



Repotenciación, rediseño térmico, adquisición de datos, y puesta a punto para el equipo “Torre de enfriamiento” del laboratorio de conversión de la energía

García Ibarra, Andrés Eduardo y Riera Yépez, Kevin Mauricio

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecánica

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico

Ing. Villavicencio Poveda, Ángel Homero

08 de febrero del 2023



TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR GARCIA RIERA

8%
Similitudes



< 1% Texto entre comillas
< 1% similitudes entre comillas
1% idioma no reconocido

Nombre del documento: TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR GARCIA RIERA.pdf

ID del documento:

96c1326a9d9413821d0c4bd47e1c884aa7c455

Tamaño del documento original: 3,68 Mo

Depositante: DAVID CESAR LOZA MATOVELLE

Fecha de depósito: 22/2/2023

Tipo de carga: interface

fecha de fin de análisis: 22/2/2023

Número de palabras: 15.673

Número de caracteres: 99.285

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.espe.edu.ec Simulación del proceso exergético y automatización del sis... http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/197 6 fuentes similares	3%		Palabras idénticas : 3% (514 palabras)
2	repositorio.espe.edu.ec Simulación del proceso exergético y automatización del sis... http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/197 6 fuentes similares	3%		Palabras idénticas : 3% (461 palabras)
3	www.monografias.com Humidificación http://www.monografias.com/trabajos96/humidificacion/humidificacion 5 fuentes similares	1%		Palabras idénticas : 1% (186 palabras)
4	vslp.info 2.1 Tablas y Carta Psicométrica - VSLP.INFO https://vslp.info/21-tabla-y-carta-psicometrica-pdf-free.html 5 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (163 palabras)
5	www.ecured.cu LabVIEW - Ecured http://www.ecured.cu/LabVIEW 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (118 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	vdocuments.mx COMISIONAMIENTO Y AUTOMATIZACIÓN DE LA TORRE DE - (PDF D... https://vdocuments.mx/comisionamiento-y-automatizacion-de-la-torre-de-/.html	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (29 palabras)
2	repositorio.espe.edu.ec Diseño, construcción y adquisición de datos de un banco d... http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/25635/57-ESPE-044685.pdf	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (24 palabras)
3	www.ni.com Explicación del diagrama de bloques de LabVIEW - NI https://www.ni.com/es-cs/support/documentation/supplements/05/labview-block-diagram-explained_h...	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (24 palabras)
4	Documento de otro usuario #22x401 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (17 palabras)
5	1library.co CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES - MARCO TEÓRICO https://1library.co/articulo/conclusiones-y-recomendaciones-marco-teorico/	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (16 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <https://www.Ingenieriaquimicaviews.com/2020/09/cartas-psicometricas.html>
- <https://www.Ingenieriaquimicaviews.com/2020/09/cartas>
- <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-conductividad>
- <https://assets.omega.com/manuals/M2003.pdf>
- https://a.alexpress.com/_mtU62IO



ANGELO BORGES
VILLAVICENCIO
POVEDA

Ing. Angelo Villavicencio Poveda MSc
Tutor del Trabajo de Integración Curricular



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecánica

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: "Repotenciación, rediseño térmico, adquisición de datos y puesta a punto del equipo "Torre de Enfriamiento" del Laboratorio de Conversión de la Energía" fue realizado por los señores García Ibarra, Andrés Eduardo y Riera Yépez Kevin Mauricio, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 8 de febrero de 2023

Firma:



Villavicencio Poveda, Ángel Homero
C. C: 1709338931



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecánica

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **García Ibarra, Andrés Eduardo** y **Riera Yépez Kevin Mauricio**, con cédulas de ciudadanía n° **1725889388** y **1718569732**, respectivamente, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **“Repotenciación, rediseño térmico, adquisición de datos y puesta a punto del equipo “Torre de Enfriamiento” del Laboratorio de Conversión de la Energía”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 8 de febrero de 2023

Firma:

García Ibarra, Andrés Eduardo

C.C: 1725889388

Riera Yépez Kevin Mauricio

C.C: 1718569732



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecánica

Autorización de Publicación

Nosotros **García Ibarra, Andrés Eduardo y Riera Yépez Kevin Mauricio**, con cédulas de ciudadanía n°**1725889388** y **1718569732**, respectivamente, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **“Repotenciación, rediseño térmico, adquisición de datos y puesta a punto del equipo “Torre de Enfriamiento” del Laboratorio de Conversión de la Energía”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 8 de febrero de 2023

Firma:

García Ibarra, Andrés Eduardo

C.C: 1725889388

Riera Yépez Kevin Mauricio

C.C: 1718569732

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo y mi esfuerzo durante mi vida universitaria a mis padres, Mauro y Sandra, quienes han sido las personas que me han apoyado en todo este camino, sin ellos esto no sería posible, gracias por tanto amor y tanta comprensión porque sé que no ha sido fácil y aun así me han apoyado y me han amado incondicionalmente.

A mis hermanas, Lorena y Johanna que de igual forma me han formado como una persona de bien desde que soy pequeño e incluso ahora que si en alguna circunstancia estoy pasado por un mal momento, ellas me ayudarán sea lo que sea.

Por último, quiero dedicar este trabajo a Gabriela, ella ha sido un pilar fundamental en mi vida personal y académica y me ha incentivado a seguir incluso cuando yo ya no podía más.

“Veni, vidi, vici. Semper fortis.”

- *Julio César.*

Kevin Mauricio Riera Yépez

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis a mis padres por guiarme y enseñarme a ser una persona de bien, ellos son mi motivación cada día, ellos son la razón por la cual me levanto a seguir día a día y deseo de todo corazón que la vida me premie teniéndolos conmigo mucho tiempo más porque siento que los amo y aún tienen muchas cosas por enseñarme.

Agradezco infinitamente a mis amigos, Marcelo, Alejandro, Danniel, Alisson y Felipe por haber sido luz en mi vida cuando a mi alrededor era todo oscuridad y sobre todo agradezco todo el amor y apoyo incondicional de Gabriela, que sin sus palabras de aliento esto no hubiera sido posible. 28

Y por último quiero agradecer a Don Ro y al Ing. Ángel Villavicencio por tenerme paciencia y guiarme en todo este proceso, sus enseñanzas y consejos fueron indispensables para llevar a cabo este trabajo.

Kevin Mauricio Riera Yépez

Dedicatoria

Dedico con todo mi corazón este trabajo a mis padres, ya que sin ellos nada de esto se haría realidad. A mi madre Raquel que ha sido mi pilar fundamental durante todo este proceso quien con sus valores, sentimiento y hábitos me ha ayudado a seguir adelante en los momentos más difíciles, quien siempre ha creído en mí. A mi padre Eduardo que, gracias a sus consejos, aprendizajes de vida que me ha inculcado, con su apoyo incondicional, su paciencia. Todo lo que hoy soy es gracias a ellos.

A mi abuelita, Zoilita que con su bendición a diario a lo largo de mi vida me protege y me lleva por el camino del bien. Por eso, este trabajo soy en ofrenda a ella.

Andrés Eduardo García Ibarra

Agradecimientos

Agradezco a Dios por su bondad infinita que me permite sonreír y dar gracias todos los días, que en momentos he llegado a caer y me pone a prueba, aprendo de mis errores, dándome cuenta de cómo poder mejorar como ser humano y crecer de diversas maneras.

Agradezco a mis padres, tíos, primos que no podría sentirme más ameno con la confianza puesta sobre mí, especialmente con su mejor apoyo desde que tengo memoria. Este logro es en gran parte gracias a ustedes, he logrado culminar con éxito una meta que en un principio podría parecer una tarea interminable.

A mis amigos tanto de mi colegio, como de la Universidad que sin duda han sido tan importantes para mí que, siempre dando mucho apoyo, una linda y sincera amistad. A todos esos amigos que nunca me fallaron, esos amigos que saben el valor de la amistad, ustedes saben quiénes son. Gracias por siempre estar conmigo en los buenos y malos momentos, finalmente de corazón. Gracias por pertenecer a mi pequeño círculo

Finalmente quiero agradecerme por creer en mí. Quiero agradecerme por nunca rendirme. Quiero agradecerme por siempre dar y tratar de dar más sin recibir algo a cambio. Quiero agradecerme por ser yo en todo momento.

Andrés Eduardo García Ibarra

Índice de contenido

Certificación anti plagio	2
Certificación Tutor Académico.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Resumen	22
Abstract.....	24
Capítulo I. Generalidades.....	25
Antecedentes	25
Definición del problema.....	29
Objetivos	30
<i>Objetivo general</i>	30
<i>Objetivos específicos:</i>	30
Justificación e importancia	30
Alcance.....	31
Capítulo II. Marco Teórico.....	32
Generalidades	32
Elementos y partes constitutivas de la torre de enfriamiento análisis	32
Clasificación de las torres de enfriamiento.....	33
<i>Torres de enfriamiento de circulación natural</i>	33

<i>Torre de enfriamiento de tiro inducido</i>	34
<i>Torres de enfriamiento de tiro forzado</i>	34
<i>Torres de enfriamiento de tiro cruzado</i>	34
Operación de las torres de enfriamiento.....	34
Propiedades Psicrométricas del aire.....	35
Carta psicrométrica.....	36
<i>Temperatura de bulbo seco</i>	36
<i>Temperatura de bulbo húmedo</i>	37
<i>Temperatura de punto de rocío</i>	38
<i>Humedad absoluta</i>	39
<i>Humedad relativa</i>	40
<i>Volumen específico</i>	40
<i>Entalpía</i>	41
Calor específico	42
Transferencia de calor	42
<i>Transmisión De Calor Por Conducción En Régimen Estacionario Y Flujo Unidireccional</i>	43
<i>Conductividad térmica</i>	45
Transferencia de calor por convección	46
<i>Convección natural</i>	46
<i>Convección forzada</i>	47

	12
Mantenimiento	48
Mantenimiento preventivo.....	48
Mantenimiento modificativo	49
Mantenimiento correctivo.....	50
Proceso de adquisición de datos	50
Técnicas de adquisición de datos.....	51
<i>DAQ</i>	51
<i>Sensor</i>	51
<i>Acondicionamiento de señales</i>	52
LabVIEW	53
<i>Instrumentos Virtuales (VIs)</i>	54
<i>Partes de un archivo VI</i>	54
Capítulo III. Mantenimiento y Repotenciación	56
Introducción.....	56
Levantamiento línea base.....	58
<i>Estado anterior de la máquina</i>	58
<i>Estado general</i>	58
Estado torre de enfriamiento	60
<i>Estado motor y turbina</i>	60
<i>Estado caja de resistencias</i>	62

<i>Estado tol de la torre de enfriamiento</i>	63
<i>Estado del sistema de adquisición de datos</i>	64
Estado anterior sensores de la torre de enfriamiento.....	65
<i>Sensor de temperatura</i>	65
<i>Sensor de caudal</i>	66
<i>Sensor de presión</i>	66
<i>Sensor de humedad</i>	67
<i>Estado acrílico protector de estaciones</i>	67
Estado sistema eléctrico	68
<i>Estado caja breaker eléctrico</i>	68
<i>Estado interno caja breaker eléctrico</i>	68
<i>Estado caja conexiones de interruptores</i>	69
<i>Estado del cableado conexión de resistencias</i>	70
Estado anterior del sistema de alimentación de agua.....	71
<i>Estado reservorio de agua</i>	71
<i>Estado de las mangueras</i>	72
Mantenimiento preventivo.....	72
<i>Flautas de distribución de agua</i>	72
<i>Mangueras</i>	73
Mantenimiento modificativo	74

<i>Introducción de una sexta estación de medición</i>	74
<i>Eliminación de láminas dentro de la torre de enfriamiento</i>	75
Mantenimiento correctivo.....	75
<i>Motor eléctrico</i>	75
<i>Turbina</i>	76
<i>Cable de poder</i>	77
<i>Resistencias</i>	78
<i>Mangueras</i>	79
<i>Llave de agua</i>	82
<i>Filtro de agua</i>	83
<i>Caja de resistencias</i>	84
<i>Panel de instrumentos</i>	85
<i>Acrílico</i>	86
<i>Sensor de temperatura</i>	87
<i>Sensor de Humedad</i>	89
Capítulo IV. Diseño del sistema eléctrico e implementación de la interfaz HMI.....	93
Diseño del sistema eléctrico	93
<i>Interruptores termomagnéticos</i>	93
<i>Contactor</i>	95
<i>Relé térmico</i>	95

	15
<i>Fuente de alimentación</i>	97
<i>Porta fusibles</i>	97
Diseño de la interfaz	98
<i>Linealización de sensores</i>	101
Capítulo V. Pruebas de funcionamiento	102
Verificación de datos	105
<i>Sensores de temperatura</i>	105
<i>Sensor de humedad</i>	106
<i>Sensor de caudal</i>	108
<i>Sensor de presión</i>	110
Balances de energía y masa	112
Capítulo VI. Análisis económico	118
Costos directos.....	118
<i>Honorarios profesionales</i>	118
<i>Remuneración personal no profesional</i>	119
<i>Remuneraciones estudiantes</i>	119
<i>Estructura</i>	120
<i>Abastecimiento de agua</i>	120
<i>Motor eléctrico</i>	121
<i>Sistema de control</i>	122

<i>Sensores</i>	123
Costos indirectos.....	123
Gastos totales	124
Conclusiones	126
Recomendaciones.....	127
Bibliografía	128
Apéndices.....	129

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Fallas en la torre de enfriamiento</i>	27
Tabla 2 <i>Conductividad térmica de algunos materiales</i>	45
Tabla 3 <i>Valores de coeficientes de transmisión de calor por convección</i>	47
Tabla 4 <i>Sensores más comunes</i>	52
Tabla 5 <i>Matriz de decisión para mangueras</i>	81
Tabla 6 <i>Matriz de selección para sensores de temperatura</i>	88
Tabla 7 <i>Desarrollo Mantenimiento correctivo sensores de temperatura</i>	90
Tabla 8 <i>Tabulación de datos</i>	103
Tabla 9 <i>Prueba de funcionamiento sensor de temperatura</i>	106
Tabla 10 <i>Pruebas de sensor de humedad</i>	107
Tabla 11 <i>Prueba de funcionamiento sensor de caudal</i>	109
Tabla 12 <i>Coefficiente de descarga</i>	112
Tabla 13 <i>Balance de energía del aire</i>	115
Tabla 14 <i>Pérdida por evaporación de aire</i>	116
Tabla 15 <i>Honorarios para profesional de la Universidad</i>	118
Tabla 16 <i>Remuneración no profesional</i>	119
Tabla 17 <i>Remuneraciones estudiantes ESPE</i>	119
Tabla 18 <i>Costo Estructura</i>	120
Tabla 19 <i>Costo Abastecimiento de agua</i>	120
Tabla 20 <i>Costo motor Eléctrico</i>	121
Tabla 21 <i>Costo sistema de control</i>	122
Tabla 22 <i>Costo sensores</i>	123
Tabla 23 <i>Costos indirectos por los autores del proyecto</i>	124

Tabla 24 <i>Costos directos totales</i>	124
Tabla 25 <i>Costos total indirectos de fabricación</i>	125
Tabla 26 <i>Análisis de costos totales</i>	125

Índice de figuras

Figura 1 <i>Parte frontal de la torre de enfriamiento</i>	26
Figura 2 <i>Parte posterior de la torre de enfriamiento</i>	27
Figura 3 <i>Esquema de enfriamiento por evaporación</i>	32
Figura 4 <i>Carta psicrométrica</i>	36
Figura 5 <i>Líneas de temperatura de bulbo seco °C</i>	37
Figura 6 <i>Líneas de temperatura de bulbo húmedo (°C)</i>	38
Figura 7 <i>Líneas de temperatura de punto de rocío (°C)</i>	39
Figura 8 <i>Líneas de humedad absoluta en (gramos/kg)</i>	39
Figura 9 <i>Líneas de humedad relativa (%)</i>	40
Figura 10 <i>Líneas de volumen específico en (m³/kg) de aire seco</i>	41
Figura 11 <i>Líneas de entalpía en (kJ/kg) de aire seco</i>	42
Figura 12 <i>Convenio de signos para la transferencia de calor por conducción</i>	44
Figura 13 <i>Esquema de un Sistema de Adquisición de Datos</i>	51
Figura 14 <i>Panel frontal</i>	54
Figura 15 <i>Diagrama de bloques</i>	55
Figura 16 <i>Diagrama de flujo de trabajos en la torre de enfriamiento</i>	56
Figura 17 <i>Equipo Torre de enfriamiento vista frontal</i>	59
Figura 18 <i>Equipo Torre de enfriamiento vista posterior</i>	59
Figura 19 <i>Estado de Motor y turbina del Equipo Torre de enfriamiento</i>	60
Figura 20 <i>Estado de Motor y turbina frontal del Equipo Torre de enfriamiento</i>	61
Figura 21 <i>Estado anterior de cajetín y conexiones del motor</i>	62
Figura 22 <i>Estado anterior exterior de tapa y caja de resistencias</i>	62

Figura 23 Estado anterior interior de tapa y caja de resistencias.....	63
Figura 24 Estado anterior carcasa protectora de la torre de enfriamiento.....	64
Figura 25 Estado anterior Gabinete.....	64
Figura 26 Estado anterior sensores de temperatura.....	65
Figura 27 Estado anterior sensor de caudal.....	66
Figura 28 Sensor de Presión.....	66
Figura 29 Sensores de humedad.....	67
Figura 30 Estado anterior acrílico protector.....	68
Figura 31 Estado caja de resistencias.....	69
Figura 32 Estado caja conexión de interruptores.....	70
Figura 33 Estado del cableado de conexión de resistencias.....	70
Figura 34 Estado cableado de enchufe de resistencias.....	71
Figura 35 Estado reservorio de agua.....	71
Figura 36 Estado mangueras.....	72
Figura 37 Mantenimiento de flautas de distribución de agua.....	73
Figura 38 Estado anterior de las mangueras.....	74
Figura 39 Rodamiento reemplazado.....	76
Figura 40 Estado de la turbina del motor.....	77
Figura 41 Cable de poder del equipo.....	78
Figura 42 Estado de las resistencias.....	79
Figura 43 Estado de las mangueras.....	82
Figura 44 Estado de la llave de agua.....	83
Figura 45 Estado de los filtros de agua.....	84
Figura 46 Estado de la caja de resistencias.....	85

Figura 47 <i>Estado del panel de instrumentos</i>	86
Figura 48 <i>Estado del acrílico</i>	87
Figura 49 <i>Sensor PT 100 HDT500 con transmisor incluido</i>	89
Figura 50 <i>Estado del sensor de humedad</i>	92
Figura 51 <i>Diagrama de disyuntores</i>	94
Figura 52 <i>Disyuntores utilizados.</i>	95
Figura 53 <i>Contactador y relé térmico</i>	96
Figura 54 <i>Fuente de alimentación</i>	97
Figura 55 <i>Porta fusibles escogido.</i>	98
Figura 56 <i>Estaciones de la torre de enfriamiento</i>	99
Figura 57 <i>Caudales de la torre de enfriamiento</i>	99
Figura 58 <i>Temperaturas de entrada y salida de aire y agua</i>	100
Figura 59 <i>Resumen de datos</i>	100
Figura 60 <i>Toma de datos con los estudiantes.</i>	102
Figura 61 <i>Prueba de funcionamiento del sensor de temperatura</i>	106
Figura 62 <i>Prueba de humedad en el ambiente</i>	108
Figura 63 <i>Prueba de funcionamiento sensor de caudal.</i>	109
Figura 64 <i>Prueba de funcionamiento del sensor de caudal según el fabricante</i>	110
Figura 65 <i>Límites para balance de energía</i>	113

Resumen

A lo largo de los años, el laboratorio de conversión de la energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas ha sido un referente para la educación de todos los estudiantes de Ingeniería Mecánica, dándoles a conocer de manera práctica e ilustrativa los diferentes procesos de transferencia de calor en la industria ecuatoriana.

Uno de estos equipos es la Torre de Enfriamiento, a pesar de que dicho equipo fue reparado en anteriores ocasiones, el mismo sigue presentando fallas y esto se debe al poco o nulo mantenimiento preventivo que ha existido. Con el fin de solventar estos problemas y alargar la vida útil de este equipo se ha puesto en marcha la actualización y repotenciación de la torre de enfriamiento, el cual proporcionará datos precisos los mismos que serán usados por los estudiantes para una mejor pedagogía y comprensión tanto de la materia como del funcionamiento.

Para lograr el correcto funcionamiento de la Torre de Enfriamiento se ha dispuesto la ejecución de diferentes etapas:

Levantamiento y determinación del estado actual de la Torre de Enfriamiento, fase en la cual se llegó a la conclusión de que el equipo se encuentra inoperable debido a la falla en el sistema eléctrico e instrumentación del mismo, el mal estado de la tubería (mangueras, acoples) así también, la caja de resistencias presenta fuga por falta de empaques y fallas en el sistema de calentamiento de agua, ya que una de las cuatro resistencias está colapsada.

El sistema de adquisición de datos no es de grado industrial, todos los sensores que existen en la torre de enfriamiento no son los adecuados, sin embargo, por el uso continuo y por la falta de mantenimiento preventivo y correctivo los sensores empezaron a presentar fallas de medición.

Se realizó un mantenimiento correctivo a toda la Torre de Enfriamiento, además de la actualización de todo el sistema eléctrico e instrumentación obteniendo como resultado la optimización de espacio, así también un mantenimiento preventivo a la parte mecánica de la torre de enfriamiento

Palabras clave: torre, entalpia, repotenciación, mantenimiento

Abstract

Over the years, the energy conversion laboratory of the University of the Armed Forces has been a benchmark for the education of all Mechanical Engineering students, to learn in a practical and illustrative way the different energy transfer processes. heat in the Ecuadorian industry.

One of these pieces of equipment is the Cooling Tower, despite the fact that said piece of equipment was repaired on previous occasions, it continues to present faults and this is due to the little or no preventive maintenance that has existed. In order to solve these problems and extend the useful life of this equipment, the cooling tower has been updated and repowered, which obtained precise data that will be used by the students for better pedagogy and understanding of both the subject and the operation.

To achieve the proper functioning of the Cooling Tower, the execution of different stages has been arranged:

Survey and determination of the current state of the Cooling Tower, phase in which it was concluded that the equipment is inoperable due to a failure in its electrical system and instrumentation, the poor condition of the piping (hoses, couplings) likewise, the resistance box presents a leak due to lack of gaskets and failures in the water heating system, since one of the four resistances is collapsed.

The data acquisition system is not of industrial grade, all the sensors that exist in the cooling tower are not adequate, however, due to continuous use and the lack of preventive and corrective maintenance, the sensors will present measurement failures.

Corrective maintenance was carried out on the entire Cooling Tower, in addition to updating the entire electrical system and instrumentation, obtaining as a result the optimization of space, as well as preventive maintenance on the mechanical part of the cooling tower.

Keywords: tower, enthalpy, repowering, maintenance

Capítulo I. Generalidades

Antecedentes

Anteriormente se han realizado mejoras tanto en automatización como en instrumentación en equipo de torres de enfriamiento como es el caso de Nicolas García y Álvaro Sanches en la Universidad pontificia Bolivariana en 2011, desarrollaron el comisionamiento y automatización de la torre de enfriamiento en el laboratorio de transferencia de calor de dicha Universidad, el cual involucró el correcto funcionamiento de los instrumentos de medición, el control a través de un software y programación mediante un PLC. Por otra parte, en 2009 en la Universidad de la Fuerzas Armadas Espe, se desarrolló la simulación del proceso exergético y automatización del sistema de adquisición de datos de la torre de enfriamiento del laboratorio de termodinámica, que en la actualidad no está funcionando.

El equipo Torre de enfriamiento ubicado en el laboratorio de conversión de energía de la Universidad de las fuerzas Armadas, fue adquirido en la década de los ochenta, y ha sido utilizado para dar sustento práctico a las cátedras de teoría del área de Energía y Termo fluidos.

En la actualidad el equipo no se encuentra en condiciones óptimas para su desempeño, ya que presenta fugas tanto en las tuberías como en la sección delantera donde se encuentra el acrílico de la torre, algunos de los sensores no funcionan y deben ser reemplazados ya que para el sistema de adquisición de datos debemos reemplazar todos los sensores (sensores de temperatura de agua y aire, presión, caudal y humedad relativa), además de que existe averías en las resistencias térmicas las cuales no permiten el calentamiento del agua y no posee un sistema de adquisición de datos en funcionamiento, la instrumentación dejó de funcionar, no se le ha practicado un mantenimiento correctivo ni modificativo, por lo que las actividades de aprendizaje, (prácticas), realizadas por los estudiantes que cursan las distintas asignaturas del área de energías, como: Termodinámica, Termodinámica aplicada, Transferencia de calor y Diseño Térmico, se ven afectadas.

El proyecto presenta como parámetro adicional a esto una correcta instrumentación y acondicionamiento industrializado de cada sensor para su óptimo funcionamiento aprovechando así una DAQ (LabVIEW National Instruments) en la cual, su licencia y software sigue en funcionamiento para varios años y sea de ayuda para la adquisición de datos, con la que ya cuenta la torre de enfriamiento.

A continuación, se presentará a la torre de enfriamiento donde se podrá apreciar de mejor manera lo que hoy en día está fallando, no sirve, no existe un mantenimiento, etc.

Figura 1

Parte frontal de la torre de enfriamiento

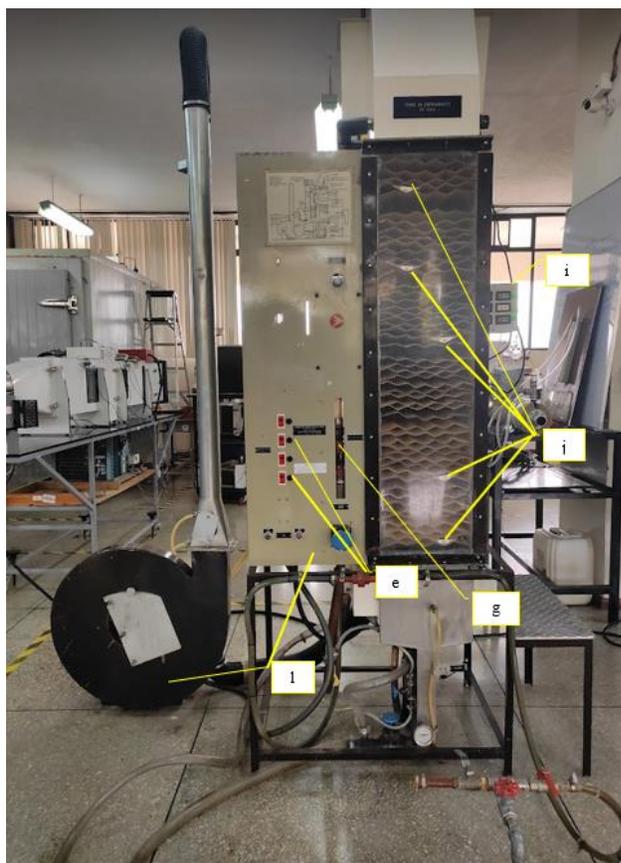
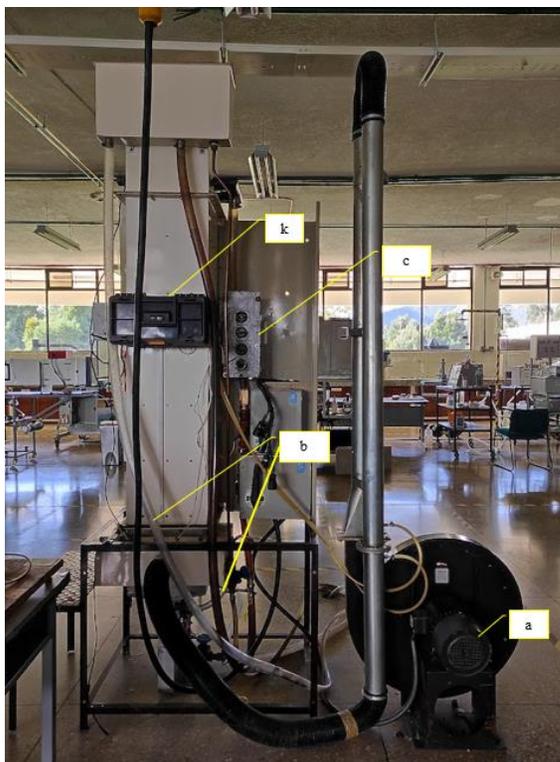


Figura 2*Parte posterior de la torre de enfriamiento***Tabla 1***Fallas en la torre de enfriamiento*

Ord.	Componente	Estado
a	Motor de ventilador	Presenta errores de funcionamiento
b	Mangueras	Presencia fugas
c	Resistencias	3 resistencia quemada
d	Juntas	Presentan fugas
e	Fusibles (10 A)	Inexistentes
f	Tarjeta DAQ (NI-USB-6218)	Funcionando
g	Sensor de caudal (Yf-s201)	Dañado, mal seleccionado
h	Sensor de presión (PX139-001D4V)	Funcionando
i	Sensores de humedad (pgzy)	Mal seleccionados
j	Sensores de temperatura (LM35)	Presenta errores de medición

Ord.	Componente	Estado
k	Cambio de caja de protección de la DAQ	Mal seleccionados
l	Aspecto torre de Enfriamiento	Deteriorado

Proyectos relacionados con mantenimiento, recuperación, puesta a punto, automatización e implementación de sistemas de adquisición de datos, al interior de la Universidad de las Fuerzas

Armadas se listan a continuación:

- Ambato Guasumba Pablo Xavier y Bravo Ríos Juan Fernando, con el tema: “Recuperación energética, puesta a punto, automatización y adquisición de datos del equipo “Túnel de Aire Multipropósito”, del Laboratorio de Conversión de Energía”. Realizaron el mantenimiento correctivo y una implementación del sistema de adquisición de datos diseñando un HMI, permitiendo que el equipo esté disponible para realizar las prácticas en laboratorio con una interfaz programada en LabVIEW para controlar la unidad de refrigeración, finalmente se realizaron las respectivas pruebas de funcionamiento para la puesta a punto del equipo.
- “Diseño, construcción y adquisición de datos de un banco de pruebas móvil de barras cilíndricas de longitud infinita”, realizado por: Collaguazo Lincango Jesús Samael y Quiguango Arcos Cristian Paúl, consiste en el diseño de la adquisición de datos del banco de pruebas de barras de longitud infinita que se encuentra en el laboratorio de conversión de la energía del DECEM, donde se implementa el sistema con la ayuda de sensores, permitiendo obtener el perfil de temperatura que se genera en las tres barras cilíndricas, por medio de una interfaz gráfica programada en Nextion Editor. Finalmente realizaron pruebas de funcionamiento para obtener factores de corrección para que los resultados se apeguen a la teoría de transferencia de calor.
- Ayala Míguez German Eduardo y Totoy Espín Ricardo Fernando, con el tema: “Automatización de la Adquisición de Datos y Control de Encendido del Banco de Pruebas Motor de Combustión Interna a Diésel Plint TE-16 del Laboratorio de Motores del DECEM”, consiste en controlar la

adquisición de datos y encendido en el banco de pruebas PLINT TE-16, que permite registrar parámetros de funcionamiento como caídas de presión, temperatura de gases de escape mediante sensores y procesarlas con la ayuda de una tarjeta de adquisición de datos y la interfaz del software LabVIEW. Dando como resultado el cálculo de varios parámetros importantes para apreciar el desempeño del equipo en relación a eficiencia térmica y volumétrica.

- “Simulación del Proceso Exergético y Automatización del Sistema de Adquisición de Datos de la Torre de Enfriamiento del Laboratorio de Termodinámica del DECEM”, realizado por: Grande Villamarín Rubén Darío y Torres Rodríguez Gabriela Del Carmen, presenta la automatización de la adquisición de datos mediante una simulación virtual de la torre de enfriamiento, implementando instrumentos de medición como sensores para obtener información del proceso y fenómeno físico en el equipo con la ayuda de una tarjeta DAQ. Además, realizaron un mantenimiento preventivo y correctivo de la torre de enfriamiento con lo que se consiguió que el equipo se encuentre operable en su totalidad, presentando datos en vivo con la ayuda de una interfaz programada en LabVIEW.

Definición del problema

La torre de enfriamiento al ser un equipo antiguo, actualmente la problemática del equipo es su correcto funcionamiento, ya que ha cumplido su vida útil, por ende, se realizará un proceso de repotenciación, rediseño térmico, mantenimiento correctivo y modificativo según sea el caso, adicionalmente se diseñarán: un sistema de adquisición de datos y una interfaz HMI; se seleccionará la instrumentación digital y acondicionamiento acorde a las necesidades de obtención de datos del equipo.

En las últimas décadas el laboratorio de conversión de la energía ha tenido la necesidad de buscar alternativas pedagógicas para proporcionar prácticas en el laboratorio, usando diferentes equipos, videos del mismo equipo, claro está, cuando se adquirió el equipo por primera vez y hasta su última modificación la cual fue completamente didáctica y no tuvo una durabilidad a mediano o largo

plazo y por esto, está la repotenciación, rediseño térmico y puesta a punto de este equipo, el cual se le entregará al Laboratorio de Conversión de la Energía un equipo completamente modernizado acorde a las exigencias de la calidad de la educación superior.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar la repotenciación, análisis térmico, y el diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos para el equipo Torre de Enfriamiento, del Laboratorio de Conversión de la Energía.

Objetivos específicos:

- Realizar el análisis térmico para determinar el lugar donde se debe censar las temperaturas en cada una de las etapas.
- Realizar el mantenimiento preventivo y correctivo para la repotenciación de la Torre de enfriamiento.
- Realizar el diseño e implementación del sistema de adquisición de datos de la Torre de enfriamiento.
- Realizar el diseño e implementación de un interfaz HMI de la Torre de enfriamiento.

Justificación e importancia

Al ser la torre de enfriamiento de tipo académico es importante mitigar los fallos tanto mecánico como en parte de instrumentación que tiene el equipo o sus componentes a través de una readecuación, intercambio y modernización del mismo. En el cual como resultado tendrá un impacto muy importante que se encuentre óptimas condiciones para que los estudiantes de las carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica tengan una mejor pedagogía, eficiencia y aprendizaje de los procesos industriales que se tiene en las empresas ya industrializadas y puedan visualizar y comprender como se da el proceso de enfriamiento en una industria. Es importante señalar que se

generarán guías de práctica, manual de usuario y manual de mantenimiento. Por lo anteriormente señalado se justifica la realización del presente proyecto.

Alcance

El proyecto tiene como objetivo desarrollar la repotenciación, rediseño térmico y el diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos, del laboratorio de conversión de la energía para su uso académico o con fines de investigación, facilitando el proceso de comprensibilidad y viabilidad, se iniciará con el estudio del funcionamiento del equipo, se realizará el levantamiento técnico del estado actual, para proceder con el mantenimiento preventivo, correctivo y modificativo de ser el caso, de todos los elementos que constituyen parte de la torre de enfriamiento posteriormente se seleccionarán y reemplazarán los medidores analógicos de humedad relativa por sensores digitales, se reemplazara los sensores de temperatura, caudal que se encuentran deteriorados por sensores industriales. Además, se desarrollará la interfaz de adquisición de datos que permitirá acceder a la información proveniente de los sensores en tiempo real, adicionalmente se entregarán: manuales de funcionamiento, guías de práctica y manual de mantenimiento.

Capítulo II. Marco Teórico

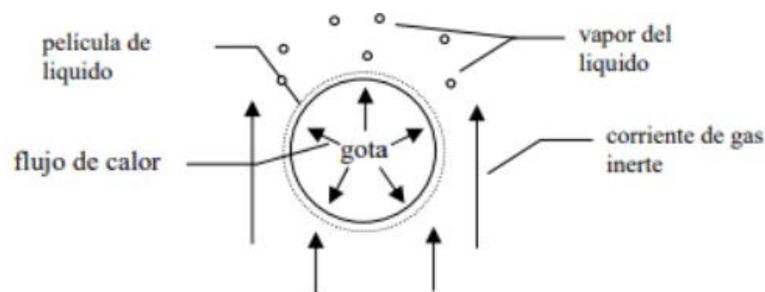
Generalidades

Se define como una maquina térmica utilizada para enfriar agua, este enfriamiento se efectúa poniendo en contacto el agua con el aire, mediante la evaporación de un pequeño porcentaje de la misma agua que se enfría (enfriamiento evaporativo). Dicha evaporación se estimula con una corriente de aire y con la atomización del agua recirculada. (Robert Arango Morales, 2019)

El proceso es simple de explicar, al momento de ingresar un líquido (en nuestro caso agua) con una temperatura T_L y entra en contacto con el aire que se encuentra a una temperatura T_A , al ser T_A menor que T_L , la película de líquido se evapora. Para llegar a un enfriamiento ideal se debe aumentar el área donde hace contacto el gas y el líquido, esto se logra al tener el agua en gotas, sin embargo, se debe tener cuidado al reducir mucho el tamaño de las gotas de agua porque las gotas más pequeñas pueden ser arrastradas por el aire que va en contraflujo produciendo la pérdida de agua del sistema.

Figura 3

Esquema de enfriamiento por evaporación.



Nota: Tomado de *Diseño de un sistema de control para la torre de enfriamiento de agua en planta PROTISA* (p. 11), por Roberto Arango Morales, 2019.

Elementos y partes constitutivas de la torre de enfriamiento análisis

- Soporte de la torre de enfriamiento

- Reservorio de agua
- Panel de control eléctrico
- Torre de enfriamiento
- Mallas internas
- Acrílico
- Chimenea
- Motor eléctrico
- Ventilador
- Mangueras para agua y aire
- Instrumentación para medición

Clasificación de las torres de enfriamiento.

Existen varios tipos de torres de enfriamiento las cuales se diferencian en la forma en la que se utiliza el aire para realizar el cambio de temperatura, este proceso lo realizan ventiladores estratégicamente ubicados dentro o fuera de las torres o incluso pueden llegar a realizar el enfriamiento de forma natural, a continuación, se detallan los tipos de torres de enfriamiento más comunes.

Torres de enfriamiento de circulación natural

También se conocen como torres hiperbólicas o hiperboloides y se utilizan habitualmente en instalaciones industriales. Como sugiere el nombre, no utiliza un ventilador para distribuir el aire, sino que proporciona el flujo de aire necesario en un proceso que marca la diferencia en la consistencia entre el aire interior más húmedo y el aire más frío que el exterior. Asimismo, las chimeneas altas son populares aquí, ya que pueden lograr el equilibrio deseado.

El flujo de agua es de 200,000 galones por minuto porque estas torres son grandes. El agua evaporada supone casi el 80% de los elementos utilizados en las torres de refrigeración. Dejan atrás

sales, carbonatos diversos y otros grupos de sólidos que se van añadiendo poco a poco a los depósitos de agua. (SICREA, 2021)

Torre de enfriamiento de tiro inducido

Esta torre utiliza continuamente un ventilador ubicado en la parte superior del sistema, que aspira aire y lo obliga a moverse en contra de la dirección del líquido. El agua caliente, que alcanza una temperatura baja, se alimenta a la torre a través de un sistema que distribuye el agua y la deja caer sobre el relleno. Además, en el proceso, el agua pasa al aire, se enfría y, en estado de evaporación, absorbe el calor necesario. (SICREA, 2021)

Torres de enfriamiento de tiro forzado

Puede llamarse así porque tiene un ventilador en la parte inferior de la torre de enfriamiento y componentes salientes en la parte superior. En particular, su uso tiene la función de hacer circular aire caliente y húmedo desde la base del ventilador, lo que puede reducir la vida útil del ventilador en el futuro. La diferencia con el flujo de aire forzado es que colocar el ventilador en la parte superior evita un impacto en la productividad y mejora la distribución del aire interno. (SICREA, 2021)

Torres de enfriamiento de tiro cruzado

Este tipo de torre tiene un sistema que permite el paso del aire a través de las paredes, pasando por el agua. Además, requieren una fuente de aire más grande, pero tienen costos operativos más bajos que las torres de enfriamiento por convección. Una de sus mayores ventajas es que puede ahorrar energía y es amigable con el medio ambiente; y, sobre todo, mejora la relación entre la inversión y su rendimiento. (SICREA, 2021)

Operación de las torres de enfriamiento.

Las torres de enfriamiento se utilizan para enfriar grandes cantidades de agua su posterior uso, este es el medio más económico para poder enfriar esta cantidad de agua. En el interior de las torres se

monta un empaque o relleno con el propósito de aumentar la superficie de contacto entre el agua caliente y el aire que la enfría.

Las torres, al tener deflectores o eliminadores de gotas o neblina ayudan a la disminución de pérdida de agua ya que, el agua fluye con la corriente de aire hacia la salida de la torre. El agua se introduce por el domo de la torre por medio de vertederos o por boquillas para distribuir el agua en la mayor superficie posible.

Al momento que el agua cae a través de la torre se pone en contacto directo con la corriente de aire que proviene del ventilador, el aire fluye a contracorriente y tiene una temperatura de bulbo húmedo menor a la temperatura de agua caliente, en consecuencia, la temperatura del agua desciende por transferencia de masa (evaporación) y por transferencia de calor sensible y latente del agua al aire, estos cambios producen un aumento en la humedad y en la temperatura del aire. la temperatura límite de enfriamiento del agua es la temperatura de bulbo húmedo del aire a la entrada de la torre.

Propiedades Psicrométricas del aire

Para comprender mejor cómo funcionan las torres de enfriamiento, hay algunas nociones preconcebidas que se deben considerar. El aire atmosférico contiene muchos componentes gaseosos, así como vapor de agua y algunos contaminantes. El aire seco es aire atmosférico que ha eliminado todo el vapor de agua y las impurezas. Su composición es relativamente estable, pero existen ligeras variaciones en el número de componentes individuales según el tiempo, la ubicación geográfica y la altitud. El aire húmedo es una mezcla binaria de aire seco y vapor de agua. La cantidad de vapor de agua varía de 0 (aire seco) al máximo, dependiendo de la temperatura y la presión. La saturación es un equilibrio neutral entre el aire húmedo y la fase condensada del agua. (Jorge Olavarría Bastidas, n.d.)

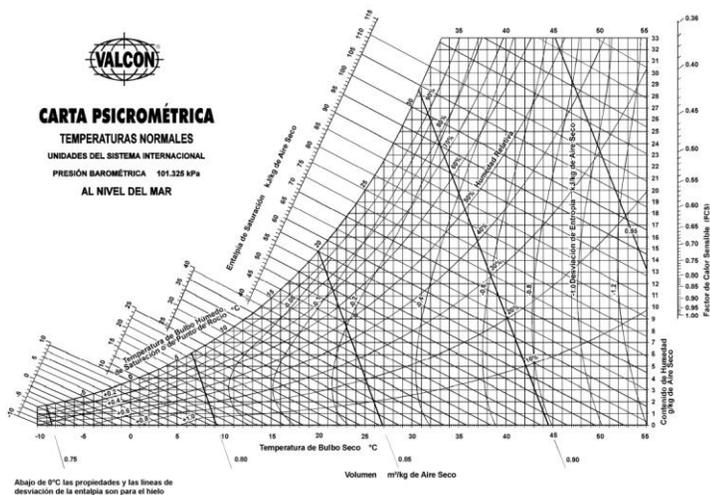
Carta psicrométrica

Una carta psicrométrica representa gráficamente las propiedades termodinámicas del aire húmedo. Conociendo dos de cualquiera de las propiedades del aire, se pueden determinar el resto de características termodinámicas del aire húmedo a diferentes presiones atmosféricas:

- Temperatura de bulbo seco
- Temperatura de bulbo húmedo
- Temperatura de punto de rocío (saturación)
- Humedad absoluta y relativa
- Volumen específico
- Entalpía

Figura 4

Carta psicrométrica.



Nota: Tomado de *Carta Psicrométrica*, por Ing. Nogera Bulmaro, 2020, ¿Qué son las cartas psicrométricas? (<https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/09/cartas-psicrometricas.html>).

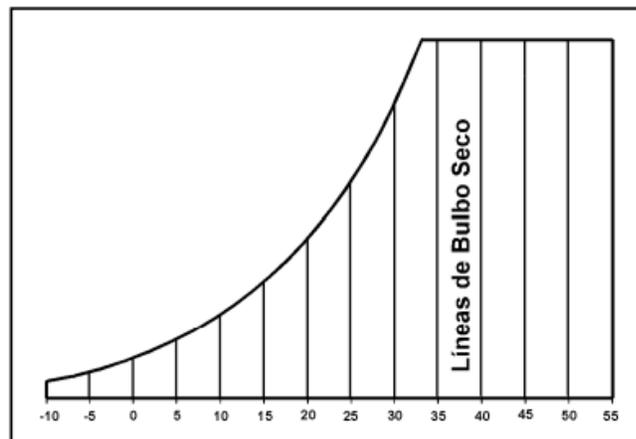
Temperatura de bulbo seco

Se refiere a la temperatura que se mide con un termómetro cualquiera cuyo receptor se encuentra en seco. Esta escala se encuentra de forma horizontal (abscisa), en la parte inferior de la

carta, son las líneas de bulbo seco. Las líneas se muestran de forma vertical desde la parte inferior hasta la parte superior de la carta psicrométrica.

Figura 5

Líneas de temperatura de bulbo seco °C



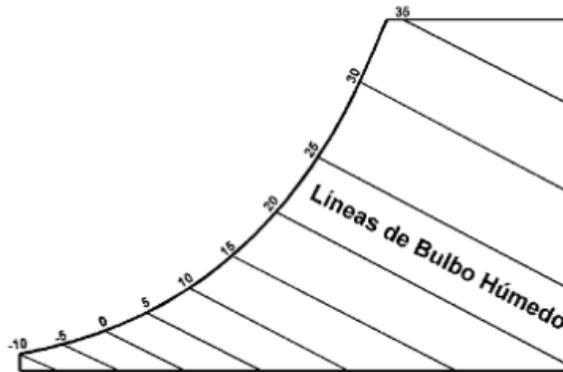
Nota: Tomado de *Temperatura de bulbo seco (tbs)*, por Ing. Bulmaro Noguera, 2020, ¿Qué son las cartas psicrométricas? (<https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/09/cartas-psicrometricas.html>).

Temperatura de bulbo húmedo

Esto se refiere a la temperatura medida con un termómetro especial de bulbo húmedo. Esta es la temperatura resultante que se produce cuando el agua se evapora del bulbo de cualquier termómetro. Su escala es la misma que en la esquina superior izquierda, en el gráfico la curva corre en diagonal de izquierda a derecha y de arriba a abajo en un ángulo de 30°. Esto se considera constante porque los puntos de estas líneas se encuentran a la misma temperatura de bulbo húmedo.

Figura 6

Líneas de temperatura de bulbo húmedo (°C)



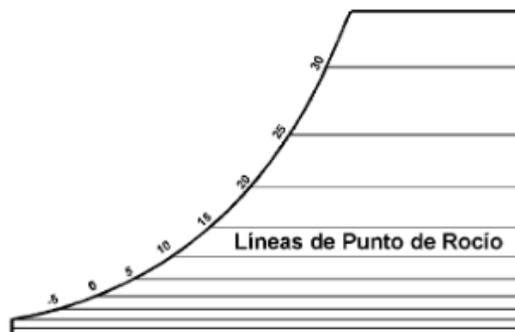
Nota: Tomado de *Temperatura de bulbo húmedo (tbh)*, por Ing. Bulmaro Noguera, 2020, ¿Qué son las cartas psicrométricas? (<https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/09/cartas-psicrometricas.html>).

Temperatura de punto de rocío

Esta es la temperatura donde la humedad se condensará en la superficie. La escala de temperatura de la latencia es la misma que la escala de temperatura de bulbo húmedo; Esto significa que tiene la misma escala para ambos atributos. Sin embargo, las líneas de temperatura del punto de rocío corren horizontalmente de izquierda a derecha, y cada punto en la línea del punto de rocío constante corresponde a una temperatura de punto de rocío en la escala de la curva del gráfico.

Figura 7

Líneas de temperatura de punto de rocío (°C)



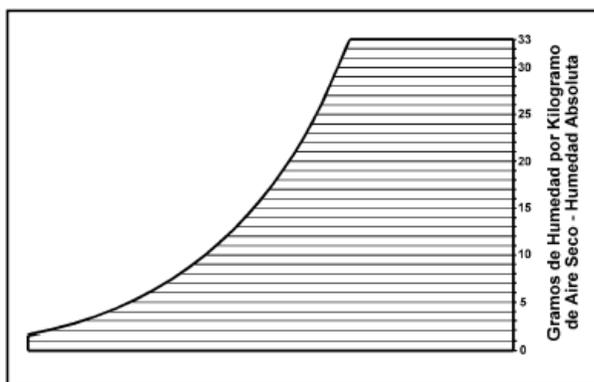
Nota: Tomado de *Temperatura de punto de rocío (tpr)*, por Ing. Bulmaro Noguera, 2020, ¿Qué son las cartas psicrométricas? (<https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/09/cartas-psicrometricas.html>).

Humedad absoluta

La humedad absoluta, es el peso real de vapor de agua en el aire. También se le conoce como humedad específica. La escala de la humedad absoluta, es la escala vertical (ordenada) que se encuentra al lado derecho de la carta psicrométrica.

Figura 8

Líneas de humedad absoluta en (gramos/kg).



Nota: Tomado de *humedad absoluta (ha)*, por Ing. Bulmaro Noguera, 2020, ¿Qué son las cartas psicrométricas? (<https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/09/cartas-psicrometricas.html>).

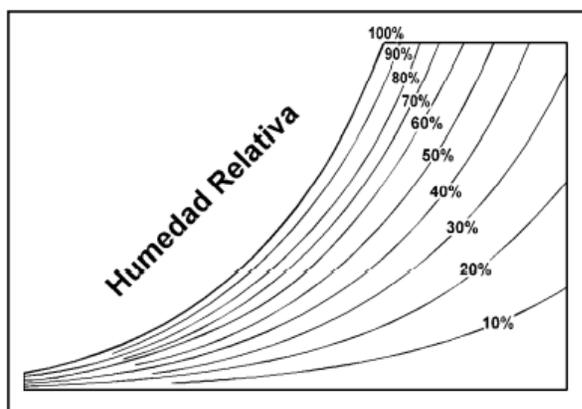
Las líneas de humedad absoluta, corren horizontalmente de derecha a izquierda, y son paralelas a las líneas de punto de rocío y coinciden con éstas. Así pues, podemos ver que la cantidad de humedad en el aire, depende del punto de rocío del aire.

Humedad relativa

En una carta psicrométrica completa, las líneas con humedad relativa constante son curvas que van hacia arriba y hacia la derecha. Siempre se expresan en porcentaje, y este valor se especifica en cada línea. La temperatura de bulbo húmedo y la temperatura de punto de rocío tienen la misma escala en la curva del lado izquierdo del gráfico. Porque la única condición en la que la temperatura de bulbo húmedo y el punto de rocío son iguales es la saturación; Esta curva exterior representa el 100% de saturación o humedad relativa. Por lo tanto, la línea de humedad relativa del 100 % coincide con la escala del punto de rocío y la temperatura de bulbo húmedo.

Figura 9

Líneas de humedad relativa (%)



Nota: Tomado de *humedad relativa (hr)*, por Ing. Bulmaro Noguera, 2020, ¿Qué son las cartas psicrométricas? (<https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/09/cartas-psicrometricas.html>).

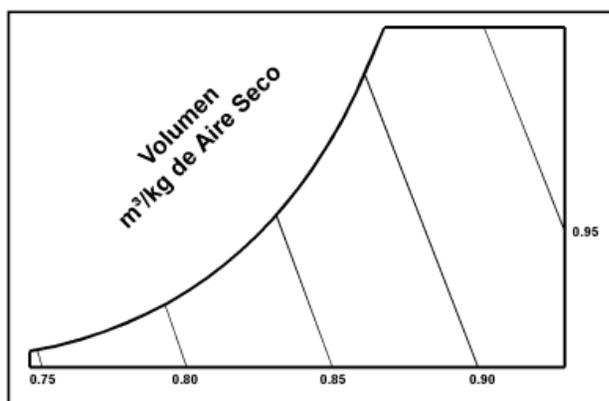
Volumen específico

La figura 10 muestra líneas de volumen específico constante en el gráfico psicrométrico. Estas líneas están inclinadas en un ángulo de unos 60° con respecto a la horizontal y aumentan de valor de

izquierda a derecha. Por regla general, la distancia entre líneas individuales correspondientes a un cambio de volumen específico es de $0,05 \text{ m}^3/\text{kg}$. Por supuesto, cualquier punto entre estas dos líneas debe ser una estimación. Para saber la densidad del aire en qué condiciones, como sabemos, debemos dividir la unidad por un volumen específico porque la densidad es la inversa de un volumen específico y viceversa. Dado que la mayoría de los cálculos de aire acondicionado se basan en la masa de aire y no en el volumen, se debe utilizar un volumen específico (m^3/kg de aire) en lugar de la densidad. (kg/m^3 de aire).

Figura 10

Líneas de volumen específico en (m^3/kg) de aire seco



Nota: Tomado de *Volumen Específico (v)*, por Ing. Bulmaro Noguera, 2020, ¿Qué son las cartas psicrométricas? (<https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/09/cartas-psicrometricas.html>).

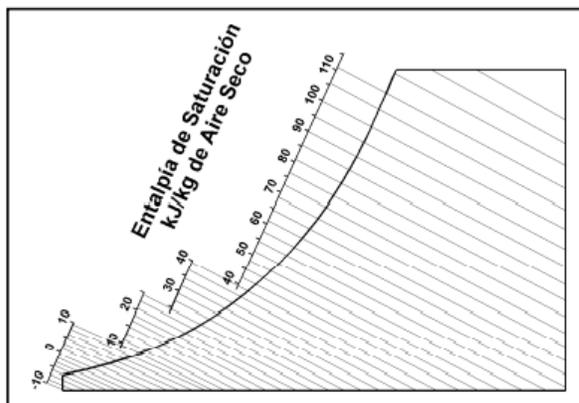
Entalpía

Las líneas de entalpía constantes en una carta psicrométrica, son las que se muestran en la Figura 11. Debe notarse que estas líneas, son meramente extensiones de las líneas de bulbo húmedo; puesto que el calor total del aire, depende de la temperatura de bulbo húmedo. La escala del lado izquierdo lejano a la línea curva, da el calor total del aire en kJ/kg (kilojoules por kilogramo) de aire seco, en el sistema internacional o en Btu/lb de aire seco, en el sistema inglés. Esta escala aumenta de $-6 \text{ kJ}/\text{kg}$

a la temperatura de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ de bulbo húmedo, hasta aproximadamente 115 kJ/kg a $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ de bulbo húmedo.

Figura 11

Líneas de entalpía en (kJ/kg) de aire seco.



Nota: Tomado de *Entalpía (h)*, por Ing. Bulmaro Noguera, 2020, ¿Qué son las cartas psicrométricas?

(<https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/09/cartas-psicrometricas.html>).

Calor específico

El calor específico se define como la energía necesaria para aumentar la temperatura de la masa de sustancia en un grado. En general, esta energía depende de cómo se realice el proceso. En termodinámica, son de interés dos tipos de calor específico: el calor específico a volumen constante C_v y el calor específico a presión constante C_p . Desde un punto de vista físico, el calor específico a volumen constante C_v puede considerarse como la energía necesaria para elevar la temperatura de una unidad de masa de una sustancia en un grado a volumen constante. La energía requerida por el mismo a presión constante es el calor específico a presión constante C_p .

Transferencia de calor

El calor es una forma de energía que se puede transferir de un sistema a otro debido a las diferencias de temperatura, y la ciencia involucrada en la comprensión fenómeno es la transferencia de calor.

El requisito principal para la transferencia de calor es la presencia de una diferencia de temperatura. No puede haber transferencia neta de calor entre dos medios a la misma temperatura. La diferencia de temperatura es la fuerza impulsora de la transferencia de calor, así como la diferencia de voltaje es la fuerza impulsora de la corriente y la diferencia de presión es la fuerza impulsora del flujo de fluido.

Los dispositivos de transferencia de calor como intercambiadores de calor, calderas, condensadores, calentadores, radiadores, hornos, refrigeradores y colectores solares están diseñados teniendo en cuenta el análisis de transferencia de calor. Los problemas que encuentra esta ciencia en la práctica pueden ser considerados en dos grupos:

- *Capacidad nominal*: Los problemas de capacidad nominal tratan de la determinación de la razón de la transferencia de calor para un sistema existente a una diferencia específica de temperatura
- *Dimensionamiento*: Los problemas de dimensionamiento tratan con la determinación del tamaño de un sistema con el fin de transferir calor a una razón determinada para una diferencia específica de temperatura. (Yunus A. Cengel & Afshin J. Ghajar, 2011)

Transmisión De Calor Por Conducción En Régimen Estacionario Y Flujo Unidireccional

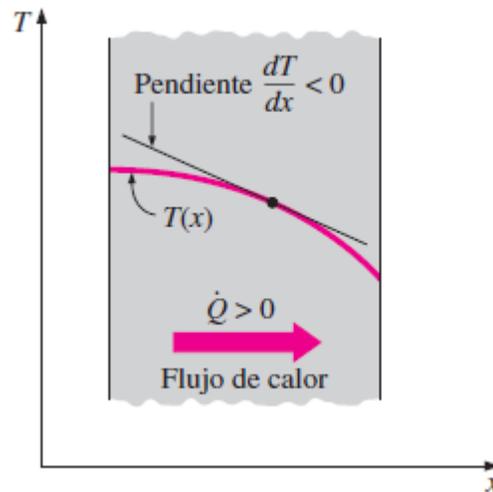
La conducción es el único mecanismo posible de transferencia de calor en un medio sólido opaco; cuando estos cuerpos tienen un gradiente de temperatura, el calor se transfiere de la región de mayor temperatura a la región de menor temperatura por conducción Q_k , proporcional al gradiente de temperatura dT/dx , y a la superficie A , a través de la cual se transfiere.

$$Q_k = A \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

En donde T es la temperatura y x la dirección del flujo de calor.

Figura 12

Convenio de signos para la transferencia de calor por conducción.



Nota: Tomado de *Transferencia de Calor y Masa* (p.67), por Yunus A. Cengel y Afshin J. Ghajar, 2011, The McGraw-Hill

El flujo real de calor depende de la conductividad térmica k , que es una propiedad física del cuerpo, por lo que la ecuación anterior se puede expresar en la forma:

$$Q_k = -k A \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

En la que, si la superficie A de intercambio térmico se expresa en m^2 , la temperatura en grados Kelvin, la distancia x en metros y la transmisión del calor en W , las unidades de k serán $\frac{W}{m \cdot K^\circ}$. El signo menos en la ecuación anterior es consecuencia de la segunda ley de la termodinámica, según la cual el calor debe fluir hacia la región de temperatura más fría. Si la temperatura disminuye con valores crecientes de x , el gradiente de temperatura es negativo, por lo que, si la cantidad de calor transferido en la dirección positiva debe ser positiva, se debe poner un signo negativo en la segunda parte de la ecuación anterior. (Yunus A. Cengel & Afshin J. Ghajar, 2011)

Conductividad térmica

Las propiedades de transferencia de calor de los materiales sólidos se miden por una propiedad llamada conductividad térmica k (o λ) expresada en W/mK. Es una medida de la capacidad de una sustancia para conducir el calor a través del material. Tenga en cuenta que la ley de Fourier se aplica a toda la materia, independientemente de su estado (sólido, líquido o gas), por lo que también se aplica a líquidos y gases. La mayoría de los materiales son casi homogéneos, por lo que normalmente podemos escribir $k = k(T)$. Los metales son sólidos y, por lo tanto, tienen una estructura cristalina en la que los iones (núcleos atómicos y sus capas electrónicas centrales circundantes) ocupan posiciones equivalentes en la red cristalina. Los metales generalmente tienen alta conductividad eléctrica, alta conductividad térmica y alta densidad.

Tabla 2

Conductividad térmica de algunos materiales

Material	k (W/m²K) a 300 K
Cobre	386
Aluminio	204
Vidrio	75
Plástico	0,2
Agua	0,6
Aceite de motores	0,15
Freón (líquido)	0,07
Aire	0,026

Nota: Adaptado de *¿Qué es la conductividad térmica de materiales y elementos químicos?*, por Connor Nick, 2020, Thermal Engineering (<https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-conductividad-termica-de-materiales-y-elementos-quimicos-definicion/>)

Transferencia de calor por convección

La conducción y la convección son similares en el sentido de que requieren un medio material, pero se diferencian en que la convección requiere el movimiento de un fluido. La transferencia de calor por convección depende en gran medida de las propiedades de viscosidad dinámica μ , conductividad térmica k , densidad y calor específico C_p y Velocidad del fluido V . El coeficiente de transferencia de calor h se puede definir como la relación de transferencia de calor entre la superficie fija y la diferencia de temperatura en el área de superficie entre cada unidad. El contenido de calorías de convección se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$\dot{q}_{conv} = h(T_s - T_\infty) \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (3)$$

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) [W] \quad (4)$$

Donde:

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección, $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$

A_s = Área superficial de transferencia de calor, $[m^2]$

T_s = Temperatura de la superficie, $[^\circ K]$

T_∞ = Temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie, $[^\circ K]$

Convección natural

La fuerza motriz surge de los cambios en la densidad del fluido en contacto con superficies de diferentes temperaturas, creando flotabilidad. Un fluido cerca de la superficie adquiere velocidad solo debido a esta diferencia de densidad y no se ve afectado por ninguna fuerza impulsora externa.

Ejemplos típicos son la transferencia de calor desde las paredes o el techo de una casa hacia el exterior en un día tranquilo y soleado, la convección en un tanque de fluido inmóvil con bobinas de calefacción, la transferencia de calor desde la superficie de un colector solar en un día tranquilo, etc.

Convección forzada

Es aquella que tiene lugar cuando una fuerza motriz exterior mueve un fluido con una velocidad u_F sobre una superficie que se encuentra a una temperatura T_pF , mayor o menor que la del fluido T_F .

Como la velocidad del fluido en la convección forzada u_F es mayor que en la convección natural, se transfiere, por lo tanto, una mayor cantidad de calor para una determinada temperatura.

Independientemente de que la convección sea natural o forzada.

Tabla 3

Valores de coeficientes de transmisión de calor por convección

Tipo de convección	Fluido	h_c (W/m²°K)
Natural	Aire	5 - 25
Natural	Agua	20 - 100
Forzada	Aire	10 - 200
Forzada	Agua	50 - 10000
	Agua en ebullición	3000 - 100000
	Vapor de agua	5000 - 100000

Nota: Adaptado de, *Apuntes de Transferencia de Calor* (p.11), por Ing. Ing. Ángelo Villavicencio, 2020.

Para todos los gases, un aumento de la temperatura implica que la densidad disminuya y la viscosidad aumente. Para todos los líquidos, un aumento de la temperatura implica que la densidad y la viscosidad disminuyan.

Se ha verificado que en la convección natural, si el fluido es un líquido, la velocidad crece al principio con la distancia a la placa, debido a que la viscosidad disminuye más rápidamente que la densidad, que lo hace más lentamente, fenómeno que se invierte desde la zona de velocidad máxima hasta el resto del fluido; la fuerza ascensional decrece a medida que la densidad del fluido se aproxima a la del fluido de los alrededores, por lo que la velocidad alcanza, en primer lugar, un máximo y, posteriormente, se aproxima a cero lejos de la superficie caliente.

Para la distribución de temperaturas en la convección natural y en la forzada tiene una forma similar; en ambos casos, el mecanismo de la transmisión del calor en la interfase (fluido/sólido) corresponde a la conducción.

Mantenimiento

El mantenimiento es el conjunto de actividades y acciones necesarias para preservar, mejorar y prolongar la vida útil de un equipo, sistema o instalación. El objetivo principal del mantenimiento es asegurar que los equipos estén en buenas condiciones para funcionar de manera eficiente y segura, reduciendo los riesgos de fallas o averías. El mantenimiento puede ser clasificado en diferentes tipos, como el mantenimiento preventivo, que se lleva a cabo de manera regular para prevenir fallos, el mantenimiento correctivo, que se realiza cuando un equipo ya ha fallado, y el mantenimiento modificativo, que se lleva a cabo con el objetivo de mejorar las características del equipo. Dependiendo del tipo de mantenimiento, pueden incluir tareas como inspecciones, limpiezas, lubricaciones, ajustes, reparaciones, reemplazos, entre otras.

Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo es un tipo de mantenimiento que se lleva a cabo de manera regular con el objetivo de prevenir fallos o defectos en un equipo o sistema. Se basa en la realización de tareas programadas y planificadas con antelación para detectar y corregir problemas potenciales antes de que ocurran. Algunas de las partes de un sistema de mantenimiento preventivo pueden incluir:

- Inspección: revisión visual de un equipo o sistema para detectar problemas potenciales.
- Limpieza: eliminación de suciedad, polvo y otros contaminantes para mantener el equipo en buenas condiciones.
- Lubricación: aplicación de lubricantes para reducir el desgaste y la fricción en las piezas móviles del equipo.

- Ajuste: ajuste de los componentes del equipo para asegurar que estén funcionando de manera óptima.
- Reparación: reparación de piezas dañadas o desgastadas antes de que causen fallos graves.
- Reemplazo: reemplazo de piezas que estén desgastadas o ineficientes.

Mantenimiento modificativo

El mantenimiento modificativo es un tipo de mantenimiento que se lleva a cabo con el objetivo de mejorar las características de un equipo o sistema. Estas mejoras pueden incluir aumentar la eficiencia, la capacidad, la seguridad, la vida útil, entre otros aspectos. Algunas de las partes de un sistema de mantenimiento modificativo pueden incluir:

- Modernización: incorporar tecnologías actuales para mejorar la eficiencia y la capacidad del equipo.
- Ampliación: aumentar la capacidad del equipo mediante la adición de componentes.
- Reingeniería: cambio en el diseño o en la configuración de un equipo para mejorar su rendimiento o reducir sus costos de operación.
- Mejora de seguridad: instalar dispositivos de seguridad para reducir los riesgos de accidentes.
- Reacondicionamiento: restaurar un equipo a su estado original mediante la reparación, reemplazo y/o reajuste de las piezas.
- Actualización de software: actualizar el software que controla el funcionamiento del equipo para corregir fallos o mejorar su rendimiento.

Es importante notar que el mantenimiento modificativo puede requerir de un mayor tiempo y un mayor costo que el preventivo, ya que generalmente implica un mayor nivel de intervención en el equipo.

Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo es un tipo de mantenimiento que se lleva a cabo cuando un equipo o sistema ya ha fallado o presenta algún problema. El objetivo principal es reparar el equipo y restaurar su funcionamiento normal. Algunas de las partes de un sistema de mantenimiento correctivo pueden incluir:

- Diagnóstico: identificación de la causa del fallo o problema.
- Reparación: arreglo o sustitución de las piezas dañadas o defectuosas.
- Pruebas: verificación de que el equipo está funcionando de manera correcta después de la reparación.
- Registro: registro de las acciones realizadas y las piezas sustituidas en el equipo.
- Análisis: estudio del fallo o problema para determinar las causas y evitar que vuelva a ocurrir en el futuro.

Es importante tener en cuenta que el mantenimiento correctivo puede ser más costoso y tardado que el mantenimiento preventivo, ya que generalmente implica reparar daños o defectos ya existentes, y puede requerir la parada temporal del equipo.

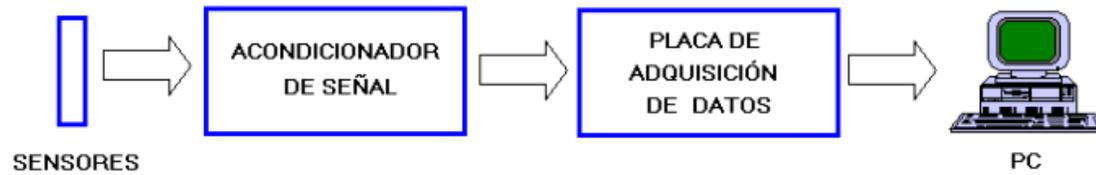
Proceso de adquisición de datos

La adquisición de datos se lo debe realizar por medio de un computador y de una magnitud física. Este proceso consiste en tres etapas:

- Conversión de la magnitud adquirida a una señal eléctrica.
- Adaptación de la señal eléctrica para su lectura de forma digital.
- Hardware de adquisición de datos (computador).

Figura 13

Esquema de un Sistema de Adquisición de Datos



Técnicas de adquisición de datos

DAQ

Es la adquisición de datos por medio de medición y registro de un fenómeno físico (temperatura, presión, voltaje, corriente o sonido) a través de una computadora. Estos sistemas se conforman por sensores, hardware de medidas DAQ y una PC son software programable. Haciendo una comparación de un sistema DAQ con un sistema de medida tradicional tenemos la ventaja de que los sistemas DAQ aprovechan la velocidad de procesamiento en tiempo real, la observación paso a paso del proceso, productividad a través de la PC dando como resultado un mejor manejo de grandes cantidades de datos.

Sensor

Como hemos dicho antes, el sistema DAQ se encarga de recibir los fenómenos físicos, sin embargo, los encargados de receptor dichos fenómenos son los sensores. Estos fenómenos físicos – naturales pueden llegar a ser desde la humedad de una habitación, densidad de una sustancia o la presión aplicada en una determinada superficie. Un sensor son transductores que convierten el fenómeno físico en una señal eléctrica medible.

Según el sensor que se utilice, la señal de salida que llega al sistema DAQ puede ser voltaje o corriente. Los sensores también funcionan con componentes y circuitos adicionales para generar una señal o representación que puede ser captada con precisión por un dispositivo DAQ.

Tabla 4*Sensores más comunes*

Sensor	Fenómeno
Termopar, RTD, Termistor	Temperatura
Fotosensor	Luz
Micrófono	Sonido
Galga extensiométrica, transductor piezoeléctrico	Fuerza y presión
Potenciómetro, LVDT, codificador óptico	Posición y desplazamiento
Acelerómetro	Aceleración
Electrodo pH	pH

Nota: Adaptado de *Apuntes de Instrumentación Mecánica* (p.67), Ing. Luís Echeverría, 2018

Acondicionamiento de señales

Es el proceso donde se mide y manipula las señales provenientes de los sensores para mejorar la exactitud, aislamiento, filtrado, etc. La señal que produce el sensor tiene que ser tratada, convertida o escalada para poder ingresar a los sistemas de adquisición, las señales se pueden acondicionar de las siguientes formas:

- **Amplificación de señal.** Hay que tener en cuenta que, para disponer de una resolución máxima, la señal tiene que ser amplificada de manera que la tensión máxima alcanzable sea igual al valor máximo del rango de entrada del convertidor análogo a digital.
- **Excitación de transductores.** Los sistemas de acondicionamiento de señal pueden generar excitación, la cual algunos transductores requieren para operar. Las galgas extensiométricas y las RTDs requieren de voltaje y corriente externos, respectivamente, para excitar sus circuitos dentro de la medición del fenómeno físico. Este tipo de excitación es similar a un radio el cual necesita potencia para recibir y decodificar las señales de audio.

- **Aislamiento de señales.** Otra forma común de usar acondicionamiento de señal es aislar del computador las señales del transductor para propósito de seguridad. También puede usar el aislamiento para asegurar que las diferencias en los potenciales de tierra no afecten las mediciones desde los dispositivos DAQ. Cuando usted no referencia los dispositivos DAQ y las señales al mismo potencial de tierra, puede ocurrir un ciclo de tierra. Los ciclos de tierra pueden causar una representación inadecuada de la señal medida. Si las diferencias de potencial entre las señales de tierra y la tierra del dispositivo DAQ es muy grande, puede ocurrir daños al sistema de medición. Al aislar la señal se elimina el ciclo de tierra y asegurar que las señales son medidas exactamente.

LabVIEW

Es un software de ingeniería de sistemas para aplicaciones que requieren pruebas, medidas y control con acceso rápido a hardware e información de datos, presenta un enfoque gráfico de la programación. De este modo, el desarrollador puede apreciar con claridad los distintos aspectos de su aplicación, como las medidas y la configuración del hardware. La visualización, por otra parte, facilita la integración del hardware de medidas, independientemente del proveedor en cuestión.

Con LabVIEW se pueden crear algoritmos de análisis de datos y elaborar interfaces de usuario. Aunque en un principio la plataforma se orientaba al control de instrumentos (lo que se conoce como instrumentación electrónica), actualmente su alcance se extendió hasta llegar a las comunicaciones y a la programación embebida.(EcuRed, n.d.)

Para la elaboración del presente proyecto de tesis se concluyó que el lenguaje más óptimo es LabVIEW, ya que al ser un software desarrollado por National Instruments y nuestra tarjeta de adquisición de datos es del mismo proveedor existe una mejor comunicación entre ellos.

Instrumentos Virtuales (VIs)

Los archivos generados por LabVIEW se llaman instrumentos virtuales o Vis, los Vis tienen la apariencia de los mismos instrumentos físicos como multímetros u osciloscopios, el software tiene gran variedad de VIs, además de funciones para procesar y almacenar datos.

Partes de un archivo VI

Panel frontal. Es la interfase hombre – máquina, puede construirse con controles e indicadores que representarán las entradas y salidas de un VI. Los controles son objetos que ayudan a ingresar datos al programa para luego ser manipulados por el usuario. Dichos controles son variables de entrada.

Los indicadores son para presentar resultados entregados por el programa, estos resultados no pueden ser manipulados, los indicadores son variables de salida.

Figura 14

Panel frontal

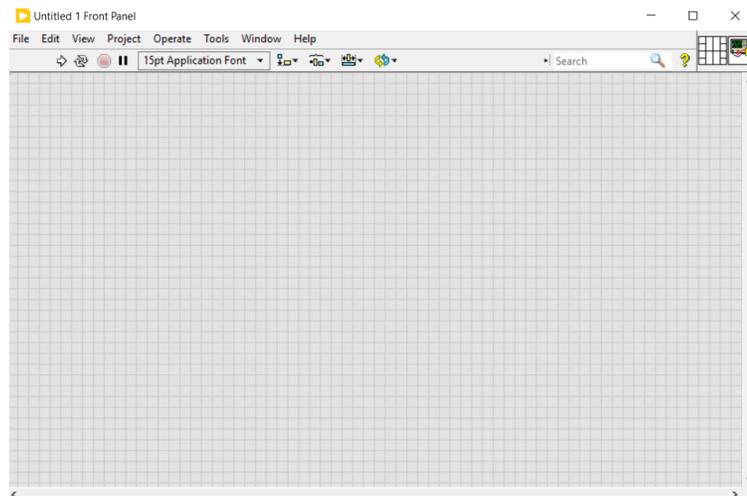


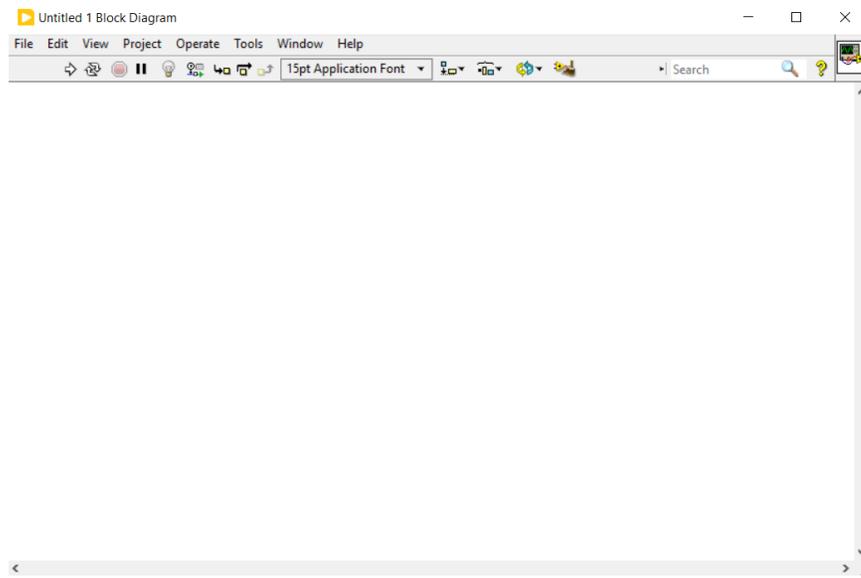
Diagrama de bloques. Los objetos dentro del diagrama de bloques comprenden terminales, funciones, constantes, cables y estructuras, los cuales cumplen con la función de transferir datos por medio de objetos del diagrama de bloques.

Cuando ya se ha construido el panel frontal se puede seguir con la agregación de representaciones gráficas de funciones con el fin de controlar dichos objetos del panel frontal. Los

objetos del panel frontal aparecen como terminales en el diagrama de bloques. Los terminales son puertos de entrada y salida que comparten información entre el panel frontal y el diagrama de bloques.

Figura 15

Diagrama de bloques



Los terminales de control e indicador pertenecen a los controles e indicadores del panel frontal. Los datos que usted ingresa en los controles del panel frontal entran al diagrama de bloques a través de los terminales de control.

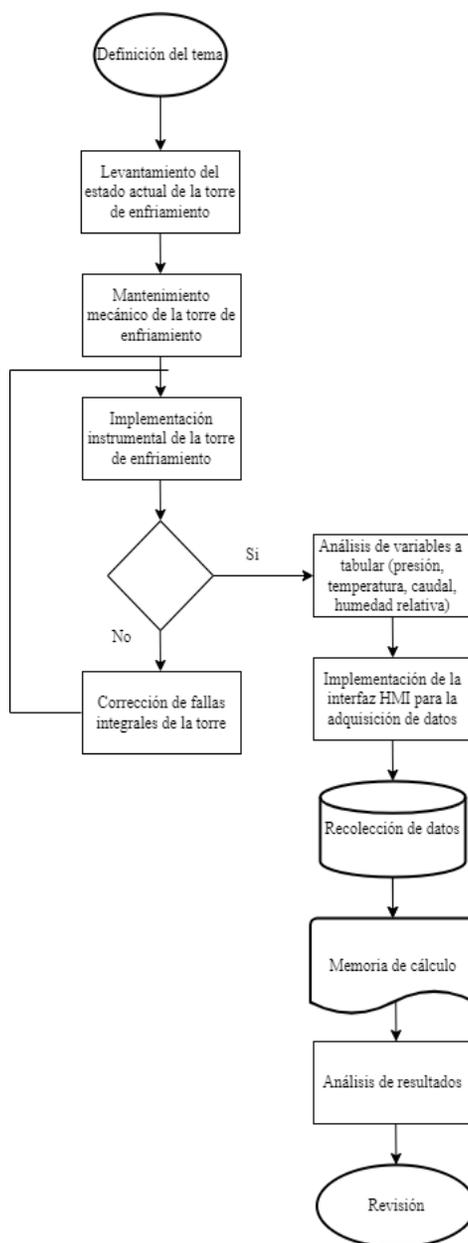
Capítulo III. Mantenimiento y Repotenciación

Introducción

En el presente proyecto se realizará el análisis del intercambio de calor en una torre de enfriamiento con la finalidad de conocer a fondo el funcionamiento de un equipo de estas características.

Figura 16

Diagrama de flujo de trabajos en la torre de enfriamiento



Considerando esta metodología y aplicándola a nuestro proyecto se tendría que:

Levantamiento del estado actual de la torre de enfriamiento. En esta etapa es donde analizaremos el estado actual de la torre de enfriamiento, sus posibles fallas y buscaremos posibles soluciones.

Mantenimiento mecánico de la torre de enfriamiento. Se procederá a la corrección de fallas mecánicas provenientes de la torre de enfriamiento tales como:

- Realizar un mantenimiento preventivo al motor.
- Realizar el cambio de la resistencia dañada además de cambiar la caja donde yacen las mismas.
- Realizar el cambio de empaques de las juntas para evitar fugas.
- Cambio de acrílico de la torre de enfriamiento.
- Cambio de mangueras ya que las mismas presentan fugas.

Implementación instrumental de la torre de enfriamiento. Aquí es donde se procederá a cambiar los sensores dañados que tiene nuestra torre por sensores totalmente funcionales tanto de humedad, caudal y temperatura.

Corrección de fallas integrales de la torre. En esta etapa se procederá a realizar pruebas de funcionamiento para determinar si nuestra torre de enfriamiento está lista para poder ser utilizada y si no lo está se harán los cambios pertinentes hasta que la misma esté en óptimas condiciones.

Análisis de variables a tabular. Aquí analizaremos cuales variables son las que necesitaremos según la información que nos envíen nuestros sensores implementados.

Implementación de la interfaz HMI. Una vez identificadas las variables que vamos a obtener de nuestros sensores, necesitaremos una interfaz donde puedan mostrarse la información proveniente de la torre de enfriamiento y por eso se implementará una interfaz intuitiva y fácil de usar para una pronta toma de datos.

Recolección de datos. Se harán varias pruebas para poder recolectar datos de la torre de enfriamiento con el fin de realizar la estadística correspondiente.

Análisis de resultados. Se procederá a verificar si los datos que arroja la torre de enfriamiento son los correctos respecto a los valores patrón que se tienen de la misma torre.

Levantamiento línea base

Estado anterior de la máquina

Se describe el punto de partida para evaluar las funciones y servicios que se utilizarán para ejecutar las actividades de repotenciación de la máquina. Para cumplir con este análisis, se debe conocer las especificaciones que posee cada parte de la máquina a repotenciar, con el fin de dar a conocer las condiciones iniciales, además de mostrar el estado desde el último trabajo de la misma, con un levantamiento técnico completo.

Estado general

La torre de enfriamiento ubicado en el laboratorio de conversión de la energía, se encontró en el estado que se observa en la Figura 17 y Figura 18 respectivamente.

Figura 17

Equipo Torre de enfriamiento vista frontal

**Figura 18**

Equipo Torre de enfriamiento vista posterior



Se realiza un levantamiento técnico completo con el fin de investigar, revisar las características técnicas y funcionamiento de la maquina tanto mecánico como eléctrico, así también una revisión visual del mismo: componentes, mecanismos, sistemas eléctricos, turbinas, resistencias, mangueras, caja de resistencias, sensores.

Estado torre de enfriamiento

Las primeras observaciones realizadas, permite ver que el equipo, estéticamente presenta deterioro, presenta fugas de agua en el acrílico, el tol de la máquina tiene orificios, cortes sin ninguna utilidad.

Estado motor y turbina

Se realiza el respectivo levantamiento del motor, observando que el motor tiene un deterioro en su interior ya que produce una vibración y tiene desbalanceo de la hélice, el cual provoca rozamiento.

Figura 19

Estado de Motor y turbina del Equipo Torre de enfriamiento



Se realizó una inspección completa y en la Figura 19, se observó que la hélice está rosando, no existe un empaque correcto, el motor genera un sonido, aquí se determinó que la vida útil de las bobinas estaba por fallar. Así mismo, la hélice y la manzana, se veían deterioradas estéticamente y sin un empaque protector, además al momento de realizar el levantamiento se encontró un tubo de llanta que servía como amortiguador para evitar vibraciones. Como se observa en la Figura 20.

Figura 20

Estado de Motor y turbina frontal del Equipo Torre de enfriamiento



En cuanto a la conexión del motor se observó que los cables están en mal estado, pelados y los terminales no servían. El recubrimiento de los cables de la fuente de poder estaba totalmente cristalizado y produciendo cortocircuito, por lo cual el motor solo estaba trabajando dos fases y calentaba ya que enviaba un amperaje que no es correcto y se apagaba luego de estar encendido por 3 minutos.

Figura 21

Estado anterior de cajetín y conexiones del motor.



Nota: Como se observa en la Figura 21 existe oxidación, deterioro de arandelas y cables cristalizados.

Estado caja de resistencias

Se realizó una inspección del estado de la caja tanto al exterior como al interior del mismo. el cual a primera vista estaba deteriorado visualmente, la fachada de la caja tenía grietas, socavaciones, pintura en mal estado, tuercas y rodajas oxidadas.

Figura 22

Estado anterior exterior de tapa y caja de resistencias



Nota: En la Figura 22 se analizó que hay diferentes tuercas, diferentes rodela no acordes (sobre dimensionadas), existen grietas y pequeñas fugas de agua.

Figura 23

Estado anterior interior de tapa y caja de resistencias



Nota: En la Figura 23 se aprecia que en las paredes existen impurezas ya que no se realizó un mantenimiento y no existía un filtro purificador de agua. Se encontró un empaque casero (tubo de llanta) en mal estado por el cual existían fugas de agua.

Estado tol de la torre de enfriamiento

Visualmente la carcasa metálica de la torre de enfriamiento (tol) era el que vino inicialmente en el equipo, el cual tenía agujeros deshabilitados que no cumplían ninguna función, raspones debido a su uso y antigüedad del mismo.

Figura 24

Estado anterior carcasa protectora de la torre de enfriamiento



Estado del sistema de adquisición de datos

Se realizó la inspección del Gabinete en donde se encontraba protegida la DAQ y se observó que estaba mal ubicado, el material y el tipo de gabinete no era el adecuado para proteger todo el sistema de adquisición de datos, el cual era una caja de plástico de herramientas con orificios no simétricos y sin ninguna seguridad donde los cables no estaban protegidos y con riesgo a corto circuitos.

Figura 25

Estado anterior Gabinete



a)



b)



c)

Nota: a) Ubicación caja de adquisición de datos, b) Estado interno de la cada de adquisición de datos, c) Cableado de caja de adquisición de datos.

Estado anterior sensores de la torre de enfriamiento

Sensor de temperatura

Realizando el levantamiento técnico de los sensores se observó que 8 de 10 sensores que estaban en la torre de enfriamiento no servían, por otra parte, la protección de dichos sensores (LM35) no era la adecuada ya que su única protección fue silicona y una campana plástica con agujeros mal hecha, producto de este mal acondicionamiento provocó que los sensores fallen.

Figura 26

Estado anterior sensores de temperatura



Sensor de caudal

En la inspección visual y técnica se analizó que el sensor de caudal no era de grado industrial, y concluimos que el sensor no servía, los cables estaban cristalizados y al igual que con los sensores de temperatura, este sensor estaba lleno de silicona para que no existan fugas como se observa en la Figura 27.

Figura 27

Estado anterior sensor de caudal



Sensor de presión

El sensor de presión (OMEGA) al momento de realizar el levantamiento técnico se afirmó que no existía ningún fallo y se encontraba funcionando al 100% de su capacidad.

Figura 28

Sensor de Presión



Nota: Tomado de PX139 Series Pressure Sensors Instruction Sheet, por Omega, Omega

(<https://assets.omega.com/manuals/M2003.pdf>).

Sensor de humedad

Al realizar levantamiento de los sensores, se determinó que visualmente se encontraban en buen estado, al momento de probarlos existía un error de medición de la humedad ya que se compararon dichos sensores respecto a la humedad ambiente y daban distintos valores, tampoco tenían ninguna protección contra la inmersión de agua y además, no estaban ubicados correctamente.

Figura 29

Sensores de humedad



Estado acrílico protector de estaciones

Se hizo una inspección visual, se determinó que el acrílico funcionalmente no presentaba fugas ya que estaba lleno de silicona. Al abrirlo, se vio que no existía ningún tipo de empaque para que no haya fuga de agua, visualmente estaba percutido por su uso y no se podía observar los fenómenos que ocurrían en las estaciones.

Figura 30

Estado anterior acrílico protector

**Estado sistema eléctrico*****Estado caja breaker eléctrico***

La caja de breakers se encontraba en buen estado, con desgaste de pintura y oxidación por derrame de fluidos en su parte superior pero funcionalmente bien.

Estado interno caja breaker eléctrico

Al momento de abrir la caja de los breakers, se visualizó que estaban funcionando, no existían corto circuitos. Dado que la torre de enfriamiento tiene varios años en funcionamiento, el sistema eléctrico estaba desactualizado esto provocaba que si fallaba algún componente fuera difícil encontrar un reemplazo de las mismas características.

Figura 31

Estado caja de resistencias



a)



b)

Nota: a) Caja de breakers 60 A; b) Caja de breakers 32 A.

Estado caja conexiones de interruptores

Al momento de abrir la caja de conexiones donde se encontraban los interruptores se analizó que los cableados eléctricos estaban bien distribuidos y no estaban haciendo corto circuito, sin embargo, se determinó que uno de los cables de las resistencias no estaba conectado, además no servían 2 porta fusibles de 4 existentes. Ningún cable de conexión tenía terminales de conexión, por último, los interruptores y porta fusibles eran obsoletos haciendo difícil su mantenimiento.

Figura 32

Estado caja conexión de interruptores



Estado del cableado conexión de resistencias

El cableado de conexión de las resistencias mediante una inspección visual se vio que estaban fijadas con silicona como se puede observar en la Figura 33.

Figura 33

Estado del cableado de conexión de resistencias



Nota: Al momento de destapar el enchufe se observa en la Figura 34 que existen cables pelados con riesgo de cortocircuitos, sulfatados y cristalizados por su antigüedad.

Figura 34

Estado cableado de enchufe de resistencias



Estado anterior del sistema de alimentación de agua

Estado reservorio de agua

El reservorio de agua no tenía fugas, pero presentaba suciedad en su interior producto de todas las impurezas que tiene el agua de la universidad

Figura 35

Estado reservorio de agua



Estado de las mangueras

Se observó que las mangueras estaban deterioradas por su uso, como se dijo anteriormente, la calidad de agua de la universidad no es buena y eso provocó que haya moho en las paredes de las mangueras, además las mangueras no estaban diseñadas para soportar dobleces constantes, esto hizo que se cuarteen dejado escapar el agua que fluía a través de ellas.

Figura 36

Estado mangueras



Mantenimiento preventivo

El principal objetivo será reducir de averías así también, limitaremos el riesgo de mal funcionamiento mejoraremos la vida útil de la torre de enfriamiento y evitar el desgaste del mismo.

Flautas de distribución de agua

Se destapó la parte superior de la torre de enfriamiento, sacando todas las tuercas respectivas, las paredes estaban deterioradas, con polvo, tapadas y la tubería por donde sale el fluido estaba tapadas. Con un instrumento acorde se procedió a baquetear para que todos los orificios de la tubería estén despejados, se hizo una limpieza profunda de las paredes, se lubrico las tuercas y se selló nuevamente.

Trabajo realizado:

- Desarmado
- Retirado de tuercas
- Lubricación de tuercas
- Limpieza superficial
- Limpieza profunda
- Baquetear tubería

Figura 37

Mantenimiento de flautas de distribución de agua

**Mangueras**

Se abrieron todas las mangueras con sus debidas conexiones y abrazaderas, se realizó una limpieza profunda a las mangueras y tuberías de acero, se baqueteó las tuberías donde está la conexión entre mangueras y acoples, se realizó un cambio de abrazaderas y se hizo una prueba de funcionamiento de mangueras para analizar que no exista fugas o inmediatamente se procedía a realizar un mantenimiento correctivo cambiando sus mangueras.

Trabajo realizado

- Desarmado
- Limpieza profunda de conexiones
- Cambio de aislantes (teflón)
- Cambio de abrazaderas
- Baquetear tuberías

Figura 38

Estado anterior de las mangueras

**Mantenimiento modificativo*****Introducción de una sexta estación de medición***

Tomando en cuenta el levantamiento técnico que se realizó a la torre de enfriamiento se pudo determinar que a la salida del agua no se estaba tomando el valor de temperatura, tampoco temperatura de bulbo seco ni humedad relativa provenientes del aire, datos necesarios para poder realizar un correcto balance de masa y energía dado que la caja solo tenía 5 estaciones de toma de datos, con este antecedente se procedió a implementar una 6ta estación dentro de la torre para poder

tener estos valores y entrar a la tabla psicrométrica para analizar entalpías, temperatura de bulbo húmedo y demás datos que podemos obtener de la misma.

Eliminación de láminas dentro de la torre de enfriamiento

El proceso de enfriamiento de agua dentro de la torre se lo realiza poniendo en contacto aire en contra corriente con el agua, las láminas tienen la función de romper las gotas de agua para formar unas más pequeñas ya que si deseamos tener un enfriamiento ideal es necesario el aumento del área donde hace contacto el aire con el agua y la forma de realizar esto es proporcionando una gota de agua pequeña.

Al momento de realizar pruebas de funcionamiento nos dimos cuenta que la tobera de salida del aire se encontraba bastante húmeda, teniendo en cuenta la explicación previa pudimos determinar que las láminas estaban provocando que la gota de agua se vuelva muy pequeña y por tanto, al momento de encender el ventilador las gotas eran arrastradas por el flujo de aire que pasa dentro de la torre de enfriamiento y haciendo que el sistema pierda agua.

Mantenimiento correctivo

En esta fase se va a realizar el mantenimiento correctivo tanto del sistema mecánico, eléctrico, dispositivos, componentes o piezas del equipo con el fin de reparar las averías o fallas que las mismas han perdido operatividad.

Motor eléctrico

El motor presentaba ruidos y vibraciones, se destapó y se verificó que un rodamiento de doble bola estaba roto y por el mismo motivo no trabajaba al 100% de su eficiencia.

Trabajo realizado

- Cambio de rodamiento 6205-2RS

Figura 39*Rodamiento reemplazado***Turbina**

La turbina presentaba sobre calentamiento ya que rozaba contra la carcasa por no estar balanceado. Se balanceó y se rectificó, se realizaron empaques a la medida y finalmente se procedió a pintar toda la carcasa y fachada del mismo.

Trabajo realizado:

- Balanceo de turbina
- Pintura fachada
- Instalación de empaques

Figura 40

Estado de la turbina del motor

***Cable de poder***

Se sustituyó el cable que ya finalizó el tiempo de vida útil ya que estaba cristalizado, existía un cortocircuito. Se sustituyó el cable dañado por igual, de mismas características que el que ya estaba puesto.

Trabajo realizado

- Cambio cable de poder calibre "6" (3m)
- Cambio de terminales tipo anillo.

Figura 41

Cable de poder del equipo



Resistencias

Al momento de encender todas las resistencias se verificó que solo trabajaban 3 resistencias de 4. Se destapó y la resistencia (I) estaba rota mientras que las otras resistencias (II, IV) no tenían el mismo voltaje y poca conductividad, las cuales después de pruebas inmediatamente dejaron de funcionar, se fabricaron 3 resistencias con el mismo diseño, material y requerimientos que ya tenían las de fábrica.

Trabajo realizado

- Fabricación nuevas resistencias de Níquel (I, II, IV)
- Limpieza profunda resistencia (III)
- Empaques para cada resistencia

Figura 42*Estado de las resistencias***Mangueras**

Para la selección de una adecuada manguera procederemos hacer la selección de algunos elementos mediante matrices de decisión, las variables serán calificadas del 1 al 5, siendo 5 la mejor opción y 1 la peor opción. La torre de enfriamiento utiliza el suministro de agua de la red local para poder funcionar, el agua que utiliza la torre es agua de pozo, la cual tiene muchos sedimentos e impurezas. Otro aspecto importante es que la torre utiliza agua de hasta máximo 60°C. Por lo tanto, las mangueras que se deben utilizar deben ser aptas para estas condiciones, además de poder resistir dobleces ya que la torre puede ser movida o incluso golpeada por algún estudiante distraído.

Manguera multiuso negra

- Tubo y cubierta: Cubierta y tubo en copolímero termoplástico.
- Rango de temperatura: 5°C hasta 65°C.
- Refuerzo interno: Una espiral en poliamida de alta tenacidad.
- Resistencia: Elevada resistencia a la presión y a la elongación.

- Estética: Manguera diseñada para interiores, nada estética.

Manguera PVC trenzada transparente:

- Tubo y cubierta: Cubierta y tubo en copolímero termoplástico.
- Rango de temperatura: 5°C hasta 65°C.
- Refuerzo interno: Reforzada con malla de poliéster trenzada.
- Resistencia: Elevada resistencia a la presión y a la elongación.
- Estética: Manguera diseñada para exteriores.

Manguera PVC transparente:

- Tubo y cubierta: Cubierta y tubo en copolímero termoplástico.
- Rango de temperatura: 5°C hasta 65°C.
- Refuerzo interno: Sin refuerzo.
- Resistencia: Baja resistencia a la elongación o deformación
- Estética: Manguera diseñada para exteriores.

Manguera de riego:

- Tubo y cubierta: Cubierta y tubo en copolímero termoplástico.
- Rango de temperatura: 5°C hasta 50°C.
- Refuerzo interno: Una espiral en poliamida de alta tenacidad.
- Resistencia: Cubierta resistente a la abrasión y a rayos U.V.
- Estética: Manguera diseñada para exteriores.

Matriz de decisión:**Tabla 5***Matriz de decisión para mangueras*

Tipos de manguera	Tubo y cubierta	Rango de temperatura	Refuerzo interno	Resistencia	Estética	Total
Manguera multiuso negra	4	4	4	4	1	17
Manguera PVC trenzada transparente	4	4	3	4	5	20
Manguera PVC transparente	4	4	1	2	5	16
Manguera de riego	2	3	4	3	1	17

Nota: La mejor decisión es la manguera de PVC trenzada transparente, ya que esta manguera cumple de manera satisfactoria con los requerimientos de la torre de enfriamiento.

Trabajo realizado:

- Obtención de manguera PVC trenzada transparente
- 1 plg. (9 metros)
- 5/8 plg (5 metros)
- Instalación manguera PVC trenzada de 1" y 5/8" respectivamente
- Limpiezas abrazaderas
- Limpieza profunda de rebabas de conexiones
- Baqueteo de conexiones

Figura 43*Estado de las mangueras****Llave de agua***

La llave de agua anterior tenía fugas al momento de abrir el caudal de agua, de igual manera la conexión rosca macho-manguera espiga presentaba fugas, se cambió de llave, se puso un nuevo aislante (teflón) y nueva conexión rosca macho- manguera espiga.

Trabajo realizado:

- Obtención llave de agua marca FV, manija "T". ½"
- Instalación llave de agua
- Cambio de teflón
- Limpieza profunda de abrazadera
- Cambio de conexión rosca macho ½"-manguera espiga ½"

Figura 44

Estado de la llave de agua



Filtro de agua

No existía un sistema de purificación de agua por lo que todas las mangueras como conexiones estaban con sedimentos. Se instaló un sistema de purificación de agua de 2 etapas, con un soporte metálico y sus respectivos acoples.

Trabajo realizado:

- Adquisición de filtro de carbón y retro lavado
- Instalación soporte ángulo 2.5x2.5 cm
- Instalación acoples conexiones filtro-manguera

Figura 45

Estado de los filtros de agua



Caja de resistencias

Dado que la caja de resistencias anterior estaba deteriorada y existía un problema por calentamiento ya que la resistencia III y IV rozaban con la pared interna del mismo se diseñó y fabricó una nueva caja de resistencias con el mismo espesor, pero de diferente ancho y largo.

Trabajo realizado:

- Diseño y construcción de una nueva caja
- Ubicación de sensor de temperatura
- Colocación de empaques

Figura 46

Estado de la caja de resistencias

**Panel de instrumentos**

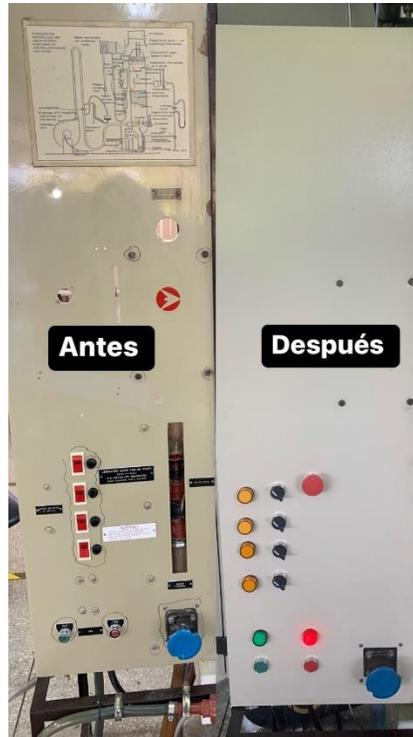
Se Instaló una nueva lámina de acero A36 con su respectiva pintura, ya que el anterior se observaba que tenía agujeros inhabilitados además de desgaste de pintura y golpes producto del uso a lo largo del tiempo.

Trabajo realizado:

- Corte e instalación de la lámina de acero en torre de enfriamiento
- Pintura de fachada
- Perforaciones para instalación de botones de inicio, paro de emergencia, resistencias, luces piloto.

Figura 47

Estado del panel de instrumentos



Acrílico

Se instaló un nuevo acrílico de las mismas medidas ya que el anterior presentaba un deterioro y no se visualizaba el comportamiento físico que ocurría en las estaciones, se instaló empaques de alta temperatura acorde a la temperatura de agua que ingresa en el sistema y finalmente se pintó los soportes que sujetan el acrílico.

Trabajo realizado:

- Instalación de nuevo acrílico 125x39x0.6 cm
- Instalación de empaques resistente a temperaturas altas
- Pintura soportes de acrílico
- Colocación de silicona transparente LOCTITE SI 595
- Instalación de tuercas

Figura 48

Estado del acrílico



Sensor de temperatura

Al momento de utilizar la torre de enfriamiento, si encendemos las 4 resistencias simultáneamente y si el caudal de agua es mínimo, la temperatura máxima que se llegará es de 65°C, por lo tanto, debemos buscar un sensor que soporte esta temperatura, pero más importante aún es que soporte las condiciones de humedad dentro de la torre por ello se consideró:

Termopar:

- Rango de temperatura: Dependiendo el tipo (tipo J o tipo k) pueden ir desde 0°C a 1100°C
- Precisión: Menos estable por lo tanto es menos sensible.
- Resistencia: Sencillo, de uso limitado en entornos oxidantes.
- Linealidad: Razonable.
- Costo: Económico.

RTD

- Rango de temperatura: -200°C a 850°C.
- Precisión: Muy estable, bastante preciso.
- Resistencia: Resistente a condiciones severas.
- Linealidad: Excelente.
- Costo: Elevado.

Termistor

- Rango de temperatura: 38°C a 260°C.
- Precisión: Aceptable.
- Resistencia: A más temperatura, menos resistencia. Suelen estar hechos de magnesio, cobre, níquel o cobalto.
- Linealidad: No lineal.
- Costo: Económico.

Tabla 6

Matriz de selección para sensores de temperatura

Tipo de sensor de temperatura	Rango de temperatura	Precisión	Resistencia	Linealidad	Costo	Total
Termopar	5	3	2	3	5	18
RTD	5	4	5	4	1	19
Termistor	3	3	2	1	5	14

Nota: La mejor decisión es el sensor de temperatura RTD PT100 ya que cumple de manera satisfactoria los requerimientos para la torre de enfriamiento, el cual será un HDT500 el mismo que se fabricó con

medidas específicamente para nuestra necesidad, el mismo que ya viene acondicionado con su transmisor, como se puede observar en la figura 49.

Figura 49

Sensor PT 100 HDT500 con transmisor incluido



Nota: Datasheet del sensor de temperatura PT100 HDT500 disponible en

https://a.aliexpress.com/_mtU62IO

Especificaciones:

- Alimentación: 24VDC
- Temperatura: 0 – 100 °C
- Salida: 0-10V
- Rosca: G ¼
- Longitud de inserción: 150 mm
- Nivel protección: IP68
- Precisión: 0.2%

Sensor de Humedad

Los sensores de humedad van a estar presentes dentro de la carcasa de la torre de enfriamiento, por lo tanto, estos sensores estarán sometidos a condiciones severas de humedad además

de que deben tener certificación IP67 para que puedan resistir la caída de agua proveniente de las flautas. La temperatura máxima a la que estarán sometidos estos sensores es de 65 °C.

Sensor de humedad absoluta

- Rango de temperatura: Soporta una temperatura máxima de 200°C.
- Tipo de humedad: Absoluta.
- Resistencia: Son inmune a la mayor parte de agentes contaminantes de naturaleza física o química.
- Velocidad de respuesta: Rápida, así como el tiempo de recuperación posterior a la saturación.

Sensor de humedad relativa

- Rango de temperatura: Soporta una temperatura de 0 a 80°C.
- Tipo de humedad: Relativa, de 0% a 100%.
- Resistencia: Diseñados para satisfacer los requisitos de las exigentes aplicaciones industriales ya que poseen certificación IP67.
- Velocidad de respuesta: Rápida.

Tabla 7

Desarrollo Mantenimiento correctivo sensores de temperatura

Tipos de sensor de humedad	Rango de temperatura	Tipo de humedad	Resistencia	Velocidad de respuesta	Total
Sensor de humedad absoluta	5	1	5	5	16

Tipos de sensor de humedad	Rango de temperatura	Tipo de humedad	Resistencia	Velocidad de respuesta	Total
Sensor de humedad relativa	5	5	5	5	20

Nota: Ambos sensores son excelentes para medir humedad, su única diferencia radica en el tipo de humedad que miden y como en nuestra torre de enfriamiento deseamos medir humedad relativa, utilizaremos un sensor que nos permita medir humedad relativa

Características técnicas sensor de humedad:

- Humedad relativa: 0%~100%
- Temperatura: -40~80 °C
- Fuente de alimentación: 10-30 VDC
- Tiempo de respuesta: < 15s (*velocidad del viento de $1 \frac{m}{s}$*)
- Salida: 0-10V
- Nivel protección: IP67

Se instaló y acondiciono la señal del sensor de humedad para cada estación de la torre de enfriamiento, posterior a esto, se observó que las señales que arrojaba el sensor eran erróneas. Por una parte:

- Ubicación inadecuada del sensor de humedad (horizontal), ya que el fluido caía directamente hacia la sonda y existía una humedad relativa de 100% en la estación VI con la turbina encendida, lo cual es un dato erróneo.

- Por otra parte, el sensor de humedad no tenía una protección para que el fluido no caiga directamente.

Nuevamente se realizó un análisis en que posición instalar los sensores. Se determinó, que verticalmente y con una protección para la sonda para que no exista ninguna filtración de fluidos, funcionará al 100% de su capacidad.

Trabajo realizado:

- Colocación y distribución de sensores de humedad
- Acondicionamiento de señal
- Diseño y fabricación 3D protección sondas de humedad.

Figura 50

Estado del sensor de humedad



Nota: Datasheet del sensor de humedad disponible en https://a.aliexpress.com/_mNI4lbM

Capítulo IV. Diseño del sistema eléctrico e implementación de la interfaz HMI

Dado que el sistema eléctrico de la torre de enfriamiento se encontraba desactualizado se decidió realizar una actualización del mismo, adquiriendo implementos de similares características para reemplazar los anteriores, a continuación, se detallarán los implementos utilizados.

Diseño del sistema eléctrico

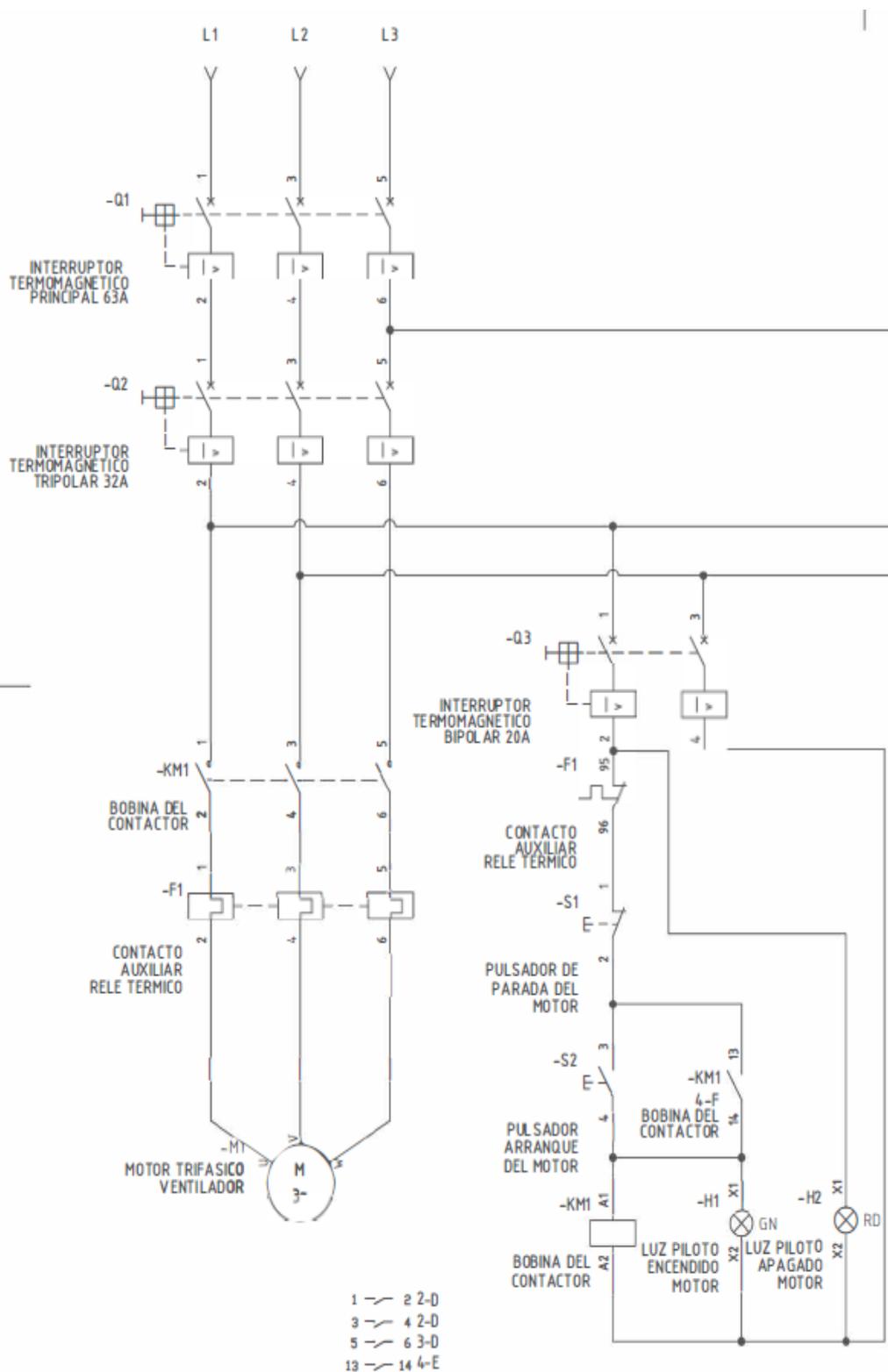
Interruptores termomagnéticos

También llamados disyuntores eléctricos, son interruptores automáticos que detienen el paso de la corriente eléctrica cuando se cumplen condiciones determinadas, esto ayuda a proteger a los dispositivos eléctricos y a las personas de descargas accidentales.

A continuación, se muestra el diagrama eléctrico donde se muestran los disyuntores utilizados en el tablero.

Figura 51

Diagrama de disyuntores



Nota: Para la selección de los disyuntores utilizados en la torre de enfriamiento se adquirió disyuntores que cumplan con las especificaciones iniciales de la torre ya que los anteriores breakers eran de 60 A y 30 A y al no encontrar elementos con esas características utilizamos disyuntores de 63 A y 32 A. En los anexos se adjunta el Diagrama eléctrico de conexiones.

Figura 52

Disyuntores utilizados.



Nota: Los disyuntores escogidos fueron de la marca RELKOM LWBX- 63 de 63A, 32A y de 20A respectivamente.

Contactor

Es el elemento que más se utiliza para efectuar maniobras de apertura y cierre de circuitos eléctricos en aparatos de potencia (en especial motores) esta función lo puede hacer en vacío o en carga.

Relé térmico

Es un aparato eléctrico utilizado como auxiliar del contactor, consta básicamente de contactos abiertos, cerrados. Se lo utiliza para proteger circuitos eléctricos cuando la corriente en los conductores sobrepasa el máximo establecido.

Hay que considerar que al momento de encender el motor siempre habrá una corriente pico, la cual medimos mediante una pinza amperimétrica. Esta corriente pico fue de 60 A luego se estabiliza en 7 A-8.5 A.

Figura 53

Contactor y relé térmico



Nota: Tomando en cuenta que nuestro motor es de 2.2 kW, según el catálogo proporcionado por el distribuidor el contactor que mejor se ajustaba a nuestras necesidades fue el NXC-25 y el relé térmico fue el NXR-25 con regulación de 7 a 10 A capaz de soportar la corriente consumida por el motor.

Características técnicas del contactor:

- Voltaje bobina: 220 V
- Corriente: 25 A
- Potencia: 5 HP

Características técnicas del relé térmico:

- Regulación: 7-10A
- Potencia: 3HP

Fuente de alimentación

Es un dispositivo que transforma la corriente alterna (AC), que es la corriente proveniente de la red eléctrica, en corriente continua (DC) que es la que necesitarán nuestros sensores para funcionar adecuadamente.

Figura 54

Fuente de alimentación



Nota: Dadas las opciones de nuestro distribuidor, la fuente de poder EDR-120-24 era más se acercaba a nuestras necesidades ya que nuestros sensores deben ser alimentados con un voltaje de 24 Vcc.

Características técnicas:

- Alimentación: 100 – 240 Vac
- Salida: 24 Vcc
- Corriente: 5 A

Porta fusibles

Componente diseñado para contener un fusible eléctrico, el diseño y tamaño de un porta fusible está relacionado directamente al tipo de corriente nominal que pasa a través de él. Básicamente son

accesorios de un fusible, estos dispositivos absorben electricidad y haciendo que fluya al fusible eficientemente.

Figura 55

Porta fusibles escogido.



Nota: Al momento de realizar el levantamiento técnico pudimos observar que la torre de enfriamiento tenía fusibles de 32A, se decidió colocar fusibles y porta fusibles que soporten esta misma corriente para no alterar la configuración del equipo.

Diseño de la interfaz

Desde la Figura 56 hasta la Figura 59 tenemos las páginas que va a tener nuestra interfaz, para realizar el diseño nos basamos en la norma ISA 101 para poder tener una interfaz HMI balanceada tanto en colores, formas y distribución. La programación de la interfaz se podrá evidenciar en los anexos.

Figura 56

Estaciones de la torre de enfriamiento

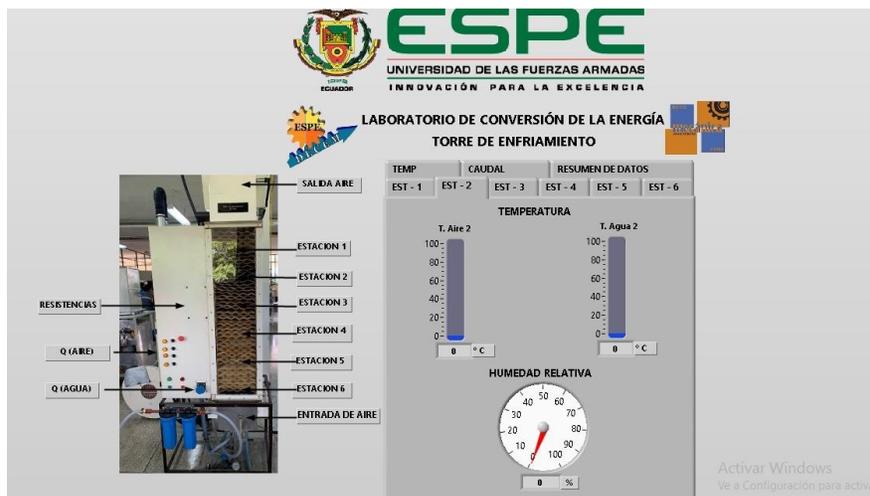


Figura 57

Caudales de la torre de enfriamiento

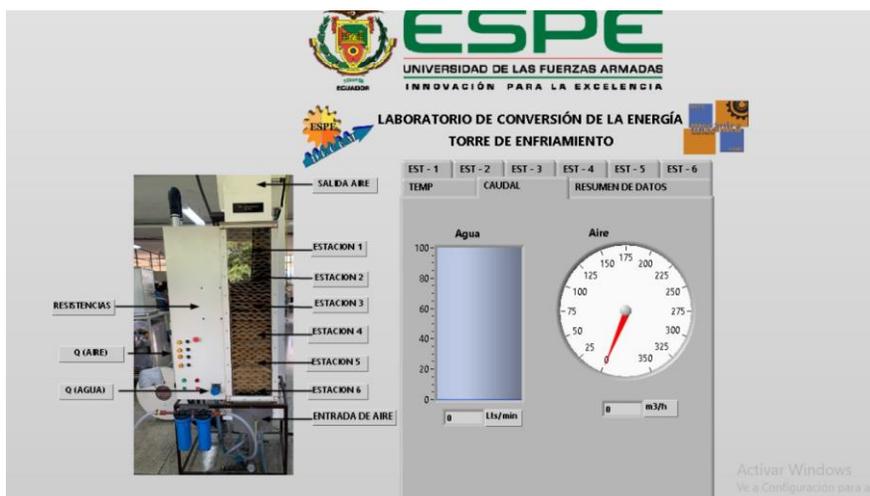


Figura 58

Temperaturas de entrada y salida de aire y agua



Figura 59

Resumen de datos



Para poder configurar todos los sensores se utilizó la misma tarjeta de adquisición de datos que estaba implementada en la torre de enfriamiento, en los anexos se puede observar el diagrama de conexiones de los diferentes sensores a la DAQ para recibir los datos y enviarlos a la computadora.

Linealización de sensores**Sensor de temperatura**

Salida: 0 – 10 v

Rango de temperatura: 0 – 100°C

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{100}{10} = 10$$

$$y = 10x$$

Sensor de humedad

Salida: 0 – 10 v

Rango de temperatura: 0 – 100°C

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{100}{10} = 10$$

$$y = 10x$$

Sensor de presión

Salida: 0.25 – 4.25 v

Rango de humedad: 0 – 1 psi

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{1}{4.25 - 0.25} = 0.25$$

$$y = 0.25x$$

Capítulo V. Pruebas de funcionamiento

Para la realización de las pruebas de funcionamiento se procedió hacer varias pruebas, las cuales se las realizaron en compañía de estudiantes de la asignatura de Termodinámica de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas. Las pruebas de funcionamiento se realizaron en base a la guía y manual de usuario implementados para la torre de enfriamiento descritos en los anexos.

Figura 60

Toma de datos con los estudiantes.



Una vez realizada las pruebas realizadas se procederá hacer el análisis de las mismas, dichas pruebas se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 8

Tabulación de datos

Resistencia	Caudal del aire m3/h	Caudal del agua Lt/min	Temperatura resistencias °C	Estación	Aire		Agua
					Temperatura °C	Humedad %	Temperatura °C
0	330	59,15	24,05	1	16	99,77	13
	330	59,15		2	15,98	99,32	13
	330	59,15		3	16,21	98,62	13
	330	59,15		4	16,31	32,42	14
	330	59,15		5	16,98	78,44	15
	330	59,15		6	19,54	59,9	16
1	330	59,15	29,78	1	15,28	99,75	20
	330	59,15		2	15,57	99,33	19
	330	59,15		3	15,67	99,42	16
	330	59,15		4	15,99	95,14	15
	330	59,15		5	17,01	78,86	16
	330	59,15		6	20,76	56,54	16
2	330	59,15	35,01	1	19,17	99,74	24
	330	59,15		2	18,92	99,32	20
	330	59,15		3	16,58	99,38	17
	330	59,15		4	16,56	99,34	15
	330	59,15		5	17,41	84,65	16
	330	59,15		6	21,53	60,85	15
3	330	59,15	41,78	1	23,81	99,94	27
	330	59,15		2	22,33	99,43	22
	330	59,15		3	17,64	99,54	18
	330	59,15		4	16,68	99,45	16
	330	59,15		5	17,78	86,73	16
	330	59,15		6	21,45	63,37	16

Resistencia	Caudal del aire m3/h	Caudal del agua Lt/min	Temperatura resistencias °C	Estación	Aire		Agua
					Temperatura °C	Humedad %	Temperatura °C
4	330	59,15	47,05	1	25,66	99,92	31
	330	59,15		2	24,79	99,44	26
	330	59,15		3	18,93	99,51	19
	330	59,15		4	17,17	99,44	16
	330	59,15		5	18,17	86,75	16
	330	59,15		6	21,84	64,01	17
3	270	29,57	39,44	1	25,66	99,78	32
	270	29,57		2	22,66	99,17	24
	270	29,57		3	17,11	99,29	16
	270	29,57		4	16,95	97,63	15
	270	29,57		5	18	83,43	16
	270	29,57		6	21,69	60,35	17
2	270	29,57	35,66	1	95,66	99,98	28
	270	29,57		2	23,05	99,42	22
	270	29,57		3	16,59	99,48	16
	270	29,57		4	16,87	98,7	15
	270	29,57		5	18,41	83,15	17
	270	29,57		6	22,33	60,83	18
1	270	29,57	30,69	1	25,66	99,85	23
	270	29,57		2	20,26	97,56	20
	270	29,57		3	16,46	99,43	16
	270	29,57		4	16,94	97,18	15
	270	29,57		5	18,8	78,18	17
	270	29,57		6	22,8	56,48	18

Resistencia	Caudal del aire m ³ /h	Caudal del agua Lt/min	Temperatura resistencias °C	Estación	Aire		Agua
					Temperatura °C	Humedad %	Temperatura °C
0	270	29,57	23,45	1	19,23	99,83	16
	270	29,57		2	17,61	99,34	16
	270	29,57		3	16,39	99,4	15
	270	29,57		4	17,13	95,51	15
	270	29,57		5	19,56	73,28	17
	270	29,57		6	23,47	54,24	19

Verificación de datos

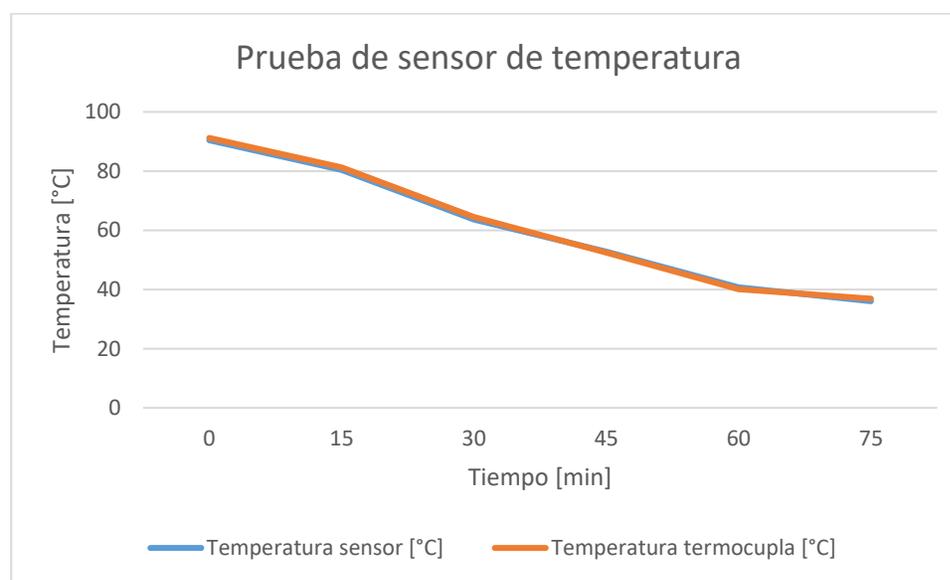
Una vez obtenidos los datos provenientes de la torre de enfriamiento debemos hacer la verificación de los mismos, dado que no podemos abrir la carcasa de la torre porque tendríamos que sellarla de nuevo, para hacer la validación de los sensores se procedió a comprobar los valores arrojados por los mismos con elementos patrones. A continuación, se comparará los datos obtenidos por los sensores con elementos patrones disponibles en el Laboratorio de Energías.

Sensores de temperatura

Para la validación de resultados procedimos a calentar agua a 90°C, el cual medimos con una termocupla disponible en el laboratorio, cuando el agua llegó a 90 °C se dejó a la intemperie y se procedió a censar la temperatura con la termocupla y con los sensores PT100, se realizó pruebas cada 15 minutos para determinar si el sensor arrojaba los mismos datos de la termocupla, la tabla 16 expresa el comportamiento del sensor en comparación con la termocupla.

Tabla 9*Prueba de funcionamiento sensor de temperatura*

Tiempo [min]	Temperatura sensor [°C]	Temperatura termocupla [°C]
0	90,42	91,2
15	80,45	81,3
30	63,65	64,5
45	52,78	52,4
60	40,78	40,1
75	36,03	36,9

Figura 61*Prueba de funcionamiento del sensor de temperatura*

Nota: Como se ve en la Figura 61, los sensores de temperatura siguen la misma tendencia que la termocupla utilizada, por lo tanto, nuestro sensor de temperatura está marcando datos correctos.

Sensor de humedad

El Laboratorio de Energía cuenta con un higrómetro (instrumento que sirve para medir humedad relativa y temperatura ambiente) para hacer la validación de los sensores de humedad se

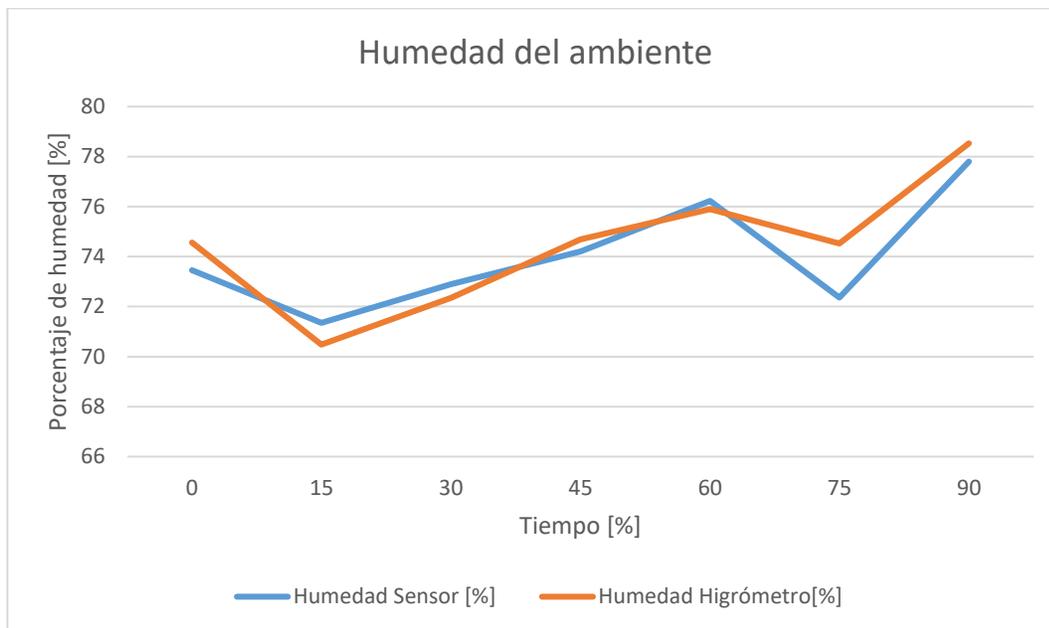
ubicó el higrómetro a la intemperie junto con uno de nuestros sensores y al igual que con los sensores de temperatura, se procedió hacer la toma de datos cada 15 minutos. En la siguiente tabla se observa los datos censados.

La prueba se realizó el día 12 de enero de 2023, la humedad ambiente fue de 73% en Sangolquí. Este valor nos servirá como base y a partir de ahí verificaremos los datos de nuestros sensores.

Tabla 10

Pruebas de sensor de humedad

Tiempo [min]	Humedad Sensor [%]	Humedad Higrómetro [%]
0	73,45	74,56
15	71,35	70,48
30	72,89	72,35
45	74,21	74,69
60	76,23	75,9
75	72,36	74,53
90	77,80	78,53

Figura 62*Prueba de humedad en el ambiente*

Nota: Considerando que la humedad relativa fue de 73 % se observa en la Figura 62 que el sensor de humedad y el higrómetro tienden a los mismos valores confirmando que nuestro sensor de humedad está funcionando de manera correcta.

Sensor de caudal

Para poder comprobar que el correcto funcionamiento del sensor nos guiamos por el datasheet proporcionado por el fabricante, este sensor mide el caudal a través de pulsos por ello, el sensor se conectó a una manguera la cual estaba conectada directamente a la red de agua. Con el sensor conectado al software se abrió la llave de agua poco a poco y se procedió hacer la toma de datos del caudal suministrado y el número de pulsos por minuto para luego compararlo con la gráfica proporcionada por el fabricante.

Tabla 11

Prueba de funcionamiento sensor de caudal

Frecuencia [Hz]	Caudal [GPM]
1,3	0,447
2,3	0,712
3,3	0,978
4,4	1,244
5,4	1,509
6,4	1,775

Nota: Datasheet del sensor de caudal disponible en <https://assets.omega.com/manuals/M2582.pdf>

Figura 63

Prueba de funcionamiento sensor de caudal.

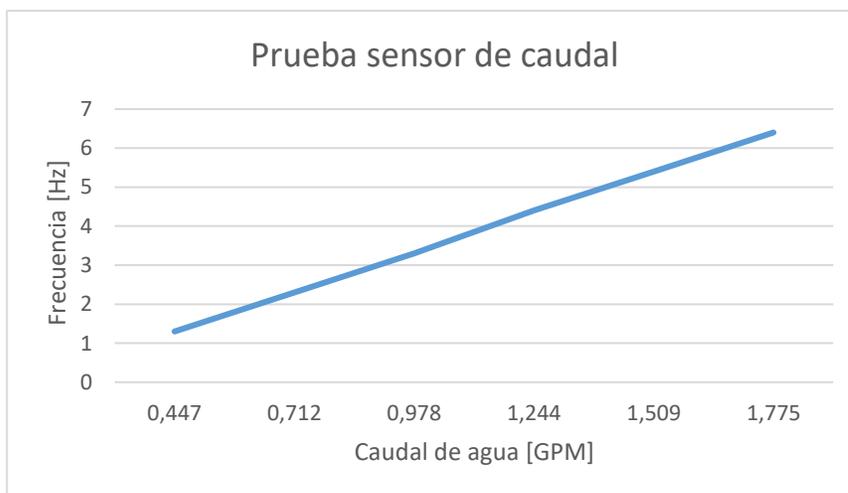
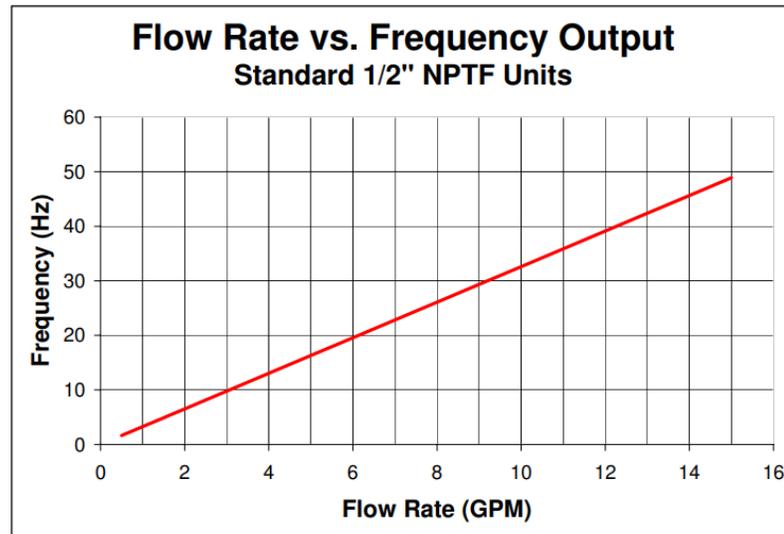


Figura 64

Prueba de funcionamiento del sensor de caudal según el fabricante



Nota: En nuestra prueba de funcionamiento del sensor de caudal podemos observar que los datos tomados siguen la misma tendencia que la gráfica del fabricante, por lo tanto, podemos decir que el sensor sigue funcionando adecuadamente. Tomado de *User Guide's FPR 200 Flow sensor (p.7)*, por Omega, 2017.

Sensor de presión

Para obtener el caudal de aire se realizó tomas de datos con un sensor de presión diferencial y una placa orificio que se encuentra dentro del tubo de salida de aire. Este sensor toma el dato antes y después de la placa orificio y realiza una diferencia de presiones. Al haber una reducción el área en la tubería de aire, la velocidad de aire aumenta mientras que la presión disminuye. Con este dato podemos aplicar la teoría de medición a partir de una placa orificio.

El datasheet del sensor de presión se encuentra disponible en la siguiente página

<https://datasheets.globalspec.com/ds/spectris-plc/px139/cef7582a-83cb-453c-9204-95b9d4b03616>

$$Q = C_o Q_{ideal} \quad (5)$$

$$Q = C_o A_o \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho(1 - \beta^4)}} \quad (6)$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal calculado} \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

C_o = Coeficiente de descarga de la placa orificio

A_o = Área del agujero de la placa orificio

ΔP = Diferencia de presión [kPa]

β = Relación de diámetros

$$\rho = \text{Densidad de aire} \left[\frac{kg}{m^3} \right] = 1.204 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \text{ a } 21^\circ C$$

Para determinar la relación de datos se procedió a tomar los diámetros de la placa orificio y de la tubería de aire las cuales fueron:

$$D_e: \text{Diámetro exterior} = 73.6 \text{ mm}$$

$$D_i: \text{Diámetro interior} = 50.7 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{D_i}{D_e} = \frac{50.7 \text{ mm}}{73.5 \text{ mm}} = 0.69$$

$$A_o = \frac{\pi D_i^2}{4} = \frac{\pi 50.7^2}{4} = 2018.86 \text{ mm}^2 = 0,002018 \text{ m}^2$$

El coeficiente de descarga lo obtenemos de la siguiente tabla:

Tabla 12

Coeficiente de descarga

Parameter/meter	Venturi	Nozzle	Dall tuve	Orifice plate
Approximate value of C	0.99	0.96	0.66	0.60
Relative values of measures differential (ΔP)	1.0	1.06	2.25	2.72
i. e. $\frac{(\Delta P)}{(\Delta P)} \times 100\%$	10-15%	40-60%	4-6%	50-70%

Nota: Tomado de *Apuntes de instrumentación mecánica*, (p.67), Luís Echeverría, 2017

Reemplazando los datos nos queda:

$$Q = C_o A_o \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho(1 - \beta^4)}}$$

$$Q = 0.6 \cdot 0.002018 \sqrt{\frac{2\Delta P}{1.204(1 - 0.68^4)}}$$

$$Q = 0.00176\sqrt{\Delta P}$$

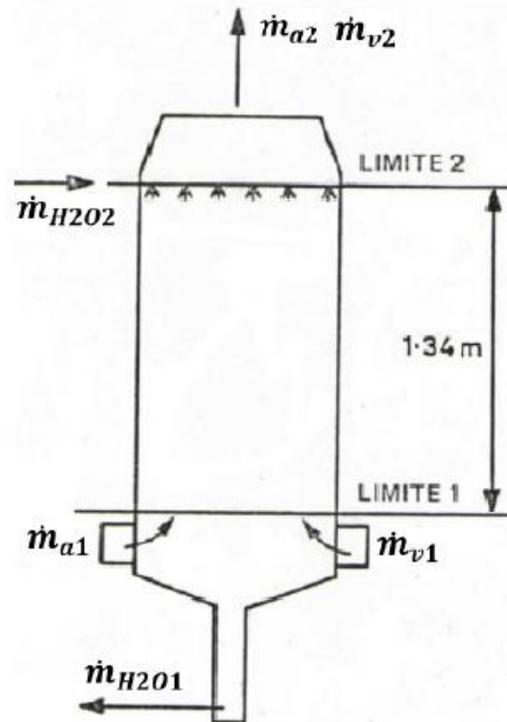
Siendo ΔP el valor proporcionado por nuestro sensor de presión diferencial.

Balances de energía y masa

Para la realización del balance de energía y masa se procedió a realizar los cálculos como se presentan en el manual de usuario de la torre de enfriamiento. Hay que considerar la ecuación de balance de energía por unidad de masa con caudal constante entre los límites 1 y 2. (Ver Figura 65)

Figura 65

Límites para balance de energía



Nota: Tomado de Manual de Usuario Torre de enfriamiento Hilton (p.4), Hilton.

$$Q + W = \Delta E_c + \Delta E_p + \Delta H \quad (7)$$

Se tomarán como referencia los límites 2 y límite 1. El funcionamiento de la torre es lo único que se va a considerar, por lo tanto, el trabajo realizado por el ventilador no se lo considerará y como el aire y agua no están recibiendo trabajo entre estos límites podemos tener las siguientes afirmaciones.

$$Q = 0; \quad W = 0; \quad \Delta E_c = 0$$

Para determinar el balance de energía debemos tener los datos de volumen específico, humedad específica, entalpías específicas y humedad relativa. Vamos a partir del dato del flujo másico del aire a la entrada para obtener:

Flujo másico de vapor de agua en el aire a la entrada

$$\dot{m}_{v1} = \dot{m}_{a1} w_1$$

Flujo másico de vapor de agua en el aire a la salida

$$\dot{m}_{v2} = \dot{m}_{a2} w_2$$

Tomando en cuenta que $\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2}$

$$\dot{m}_{v2} = \dot{m}_{a1} w_2$$

Siendo w_1 y w_2 la humedad específica del aire a la entrada y a la salida respectivamente.

Pérdida por evaporación del agua

$$E_t = \dot{m}_{a1}(w_2 - w_1)$$

Cambio de energía en el aire

$$\Delta E_a = \dot{m}_{a1}(h_2 - h_1)$$

h_1 : Entalpía del aire a la entrada $\left(\frac{kJ}{hr}\right)$

h_2 : Entalpía del aire a la salida $\left(\frac{kJ}{hr}\right)$

Cambio de energía en el agua:

Se analizará la caja de resistencias para poder realizar este cálculo

$$\Delta E_{entrada} = \Delta E_{salida}$$

$$Q = \dot{m}_{agua} h_{H2O} + 4W_{resistencias}$$

$$h_{H2O} = C_{pH2O} * T_{H2O}$$

$$C_{pH2O} = \text{Calor específico del agua} = 4.186 \left(\frac{kJ}{kg^{\circ}C}\right)$$

$$T_{H2O} = \text{Temperatura del agua a la salida } (^{\circ}C)$$

Tabla13*Balance de energía del aire*

Resistencias	Estación	Temperatura [°C]	Humedad [%]	Caudal aire [kg/hr]	h2 [kJ/kg]	h1 [kJ/kg]	Energía del aire [kJ/kg]
0	1	16,00	99,77	274,52	45	42,5	686,29
	6	19,54	59,90	274,52			
1	1	15,28	99,75	274,52	42,5	40	686,29
	6	20,76	56,54	274,52			
2	1	19,17	99,74	274,52	55,5	47,5	2196,14
	6	21,53	60,85	274,52			
3	1	23,81	99,94	274,52	72,5	49	6451,17
	6	21,45	63,37	274,52			
4	1	25,66	99,92	274,52	80	47,5	8921,84
	6	21,84	64,01	274,52			
3	1	25,66	99,78	224,38	80	45	7853,19
	6	21,69	60,35	224,38			
2	1	25,66	99,98	224,38	75	50	5609,42
	6	22,33	60,83	224,38			
1	1	21,69	99,85	224,38	65	52,5	2804,71
	6	22,80	56,48	224,38			
0	1	19,23	99,83	224,38	55,5	50	1234,07

Tabla 14

Pérdida por evaporación de aire

Resistencias	Estación	Caudal aire [kg/hr]	w2 [kg/kg aire]	w1 [kg/kg aire]	Et [kg/hr]
0	1	274,52	0,011	0,009	0,5490
	6	274,52			
1	1	274,52	0,011	0,008	0,8236
	6	274,52			
2	1	274,52	0,015	0,01	1,3726
	6	274,52			
3	1	274,52	0,019	0,0105	2,3334
	6	274,52			
4	1	274,52	0,021	0,011	2,7452
	6	274,52			
3	1	224,38	0,021	0,01	2,4681
	6	224,38			
2	1	224,38	0,015	0,011	0,8975
	6	224,38			
1	1	224,38	0,016	0,011	1,1219
	6	224,38			
0	1	224,38	0,011	0,01	0,2244
	6	224,38			

Nota: Para determinar las propiedades del aire, se procedió a entrar a la carta psicrométrica y así obtuvimos humedades específicas y entalpías.

Para la realización del siguiente ejemplo de cálculo se procedió a analizar la condición más crítica donde las 4 resistencias están encendidas, el caudal de aire y agua están al máximo.

Pérdida por evaporación en el aire:

$$E_t = \dot{m}_{a1}(w_2 - w_1)$$

$$E_t = \frac{\dot{m}_{a1}}{\rho_{aire}} (w_2 - w_1)$$

$$E_t = \frac{330.52 \text{ kg}}{1.204 \text{ hr}} (0.021 - 0.011) = 2.74 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

Balance de energía en el aire:

$$\Delta E_a = \dot{m}_{a1} (h_2 - h_1)$$

$$\Delta E_{aire} = \frac{330.52 \text{ kg}}{1.204 \text{ hr}} (80 - 47.5) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 8907.81 \frac{\text{kJ}}{\text{hr}}$$

Balance de energía en el agua:

$$\Delta E_{entrada} = \Delta E_{salida}$$

$$\Delta E_{agua} = 59.64 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} * 4.186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * 31^\circ\text{C} + 4 * 2.5 \frac{\text{kJ}}{\text{hr}} = 7749.24 \frac{\text{kJ}}{\text{hr}}$$

Nota: Tomando en cuenta los valores en las condiciones más críticas, las cuales fueron especificadas al inicio de la sección podemos determinar que la energía del aire es de 8907.81 kJ/hr, la pérdida por evaporación del aire es de 2.74 kg/hr y la energía que se administra al agua para el ingreso a la torre de enfriamiento es de 7749.24 kJ/hr.

Capítulo VI. Análisis económico

Con el fin de analizar la inversión realizada en el presente proyecto, se realizó un análisis económico detallado tanto de costos directos e indirectos en el mismo.

Costos directos

Los costos directos se realizaron de acuerdo a su naturaleza, por una parte, se analizó los honorarios a profesionales, no profesionales, estudiantes, así también en cuanto al presente proyecto como es el abastecimiento de agua, estructura, motor eléctrico, sistema de control y finalmente sensores.

Honorarios profesionales

Los honorarios profesionales son asumidos por la Universidad De Las Fuerzas Armadas "ESPE", ya que son docentes que se encuentren en estado activo en la nómina del presente periodo académico, como se puede observar en la Tabla 22.

Tabla 15
Honorarios para profesional de la Universidad

Cargo	Nombre	Tiempo (horas)	Valor hora (USD)	Costo total (USD)
Director	Ing. Ángelo Villavicencio	48	\$ 8,00	\$ 384,00
Asesoría	Ing. Roberto Buenaño	48	\$ 8,00	\$ 384,00
Total (USD)				\$ 768,00

Los costos directos e indirectos que se detallan a continuación fueron asumidos voluntariamente por los autores del proyecto.

Remuneración personal no profesional**Tabla 16***Remuneración no profesional*

Ord	Función	Tiempo (horas)	Valor hora (USD)	Costo total (USD)
2	Técnico Mecánico	12	\$ 4,00	\$ 48,00
3	Técnico de Control	12	\$ 4,00	\$ 48,00
Total (USD)				\$ 96,00

Remuneraciones estudiantes

En la Tabla 24 se detalla la remuneración total de los estudiantes, con un total de 640 horas.

Tabla 17*Remuneraciones estudiantes ESPE*

Ord	Nombre	Tiempo (horas)	Valor hora (USD)	Costo total (USD)
1	Sr. Andrés García	640	\$ 4,00	\$ 2.560,00
2	Sr. Mauricio Riera	640	\$ 4,00	\$ 2.560,00
Total (USD)				\$ 5.120,00

En las siguientes tablas se detalla minuciosamente los gastos realizados por los autores del presente proyecto.

Estructura**Tabla 18***Costo Estructura*

Cantidad	Unidad	Material	Valor Unitario	Valor Total
1	u	Lámina 87 x 130 Acero A36 (espesor 2mm)	67,00	67,00
1	u	Acrílico 120 x 240 (espesor 5mm)	40,00	40,00
36	u	Perno acero flange clase 8.8 Rosca fina	0,04	1,44
36	u	Rodela plana galvanizado	0,06	2,16
36	u	Tuerca acero galvanizado	0,03	1,08
2	u	Empaque alta temperatura acrílico 3 x 240	5,20	10,40
2	u	Empaque alta temperatura acrílico 2 x 120	3,20	6,40
S/E	S/E	Taller e Insumos varios	30,00	30,00
			TOTAL (USD)	158,48

Abastecimiento de agua**Tabla 19***Costo Abastecimiento de agua*

Cantidad	Unidad	Material	Valor Unitario	Valor Total
9	m	Manguera PVC trenzada 1"	3,10	27,90
6	m	Manguera PVC trenzada 5/8"	1,85	11,10
10	u	Abrazadera sin fin acero inoxidable	0,26	2,60
1	u	Llave de agua FV 1/2"	4,82	4,82
1	u	Rosca macho 1/2"	2,63	2,63
1	u	Manguera espiga 1/2"	5,00	5,00
1	u	Angulo (2,5 x 2,5) cm	10,00	10,00

Cantidad	Unidad	Material	Valor Unitario	Valor Total
2	u	Filtro carbón y retro lavado	10,83	21,66
S/E	S/E	Taller e Insumos varios	40,00	40,00
TOTAL (USD)			125,71	

Motor eléctrico

Tabla 20

Costo motor Eléctrico

Cantidad	Unidad	Material	Valor Unitario	Valor Total
1	u	Mantenimiento motor	80,00	80,00
1	u	balanceo turbina	70,00	70,00
1	u	Empaque motor-turbina	15,00	15,00
2	u	Rodamiento 6205-2RS	5,20	10,40
1	u	Caja de resistencias acero inoxidable (espesor 2 mm)	90,00	90,00
1	u	Tapa protectora caja de resistencias acero A36	17,00	17,00
7	m	Cable sucre 3 x 6	9,24	64,68
S/E	S/E	Taller e insumos varios	45,00	45,00
TOTAL (USD)			392,08	

Sistema de control**Tabla 21***Costo sistema de control*

Cantidad	Unidad	Material	Valor Unitario	Valor Total
1	u	Fuente de alimentación EDR-120-24 5A	69,87	69,87
4	u	Porta fusibles RT18-32X	2,87	11,48
4	u	Fusibles RT14-32A (32A)	0,45	1,80
1	u	Disyuntores riel Din LWBX-63 3p-63A	4,60	4,60
1	u	Disyuntores riel Din LWBX-63 3p-32A	4,60	4,60
1	u	Disyuntores riel Din LWBX-63 2p-20A	2,40	2,40
1	u	Contactador NXC-25 25A	24,55	24,55
1	u	Relé térmico trifásico NXR-25	13,00	13,00
1	u	Pulsador metálico verde	2,46	2,46
1	u	Pulsador metálico rojo	2,46	2,46
4	u	Selector metálico corto 2p	2,99	11,96
4	u	Luz piloto multi tensión 12-450Vac amarillo	1,48	5,92
1	u	Luz piloto multi tensión 12-450Vac verde	1,48	1,48
1	u	Luz piloto multi tensión 12-450Vac rojo	1,48	1,48
200	u	Terminal puntera rojo calibre 16	0,02	4,00
200	u	Terminal puntera amarillo calibre 10	0,05	10,00
10	u	Terminal U amarillo calibre 10	0,30	3,00
2	u	Riel din 35mm x 1m	2,54	5,08
2	u	Canaleta ranurada 40 x 25mm	6,55	13,10

Cantidad	Unidad	Material	Valor Unitario	Valor Total
50	u	Bornera para riel din 20A	0,45	22,50
30	u	Bornera tierra riel din 20A	1,38	41,40
30	u	Tope bornera	0,26	7,80
1	u	Barra de tierra 12 x 8 mm	3,81	3,81
100	m	Cable flex 14 AWG	0,72	72,00
100	m	Cable flex 16 AWG	0,43	43,00
1	u	Gabinete metálico 60x40x20	141,89	141,89
1	u	CPU 750Gb Core i3	250,00	250,00
S/E	S/E	Taller e insumos varios	100,00	100,00
			TOTAL (USD)	875,64

Sensores

Tabla 22

Costo sensores

Cantidad	Unidad	Material	Valor Unitario	Valor Total
11	u	Sensor PT100 (HDT500)	70,00	770,00
10	u	Sensor de humedad y temperatura IP68	67,69	676,90
3	u	Resistencias 22ohm	70,00	210,00
S/E	S/E	Taller e Insumos varios	50,00	50,00
			TOTAL (USD)	1706,90

Costos indirectos

Se estimaron los costos que no se pudieron asignar a un solo producto como es el caso de transporte, combustible, alimentación, internet, entre otros.

Tabla 23*Costos indirectos por los autores del proyecto*

Ord	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Costo total (USD)
1	Combustible	1	125,00	125,00
2	Transporte	1	30,00	30,00
3	Servicios Básicos	1	20,00	20,00
4	Alimentación	1	100,00	100,00
5	Varios	1	25,00	25,00
			Total (USD)	300,00

Gastos totales**Tabla 24***Costos directos totales*

Ord	Descripción	Costo (USD)
1	Estructura	158,48
2	Abastecimiento de agua	125,71
3	Motor eléctrico	392,08
4	Sistema de control	875,64
5	Sensores	1706,90
6	Honorarios para profesionales de la Universidad	768,00
7	Remuneración a personal No Profesional	96,00
8	Remuneración de estudiantes	5120,00
TOTAL (USD)		9242,81

Tabla 25*Costos total indirectos de fabricación*

Ord	Descripción	Costo (USD)
1	Costos Indirectos de Fabricación	300,00
TOTAL (USD)		300,00

Tabla 26*Análisis de costos totales*

Ord	Descripción	Costo (USD)
1	Costos Directos	9242,81
2	Costos Indirectos	300,00
3	SUBTOTAL	9542,81
4	Costos Asumidos por Universidad	5888,00
TOTAL (USD)		3654,81

Conclusiones

En cuanto a las condiciones actuales de la torre de enfriamiento, en primer lugar, se logró identificar las fallas en el equipo, tanto mecánicas como eléctricas, mediante el levantamiento técnico realizado en el mismo, observando estados de deterioro en algunas partes mecánicas, como es el acrílico, mangueras, resistencias, cables, breakers debido a la falta de mantenimiento preventivo. Se concluyó que las actividades de mantenimiento preventivo tanto como mantenimiento correctivo se ejecutaron y finalizaron al 100%, seguidamente, se desarrolló un manual de mantenimiento preventivo del equipo para que así, la torre de enfriamiento pueda alargar su vida útil.

En base al levantamiento técnico del equipo específicamente al sistema eléctrico, se determinó que la mejor opción era la actualización a nuevos componentes de similares características para no alterar el funcionamiento de la torre de enfriamiento y que permita realizar su reemplazo en caso de fallas de ser necesario.

Para la implementación del sistema de adquisición de datos se usó la misma DAQ ya implementada y en base a las entradas analógicas de la tarjeta, se realizó una selección sensores que en su estructura tengan el sistema de acondicionamiento ya integrado tomando en cuenta los rangos de medición de cada uno de los mismos y su precisión para obtener datos reales en las practicas.

Para el diseño e implementación para el sistema HMI se tomó en cuenta la norma ISA 101 2015, además de esto se realizó el escalamiento y filtrado de las señales provenientes de los sensores para mostrarlos en la interfaz gráfica al usuario.

Recomendaciones

Aplicar los formatos elaborados como es el Manual de mantenimiento y manual de usuario, para así mantener un registro histórico individualizado de cada parte de la torre de enfriamiento para así, llevar un control de los programas de mantenimiento y uso.

Concienciar a los operadores, que en este caso son estudiantes de la materia de termodinámica la importancia de un buen manejo del manual de usuario para que en un futuro no haya errores en prácticas o fallas en el equipo por uso inadecuado.

Para evitar reajustes en la interfaz HMI en caso de falla ya sea por negligencia o desconocimiento de los manuales de usuario, se recomienda obtener un repuesto más de los sensores para sustituirlos en caso de un daño y así, no exista desconfiguración en su acondicionamiento.

Para una futura actualización de la torre de enfriamiento, se recomienda la implementación de un panel táctil donde se muestre los datos adquiridos por los sensores evitando el procesamiento de datos con una computadora.

Bibliografía

- Connor Nick. (2020, August 1). *¿Qué es la conductividad térmica? Definición*. <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-conductividad-termica-definicion/>
- EcuRed. (n.d.). *LabVIEW*. Retrieved December 18, 2022, from <https://www.ecured.cu/LabVIEW>
- Ing. Ángelo Villavicencio. (2020). *Apuntes de Transferencia de Calor* (pp. 11–11).
- Ing. Luís Echeverría. (2018). *Apuntes de Instrumentación Mecánica* (pp. 67).
- Jorge Olavarría Bastidas. (n.d.). *Carta psicrométrica - Ingeniería Elemental*. Retrieved October 2, 2022, from <https://ingenieriaelemental.com/carta-psicrometrica-online/>
- Nogera Bulmaro. (2020, September 7). *¿Qué son las cartas psicrométricas?*
<https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/09/cartas-psicrometricas.html>
- Arango R. (2019). *Diseño de un sistema de control para la torre de enfriamiento de agua en planta PROTISA* [Tesis de Grado, Universidad tecnológica de Perú].
<https://hdl.handle.net/20.500.12867/2449>
- SICREA. (2021, December 21). *Torres De Enfriamiento: Cómo Funciona Y Qué Tipos Hay- SICREA*.
<https://sicrea.net/torres-de-enfriamiento-como-funciona-y-que-tipos-hay/>
- Yunus A. Cengel, & Afshin J. Ghajar. (2011). *Transferencia de calor y masa Fundamentos y aplicaciones* (Ana L. Delgado Rodríguez, Ed.; 4ta Edición).

Apéndices