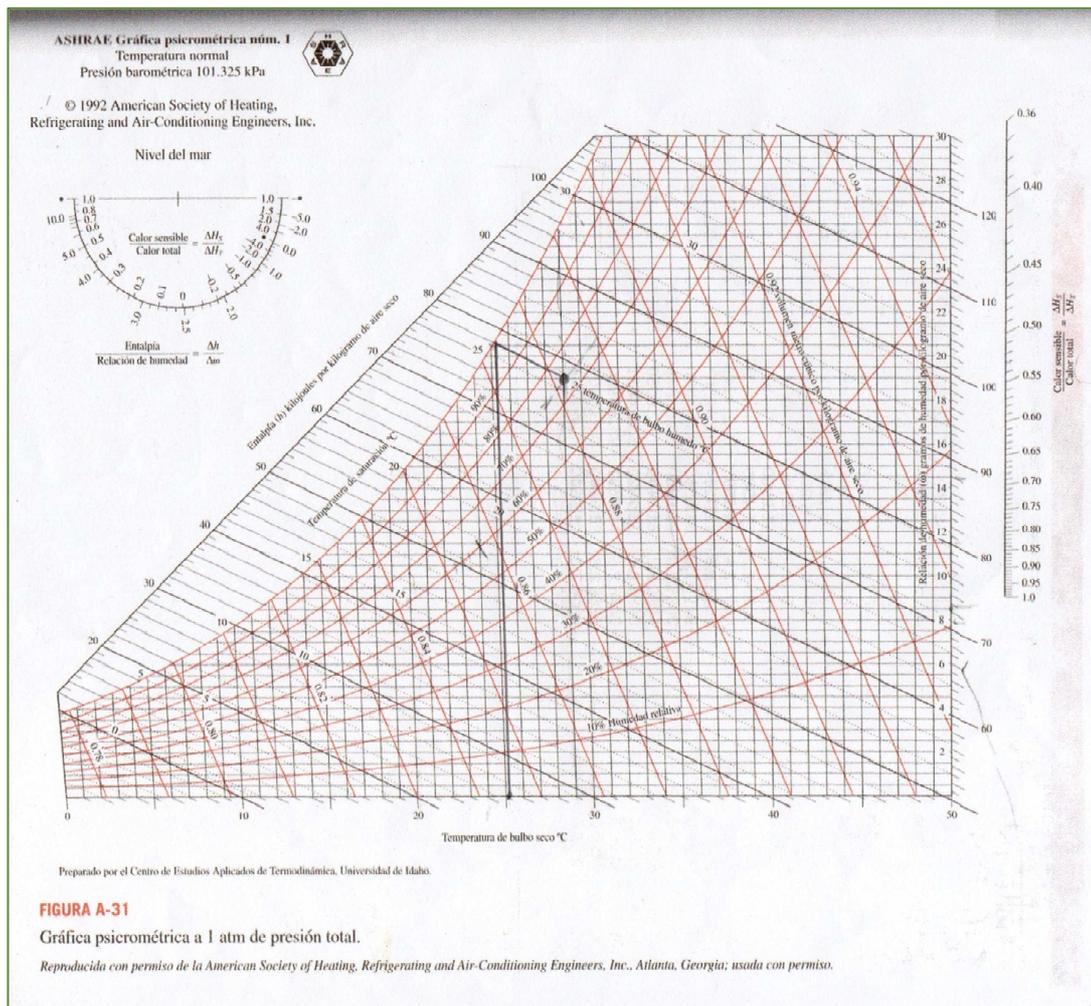


Diagrama # 2.4.- Diagrama Psicrométrico

Salto térmico: Según Kates (1982), si la diferencia de temperatura del agua a la entrada y a la salida es alta, significa más deformación a causa de la dilatación térmica, y por tanto más tensiones al metal. Si se limita la elevación de la temperatura, se consigue reducir el riesgo de formación de bolsas de vapor y zonas calientes localizadas (Kates, 1982, p. 453).

La función del refrigerante es mantener una temperatura entre 85°C y 95°C para un buen funcionamiento del motor. Alrededor de los 80°C el termostato se abre y permite la circulación del refrigerante saliendo del motor y pasando al radiador.

El salto térmico es la diferencia de temperatura entre el agua caliente procedente de los motores que deseamos enfriar y el agua que sale de la torre una vez enfriada, y que de acuerdo a lo expuesto en párrafos anteriores, para nuestro caso es:

Temperatura del agua procedente de los motores = 90°C.

Temperatura de ingreso a los motores = 80°C.

Salto Térmico = 90°C – 80°C = 10°C.

CÁLCULOS DE CAUDALES

Se va a calcular el caudal que circula por la torre a partir de la ecuación:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta t \quad (3.1)$$

En donde:

\dot{Q} = potencia térmica (kw)

\dot{m} = flujo másico (Kg/s)

C_p = calor específico (Kj/Kg°C)

Δt = salto térmico (°C)

El valor de \dot{Q} se obtiene de los cuatro motores que existen en el taller, que suman en su totalidad 250 Kw (65,65, 60 y 60). Por lo tanto:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{C_p \cdot (\Delta t)} = \frac{250 \text{ kW}}{\left(4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}\right) (10^\circ\text{C})} = 5.97 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Tabla No. 1: Propiedades de líquidos, sólidos y alimentos comunes (unidades SI)

Sustancia	Datos de ebullición a 1 atm		Datos de congelación		Propiedades del líquido		
	Punto normal de ebullición, °C.	Calor latente de vaporización h_{fg}	Punto de congelación, °C.	Calor latente de fusión h_{if} kJ/kg	Temperatura °C.	Densidad p. kg/m ³	Calor específico C_p kJ/kg. K
Aceite (ligero)					25	910	1.80
Agua	100	2257	0.00	333.7	0	1000	4.22
					25	997	4.18
					50	988	4.18
					75	975	4.19
					100	958	4.22
Alcohol etílico	78.6	855	-156	108	20	789	2.84
Amoniaco	-33.3	1357	-77.7	322.4	-33.3	682	4.43
					-20	665	4.52
					0	639	4.60
					25	602	4.80
Aragón	-185.9	161.6	-189.3	28	-185.6	1394	1.14
Benceno	80.2	394	5.5	126	20	879	1.72
η -Butano	-0.5	385.2	-138.5	80.3	-0.5	601	2.31
Dióxido de carbono	-78.4*	230.5 (a 0°C)	-56.6		0	298	0.59
Etanol	78.2	838.3	-114.2	109	25	383	2.46
Etiolén glicol	198.1	800.1	-10.8	181.1	20	1109	2.84
Glicerina	179.9	974	18.9	200.6	20	1261	2.32
Helio	-268.9	22.8	--	--	-268.9	146.2	22.8
Hidrógeno	-262.8	445.7	-259.2	59.5	-252.8	70.7	10.0
Isobutano	-11.7	367.1	-160	105.7	-11.7	593.8	2.28
Mercurio	356.7	294.7	-38.9	11.4	25	13.560	0.139
Metano	-161.5	510.4	-182.2	58.4	-161.5	423	3.49
					-100	301	5.79
Metanol	64.5	1100	-97.7	99.2	25	787	2.55
Nitrógeno	-195.8	198.6	-210	25.3	-195.8	809	2.06
					-160	596	2.97
Octano	124.8	306.3	-57.5	180.7	20	703	2.10
Oxígeno	-183	212.7	-218.8	13.7	-183	1141	1.71
Petróleo	--	230-384			20	640	2.0
Propano	-42.1	427.8	-187.7	80.0	-42.1	581	2.25
					0	529	2.53
					50	449	3.13
Queroseno	204-293	251	-24.9	--	20	820	2.00
Refrigerante 134 ^a	-26.1	217.0	-96.6	--	-50	1443	1.23
Salmuera (20% de cloruro de sodio por masa.	103.9	--	-17.4	--	20	1150	3.11
					-26.1	1374	1.27
					0	1295	1.34
					25	1207	1.43

* Temperatura de sublimación (A presiones por debajo de la presión de punto triple de 518 kPa, el dióxido de carbono existe como sólido o como gas. También la temperatura de punto de congelamiento del dióxido de carbono es la temperatura de punto triple de -56.5°C.

Yunus, Cengel (2006) Termodinámica. 5ª. Edic. Edit. Mc Graw Hill.

CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA TORRE

Se supone que cada partícula de agua está rodeada por una película de aire y que la diferencia de entalpía entre el agua y el aire, proporciona la fuerza necesaria para el enfriamiento.

En el diagrama de entalpía vs temperatura pueden apreciar la operación de una torre de enfriamiento.

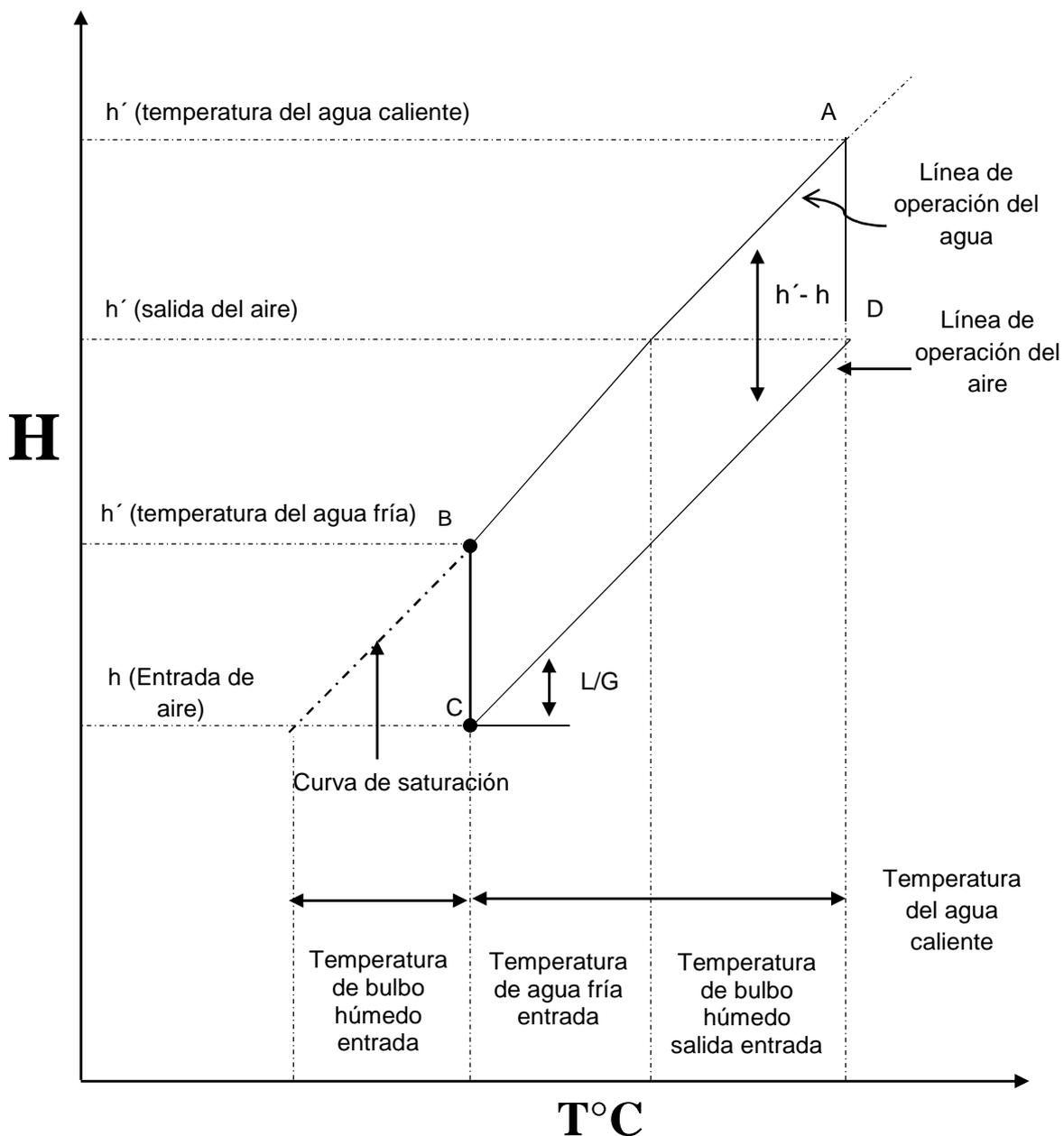


Diagrama # 2.5.- Temperatura de bulbo húmedo

Fuente: Perey, RH y D.W. Manual del Ingeniero Químico. 7ª. Edic. New York. Mc. Graw Hill, 1997. P. 12-17

La línea de operación del agua esté representada por la línea A B y se relaciona con la temperaturas de entrada y salida del agua. La línea de operación del aire inicia en C, debajo de B, y cuya entalpía corresponde a la temperatura del bulbo húmedo o la entrada de la torre. La distancia que existe entre B y C, es la fuerza impulsora (h^1-h). El punto D representa el lugar donde sale el aire y el espectro de enfriamiento está representado por la proyección de la línea CD sobre la escala de temperaturas.

ANÁLISIS DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

En la figura 2.20 se muestra una torre de enfriamiento para éste análisis.

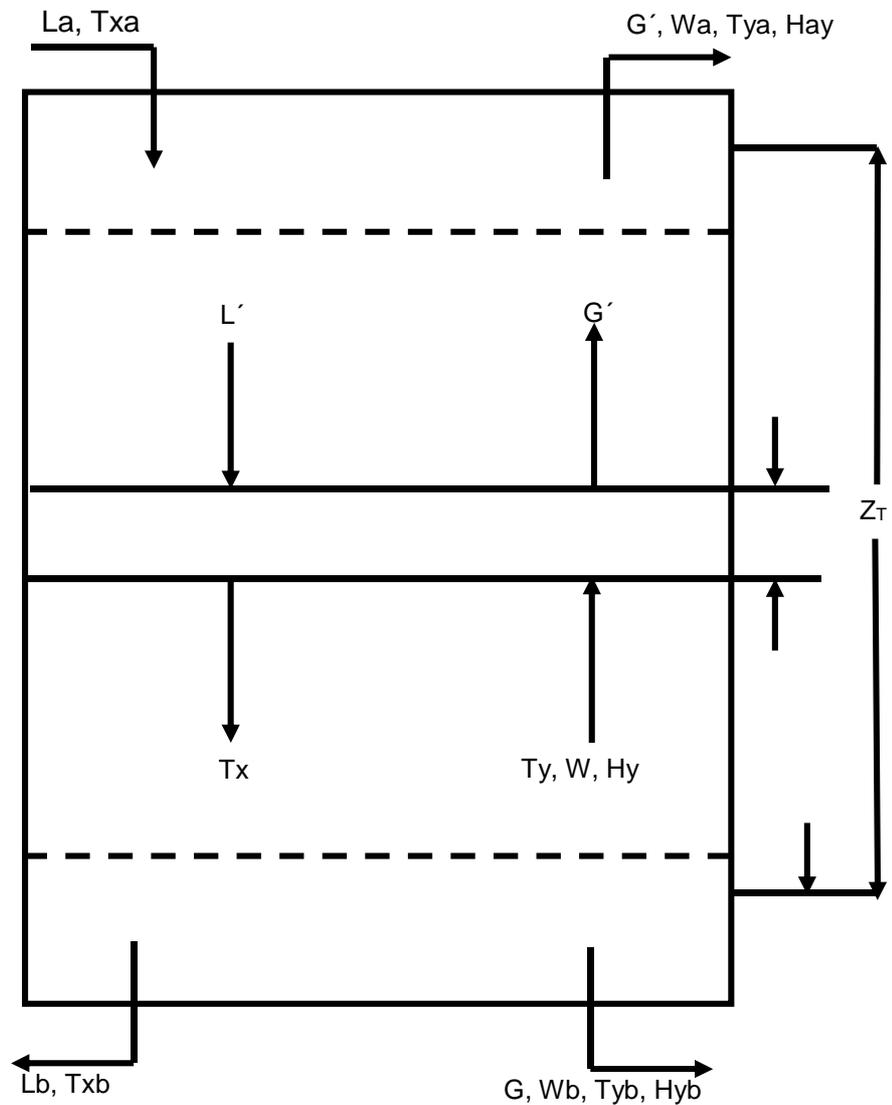


Figura # 2.20.- Diagrama de flujo para un contactor de aire en contracorriente
Fuente: Operaciones Unitarias de Ing. Química. Edit. Mc Graw Hill. México. 2002. P. 661

En donde:

- Wb = Humedad del aire al ingreso de la torre. (Kg vapor de agua/kg aire seco)
Tyb = Temperatura del aire al ingreso de la torre. (°C)
Hyb = Entalpía del aire al ingreso (Kj/kg)
G = Flujo de aire (Kg/s)
G' = Flujo másico de vapor de agua por hora y por unidad de la sección transversal de la torre. (Kg/s)
Wa = Humedad del aire a la salida de la torre. (Kg vapor de agua/kg aire seco)
Tya = Temperatura del aire a la salida de la torre. (°C)
Hya = Entalpía del aire a la salida de la torre. (Kj/Kg)
L = Flujo de agua (Kg/s)
L' = Velocidad másica del agua (Kg/s)
Txo = Temperatura de ingreso de la torre. (°C)
Txb = Temperatura de salida de agua de la torre.(°C)
Tx = Temperatura del agua a una distancia Z del fondo (°C)
W = Humedad del aire a una distancia Z del fondo. (Kg vapor de agua/Kg aire seco)

De acuerdo con MCABE (1) se realiza un balance de entalpia para una sección de la torre dz :

$$G' d Hy = d(L Hx) \quad (3.2)$$

La velocidad del agua varia en la torre muy poco, entre 1 a 2 %, razón por la cual se supone que L es una constante, entonces:

$$G' dHy = L Cp dTx \quad (3.3)$$

El cambio en la entalpia del aire es la variación en el calor sensible mas la variación en la humedad multiplicada por el calor latente de vaporización.

$$d Hy = cs. dTy + \lambda o dw \quad (3.4)$$

Donde : λo = calor latente de vaporización a 0 °C

cs = calor sensible del aire

dw = diferencial de la humedad del aire

El balance total de energía en la torre es :

$$G'(Ha - Hb) = L Cp (Txa - TXB) \quad (3.5)$$

El balance de entalpia en un punto intermedio de la torre es:

$$G'(H_a - H_y) = L C_p(T_{xa} - T_x) \quad (3.6)$$

Siendo el siguiente valor respectivamente :

$$W_b = 74\%$$

$$T_{yb} = 25.2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$H_{yb} = 280.13 \text{ Kj/kg}$$

$$G = 4.26 \text{ Kg/s}$$

$$G' = 3.2 \text{ Kg/s}$$

$$W_a = 81\%$$

$$T_{ya} = 30^\circ \text{ C}$$

$$H_{ya} = 30.22 \text{ Kj/Kg}$$

$$L = 5.97 \text{ Kg/s}$$

$$L' = 5.85 \text{ Kg/s}$$

$$T_{xo} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{xb} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_x = 83 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$W = 78\%$$

La ecuación anterior representa la línea de operación para la torre, y está representada como una línea recta de pendiente $L \cdot C_p/G$ en un gráfico de la entalpía del aire versus la temperatura del agua en el diagrama 2.6.

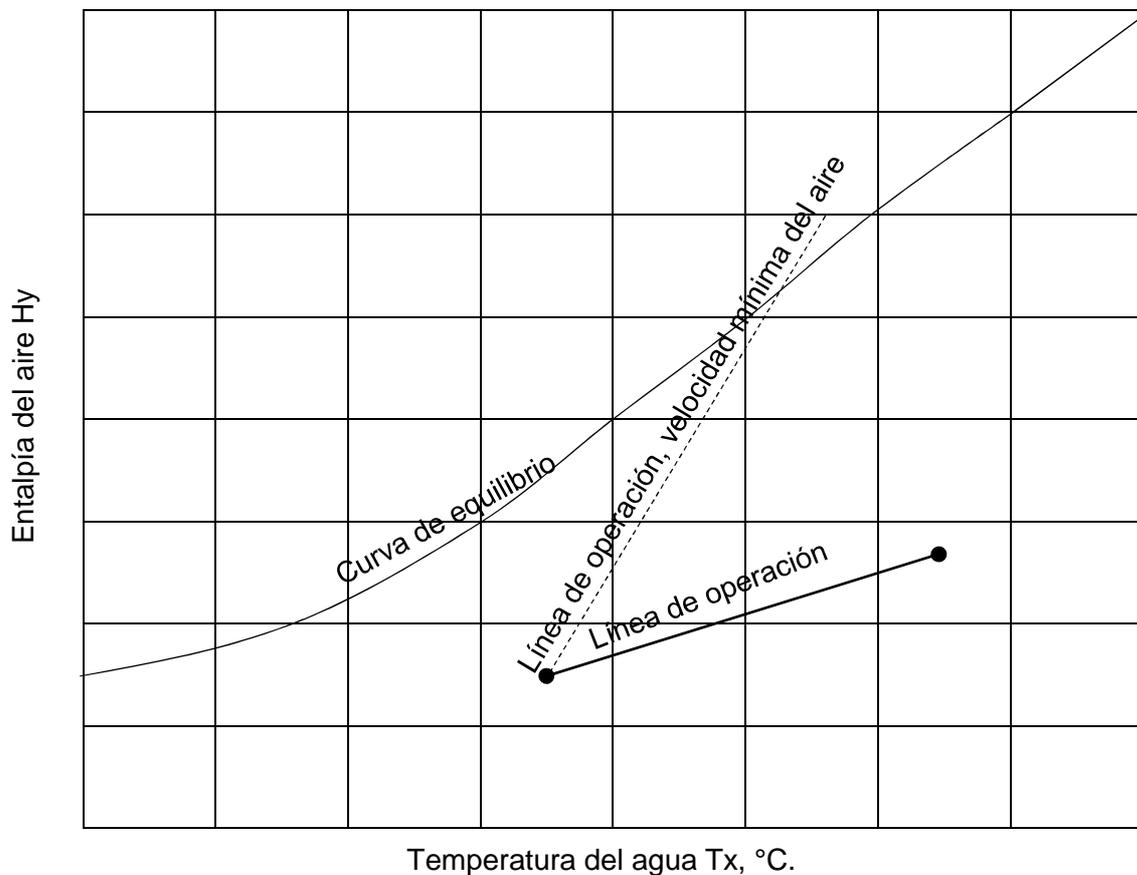


Diagrama # 2.6.- Entalpía del aire versus la temperatura del agua.

Fuente: McCabe, y otros. Operaciones Unitarias de Ingeniería Química. Edit. Mc Graw Hill. México. 2002. Pág. 661.

La línea de equilibrio nos permite encontrar la entalpía del aire saturado con vapor de agua como una función de la temperatura. Cuando se conocen las temperaturas del agua y las condiciones del aire al ingreso de la torre, existe una velocidad mínima de aire que corresponde a la línea de operación que toca exactamente la línea de equilibrio como se muestra en el diagrama 2.6.

Para el estudio presente, en la figura 2.21 se muestran las condiciones para la parte inferior con el sufijo 1 y las condiciones de la parte superior con el sufijo 2, tanto para el aire como para el agua.

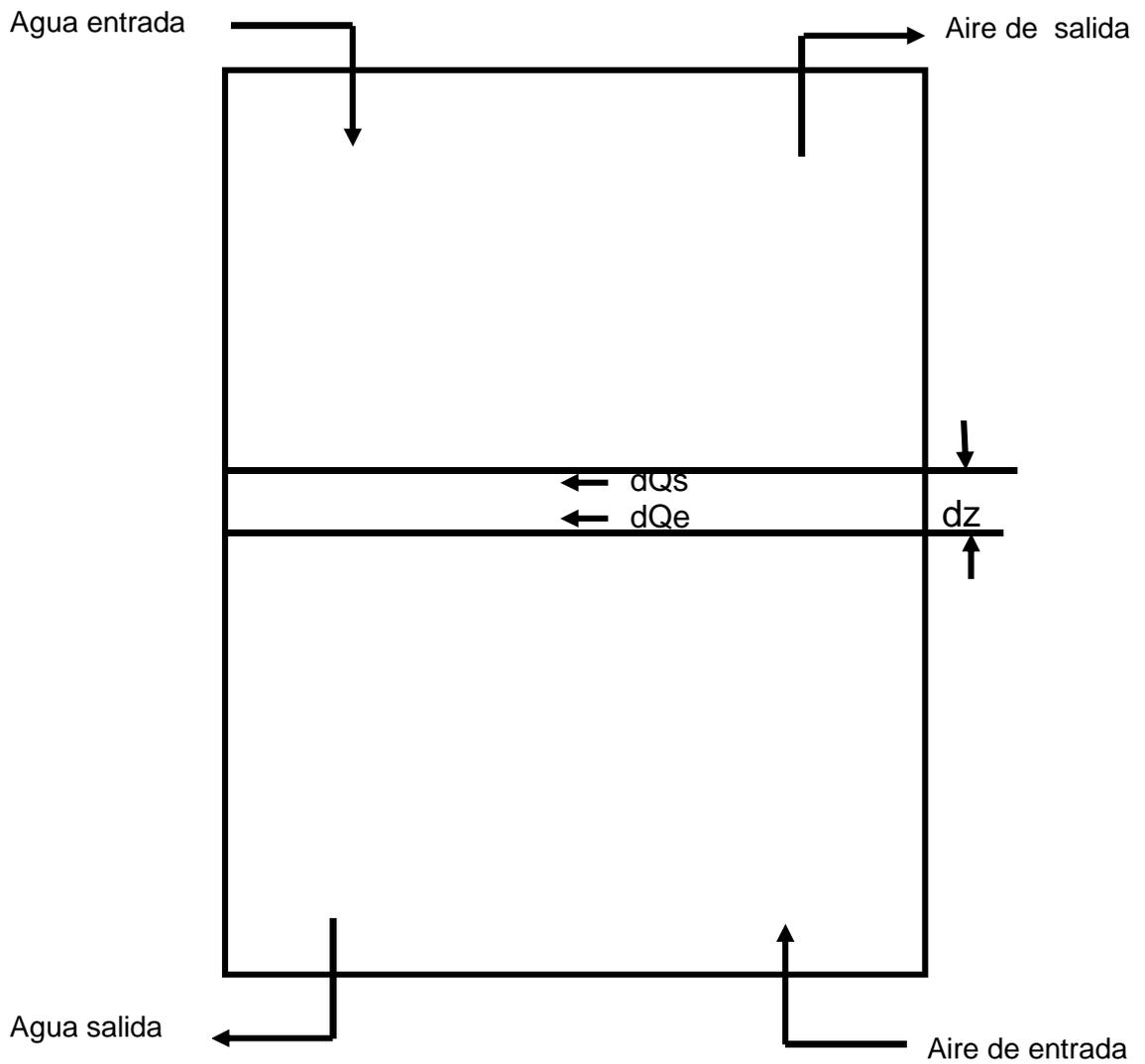


Figura # 2.21.- Diagrama de datos para el diseño de la torre.

Al realizar un balance de energía, en la torre agua dZ , se obtuvo la ecuación 3-3 que indica:

$$G'dHy = L.Cp dTx \quad (3.7)$$

De acuerdo a las condiciones de operación, la ecuación anterior se puede describir de la manera siguiente:

$$G (H_1 - H_2) = L Cp (T2 - T1) \quad (3.8)$$

Se puede despejar la entalpía y este queda:

$$H_1 = H_2 + \frac{L \times CP (T_2 - T_1)}{G} \quad (3.9)$$

Dónde:

- G = Flujo de aire (Kg/s)
- H₁ = Entalpía de ingreso del aire a temperatura de salida del agua. (Kj/Kg)
- H₂ = Entalpía de salida del aire a temperatura de ingreso del agua. (Kj/Kg)
- H₂' = Entalpía de aire saturado a temperatura de ingreso del agua. (Kj/Kg)
- L = Flujo de agua (Kg/s)
- Cp = Calor específico del agua (Kj/Kg°C)
- T₁ = Temperatura de salida del agua (°C)
- T₂ = Temperatura de ingreso del agua (°C)

En la ecuación anterior existe más de una incógnita, por ello para la integración de esta ecuación entre los límites de temperatura, se puede reemplazar en varios puntos sucesivos del rango de enfriamiento y la sumatoria de ellos dará resultado la entalpía en el punto requerido.

FLUJO DE AIRE

En el diagrama 2.7, se puede apreciar de manera general, la operación de una torre de enfriamiento. Para el caso presente, se traza la gráfica 2.7 para las condiciones de operación.

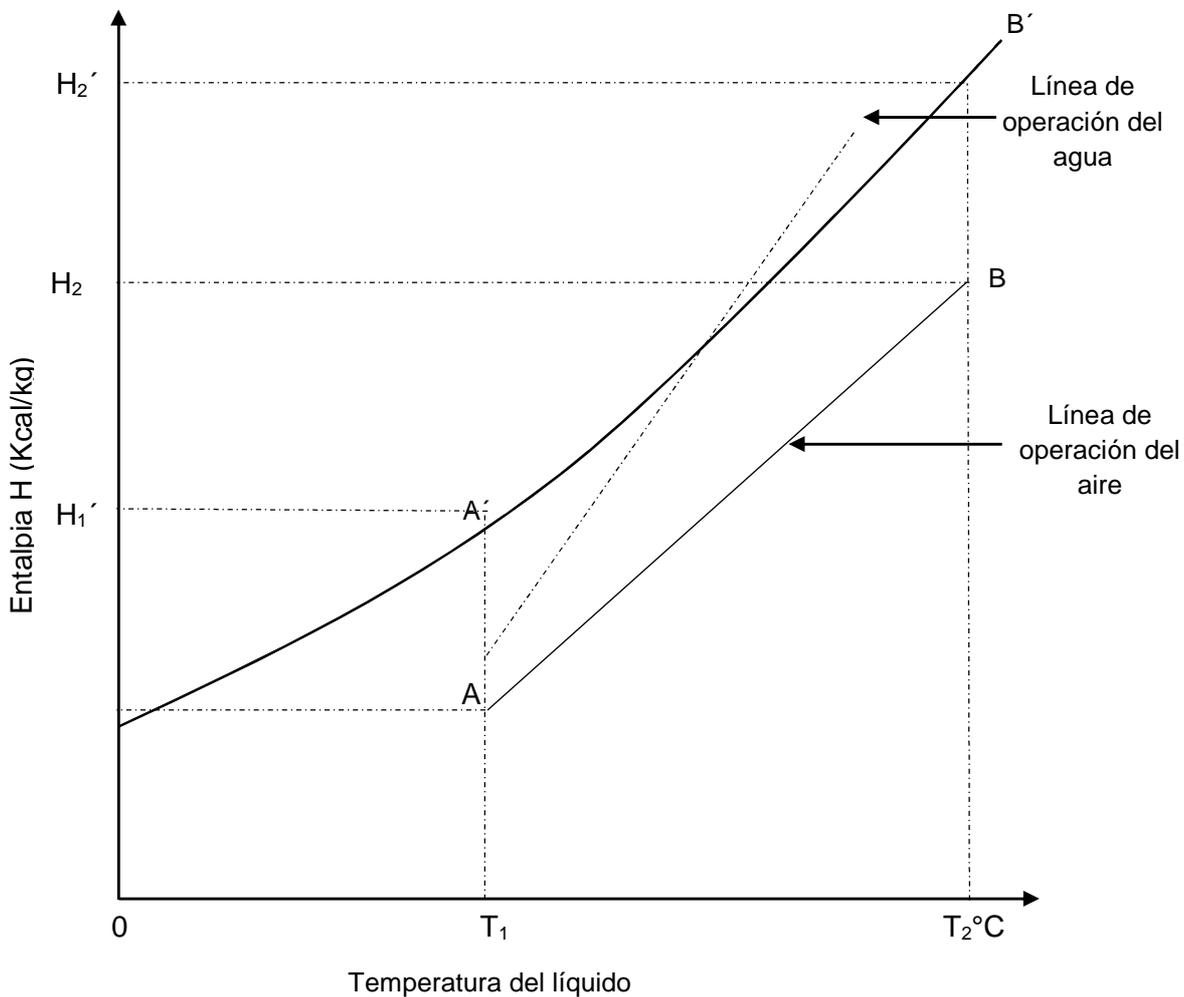


Diagrama # 2.7.- Condiciones de operación de la torre de enfriamiento.

Del balance de entalpía, ecuación (3.6), se tiene que esta ecuación está representada como una recta dependiente $L \cdot C_p/G$.

En la figura 28 la línea de operación del aire pasa por los puntos A y B con una pendiente $L C_p/G$. Es necesario que exista una mayor relación de flujo, por lo que si se traza una recta entre el punto máximo de saturación y el de salida de agua, ésta representa la mayor relación de flujo, se puede determinar el flujo de aire por medio de:

$$\frac{L C_p}{G} = \frac{H_2 - H_1}{T_2 - T_1} \quad (3.9)$$

IMPORTANCIA DE L/G

En el interior de la torre, se produce un contacto entre el agua que desciende y el aire que asciende. En este proceso, parte del aire que ingresa es arrastrado por el agua que desciende, razón por la cual es necesario calcular la cantidad de aire óptimo que debe circular por el interior de la torre, para que la misma funcione correctamente y evitar pérdidas considerables.

El parámetro L/G se deduce de la expresión $L.C_p/G$, que es la pendiente de la recta de la línea de operación, y si se considera que la C_p es casi constante, tenemos entonces el parámetro L/G.

La relación entre ambos valores se representa por curvas características realizadas por el fabricante y especialista líder en torres de refrigeración Hamon, y suministrada por Esindus, empresa española al diseño, suministro, montaje de sistemas de refrigeración.

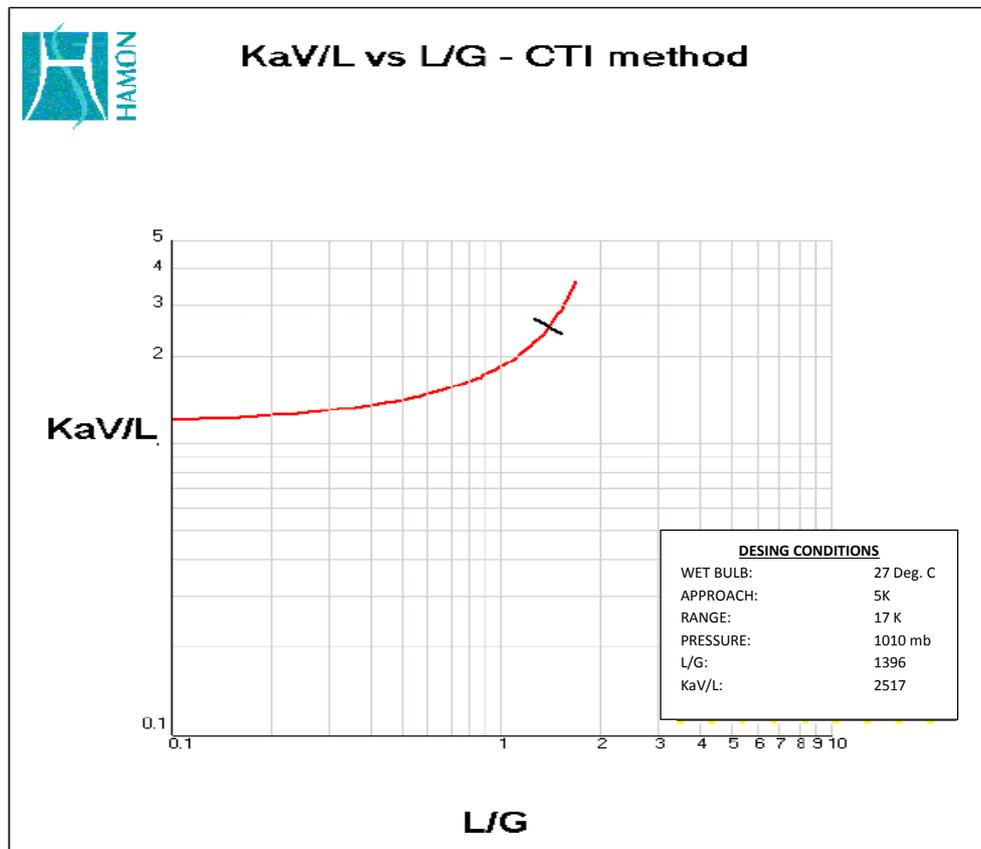


Diagrama # 2.8.- Curvas características L/G.

Dónde:

- K = Coeficiente de temperatura de masa. Es la cantidad de masa que se transfiere del agua al aire por unidad de superficie y unidad de diferencia de humedades. (Kg/m²)
- a = Superficie de contacto por unidad de volumen entre el aire y el agua. (m²)
- V = Volumen de relleno (m³)
- L´ = Caudal de agua (Kg/s)
- G = Caudal de aire (Kg/s)

En conocimiento de donde viene el parámetro L/G, es necesario entender que pasará si tomamos un valor alto o un valor bajo.

La cantidad de aire óptima incide también en el cálculo del ventilador, ya que si no se hace en forma correcta, podría ocasionar un gasto innecesario al colocar uno de mayor potencia.

Esta es la razón básica para el cálculo del parámetro L/G, donde L representa el caudal de agua y G el caudal de aire.

Si se toma un valor bajo de L/G (por debajo de 1,3), el caudal del aire que circula por la torre es superior al caudal de agua, lo que significa que necesitaremos un ventilador de mayor capacidad, aumentando el costo en la adquisición, y a la vez necesitaremos una torre de mayores dimensiones.

Si por el contrario tomamos un valor alto de L/G a partir de 1,6 quiere decir que el caudal de agua es mayor que el caudal de aire y se requiere un ventilador de menor capacidad y consecuentemente la torre tendrá menos dimensiones.

El valor de L/G es obtenido de tablas de proveedor de torres, valor que se ha obtenido a partir de la experiencia y que no es revelada la procedencia empírica de la misma.

Si el valor de L/G es de 1.8, entonces las dimensiones serán muy grandes.

Para el presente estudio se tomarán valores medio $L/G=1.4$ para obtener dimensiones medias tanto de la torre como del ventilador.

L/G	Dimensiones de la torre	Ventilador
Baja (0,2-1,4)	Bajas	Grandes y potentes
Media (1,4-1,8)	Medias	Medio
Alta (1,8-2,2)	Altas	Pequeña y poco potente

Tabla # 2.- Valores de L/G dados por la Compañía líder en torres de refrigeración Hamón-Esríidus S.A.

DIMENSIONES DE LA TORRE

A partir de los datos básicos y de las definiciones, se va dimensionar la torre en estudio.

CÁLCULO DEL CAUDAL DEL AIRE

Para el cálculo de flujo de aire, se lo hace con el valor de $L/G = 1,4$, seleccionándolo anteriormente y con el valor del caudal del agua que es 5,97 kg/s o 5,97 l/s

Entonces:

$$G = \frac{L}{1,4} = \frac{5,97}{1,4} = 4,26 \frac{l}{s} \quad (3.10)$$

CÁLCULO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA TORRE

Para determinar el área se empleará la siguiente ecuación:

$$A = \frac{G \times V_s}{V} \quad (m^3) \quad (3.11)$$

- A = Sección transversal de la torre (m²)
 G = Flujo básico del aire ($\frac{Kg}{s}$)
 Vs' = Volumen específico del aire (m³/kg)
 V = Velocidad del aire de saturación a la temperatura de bulbo húmedo (m/s)

Dónde:

$$A = \frac{\left(4,26 \frac{kg}{s}\right) \left(0,874 \frac{m^3}{kg}\right)}{3,75} = 0,99m^3$$

CÁLCULO DE LA ALTURA DE LA TORRE

Para tal efecto utilizamos la siguiente ecuación

$$Z = HTU \times NTU \quad (3.12)$$

Dónde:

Z = Altura de la torre (m)

NTU = Número de unidades de transferencia (adimensional)

HTU = Altura de unidades de transferencia (m)

El valor del número de unidades de transferencia se lo puede calcular integrando la expresión.

$$NTU = \int \frac{dH}{H^1 - H} = Ka \frac{V}{L} \quad (3.12)$$

Esto se realiza en función de la regla de trapecio en un intervalo mínimo de 10. Debido a la dificultad que presentan estos cálculos y a la existencia de equipos de laboratorio, el fabricante y especialista líder en torres de refrigeración Hamon Thermal, presenta una gráfica que relaciona los valores de $Ka V/L$ con L/G .

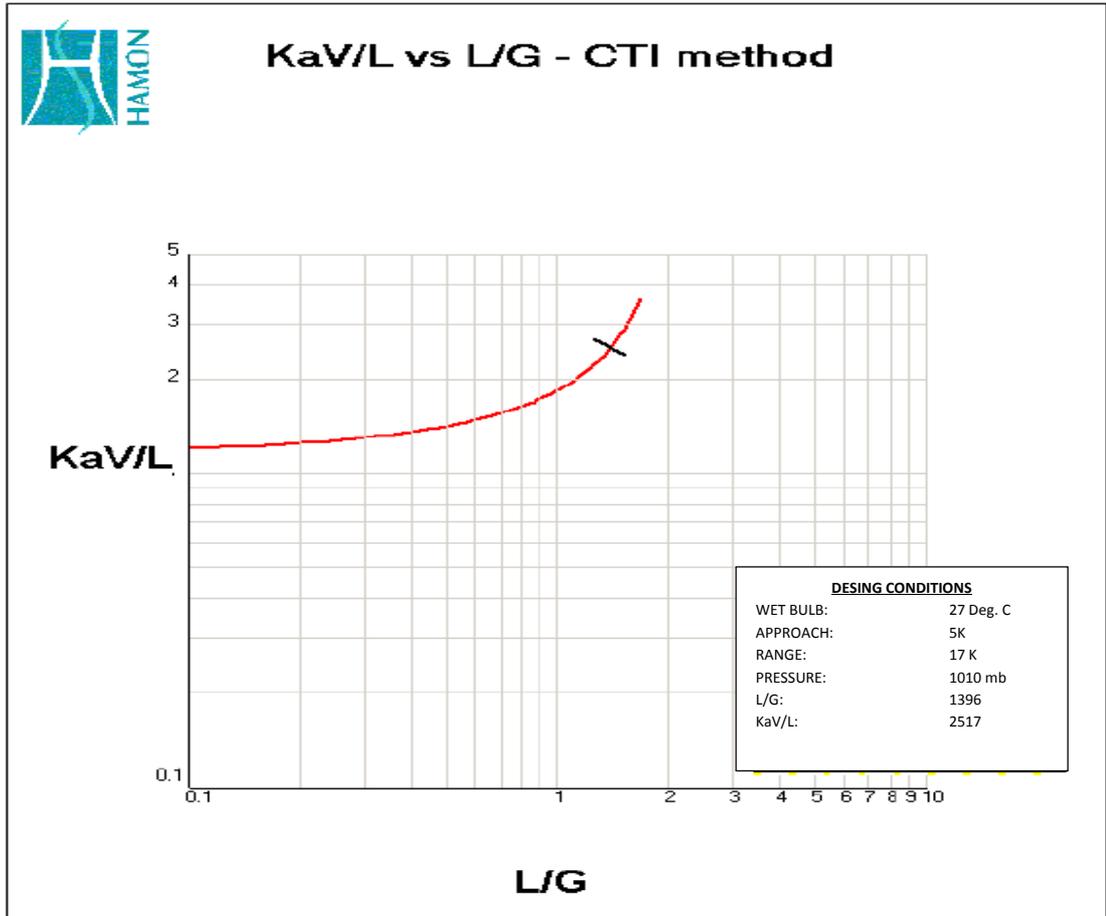


Diagrama # 2.9.- Curvas características L/G.

Con el valor de $L/G = 1,4$ en el eje horizontal trazamos una recta vertical hasta la curva, y luego una recta perpendicular al eje vertical que lo corta en el punto 2,6 y que corresponde al valor de $Ka\frac{V}{L}$; y por lo tanto a NTU, es decir que $NTU=2,6$.

Para calcular el valor de la altura del relleno o unidades de transferencia, se utiliza la expresión:

$$HTU = Ky a \frac{V}{L} \quad (3.13)$$

Dónde:

HTU = Altura de unidad de transferencia (m)

a = área por unidad de volumen $\frac{m^2}{m^3}$

V =volumen (m^3)

L = flujo de agua ($\frac{L}{h.m^2}$)

K = coeficiente de transferencia de masa ($\frac{m^2}{h}$)

De acuerdo con Perry (2) el método propuesto por Wodds y Betts consiste en lo siguiente diagrama:

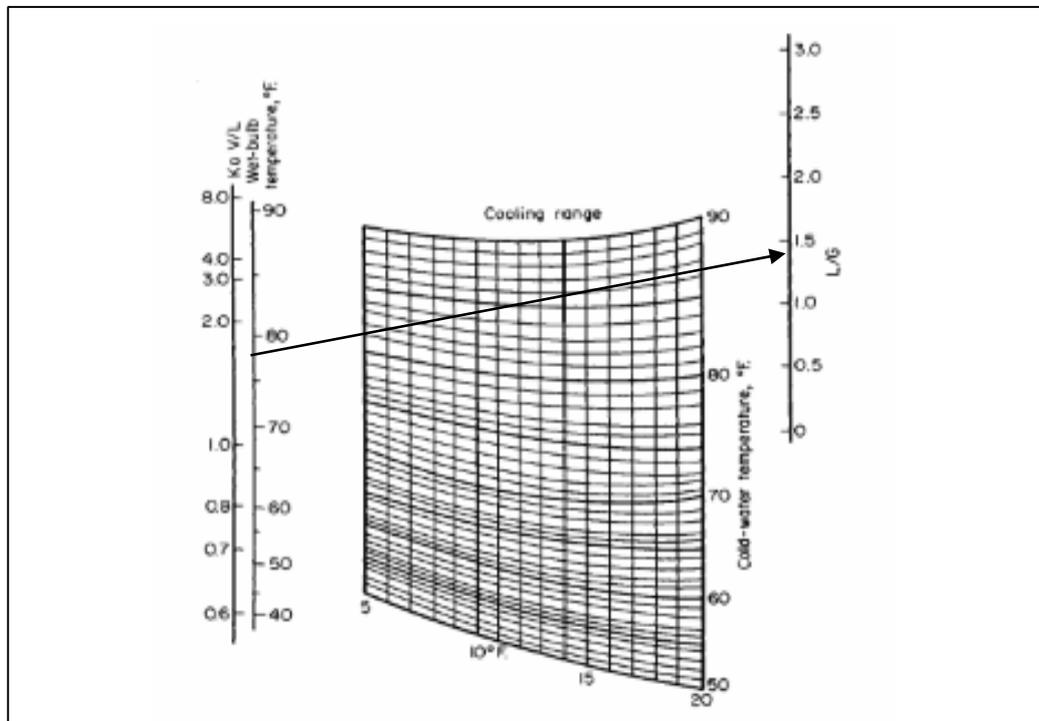


Diagrama # 2.10.- Método propuesto por Woods y Betts.

Fuente: Perry. Manual del ingeniero químico. Mc Graw Hill 2002.

En la línea vertical de la derecha se toma el valor $L/g = 1,4$ escogido con anterioridad y en la línea de temperatura de bulbo húmedo se señala el valor de $25,2\text{ °C}$ o 77 °F , se unen estos dos puntos con una línea recta y se obtiene el valor de 1.5 pie, o, $0,4572\text{ m}$ que corresponde al valor de:

$$Ka \frac{V}{L} = 0,4572\text{ m} = htu \quad (3.14)$$

Por lo tanto la altura del relleno de la torre es:

$$z = 2.6 \times 0.4572 \text{ m} = 1.18 \text{ m} \quad (3.15)$$

CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE LA BOMBA.

De acuerdo con los manuales de los motores diésel que se encuentran en el taller de mecánica, la cantidad de agua que circula por cada uno es de aproximadamente de 15 L/min. La pérdida en tubería y válvula para el caso presente se toma como un 10% del caudal indicado es decir 1.5 L/m, dando un total de 16,5 l/min.

De acuerdo al catálogo de bombas pedrollo se selecciona la siguiente:

Q= 5-40 l/min.

Hmax= 40m.

V~ 110.

W= 0.37kw.

RPM= 3.450

SELECCIÓN DE LAS BOQUILLAS PULVERIZADORAS

La empresa Induservices presenta un catálogo de boquillas en el que primero es necesario ver las características de pulverización de acuerdo a su aplicación.

Las boquillas de atomización fina son las más utilizadas en refrigeración por evaporación por la cual se coge este tipo de boquillas, que tiene las siguientes características.

- Angulo de pulverización de 35°-150°
- Atomización fina por presión de líquidos
- Presión: 0.2-2bar

- Material: Bronce. 55,31655
- Q: 0.2-10 l/min

SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Por la elección del ventilador se ha realizado tomando en cuenta la necesidad del aire para la torre y se selecciona del catálogo “del valle”.

Las características son:

- Referencia: MVP 024BS
- Caudal máximo: $24 \text{ m}^3/h$
- Potencia :13 w
- Consumo :0,14 A
- Ruido : 30 db

3.3.3. Construir una torre de enfriamiento tipo lluvia y sistema forzado, para motores de combustión interna para los motores del taller de la Carrera de Ingeniería Mecánica naval de la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”.

CONSTRUCCIÓN DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

Construcción del cuerpo

Para la construcción del cuerpo de la torre de enfriamiento se va a utilizar 7 planchas de galvanizado con una dimensión de 1.22m x 2.44 con un espesor de 0.90mm, 7 tubos cuadrados de galvanizado de 1” (pulg) por 1.5mm de espesor, 2 tubos cuadrados galvanizados de $\frac{3}{4}$ ” (pulg) por 1.2mm de espesor.

Procedimiento 1.

El procedimiento de construcción para la torre de enfriamiento empieza por cortar los tubos para con las medidas de 2.64m de alto y 1.23m de ancho con escantillón de 90° como consta en los cálculos.



Foto # 1. Corte de Tubos de 2.64 m x 2.44 con espesor de 0.90 mm.

Procedimiento 2

Se empieza a soldar con electrodos 6011 y a cuadrar las diferentes terminales de los tubos de 1" (pulg) formando la estructura de la torre de enfriamiento.



Foto # 2. Soldadura con electrodos 6011 y cuadro de terminales



Foto # 3. Añadidura de plancha galvanizada

Procedimiento 3

Se añadió a la plancha galvanizada 20cm de altura para cumplir con las medidas requeridas según los cálculos de 1.24 x 2.60 m, una vez terminado ese procedimiento se comenzó a unirlos a la estructura.



Foto # 4. Añadidura de plancha galvanizada



Foto # 5. Añadidura de plancha galvanizada

Procedimiento 4

Se elabora el separador de gotas, cortando partes de plancha de 10 cm para después doblarlas por la mitad a 90° haciendo un número de 27 para luego soldarlas en la parte superior de la estructura con una separación de 5 cm.



Foto # 6. Elaboración del separador de gotas

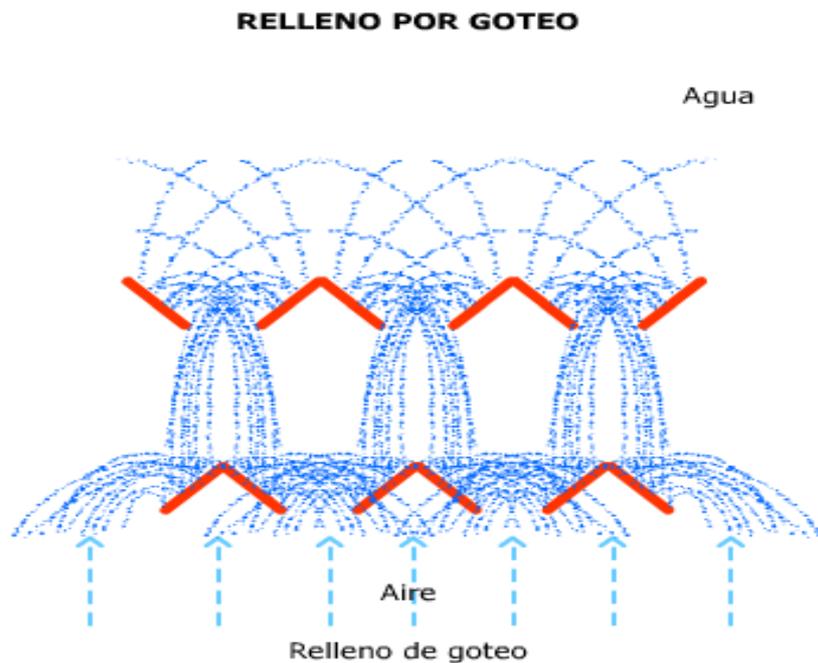


Figura # 2.22.- Construcción del relleno de la torre de enfriamiento

Para la construcción del relleno de la torre de enfriamiento se utilizaron 6 planchas galvanizada con dimensiones de 2.44x1.24 y espesor 0.70 mm y máquina dobladora.

Procedimiento 5

Para la construcción de este tipo de relleno se comienza por cortar las planchas galvanizada de 0.70mm a una medida de 1.23m de largo por 7cm de ancho para posteriormente hacerle 3 dobles para que tengan forma de un triángulo con cada lado del mismo una medida de 2.5cm además de la extensión de sus extremos de 1cm más de cada lado.

Se necesitó de 153 de estos elementos para formar el relleno requerido.

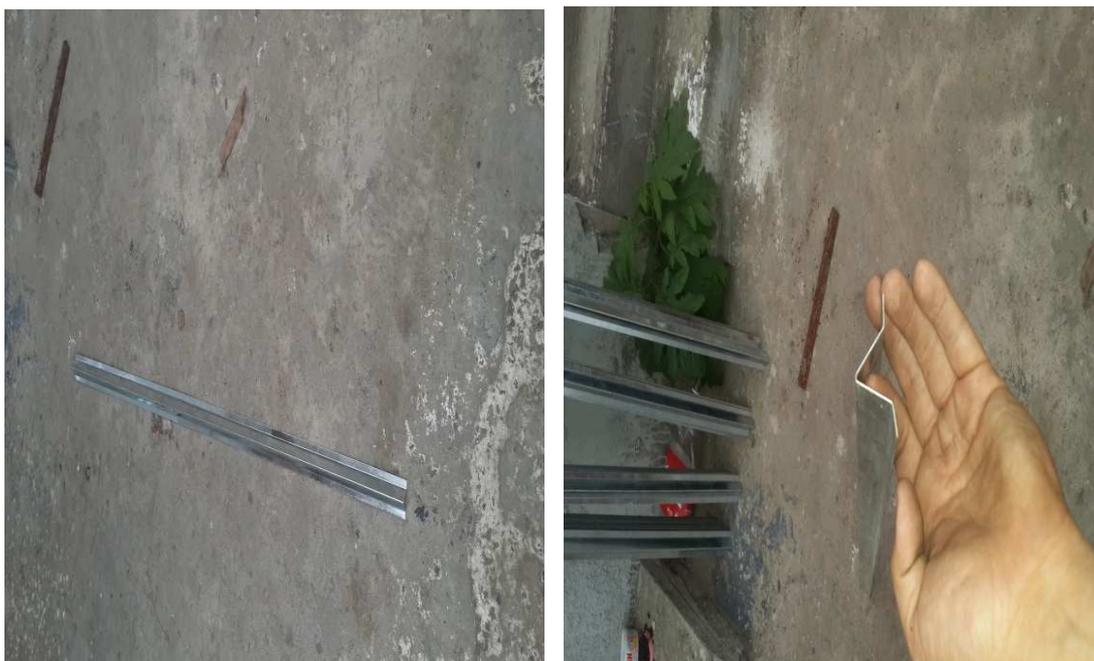


Foto # 7. Corte de planchas galvanizadas

Procedimiento 6

Una vez obtenidos las partes del relleno se comienza con la elaboración de planchas, también galvanizadas con las medidas de 33cm de alto y 22cm de ancho las cuales sirven de soporte para el relleno las cuales van ubicadas en cada extremo del conjunto de relleno.

Se procede a soldar 3 filas de relleno a estas planchas, cada fila de 17 unidades de relleno en configuración de tresbolillo, el conjunto de estas se la llama bandeja habiendo contruido 3 de estas para el mejor funcionamiento de la torre.



Foto # 8. Elaboración de planchas de soporte para el relleno

Normas de encendido de la torre de enfriamiento

Este sistema de refrigeración cuenta con una norma de encendido con el fin de tener un buen funcionamiento y evitar problemas en el momento que se vaya a hacer uso de él.

Al encender deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

- Que al conectar los terminales de las mangueras para cerrar el circuito de agua de la torre procurar no confundirse de línea de agua caliente por la de agua fría ya que estas pueden afectar a la obtención del agua del motor causando daños al motor por falta de agua.
- Verificar que la piscina de agua fría y la pre cámara de agua caliente tengan agua en su interior.
- Aplastar los botones de encendido del ventilador y bomba cuando se lo requiera, por lo general cuando se vaya a utilizar los motores de combustión por largos períodos de tiempo.

Norma de apagado

La recomendación para el apagado de este sistema sería hacerlo una vez terminado el trabajo de los motores de combustión interna.

Norma de funcionamiento

Debido al trabajo al que se somete este sistema de refrigeración es recomendable que esté sujeto a normas de funcionamiento, las cuales permiten que funcione óptimamente y son las siguientes:

- Evidenciar que en mangueras, acoples y tuberías no haya fuga de refrigerante.
- Constatar que las máquinas eléctricas, como bomba y ventilador no recalienten.
- Vigilar que el filtro de agua no se sature de impurezas.

Construcción de la piscina

A continuación se detallara los materiales que se utilizaron

- 1 varilla de 8 m.
- 8 varillas de 12m.
- 10 sacos de cemento.
- 2 libras de alambre.
- 4 libras de clavos de 2 ½ (pulg).
- 2 libras de clavos de acero de 2 (pulg).
- 7 metros de cerámica sabina azul
- 8 pernos de monel 5/8 (pulg.).
- 3 metros de arena.
- 1 metro arena negra.
- ½ metro de piedra bola.
- 2 metros de piedra ripio.
- 15 tablas de encofrados.
- 10 tanques de agua.

Construcción de la piscina de la torre de enfriamiento.

Etapas # 1

Se comenzó con la excavación de 0.25m de profundidad, 1,55 de ancho de largo 206m, aquí se alojará la base para la estructura “torre de enfriamiento”, esta profundidad se rellenará con piedra bola y en los vacíos que quedan se pondrá piedra ripio, se procede hacer la estructura de hierro.



Foto # 9.- Pilotes para construcción de piscina de torre de enfriamiento

Etapas # 2.

Se va utilizar 6 varillas de $\frac{1}{2}$ pulgadas donde se doblaran en forma U cada 20 cm de distancia Y 2 VARILLAS DE $\frac{1}{4}$, para armar el armazón.

Etapas # 3.

Terminando las etapas anteriores, se proceden a la fundición del concreto se mezclan: arena, piedra, cemento y agua, se coloca concreto en toda la superficie cubriendo el hierro.

Una vez seco se procede al encofrado con tablas, dejando en los cuatro lados 15 cm de espesor, se pondrán 8 pernos de monel de $\frac{5}{8}$ vo por 4 pulgadas de largo alrededor de la torre luego se procederá a fundir lo mismo junto con toda la estructura, aquí se va a fijar la estructura de la torre, luego esperamos que seque el concreto de un día para otro.



Foto # 10.- Fundición para dejar fijar la estructura de la torre

Etapa # 4.

Se procede a dividir la piscina por medio de una pared en dos partes, en donde una parte va a quedar con las siguientes medidas 1.20m de largo 0.50 m de ancho de altura 0.60m.

Después se procedió a fundir una tapa de concreto encima, dejando una tapa pequeña de 0.30 x 0.30 para dar mantenimiento a la misma.



Foto # 11.- Fundición de tapa de concreto

Etapas # 5

Desencoframos y procedemos a la colocación de cerámica de 20x20, de color azul marino luego se procede a empezar a rellenar las hendidias con porcelana.



Foto # 12.- Colocación de cerámica y relleno de hendidias con porcelana

Etapas # 6

Se procede a enlucir toda la parte exterior con 0.2 de espesor



Foto # 13.- Enlucido y terminación de la parte exterior

Piscina y estructura de la torre de enfriamiento terminado.



Foto # 11.- Antes y después de la estructura de torre



Foto # 12.- Ventilador centrífugo y bomba de agua

3.3.4. Plan de mantenimiento para equipos de la torre de enfriamiento tipo lluvia y sistema forzado, para motores de combustión interna para los motores del taller de la Carrera de Ingeniería Mecánica Naval de la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”.

El mantenimiento preventivo y correctivo es de suma importancia en las máquinas y equipos en general ya que estos tipos de mantenimiento permiten prolongar la vida útil de estos equipos.

Las torres de enfriamiento requieren de un mantenimiento efectivo ya que generalmente ellas funcionan en la intemperie y está expuesta a factores externos pueden afectarla un ejemplo muy claro es la corrosión en ambientes marinos.

Importancia del mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo en las torres de enfriamiento tiene un resultado muy visible en el ahorro energético y en la vida útil de estos equipos ya que hay diversos estudios los cuales dicen que los equipos limpios y en buen estado repercuten en la formación de incrustaciones que aunque sean leves y poco perceptibles hacen una diferencia en la eficacia del equipo.

Hay que tomar en cuenta en el equipo elementos como rociadores obstruidos o caídos, rellenos o separadores de gotas flojos o desplazados, obstrucciones de flujo de aire, sentido de giro indebido en bombas y ventilador ya que estos factores también pueden incidir en el funcionamiento correcto de las torres.

Con el mantenimiento preventivo se procura mantener el equipo en buen estado teniendo el rango de vida útil controlado ya que de no ser de esta

manera acarrearía gastos de reparación, o pérdidas por bajo rendimiento y se evita la reposición prematura.

Principales puntos de atención

Aquí se detalla los principales puntos que hay que observar, cuidar y mantener en las intervenciones a los distintos elementos que conforman las torres de enfriamiento:

- **CUERPO DE LA TORRES.-** La presente torres de enfriamiento está construida con planchas de galvanizado la cual es muy resistente a la corrosión y además está cubierta con pintura industrial la cual resiste a la corrosión, no requiere mayor cuidado que su limpieza y revisión por si hay deterioro o corrosión.

Si presenta manchas de óxido, descascarillado, rayados deberá procederse a su rascado y limpiado para proceder con la protección de pinturas a base de cinc.

- **ESTRUCTURAS INTERIORES.-** Esta debe tener el mismo procedimiento que el cuerpo de la torre exterior pero aumentar la vigilancia contra la aparición de óxido u otras corrosiones.

- **RELLENOS Y SEPARADORES.-** En este caso están construidas con planchas de galvanizado, debe permanecer limpia ya que es importante para conseguir el buen funcionamiento de los rellenos

Debido a las características de las planchas de galvanizado se evitara deformaciones del relleno por exceso de calor pero hay que prestarle mucha atención a la formación de óxidos.

- FUGAS DE AGUA.- Entre las rutinas de mantenimientos que se le dan a este equipo debe comprender la revisión de fugas y goteos de agua que pueden darse en las uniones y conexiones que comprenden el sistema de distribución de agua. Esas pérdidas de agua pueden ocasionar crecimiento de bacterias, algas, moho, además de corrosión en los entornos del equipo.
- VÁLVULAS DE LLENADO.- Las válvulas mecánicas de brazo y boya son de plástico ya que al ser de acero tiene mayor riesgo a perforarse y sufrir deformaciones, al ser revisadas uno tiene que prestar atención a que el mecanismo funcione de manera correcta en sus componentes móviles para que entre el flujo correcto cuando esté abierta y el cierre total cuando esté cerrada.
- FILTRO DE SEDIMENTACIÓN DE AGUA.- Este filtro permite que no lleguen muchos sedimentos a los motores pero debido a que el agua de la ciudad de manta viene con mucha sedimentación el cambio de este filtro dependerá del uso de los motores del taller por lo que se recomienda cambiarlo cada 4 meses.
- VENTILADORES CENTRÍFUGO.- El ventilador centrifugo se utiliza en las torres de sistema forzado ubicado entre el relleno y la balsa. El mantenimiento de estos ventiladores centrífugos consiste en los requerimientos comunes de motores eléctricos que son los siguientes:
 - Firme sujeción del motor, engrase de rodamientos,
 - La observación de costras sobre los alabes de las turbinas que pueden provocar desequilibrio y daño en cojinetes.
 - Engrasar cojinetes y rodamientos del eje.
 - Toma de datos de tensión, consumo y sentido de giro.

Tabla de mantenimiento de torres de enfriamiento en base al tiempo

PERIODICIDAD					
DESCRIPCIÓN DE TAREAS	X= REGLAMENTARIAS		0=RECOMENDADAS		
	PUESTA EN MARCHA	MENSUAL	TRIMESTRAL	SEMESTRAL	ANUAL
Limpieza del sistema completo	X		0	X	
Desinfección del sistema completo	X			X	
Estado de cuerpo de torre (pintura, oxidación)	0		0		
Entrada y salida del aire libre	0	0		0	
Estado de estructuras metálicas	0				
Observación de posibles arrastres de agua	0	0			
Observación de posibles fugas de agua	0	0			
Limpieza de residuos y lavado de piscina	X	X			
Cambio de filtro aspiración de bomba	0	0			
Funcionamiento de válvula de llenado	0	0			
Ajuste y estado de separador de gotas	X		0	0	
Limpieza de separador de gotas	X				X
Limpieza de superficie	X		X		
Funcionamiento de válvulas de aporte de agua	0	0			
Funcionamiento y conexión de llave drenaje	0	0			
Purga	0		X		

3.4. RECURSOS UTILIZADOS (CÁLCULO ECONÓMICO DE LA INVERSIÓN DE LA INSTALACIÓN)

3.4.1. HUMANOS

- Autoridades de la Carrera de Ingeniería Mecánica Naval
- Director de Proyecto de grado
- Autores del Proyecto de grado.
- Comunidad de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (Docentes, Estudiantes, entre otros).
- Miembros del Tribunal de Revisión y Evaluación.

3.4.2. INSTITUCIONALES

- Universidad Laica Eloy Alfaro.

3.4.3. MATERIALES

A continuación se presentan los materiales que se implementó para el desarrollo del proyecto de grado para la universidad Eloy Alfaro de Manabí

- Brocas de 3/4
- Ventilador centrifugo eléctrico de 2 pulgadas
- Tubo cuadrado galvanizados
- Palillos de soldadura AgA
- Tubo de polipropileno
- Niplos para conexiones de tuberías
- Cinta de teflón
- Rociadores de agua
- Codos
- Tee para conexiones de tuberías
- Cruz para conexión de tuberías
- Pintura

- Tuercas
- Taladro
- Pernos
- Cemento
- Planchas de galvanizado

3.4.4. FINANCIEROS

- Presupuesto Total de la torre de enfriamiento: \$2600.00 financiado por los Autores del Proyecto de Grado.
- Presupuesto Total del Proyecto de Grado: \$3250.50 financiado por los Autores de Tesis.

GASTOS DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

GASTOS EN LA PISCINA

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	V. Total
Varilla 8mm	Unidad	1,00	6,00	6,00
Varilla 12mm	Unidad	8,00	9,00	72,00
Cemento	Sacos	10,00	7,00	70,00
Alambre	Libras	2,00	5,00	10,00
Clavos 2 ½"	Libras	4,00	1,00	4,00
Clavos 2" acero	Libras	2,00	1,50	3,00
Cerámica sabina azul	Metros	7,00	7,00	49,00
Pernos de monel 5/8"	Unidad	8,00	5,00	40,00
Arena	Metros	3,00	15,00	45,00
Arena negra	Metros	1,00	20,00	20,00
Piedra bola	Metros	1,00	15,00	15,00
Piedra ripio	Metros	2,00	18,00	36,00
Tablas de encofrado	Unidad	15,00	5,00	75,00
Agua	Tanques	10,00	1,00	15,00
Mano de obra				300,00
TOTAL				760,00

GASTOS DE LA ESTRUCTURA DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	V. Total
Tubo cuadrado galvanizado de 1"	Unidad	7,00	10,50	73,50
Planchas galvanizadas	Unidad	7,00	20,50	143,50
Tubo galvanizado de ¾"	Unidad	2,00	16,00	32,00
Soldadura 6011	Libras	10,00	4,00	40,00
Doblar planchas en triangulo	Unidad	153,00	1,00	153,00
Mano de obra				300,00
TOTAL				742,00

GASTOS DE LA INSTALACIÓN DE AGUA

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	V. Total
Tubos polipropileno de 1"	Unidad	6,00	8,00	48,00
Tubos 2"	Unidad	4,00	18,00	72,00
Codo plegable 1"	Unidad	20,00	4,00	80,00
Tee tigre 1 ½"	Unidad	15,00	4,50	52,50
Neplo ¾"	Unidad	10,00	3,50	35,00
Neplo 1"	Unidad	6,00	7,00	42,00
Neplo 2"	Unidad	6,00	8,00	48,00
Tubo ¾"	Unidad	8,00	14,00	112,00
Codo plegable ¾"	Unidad	6,00	4,00	24,00
Nudo de ¾"	Unidad	8,00	2,00	16,00
Tubo de 1 ½"	Unidad	2,00	16,00	32,00
Tee ¾"	Unidad	8,00	6,00	48,00
Reductor de agua	Unidad	1,00	11,00	11,00
Cinta teflón	Unidad	10,00	1,60	16,00
Flotador de ½"	Unidad	1,00	5,00	5,00
Carcaza de 4 ½ x 20	Unidad	1,00	96,00	96,00
Válvula cheque ¾"	Unidad	1,00	19,00	19,00
Flotador de ¾"	Unidad	1,00	12,00	12,00
Llaves de cierre rápido de ¾"	Unidad	4,00	20,00	80,00
Mangueras de ¾"	Metros	6,00	12,00	72,00
Cola todos recto ¾"	Unidad	4,00	9,00	36,00
Filtro de agua	Unidad	1,00	100,00	100,00
Llaves de cierre rápido de 2"	Unidad	1,00	30,00	30,00
Llave de cierre rápido de 1 ½"	Unidad	1,00	25,00	25,00
Rociadores	Unidad	8,00	15,00	120,00
Mano de obra				250,00
TOTAL				1.481,00

GASTOS DE EQUIPOS DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	V. Total
Bomba de agua		1,00	260,00	260,00
Ventilador centrífugo		1,00	45,00	45,00
TOTAL				295,00

GASTOS DE PINTURA DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	V. Total
Masilla Uniplast	Unidad	6,00	2,00	12,00
Lija de hierro	Unidad	4,00	0,61	2,44
Lija de agua	Unidad	3,00	0,33	0,99
Fondo cromado	Litro	1,00	8,25	8,25
Unitan blanco	Litro	2,00	13,75	27,50
Reductor poliuretano	Litro	2,00	5,44	10,88
Diluyente corriente	Litro	1,00	1,77	1,77
Masilla roja	Litro	1,00	2,35	2,35
Mano de obra				150,00
TOTAL				216,18

GASTOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	V. Total
Tablero Eléctrico	Unidad	1,00	96,00	96,00
Relé Térmicos	Unidad	2,00	45,00	90,00
Pulsadores	Unidad	2,00	15,00	30,00
Contactores	Unidad	2,00	60,00	120,00
Cable de 12	Metro	24,00	3,00	72,00
Cable para circuito interno	Metro	10,00	2,00	20,00
TOTAL				428,00

GASTOS EN GENERAL

CANT.	DESCRIPCION	V. UNITARIO	V. TOTAL
800	Impresiones	0,30	240,00
200	Internet	1,00	200,00
4	Memoria USB	15,00	60,00
1	Útiles y equipo de Oficina	100,00	100,00
4	Movilización	20,00	80,00
2000	Copias	0,02	40,00
1	Varios	30,00	30,00
GASTO EN LA PISCINA			\$760,00
GASTO DE LA ESTRUCTURA DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO			\$742,00
GASTO DE INSTALACIÓN DE AGUA			1.481,00
GASTOS DE EQUIPOS DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO			\$295,00
GASTOS DE PINTURA DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO			\$216.18
GASTO DEL SISTEMA ELECTRICO			\$428,00
TOTAL			\$4.678,18

4. IMPACTO AMBIENTAL

El planeta tierra a diario es contaminado por gases tóxicos emitidos por las grandes industrias, también por el uso y derrames de líquidos químicos altamente perjudiciales no solo para la raza humana, sino también para la flora y fauna de su ecosistema. Con ello se agiliza el avance del llamado efecto invernadero y este es cada vez más notable, ya que el clima sufre cambios extremadamente drásticos; hoy en día se pasa del calor al frío y viceversa en cuestión de minutos.

Los sistemas hidráulicos son muy utilizados a nivel industrial debido al aporte que realiza por trabajos forzosos de gran magnitud; la industria pesquera depende mucho de este tipo de sistema y se podría decir que es la que más lo utiliza.

El trabajo realizado no presenta un impacto ambiental agresivo, a continuación se detalla lo siguiente: El motor estará instalado al ambiente y no cerrado en un cuarto de funcionamiento, por lo que habrá poco ruido; y, el cambio de aceite se realizará por un embudo.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Al término de la presente investigación, se concluye que:

Se diseñó, calculó y construyó en su totalidad, una torre de enfriamiento tipo lluvia y sistema forzado, para motores de combustión interna del taller de la Carrera de Ingeniería Mecánica Naval de la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”, porque es un sistema que se empleará para enfriar agua en grandes volúmenes, y porque es el medio más económico y no causa daños ambientales.

Se calculó una torre de enfriamiento tipo lluvia y sistema forzado, para motores de combustión interna del taller de la Carrera de Ingeniería Mecánica Naval de la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”, mismo que se efectuó realizando una revisión de la bibliografía universal como humedad absoluta, volumen húmedo, entalpías, calor húmedo, equilibrio entre el aire húmedo y agua; temperatura de rocío; terminología básica; temperatura de bulbo húmedo, entre otros.

Se construyó una torre de enfriamiento tipo lluvia y sistema forzado, utilizado en el taller de la Carrera de Ingeniería Mecánica Naval de la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”, debido a la necesidad existente en esta área, diseñados para proveer la máxima tasa de enfriamiento en espacios reducidos. Los materiales y métodos utilizados en la construcción garantizan gran resistencia a la corrosión y una operación segura por muchos años.

Se elaboró un plan de tipo preventivo-correctivo para el mantenimiento de equipos de la torre de enfriamiento tipo lluvia y sistema forzado, para los motores de combustión interna del taller de la Carrera de Ingeniería Mecánica Naval de la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”, a fin de mejorar el funcionamiento de los mismos.

Recomendaciones

Poner en práctica lo que indica el plan de mantenimiento de torres de enfriamiento recomendado, a fin de evitar el deterioro prematuro de la torre y sus elementos.

Tomar los cálculos como referencia para futuras investigaciones a fin de que los estudiantes que aspira a concluir su carrera tengan una herramienta para desarrollar proyectos que vayan a favorecer la acreditación de la carrera.

Utilizar la torre de enfriamiento de tipo lluvia y sistema reforzado como instrumento de enseñanza a los futuros profesionales de la carrera a fin de optimizar sus conocimientos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Buenastareas. (28 de 04 de 2014). *Refrigeración de los motores de combustión interna*. Obtenido de <http://www.buenastareas.com/ensayos/Combustion-Interna/46299384.html>
- Cidaut, F. (2012). Obtenido de SISTEMAS DE INTERCAMBIO DE CALOR Y REFRIGERACIÓN DE MOTOR:
https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2012/389/51453/1/Documento9.pdf
- Kates, E. y. (1982). *Motores a Diesel y de gas de alta compresión* (2a. ed.). Chicago .
- Machuca, M. M. (2010). *El agua en el Parque Natural de Sierra de Aracena y Picos de Aroche, Huelva* (1a. ed.). Madrid: IGME.
- ONU. (2009). *2º Informe de Naciones Unidas sobre Desarrollo Recursos Hídricos en el Mundo*, p.277. Ginebra: ONU.
- UACH. (14 de 03 de 2012). Obtenido de El agua para uso industrial:
http://www.uach.cl/proforma/insitu/2_insitu.pdf
- UNESCO. (14 de 05 de 2009). Obtenido de La productividad industrial del agua varía mucho de un país a otro: <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-8-water-for-industry/>
- Vían Ortuño, A. (2006). *Introducción a la química industrial* (1a. ed.). España: Reversé.
- Widman de Widman, R. (2008). *La vida útil del motor - Refrigeración* . Santa Cruz, Bolivia: International SRL .
- Wildi, T. (2007). *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia* (6a. ed.). México: Pearson Educación.
- Withman, W. y. (2000). *Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado* (1a. ed., Vol. 4). (E. Paraninfo, Ed.) Madrid-España: Paraninfo .

ANEXOS

Fotografías

Planos