

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-Eléctrica y
Mecatrónica



**Implementación de un módulo didáctico de torre de enfriamiento de tiro
inducido para el Laboratorio de Termofluidos de la Universidad Católica
de Santa María**

Tesis presentada por los Bachilleres:

Chavéz Quispe, Diego Fernando

ORCID: 0009-0000-0629-6437

Delgado Sosa, Alex Pedro

ORCID: 0009-0004-2158-8429

para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista

Asesor (a):

Dr. Valencia Salas, Mario José

ORCID: 0009-0009-3797-0020

Arequipa - Perú

2024

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 12 de Noviembre del 2024

Dictamen: 010359-C-EPIMMEM-2024

Visto el borrador del expediente 010359, presentado por:

2015400161 - CHAVEZ QUISPE DIEGO FERNANDO

2015400291 - DELGADO SOSA ALEX PEDRO

Titulado:

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO
INDUCIDO PARA EL LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE
SANTA MARÍA**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**06426119 - ALVAREZ FLOREZ DARWIN REYNALDO
DICTAMINADOR**



**30857994 - GORDILLO ANDIA CARLOS ALBERTO
DICTAMINADOR**



**40386948 - VALDEZ LOAIZA JUAN CARLOS
DICTAMINADOR**



Implementación de un módulo didáctico de torre de enfriamiento de tiro inducido para el Laboratorio de Termofluidos de la Universidad Católica de Santa María

INFORME DE ORIGINALIDAD

28%

INDICE DE SIMILITUD

27%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

13%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María	2%
	Trabajo del estudiante	
2	repositorio.uncp.edu.pe	2%
	Fuente de Internet	
3	hdl.handle.net	2%
	Fuente de Internet	
4	www.coursehero.com	2%
	Fuente de Internet	
5	qdoc.tips	1%
	Fuente de Internet	
6	rein.umcc.cu	1%
	Fuente de Internet	
7	dspace.ups.edu.ec	1%
	Fuente de Internet	
8	pt.scribd.com	1%
	Fuente de Internet	

Dedicatoria

*A mis padres, quienes
con su fe y amor en mí
desde el inicio de mi vida
han sido la luz que ha guiado mi camino.
Sus sacrificios y respaldo
permanentes son la razón
de mis logros.
Delgado Sosa, Alex Pedro*

*A Dios, por ser mi fortaleza y guía en cada
paso que he dado en este camino.
A mis padres y hermanos, por el apoyo, sacrificio y confianza
que me han permitido llegar hasta aquí;
sin ustedes, nada de esto habría sido posible.
Y a todas las personas que, de alguna manera,
contribuyeron a este logro, gracias por su apoyo
y por creer en mí. A todos ellos, les dedico este esfuerzo y resultado.
Chavéz Quispe, Diego Fernando*

RESUMEN

El desarrollo de este trabajo se planteó e implementó de un módulo didáctico de torre de enfriamiento de tiro inducido en el cual se consideraron los siguientes componentes: un recipiente de recirculación de agua con división interna y capacidad de 400 L, una torre de enfriamiento de uso industrial tipo botella de 1318 mm de altura y capacidad de 19500 Kcal/h, 02 bombas centrifugas de 0.5 HP de potencia para el transporte del fluido entre la torre de enfriamiento y los recipientes, un calentador de agua compuesto de 04 resistencias eléctricas de inmersión en serie con una potencia total de 10 KW para simular el suministro de salida de agua de un proceso en el cual se obtenga agua a 37 ° C, el cual requiere ser enfriado, dicho flujo será de un caudal máximo de 60 L/min, en todo el proceso se logra identificar el comportamiento del agua mediante instrumentos de medición y sensores, como termómetros, manómetros, y un rotámetro, hasta llegar al recipiente de agua enfriada en la base de la torre, la prueba de Enfriamiento da como resultado una disminución de temperatura en el agua, se obtuvo una diferencia de temperatura de 10°C, durante este proceso se evaluó las propiedades del aire que ingreso y salió de la torre de enfriamiento como parte del proceso de transferencia de calor, se registró los datos del aire TBS y TBH en la entrada y salida de la torre, logramos validar cálculos teóricos con los prácticos resultados de la experimentación en el módulo. Finalmente, se elaboró guías de funcionamiento y pruebas del módulo didáctico.

Palabras claves: Torre, Enfriamiento, inducido.

ABSTRACT

The development of this work was proposed and implemented a induced draft cooling tower teaching module where the following components were considered: a water recirculation container with internal division and a capacity of 400 L, a cooling tower for industrial use, bottle type, 1318 mm high and a capacity of 19,500 Kcal/h, 02 centrifugal pumps of 0.5 HP power for transport of the fluid between the cooling tower and the containers, a water heater composed of 04 immersion resistances in series with a total power of 10 KW to simulate the water outlet supply of a process in which water is obtained at 37° C, which requires cooling, said flow will have a maximum flow rate of 60 L/min. Throughout the process, the behavior of the water can be identified using measuring instruments and sensors, such as thermometers, manometers, and a rotameter, until reaching to the container. of cooled water at the base of the tower, the Cooling test results in a decrease in temperature in the water, a temperature difference of 10°C was obtained, during this process the properties of the air that entered and left the tower were evaluated. the cooling tower as part of the heat transfer process, the TBS and TBH air data were recorded at the inlet and outlet of the tower, we were able to validate theoretical calculations with the practical results of the experimentation in the module. Finally, operating guides and tests of the teaching module were prepared.

Keywords: Tower, Cooling, induced.

ÍNDICE

Dedicatoria

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I	3
1. MARCO METODOLOGICO	4
1.1. Identificación y Descripción del Problema.....	4
1.2. Objetivos	5
1.2.1. Objetivo General.....	5
1.2.2. Objetivos Específicos.....	5
1.3. Justificación.....	5
1.4. Alcances Y Limitaciones	6
1.4.1. Alcance	6
1.4.2. Limitaciones	7
1.5. Antecedentes	7
1.5.1. Antecedentes Investigativos.....	7
CAPITULO II	9
2. MARCO TEÓRICO	10
2.1. Aire.....	10
2.2. Presión	10
2.3. Humidificación y Psicometría.....	11
2.4. Humedad.....	11
2.5. Humedad Absoluta	12
2.6. Humedad de Saturación.....	13
2.7. Humedad Relativa.....	13
2.8. Psicometría	14
2.9. Carta Psicrométrica	14
2.10. Operaciones de Humidificación	15
2.11. Transferencia de Calor	15
2.12. Balance de Energía.....	16
2.13. Temperatura de Bulbo Seco.....	16

2.14.	Temperatura de Bulbo Húmedo	17
2.15.	Capacidad Calorífica	17
2.16.	Calor Sensible	18
2.17.	Entalpía	18
2.18.	Entropía	19
2.19.	Exergía	19
2.20.	Torres de Enfriamiento	20
2.21.	Fundamentos del Método de Enfriamiento	21
2.22.	Balace Calórico de un Proceso de Enfriamiento	22
2.23.	Tipos de Torres de Enfriamiento	23
2.23.1.	Tipo De Operación	23
2.23.1.1.	Torres de Tiro Mecánico.	23
2.23.1.1.1.	Tiro Forzado	23
2.23.1.1.2.	Tiro Inducido	24
2.23.2.	Tipo de Flujo de Aire	25
2.23.2.1.	Estanque de Rocío	25
2.23.2.2.	Atmosféricas	26
2.23.2.3.	Tiro Natural	26
2.23.2.4.	Torre en Contraflujo	27
2.23.2.5.	Flujo Cruzado	28
2.23.3.	Forma De Transferencia De Calor	29
2.23.3.1.	Evaporativas	29
2.23.3.2.	Secas	29
2.23.3.3.	Húmedas	30
2.24.	Recirculación	30
2.25.	Agua de Reposición	30
2.26.	Pérdidas por Arrastre	30
2.27.	Principios de las Torres de Enfriamiento	30
2.27.1.	Indicadores de Desempeño de una Torre	32
2.28.	Partes de una Torre de Enfriamiento	33
2.28.1.	Sistema de distribución de agua	34
2.28.2.	Relleno	35
2.28.3.	Eliminador de rocío.	36

2.28.4.	Ventilador.....	36
2.28.5.	Colector de agua	37
2.29.	Bombas Hidráulicas.....	37
2.29.1.	Clasificación de los Tipos de Bombas.....	37
2.29.2.	Curvas Características de una Bomba Centrífuga	38
2.29.3.	Punto de Operación de un Sistema de Bombeo	39
2.30.	Herramientas Computacionales para la Simulación	40
2.30.1.	EES (Engineering ecuation solver).....	40
2.30.2.	SOLIDWORKS.....	41
2.30.3.	PIPEFLOW	41
2.30.4.	AUTODESK INVENTOR.....	41
2.31.	Esfuerzo de Fluencia	42
2.32.	Tensión de Von Mises	42
2.33.	Factor de Seguridad	43
CAPITULO III		44
3.	DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL MODULO DE TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO INDUCIDO.....	45
3.1.	Selección de Componentes.....	47
3.1.1.	Torre de enfriamiento.....	48
3.1.2.	Bombas de Alimentación y Descarga de la Torre	51
3.1.2.1.	Alimentación de la Torre de Enfriamiento.....	51
3.1.2.2.	Descarga de la Torre de Enfriamiento	60
3.1.3.	Tanque de Agua y Estructura Soporte	65
	Estructura de Soporte	67
3.1.4.	Calentador de Agua.....	79
3.1.5.	Tuberías y Conexionado.....	82
3.1.6.	Sensores	84
3.1.7.	Diseño y Ensamble de Tablero Eléctrico	91
3.1.7.1.	Diseño del Tablero	91
3.1.7.2.	Circuito Eléctrico del Tablero	96
3.2.	Calculo Termodinámico	98
3.2.1.	Presión Atmosférica en Función a la Altura.....	99
3.2.2.	Balance de Masa y Energía	100

3.2.3.	Cálculo de la Variación de Entropía del Agua	105
3.2.4.	Cálculo de la Variación de Entropía del Vapor de Agua.....	106
3.2.5.	Cálculo de la Variación de Entropía del Aire	107
3.2.6.	Cálculo de Indicadores de Desempeño.....	109
3.2.7.	Simulación de Enfriamiento en Torre de Enfriamiento en Software EES	110
CAPITULO IV		117
4.	PRUEBAS Y RESULTADOS	118
4.1.	Curvas Características de la Torre de Enfriamiento.....	119
4.2.	Curvas Obtenidas	119
4.2.1.	Curvas Obtenidas con Apertura de 30 LPM de Caudal	120
4.2.2.	Curvas Obtenidas con Apertura de 40 LPM de Caudal	126
4.2.3.	Curvas Obtenidas con Apertura de 50 LPM de Caudal	131
4.2.4.	Curvas Obtenidas con Apertura de 60 LPM de Caudal	137
CAPITULO V		143
5.	COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL MODULO	144
5.1.	Análisis Económico.....	144
6.	CONCLUSIONES.....	147
7.	RECOMENDACIONES.....	149
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	150
9.	ANEXOS	155
9.1.	Características De La Torre FRIOTEK.....	155
9.2.	Componentes del tablero eléctrico	160
9.3.	Plan de mantenimiento del modulo	182
9.4.	Guía de laboratorio	184
9.5.	Planos.....	200
9.5.1.	Plano de la Torre	200
9.5.2.	Planos Estructurales.....	201
9.5.3.	Planos Eléctrico	210

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Concentración de gases en el aire</i>	12
Tabla 2 <i>Características de la torre de enfriamiento FRIOTEK</i>	49
Tabla 3 Datos de la bomba de alimentación en el software PIPEFLOW	54
Tabla 4 Datos del fluido en el software PIPEFLOW	55
Tabla 5 Punto de operación del sistema.....	55
Tabla 6 Perdidas por accesorios y tubería en el circuito de alimentación	57
Tabla 7 Datos de la bomba de descarga en el software PIPEFLOW	62
Tabla 8 Datos del fluido en el software PIPEFLOW	62
Tabla 9 Punto de operación del sistema.....	62
Tabla 10 Perdidas por accesorios y tubería en el circuito de descarga	64
Tabla 11 Características del diseño	69
Tabla 12 <i>Peso de tanque de agua</i>	69
Tabla 13 Peso de equipos, accesorios y plancha soporte.....	69
Tabla 14 Peso de estructura de modulo.....	70
Tabla 15 Propiedades del modelo en el software SolidWorks	70
Tabla 16 Propiedades de la fuerza Gravedad-1 en el software SolidWorks.....	71
Tabla 17 Propiedades de la presión del agua aplicada en el tanque en el software.....	72
Tabla 18 Propiedades de la Fuerza-1 Peso del Tanque en el software	72
Tabla 19 Propiedades de la Fuerza-2 Peso de Torre y Accesorios en el software.....	73
Tabla 20 Propiedades de la Fuerza-3 Peso de estructura en el software	74
Tabla 21 Fuerza de reacción resultante de la estructura según software.....	74
Tabla 22 Momento de reacción resultante de la estructura según software	75
Tabla 23 Tensión de Von Mises resultante de la estructura según software.....	75
Tabla 24 Tensión axial y de flexión resultante de la estructura según software	76
Tabla 25 Esfuerzo torsional resultante de la estructura según software	76
Tabla 26 Esfuerzo resultante de la estructura según software	77
Tabla 27 Deformación resultante de la estructura según software	78
Tabla 28 Deformación resultante de la estructura según software	78
Tabla 29 Potencia y carga por equipo	94

Tabla 30 Corriente que soporta cada conductor en el tablero eléctrico	95
Tabla 31 Datos iniciales para ensayo a 30 LPM de caudal y temperatura de agua de ingreso de 30°C... 120	120
Tabla 32 Datos experimentación a 30 LPM de caudal y temperatura de agua de ingreso de 40°C..... 120	120
Tabla 33 Incertezas a 30 LPM de caudal y temperatura de agua de ingreso de 40°C..... 121	121
Tabla 34 Datos iniciales para ensayo a 40 LPM de caudal y temperatura de agua de ingreso de 40°C... 126	126
Tabla 35 Datos experimentación a 40 LPM de caudal y temperatura de agua de ingreso de 40°C..... 126	126
Tabla 36 Incertezas a 40 LPM de caudal y temperatura de agua de ingreso de 40°C..... 127	127
Tabla 37 Datos iniciales para ensayo a 50 LPM de caudal y temperatura de agua de ingreso de 40°C... 131	131
Tabla 38 Datos experimentación a 50 LPM de caudal y temperatura de agua de ingreso de 40°C..... 131	131
Tabla 39 Incertezas a 50 LPM de caudal y temperatura de agua de ingreso de 40°C..... 132	132
Tabla 40 Datos iniciales para ensayo a 60 LPM de caudal y temperatura de agua de ingreso de 40°C... 137	137
Tabla 41 Datos experimentación a 60 LPM de caudal y temperatura de agua de ingreso de 40°C..... 137	137
Tabla 42 Incertezas a 60 LPM de caudal y temperatura de agua de ingreso de 40°C..... 138	138
Tabla 43 Costos de implementación del modulo	144
Tabla 44 Plan de mantenimiento del módulo de la torre de enfriamiento.....	182

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de una carta psicrométrica.....	15
Figura 2 Dos cuerpos que alcanzan el equilibrio térmico después de ser puestos en contacto dentro de un recinto aislado.....	16
Figura 3 Medición de temperatura de bulbo húmedo.....	17
Figura 4 La combinación $u + Pv$ en el análisis de volúmenes de control.....	18
Figura 5 Estado de fase termodinámico de una torre de enfriamiento.....	21
Figura 6 Diagrama de operación para una torre de enfriamiento; gráfica de la entalpía del aire contra la temperatura del agua.....	23
Figura 7	24
Figura 8 Torre de tiro inducido.....	25
Figura 9 Torre atmosférica de rocío.....	25
Figura 10 Torre atmosférica.....	26
Figura 11 Torre de tiro natural.....	27
Figura 12 Torre de contraflujo.....	28
Figura 13 Torre de flujo cruzado.....	29
Figura 14 Operación de una torre de enfriamiento.....	31
Figura 15 Mecanismo de enfriamiento de una gota de agua.....	32
Figura 16 Rango y aproximación de las torres de enfriamiento.....	33
Figura 17 Partes de una torre de enfriamiento.....	34
Figura 18 Toberas de distribución de agua.....	34
Figura 19 Distribución del agua en el relleno.....	35
Figura 20 Relleno por salpicadura de contraflujo.....	35
Figura 21 Relleno por película de contraflujo.....	36
Figura 22 Eliminadores de rocío.....	36
Figura 23 Clasificación de los tipos de bombas.....	38
Figura 24 Curvas de rendimiento típicas de una bomba centrífuga.....	39
Figura 25 Punto de operación de un sistema de bombeo.....	40
Figura 26 Diagramas de esfuerzo-deformación convencional y verdadero para un material dúctil (acero)	42

Figura 27 Diagrama de flujo del módulo de torre de enfriamiento	45
Figura 28 Diagrama de flujo del módulo de torre de enfriamiento con recirculación	46
Figura 29 Distribución de equipos dibujado en software Autodesk Inventor	47
Figura 30 Selección de torre en base a altura de torres de enfriamiento de agua FRIMONT.....	48
Figura 31 Selección de torre en base a altura de las torres de enfriamiento de agua FRIOTEK	49
Figura 32 Datos de placa de la torre FRIOTEK seleccionada.....	50
Figura 33 Partes de la torre de enfriamiento FRIOTEK modelo: FTB-N-05.....	50
Figura 34 Datos de placa del ventilador de la torre	51
Figura 35 Circuito de alimentación de la torre de enfriamiento	52
Figura 36 Bomba centrífuga MEBA CPM130	52
Figura 37 Datos de placa de bomba CPM130.....	53
Figura 38 Parámetros de caudal versus altura de bomba MEBA modelo CPM130.....	53
Figura 39 Modelado del ruteo de tuberías de alimentación en software PIPE FLOW	54
Figura 40 Altura versus caudal del sistema en la alimentación de la torre en el software PIPEFLOW	56
Figura 41 Circuito de descarga de la torre de enfriamiento.....	60
Figura 42 Datos de placa de bomba HUMBOLDT XCM130K	60
Figura 43 Modelado del ruteo de tuberías de descarga en software PIPE FLOW	61
Figura 44 Altura versus caudal del sistema en la descarga de la torre en el software PIPEFLOW	63
Figura 45 Tanque de fibra de vidrio de 1000 litros de formato circular de FRIOTEK	65
Figura 46 Tanque de fibra de vidrio de 200 litros de formato rectángulo de FRIOTEK.....	66
Figura 47 Tanque de planchas de acero fijado a la estructura base del módulo	66
Figura 48 Vista isométrica de Estructura y tanque del modulo	67
Figura 49 Vista inferior de la Estructura y tanque del modulo.....	68
Figura 50 Vista frontal de la Estructura y tanque del modulo.....	68
Figura 51 Modelado de estructura soporte del modulo	70
Figura 52 Fuerza de gravedad aplicada en la estructura	71
Figura 53 Presión del agua aplicada en paredes del tanque de agua	72
Figura 54 Peso de estructura de tanque de agua aplicada sobre base inferior	73
Figura 55 Peso de torre de enfriamiento y equipos aplicado sobre la plancha base de la estructura	73
Figura 56 Peso de estructura tubular soporte.....	74
Figura 57 Tensión de Von Mises en la estructura de modulo	75
Figura 58 Tensión axial y flexión máxima de la estructura del modulo	76

Figura 59 Esfuerzo torsional máximo en las vigas de la estructura soporte	77
Figura 60 Esfuerzo reacción de la estructura	77
Figura 61 Deformación por cargas.....	78
Figura 62 Factor de seguridad	79
Figura 63 <i>Especificaciones de termas a gas de marca Rinnai</i>	81
Figura 64 Resistencia sumergible	81
Figura 65 Carcasa de calentador.....	82
Figura 66 Tuberías y resistencias del calentador.....	82
Figura 67 Recorrido de tuberías de alimentación de la torre de enfriamiento.....	83
Figura 68 Recorrido de tuberías de descarga de la torre de enfriamiento	83
Figura 69 Recorrido de tuberías de drenaje de tanques	84
Figura 70 Sensor de temperatura MH1210W.....	84
Figura 71 Ubicación de sensores de temperatura en el modulo.....	85
Figura 72 Sensor de temperatura de agua en la salida del calentador	86
Figura 73 Sensor de temperatura de agua en la salida de la torre.....	86
Figura 74 Manómetro de glicerina SHUNJAY de 0-30 PSI.....	87
Figura 75 Ubicación de manómetro y rotámetro en el modulo.....	87
Figura 76 Ubicación del rotámetro en el modulo.....	88
Figura 77 Rotámetro digital	88
Figura 78 Ubicación del rotámetro en el modulo.....	89
Figura 79 Ubicación del manómetro en el modulo	89
Figura 80 Switch horizontal control de nivel Modelo LVK-91.....	90
Figura 81 Sensor de nivel de agua en el tanque de la torre	90
Figura 82 Termo hidrómetro para toma de datos del aire.....	91
Figura 83 Circuito de fuerza.....	96
Figura 84 Circuito de control	97
Figura 85 Puntos de ingreso y salida de agua y aire en la torre de enfriamiento	98
Figura 86 Código de cálculo de estado en el software EES	110
Figura 87 Código de cálculo de presión atmosférica en el software EES	110
Figura 88 Código de cálculo de estado del aire de ingreso a la torre en el software EES	111
Figura 89 Código de cálculo de estado del aire de salida de la torre en el software EES	111
Figura 90 Código de cálculo de estado del agua de ingreso a la torre en el software EES	112

Figura 91 Código de cálculo de estado del agua de salida de la torre en el software EES.....	112
Figura 92 Cálculo de flujo de aire, flujo volumétrico de aire y flujo masico de agua de reemplazo en el software EES	112
Figura 93 Cálculo de caudal masico de aire en el software EES	113
Figura 94 Cálculo de presiones del vapor de agua y aire seco	113
Figura 95 Cálculo de variación de entropía y exergía destruida.....	113
Figura 96 Diagrama y visualización de resultados de la simulación en EES	114
Figura 97 Curva de operación de la torre de enfriamiento	116
Figura 98 Pruebas de funcionamiento del módulo en el laboratorio de Termofluidos	118
Figura 99 Pruebas de funcionamiento del módulo a 30 LPM en el laboratorio de Termofluidos	119
Figura 100 Puntos de ingreso y salida de agua y aire en la torre de enfriamiento	120
Figura 101 Grafica de temperatura de ingreso del agua VS temperatura de salida a caudal constante de 30 LPM	123
Figura 102 Grafica de capacidad de enfriamiento VS variación de temperatura del agua a caudal constante de 30 LPM	123
Figura 103 Grafica de variación de temperatura del agua VS muestras en el tiempo a caudal constante de 30 LPM	124
Figura 104 Grafica de Temperatura de salida del agua VS Temperatura de bulbo seco a la salida del aire a caudal constante de 30 LPM.....	125
Figura 105 Grafica de Eficiencia VS Rango a caudal constante de 30 LPM	125
Figura 106 Grafica de temperatura de ingreso del agua VS temperatura de salida a caudal constante de 40 LPM	128
Figura 107 Grafica de capacidad de enfriamiento VS variación de temperatura del agua a caudal constante de 40 LPM	129
Figura 108 Grafica de variación de temperatura del agua VS muestras en el tiempo a caudal constante de 40 LPM	129
Figura 109 Grafica de Temperatura de salida del agua VS Temperatura de bulbo seco a la salida del aire a caudal constante de 40 LPM.....	130
Figura 110 Grafica de Eficiencia VS Rango a caudal constante de 40 LPM	131
Figura 111 Grafica de temperatura de ingreso del agua VS temperatura de salida a caudal constante de 50 LPM	133

Figura 112 Grafica de capacidad de enfriamiento VS variación de temperatura del agua a caudal constante de 50 LPM	134
Figura 113 Grafica de variación de temperatura del agua VS muestras en el tiempo a caudal constante de 50 LPM	135
Figura 114 Grafica de Temperatura de salida del agua VS Temperatura de bulbo seco a la salida del aire a caudal constante de 50 LPM	136
Figura 115 Grafica de Eficiencia VS Rango a caudal constante de 50 LPM	136
Figura 116 Grafica de temperatura de ingreso del agua VS temperatura de salida a caudal constante de 60 LPM	139
Figura 117 Grafica de capacidad de enfriamiento VS variación de temperatura del agua a caudal constante de 60 LPM	140
Figura 118 Grafica de variación de temperatura del agua VS muestras en el tiempo a caudal constante de 60 LPM	141
Figura 119 Grafica de Temperatura de salida del agua VS Temperatura de bulbo seco a la salida del aire a caudal constante de 60 LPM	142
Figura 120 Grafica de Eficiencia VS Rango a caudal constante de 60 LPM	142

SIMBOLOGIA UTILIZADA

ρ	Densidad del aire $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$
g	Aceleración de la gravedad $\left[\frac{m}{s^2}\right]$
P_{atm}	Presión atmosférica $\left[\frac{N}{m^2}\right]$
P_o	Presión inicial $\left[\frac{N}{m^2}\right]$
H	Altura sobre el nivel del mar [m]
T	Temperatura [°C]
ω	Humedad absoluta $\left[\frac{g-agua}{m^3-aire\ seco}\right]$
ϕ	Humedad relativa [%]
R_{aire}	Constante de los gases ideales $\left[\frac{KJ}{Kg-K}\right]$
PM_{aire}	Peso molecular del aire $\left[\frac{Kgr}{Kmol}\right]$
Tdp	Temperatura de punto de rocío [°C]
v	Volumen específico $\left[\frac{m^3}{Kg}\right]$
h	Entalpia $\left[\frac{KJ}{Kg}\right]$
S	Entropía $\left[\frac{KJ}{Kg-K}\right]$
Q	Calor $\left[\frac{Kcal}{seg}\right]$
\dot{m}	Flujo masico $\left[\frac{Kg}{seg}\right]$
\dot{V}	Flujo volumétrico $\left[\frac{m^3}{s}\right]$
CP	Calor específico $\left[\frac{Kcal}{Kg-^{\circ}C}\right]$
$\Delta_{s,agua}$	Variación de Entropía del agua $\left[\frac{KJ}{Kg-K}\right]$
$\Delta_{s,vapor\ de\ agua}$	Variación de Entropía del vapor de agua $\left[\frac{KJ}{Kg-K}\right]$
$\Delta_{s,aire}$	Variación de Entropía del aire $\left[\frac{KJ}{Kg-K}\right]$
Δ_T	Variación de temperatura [°C]
$X_{destruida}$	Exergía destruida $\left[\frac{KJ}{Kg-K}\right]$
Cal	Capacidad calorífica $\left[\frac{J}{Kg}\right]$

ACRONIMOS UTILIZADOS

BHP	Break Horse Power
EES	Engineering Equation Solver
F.S.	Factor de seguridad
Gbl	Global
IP	Ingress Protection
LPM	Litros por minuto
Ms.n.m	Metros sobre el nivel del mar
NPSH	Net Positive Suction Head
PME	Punto de mejor eficiencia
PVC	Cloruro de polivinilo
TBH	Temperatura bulbo húmedo
TBS	Temperatura bulbo seco
Ud	Unidad
UNC	Unified National Coarse



INTRODUCCIÓN

Las torres de enfriamiento son utilizadas ampliamente en distintas industrias como parte de procesos de enfriamiento de fluidos por intercambio de calor (gas-liquido en contra corriente), teniendo al agua como fluido principal para la disipación de calor de estos procesos, las torres de enfriamiento disipan este calor a la atmosfera mediante el aire, por lo que se tiene distintos diseños según su aplicación.

El presente proyecto tiene como finalidad comprender mediante la experimentación el funcionamiento de procesos de transferencia de calor en torres de enfriamiento y promover su estudio entre los estudiantes de carreras afines a la termodinámica, a través de la implementación y puesta en marcha de un módulo de torre de enfriamiento de tiro inducido el cual estará disponible para el laboratorio de Termofluidos de la Universidad Católica de Santa María,

El desarrollo de este módulo ha tomado en cuenta las variables posibles dentro de las limitaciones que tiene un laboratorio para poder experimentar y comprender los temas y procesos que intervienen en una torre de enfriamiento.

Con estas consideraciones la presente tesis se divide de la siguiente manera:

CAPITULO I MARCO METODOLOGICO: Este capítulo inicia con la identificación del problema, descripción del problema, justificación, alcances, limitaciones y antecedentes, cuyas interrogantes son respondidas en el desarrollo de la presente tesis.

CAPITULO II MARCO TEORICO: Los temas desarrollados son: Aire y psicrometría, Torres de enfriamiento y clasificación de torres de enfriamiento.

CAPITULO III DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL MODULO DE TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO INDUCIDO: En este capítulo se desarrolla la selección de la altura de la torre, caudal, bombas hidráulicas y tablero de control eléctrico.

CAPITULO IV PRUEBAS Y RESULTADOS: En este capítulo se presentan los resultados de los ensayos realizados al módulo de la torre de enfriamiento a diferentes temperaturas de entrada y diferentes

caudales, con la finalidad de obtener la diferencia de temperatura tras el paso por la torre que se representan en las cartas psicométricas.

CAPITULO V COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL MODULO: En este capítulo se detalla los costos de cada componente y equipo que conforman el módulo de la torre de enfriamiento de tiro inducido.

El proyecto se concluye con las conclusiones, recomendaciones, plan de mantenimiento del equipo y bibliografía, también se incluye la Guía de práctica de laboratorio del módulo torre de enfriamiento de tiro inducido.





1. MARCO METODOLOGICO

1.1. Identificación y Descripción del Problema

La Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica tuvo un cambio de infraestructura en el pabellón “R” (Laboratorios de la Escuela, que incluye el laboratorio de Termofluidos), por lo que requiere renovar el módulo de experimentación de torre de enfriamiento de tiro inducido, ya que, para las dimensiones actuales del laboratorio de Termofluidos (altura de laboratorio: de 2.50 m) el módulo implementado en la infraestructura anterior se encuentra obsoleto y es inadecuado por sus dimensiones estructurales (altura de modulo obsoleto: de 3.5 m de altura), Por tal motivo es que se plantea como proyecto de tema de tesis la Implementación de un nuevo Módulo didáctico Torre de enfriamiento de tiro inducido de para el Laboratorio de Termofluidos de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica de la UCSM.

Esta tesis se basa fundamentalmente en la selección de materiales y equipos para realizar el montaje del módulo, dichos equipos son utilizados en gran diversidad de aplicaciones en el mundo industrializado de hoy, principalmente en termo centrales de gran potencia. Este módulo es de gran importancia como un complemento de los estudios teóricos realizados durante la formación de los alumnos de ingeniería Mecánica en su formación profesional. Tanto en las aplicaciones que se pueden estudiar en cursos como, “Laboratorio de Termofluidos”; así como los conocimientos fundamentales dictados en cursos profesionales: “Termodinámica”, “Mecánica de fluidos” y “Transferencia de Calor y Masa”.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

- Diseñar y construir un módulo didáctico de una “torre de enfriamiento de agua de tiro inducido” para el laboratorio de Termofluidos de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica de la universidad Católica de Santa María, para la experimentación y análisis de procesos de transferencia de calor.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Diseñar un módulo de torre de enfriamiento de agua de tiro inducido adecuada para la infraestructura de la universidad y corroborar mediante simulaciones por software la correcta selección de componentes, teniendo en cuenta la correcta selección de los materiales, controles y presupuesto.
- Construir un módulo didáctico de una torre de enfriamiento de tiro inducido para realizar experimentaciones de transferencia de energía, que permita la reducción de temperatura del agua de ingreso de 27 °C y se disminuya en 5 °C a la salida de la torre, y que tenga una capacidad de enfriamiento de 19500 Kcal/h.
- Estudiar el balance de masa y energía del agua durante el paso por la torre de enfriamiento, realizar la toma de datos e identificación las principales variables que intervienen en la experimentación de este proceso de transferencia de calor en el agua.
- Elaborar una guía de práctica de laboratorio, un manual de operación y mantenimiento del módulo “torre de enfriamiento de tiro inducido” para asegurar el correcto uso, operación y mantenimiento.

1.3. Justificación

El desarrollo del proyecto aporta a los estudiantes de la Universidad Católica de Santa María la posibilidad de desarrollar prácticas referidas a intercambio de energía.

Los estudiantes podrían afianzar y/o aprender conocimientos acerca del flujo de energía en una torre de enfriamiento, procedimiento que está detallado en este documento el cual puede servir como referencia. Los instrumentos y equipos a emplear en los módulos son de uso industrial lo cual da la posibilidad de experimentar en un panorama real de estos equipos usados en la industria.

1.4. Alcances Y Limitaciones

1.4.1. Alcance

El presente proyecto tiene por alcance el diseño e implementación de un Módulo de torre de enfriamiento de tiro inducido para el Laboratorio de Termofluidos de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-Eléctrica y Mecatrónica, con el objetivo de aprendizaje de los estudiantes en las asignaturas competentes.

El alcance del trabajo desde el punto de vista experimental y formativo, permite estudiar y realizar las siguientes prácticas y experiencias:

- Puesta en marcha del módulo, regulación de caudal hacia la torre de enfriamiento, así como el aporte de calor de la resistencia.
- Determinar el rango de la torre de enfriamiento, esto se logra calculando la diferencia entre la temperatura del agua que ingreso, con la temperatura del agua que sale.
- Registrar y obtener la curva de funcionamiento a diferentes valores de caudal de agua y de temperatura.

Se entregará a la Universidad Católica De Santa María el módulo con las guías de prácticas y plan de mantenimiento.

1.4.2. Limitaciones

- Para simular que la temperatura de fluido que ingresa a la torre de enfriamiento es producto de un proceso industrial, se realizó uso de un calentador que se compone de resistencias eléctricas sumergibles, por lo que, al usar energía eléctrica, se ve limitada la potencia disponible, esta no puede pasar la potencia que puede suministrar la universidad al laboratorio.
- La altura de la torre se seleccionó acorde a las instalaciones del laboratorio de Termofluidos de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-Eléctrica y Mecatrónica, por lo que se descarta el uso de equipos que excedan o tengan interferencias con la infraestructura actual.

1.5. Antecedentes

1.5.1. Antecedentes Investigativos

La capacidad de enfriamiento de una torre es la combinación de todas las variables involucradas en el Diseño e Ingeniería. Cuando se selecciona una Torre de Enfriamiento "Comercial", se puede determinar la eficiencia térmica, relacionando la cantidad de agua que enfría en condiciones de operación comparada con las condiciones de diseño indicadas por el fabricante. La mayor parte de la información disponible para las torres de enfriamiento es de selección, no de diseño.

Actualmente el laboratorio de Termofluidos de la facultad de ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica no cuenta con un módulo en el cual se pueda demostrar y experimentar el funcionamiento de una torre de enfriamiento, existió un proyecto denominado: "Diseño, construcción y evaluación técnico operativa del módulo torre de enfriamiento de 2 ton". Realizado por los tesisistas Málaga Rivera, Raúl Fernando & Vizcarra

Paredes, Christian Agapito (2012), en el que se experimentaba el funcionamiento de la torre de enfriamiento, pero dicho módulo fue descartado por cambio de infraestructura en el laboratorio de la metodología de medición y variables a evaluar en experimentación de este tipo, que tomamos como base para la elaboración de esta Tesis.





2. MARCO TEÓRICO

2.1. Aire

El aire es una sustancia natural que es el producto de una mezcla de nitrógeno, oxígeno y otros gases. Normalmente, el aire en su estado natural contiene vapor de agua (o humedad) lo que denominaremos aire atmosférico. En contraposición a esta denominación si el aire no contiene vapor de agua se conoce como aire seco. Para resultados prácticos consideraremos a el aire como una mezcla de caire seco y vapor de agua, porque en la mayoría de casos la composición del aire seco permanece constante, y la cantidad de vapor de agua sufriría una variación en su composición debido al efecto de la condensación y evaporación de los ecosistemas formados por océanos, lagos, ríos, o la interacción de los ecosistemas o acción meteorológica e incluso del agua del cuerpo humano y su interacción natural con el ambiente. (Cengel et al., 2019).

2.2. Presión

Podemos definir a la presión como la fuerza normal que ejerce un fluido por unidad de área. Este concepto es aplicado cuando tratamos con gases y líquidos, mientras que la contraparte de la presión en los sólidos es el esfuerzo normal, la presión tiene como unidad los newtons por metro cuadrado, también conocida como pascal (Pa), La presión real en una posición específica se llama presión absoluta, y es medida con respecto al vacío absoluto (es decir, presión cero absoluto). Sin embargo, la mayoría de dispositivos utilizados para medir la presión, son denominados manómetros estos equipos indican la diferencia de la presión absoluta del volumen de control y la presión atmosférica a esta medición la conocemos como presión atmosférica. La presión que se encuentra por debajo de la presión atmosférica es

conocida como presión de vacío. El estudio de la presión es importante para comprender el comportamiento de los fenómenos sobre los fluidos. (Cengel et al., 2019).

2.3. Humidificación y Psicometría

El concepto de humidificación es un concepto no exclusivo de las torres de enfriamiento. Podemos ver aplicaciones del concepto usadas en enfriamiento de aire. En un sentido más amplio el concepto abarca el proceso integral de ajustar el aire hasta alcanzar los niveles deseados de humidificación, deshumidificación, calentamiento, enfriamiento, incluso la limpieza del mismo. Este proceso de humidificación es importante y mantiene vigor en los sistemas de climatización que regulan la temperatura, calidad y confort del aire, por otro lado la psicometría es una rama de la ciencia dedicada al estudio de las propiedades del aire y su efecto en el confort del ser humano, calcula y muestra los parámetros que se relacionan entre sí mediante ecuaciones y muestra gráficamente estos diagramas. (Cengel et al., 2019).

2.4. Humedad

La humedad está definida como el líquido presente en una sustancia gaseosa. El aire como tal es la composición de una mezcla de nitrógeno, oxígeno y otros gases en pequeña proporción y vapor de agua. En este contexto el aire seco es la parte de la mezcla compuesta únicamente por nitrógeno y oxígeno, y el vapor de agua es lo que se denomina humedad. Y el aire seco es aquel que no contiene vapor de agua en su composición. (Celestino & Fernandez, 2017).

Tabla 1

Concentración de gases en el aire

COMPONENTE	PORCENTAJE EN VOLUMEN	COMPONENTE	PORCENTAJE EN VOLUMEN
Nitrógeno N_2	78.085	Criptón, Kr	0.00011
Oxígeno O_2	20.946	Hidrogeno, H_2	0.000058
Argón Ar	0.934	Óxido nitroso, N_2O	0.00031
Dióxido de carbono CO_2	0.0314	Monóxido de carbono, CO	0.00001
Neón, Ne	0.00182	Xenón, Xe	8.7×10^{-6}
Helio, He	0.000524	Ozono, O_3	$(1-50) \times 10^{-6}$
Metano, CH_4	0.00015	Amoniaco NH_3	$(0.01-1) \times 10^{-7}$

Nota: Tomado de Rendimiento térmico de una torre de enfriamiento de tiro forzado en contracorriente por Celestino & Fernandez, 2017.

2.5. Humedad Absoluta

La humedad absoluta es la relación de la masa de vapor de agua por unidad de masa de aire seco, que acompaña a una unidad de masa de aire seco, libre de vapor. En términos matemáticos podremos definirla como:

$$\omega = \frac{m_{\text{agua}}}{m_{\text{aire}}}$$

Dónde:

ω : humedad absoluta

m_{agua} : masa de vapor de agua

m_{aire} : masa de aire seco.

En un contexto en el cual la presión atmosférica es constante, la mezcla de aire seco y vapor de agua toman un comportamiento ideal y se pueden aplicar las leyes que rigen los gases de Dalton y de los gases ideales.

De acuerdo con la ley propuesta por Dalton "La presión total ejercida sobre una mezcla es igual a la suma de las presiones parciales que cada uno de los gases ejerce de forma independiente" (Celestino & Fernandez, 2017). En este orden de ideas podemos afirmar que:

$$P_T = P_{\text{agua}} + P_{\text{aire}}$$

Dónde:

P_T : Presión total de la mezcla

P_{agua} : Presión parcial del vapor de agua

P_{aire} : Presión parcial del aire seco.

2.6. Humedad de Saturación

El concepto de humedad de saturación corresponde a la cantidad de vapor de agua presente en el aire, siempre que esta se encuentre en equilibrio con la fase líquida a la misma temperatura del aire. (Celestino & Fernandez, 2017).

2.7. Humedad Relativa

El concepto de humedad relativa para expresar la cantidad de humedad presente en una muestra de aire, esta relación se da sobre la cantidad de humedad que poseería el aire si estuviese saturado, a temperatura constante. En otras palabras, la humedad relativa es la relación entre la presión de vapor parcial de agua en el aire a la temperatura en la cual se realizó la muestra. (Aguilar, 2017).

La humedad relativa puede ser representada por la siguiente expresión matemática.

$$\phi = \frac{P_v}{P_{sat}}$$

Donde:

ϕ : Humedad relativa [%]

P_v : Presión parcial del vapor de agua [kPa]

P_{sat} : Presión de saturación del aire [kPa]

2.8. Psicrometría

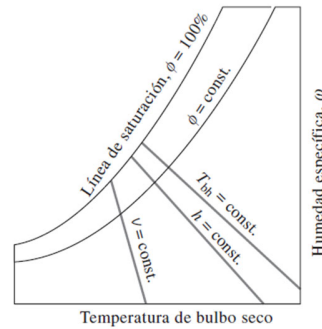
La psicrometría se ocupaba de determinar las propiedades de las mezclas de un gas y un vapor. Esta ciencia se centra en las propiedades termodinámicas del aire húmedo y la humedad atmosférica se relacionan con los materiales y el confort humano. Los principios que rigen las propiedades de otros sistemas son los mismos que se aplicaban al sistema aire-vapor de agua. Así, la psicrometría nos proporciona una herramienta para entender el comportamiento y propiedades del aire húmedo y el impacto en las aplicaciones prácticas en la que es utilizado. (Aguilar, 2017).

2.9. Carta Psicrométrica

La carta psicrométrica es una herramienta que nos muestra gráficamente las propiedades intensivas independientes correspondientes al fluido analizado, que en este caso de estudio es el aire. El resto de las propiedades se calculan por una medición indirecta a partir de las propiedades anteriormente identificadas. La carta psicrométrica además muestra gráficamente sobre ella las propiedades del aire que será evaluado. Esta carta cuenta con aplicaciones en acondicionamiento de aire. (Cengel et al., 2019).

Figura 1

Esquema de una carta psicrométrica



Nota: Tomado de Termodinámica por Cengel et al., 2019.

2.10. Operaciones de Humidificación

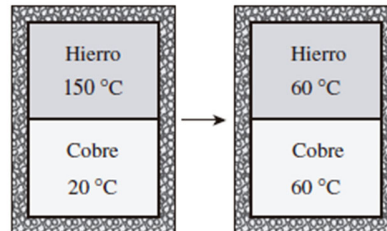
Las operaciones de humidificación se dan cuando se pone en contacto un líquido con un gas, en esta operación se realiza una transferencia de calor, masa y energía entre dichos fluidos. Para obtener la humidificación por contacto directo del aire y el agua líquida o vapor de agua es indispensable ponerla en contacto directo y a contraflujo. (Aguilar, 2017).

2.11. Transferencia de Calor

La transferencia de calor se da cuando un cuerpo entra en contacto con otro que se encuentra a una temperatura diferente, el calor se transfiere desde la fuente caliente hacia la de menor temperatura, esto hasta que ambas encuentren un equilibrio térmico (misma temperatura) es en ese momento en el que se detiene la transferencia de calor y ambos cuerpos alcanzan el llamado equilibrio térmico, es decir ambos tienen la misma temperatura. (Cengel et al., 2019).

Figura 2

Dos cuerpos que alcanzan el equilibrio térmico después de ser puestos en contacto dentro de un recinto aislado.



Nota: Tomado de Termodinámica, Cengel (2019).

2.12. Balance de Energía

La primera ley de la termodinámica, conocida también como el principio de conservación de la energía, brinda una base sólida para estudiar las relaciones entre las diversas formas de interacción de energía. Por lo tanto, cada cantidad de energía por pequeña que sea debe justificarse durante un proceso. De acuerdo con el análisis anterior, el principio de conservación de la energía se expresa como: el cambio neto (aumento o disminución) de la energía total del sistema durante un proceso es igual a la diferencia entre la energía total que entra y la energía total que sale del sistema durante el proceso. Esta relación es más conocida como balance de energía y es aplicable a cualquier tipo de sistema que experimenta cualquier clase de proceso. (Cengel et al., 2019)

2.13. Temperatura de Bulbo Seco

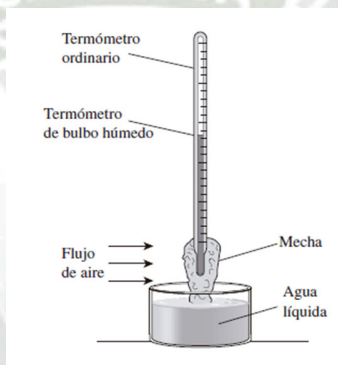
Se define la temperatura de bulbo seco como la temperatura a la cual el aire es medido con cualquier termómetro. (Cengel et al., 2019).

2.14. Temperatura de Bulbo Húmedo

La temperatura de bulbo húmedo es la temperatura medida desde cualquier termómetro que cuente con un bulbo cubierto por una mecha húmeda y en contacto con agua en estado líquido. El cual proporcionará condiciones de saturación en el bulbo. (Cengel et al., 2019).

Figura 3

Medición de temperatura de bulbo húmedo.



Nota: Tomado de Termodinámica, Cengel (2019).

2.15. Capacidad Calorífica

La capacidad calorífica es la cantidad de calor que se requiere para elevar en un grado la temperatura de una sustancia. Que es la razón de la cantidad de calor suministrado con el para un incremento de temperatura del cuerpo. (Aguilar, 2017).

"Las capacidades caloríficas de los gases (también conocidas como calores específicos a presión Constante), C_p . Se encuentran catalogadas en función de la temperatura". (Aguilar, 2017).

2.16. Calor Sensible

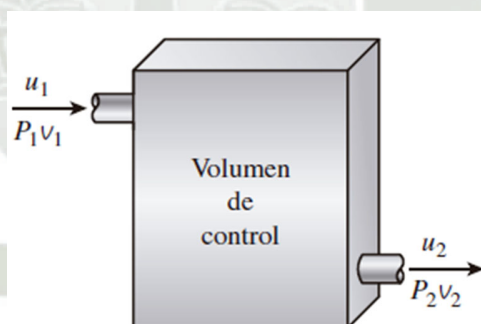
Cuando hablamos del calor sensible hablamos de la cantidad de calor que se necesita para elevar en un grado la temperatura de una sustancia, este cambio no debe producir en el un cambio de estado, es decir aún debe mantener su estado líquido, solido o gaseoso. (Aguilar, 2017).

2.17. Entalpía

En el análisis de cierto tipo de procesos, particularmente en la generación de potencia y en refrigeración Figura 4, a menudo se encuentra la combinación de propiedades $u + Pv$, Para simplificar y por conveniencia, esta combinación se define como una nueva propiedad, entalpía, la cual se representa mediante el símbolo h . (Cengel et al., 2019).

Figura 4

La combinación $u + Pv$ en el análisis de volúmenes de control.



Nota: Tomado de Termodinámica, Cengel (2019).

$$h = u + Pv \text{ (kJ/kg)}$$

Donde:

U= Energía interna.

P=Presión

V=Volumen

2.18. Entropía

La segunda ley de la termodinámica conduce frecuentemente a expresiones que involucran desigualdades. Por ejemplo, una máquina térmica irreversible (es decir, real) es menos eficaz que otra reversible que opera entre los mismos dos depósitos de energía térmica. Igualmente, un refrigerador irreversible o una bomba de calor tiene un coeficiente de desempeño (COP) menor que otro reversible que funciona entre los mismos límites de temperatura. Otra desigualdad importante que tiene mayores consecuencias en la termodinámica es la desigualdad de Clausius. (Cengel et al., 2019).

La entropía es una propiedad extensiva de un sistema y a veces es llamada entropía total, mientras que la entropía por unidad de masa S es una propiedad intensiva y tiene la unidad $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$. Generalmente, el término entropía es usado para referirse a ambas: a la total y a la de por unidad de masa, ya que el contexto normalmente esclarece de cuál se trata.

El desempeño de los sistemas de ingeniería es degradado por la presencia de irreversibilidades; y la generación de entropía es una medida de las magnitudes de irreversibilidades presentes durante ese proceso. A mayor magnitud de irreversibilidades, mayor generación de entropía. Por consiguiente, la generación de entropía puede usarse como una medida cuantitativa de irreversibilidades asociadas al proceso, y para establecer el criterio a emplearse en el diseño de dispositivos. (Cengel et al., 2019).

2.19. Exergía

Para el análisis de un sistema donde se genere o pierda energía, se requiere determinar el potencial de trabajo de la fuente, la cantidad de energía que podemos extraer como trabajo útil. El resto de la energía es finalmente descartada como energía de desecho y

no debe ser considerada. Para fines prácticos definiremos a la exergía como la disponibilidad o energía disponible en un sistema o volumen de control. (Cengel et al., 2019).

En un análisis de exergía se especifica el estado inicial, por lo tanto, no es una variable. La salida de trabajo se maximiza cuando el proceso entre dos estados especificados se ejecuta de una manera reversible. Por consiguiente, determinando el trabajo potencial todas las irreversibilidades se desprecian. Por último, el sistema debe estar en el estado muerto al final del proceso para maximizar la salida de trabajo. (Cengel et al., 2019).

2.20. Torres de Enfriamiento

Las torres de enfriamiento son equipos que se usan para enfriar agua en grandes volúmenes, extrayendo el calor del agua mediante procesos de evaporación o conducción. El proceso es en términos prácticos económico, comparado con otros equipos de enfriamiento como los cambiadores de calor, o enfriadores. (Mendoza & Gallardo, 2016).

El agua se ingresa a la torre por tuberías que y aspersores que se encargarán de distribuir el agua en la mayor superficie posible, sobre un relleno. En el interior de la torre de enfriamiento se produce un proceso de enfriamiento este ocurre cuando el agua, al caer a través de la torre, entra en contacto directo con una corriente de aire que fluye a contracorriente, en estas condiciones, el agua se enfría por transferencia de masa (evaporación), originando que la temperatura del aire y su humedad aumenten y que la temperatura del agua descienda; la temperatura límite de enfriamiento del agua es la temperatura del aire a la entrada de la torre. Durante este proceso ocurre una evaporación del agua, que arrastra partículas hacia el exterior. (Mendoza & Gallardo, 2016).

2.21. Fundamentos del Método de Enfriamiento

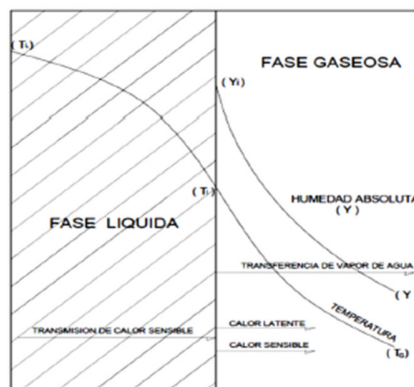
En la figura 5, observamos una operación de enfriamiento de agua. La masa y el calor se transfieren hacia la fase gaseosa; por lo tanto, la figura es una neta apreciación de las condiciones de una torre de enfriamiento.

Puede ocurrir también que el calor sensible y el calor latente, se transfieren en direcciones opuestas. Esto sucede generalmente en la parte inferior de la torre de enfriamiento de agua, en donde se enfría por debajo de la temperatura de bulbo húmedo del aire. La Figura nos muestra las condiciones para la transferencia en direcciones opuestas de los calores latente y sensible. (Portero & Valarezo, 2012).

Puesto que, en estas operaciones, las razones de cambio y las cantidades, tanto de las transferencias de calor como de masa son sustanciales, deben escribirse paralelamente a los balances de entalpía y a las ecuaciones de velocidad de transferencia de masa. (Portero & Valarezo, 2012).

Figura 5

Estado de fase termodinámico de una torre de enfriamiento



Nota: Tomado de *Diseño y construcción de una torre de enfriamiento de agua por evaporación de tiro inducido* por Portero & Valarezo, 2012.

2.22. Balance Calórico de un Proceso de Enfriamiento

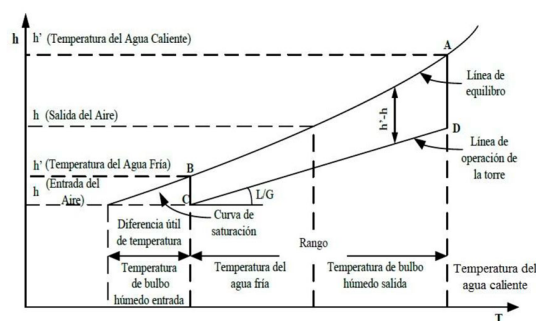
En la Figura 6 se ilustran las relaciones del agua y el aire y el potencial impulsor que existe en una torre de contraflujo, en donde el aire fluye en sentido paralelo, pero siguiendo una dirección opuesta al flujo del agua. La comprensión de este diagrama constituye una base importante para entender el proceso de la torre de enfriamiento. La línea de operación del agua está representada por la línea AB y se especifica por medio de las temperaturas del agua de la torre en la entrada y la salida. La línea de operación del aire principia en C, verticalmente por debajo de B, y en un punto que tiene una entalpía correspondiente a la temperatura de entrada de bulbo húmedo. La línea BC representa la fuerza impulsora inicial ($h'-h$). Para enfriar el agua 1 °F, la entalpía por libra de aire aumenta 1 Btu multiplicada por la razón de libras de agua por libra de aire. La relación líquida/gas (L/G) es la pendiente de la línea de operación. (Perry, 2001).

El aire que sale de la torre se representa por medio del punto D y la gama de enfriamiento es la longitud proyectada de la línea CD sobre la escala de temperaturas. La diferencia útil de temperaturas en la torre de enfriamiento se ilustra en el diagrama como la diferencia entre la temperatura del agua fría que sale la torre y la temperatura de bulbo húmedo del ambiente. (Perry, 2001).

Las coordenadas se refieren directamente a la temperatura y la entalpía de cualquier punto en la línea de operación del agua; pero en la línea de operación del aire, la referencia se hace tan sólo a la entalpía de un punto. La temperatura de bulbo húmedo correspondiente a cualquier punto de CD se encuentra proyectando dicho punto en sentido horizontal a la curva de saturación y luego en sentido vertical a la coordenada de temperaturas. (Perry, 2001).

Figura 6

Diagrama de operación para una torre de enfriamiento; gráfica de la entalpía del aire contra la temperatura del agua.



Nota: Tomado de Manual del Ingeniero Químico, Perry (2001).

2.23. Tipos de Torres de Enfriamiento

Las torres de enfriamiento se pueden clasificar en diferentes formas según las características que se consideren.

2.23.1. Tipo De Operación

2.23.1.1. Torres de Tiro Mecánico.

Estas torres de enfriamiento tienen instalados varios ventiladores para que en su configuración suministran un flujo de aire que atraviesa la torre de enfriamiento, como sub clasificaciones de este tipo de torre de enfriamiento podemos encontrar dos variantes. (Hernandez & Villareal, 2008).

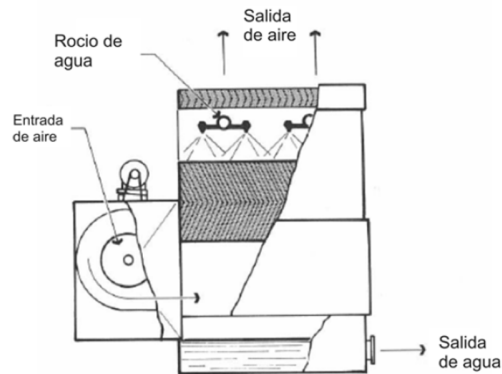
2.23.1.1.1. Tiro Forzado

Comúnmente las torres de enfriamiento de tiro forzado son equipos con ventiladores centrífugos, externos son equipos con ventiladores de flujo centrífugo; estos ventiladores se ubican en el exterior de la torre de enfriamiento

e insuflan aire hacia el interior, es este mismo el que entra en contacto y realiza el proceso de intercambio de calor. (Hernandez & Villareal, 2008).

Figura 7

Torre de tiro forzado



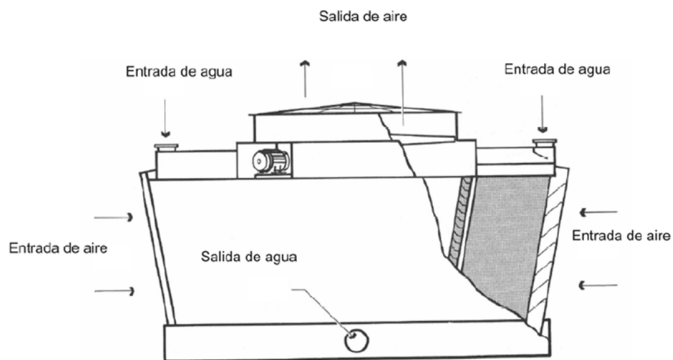
Nota: Tomado de EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO TÉRMICO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO CT-502 por Hernandez & Villareal, 2008.

2.23.1.1.2. Tiro Inducido

En las torres de tiro inducido el aire es extraído desde el interior mediante el uso de un ventilador situado en la parte superior. Una de las ventajas es que este mismo produce una extracción de aire constante además de no crear en el interior zonas de baja presión, además de ser una de las más pequeñas, es por eso que es una de las configuraciones más usadas. (Hernandez & Villareal, 2008).

Figura 8

Torre de tiro inducido.



Nota: Tomado de EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO TÉRMICO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO CT-502 por Hernandez & Villareal, 2008.

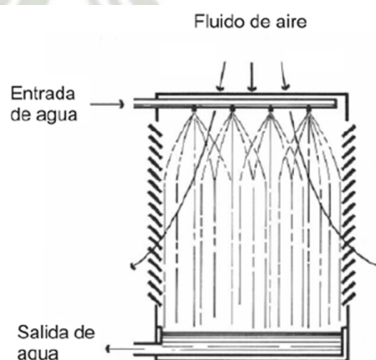
2.23.2. Tipo de Flujo de Aire

2.23.2.1. Estanque de Rocío.

En el tipo de torre por flujo de aire, este es inducido, mientras que el ingreso del fluido es rociado sobre tablillas, las cuales circulan hasta el drenaje en la parte inferior de la base de la torre. (Hernandez & Villareal, 2008).

Figura 9

Torre atmosférica de rocío.



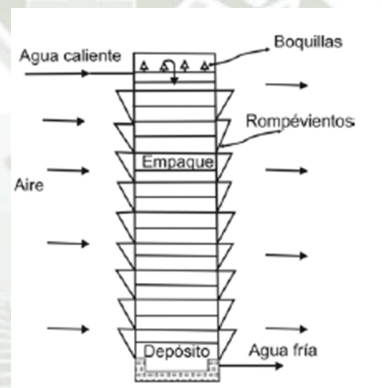
Nota: Tomado de EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO TÉRMICO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO CT-502 por Hernandez & Villareal, 2008.

2.23.2.2. Atmosféricas

Estas torres obtienen su flujo de aire de la inducción de forma natural proporcionando un tipo de presión-rocío de agua, distribuida en el sistema. El aire entrara a través de los rompévientos en una sola dirección. Su desempeño está relacionado directamente con las condiciones atmosféricas. Estos tipos de torres aprovechan las corrientes atmosféricas del aire. (Hernandez & Villareal, 2008).

Figura 10

Torre atmosférica.



Nota: Tomado de EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO TÉRMICO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO CT-502 por Hernandez & Villareal, 2008.

Debido a que en este tipo de torres las corrientes atmosféricas atraviesan a todo lo ancho de la torre, son angostas en comparación al resto de tipos de torres. Las pérdidas por arrastre son mayores ya que se existe un flujo cruzado del aire dentro de la torre. (Hernandez & Villareal, 2008).

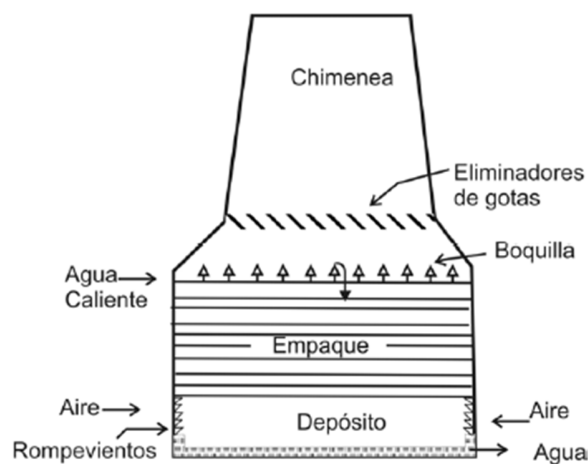
2.23.2.3. Tiro Natural

En este tipo de torres el flujo de aire que pasa a través la torre se debe a la diferencia de densidad que existe entre el aire de menor temperatura del

ambiente y el calor del aire caliente acumulado en el interior que sale de la torre. El aire se calienta en la torre debido al contacto con el agua caliente y su baja densidad. El incremento de temperatura del aire origina el movimiento hacia arriba a través de la torre induciendo una circulación por convección térmica originándose un flujo de aire frío que inicia en la parte inferior y una circulación del aire caliente y menos denso por la parte superior. Esto es especialmente útil si la velocidad del viento es muy baja. (Hernandez & Villareal, 2008).

Figura 11

Torre de tiro natural.



Nota: Tomado de EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO TÉRMICO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO CT-502 por Hernandez & Villareal, 2008.

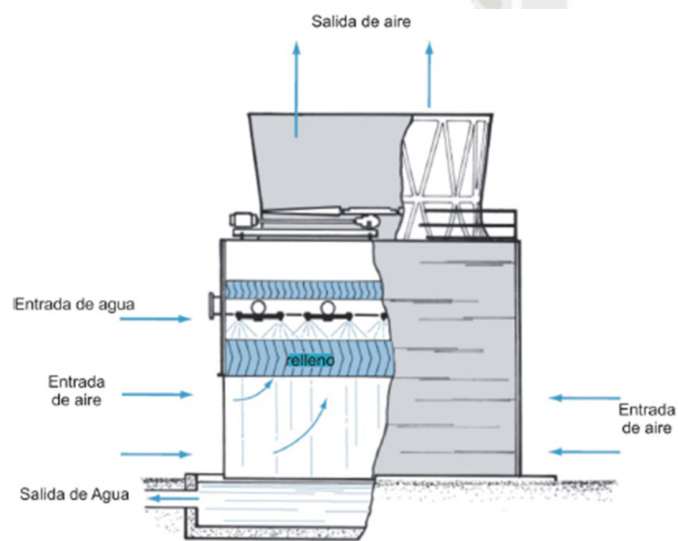
2.23.2.4. Torre en Contraflujo

En este tipo de torres el flujo de aire se traslada de forma vertical en dirección a la parte superior pasando a través del relleno, en dirección contraria de la caída del flujo del agua, algunas de este tipo de torres de contraflujo son

grandes en sus dimensiones, por lo que se requiere de bombas y ventiladores de mayores potencias con las que se pueda generar el contraflujo. (Hernandez & Villareal, 2008).

Figura 12

Torre de contraflujo.



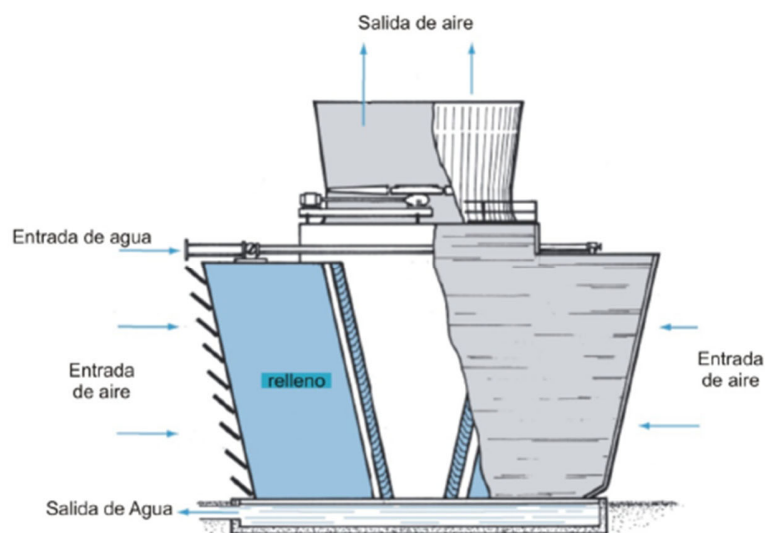
Nota: Tomado de EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO TÉRMICO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO CT-502 por Hernandez & Villareal, 2008.

2.23.2.5. Flujo Cruzado

Este tipo de torres tienen un relleno en una disposición específica de forma que el aire fluye horizontalmente a través de la caída del agua. El fluido a enfriar es transportado a un recipiente ubicado en la parte superior al relleno, seguidamente cae al relleno por gravedad a través de agujeros ubicados en la parte inferior de los recipientes. El ventilador se ubica en la parte superior de la torre y transporta el aire a través de dos celdas ubicadas a la orilla de una cámara de succión que se divide en dos por el ventilador. (Hernandez & Villareal, 2008).

Figura 13

Torre de flujo cruzado.



Nota: Tomado de EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO TÉRMICO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO CT-502 por Hernandez & Villareal, 2008.

2.23.3. Forma De Transferencia De Calor

2.23.3.1. Evaporativas

En este tipo de torres se cambia el relleno laminar, por un sistema cerrado de serpentines con agua que gotea sobre ellos. (Hernandez & Villareal, 2008).

2.23.3.2. Secas

Este tipo de torres son unidades especiales para disminuir la temperatura del agua en tubos pequeños a través de la inducción de aire de la atmosfera por medio de las secciones de serpentines. (Hernandez & Villareal, 2008).

2.23.3.3. Húmedas

Este tipo de torres se usa la humidificación como una forma de transferencia de calor, el principal objetivo es disminuir la temperatura del agua y no el aire húmedo. (Hernandez & Villareal, 2008).

2.24. Recirculación

En este tipo de torres se refleja una parte del aire saliente de la torre que recircula a ponerse en contacto con la alimentación del aire. (Aguilar, 2017).

2.25. Agua de Reposición

Debido a que existen pérdidas de agua por arrastre en la parte superior de la torre se requiere una cantidad de agua que se debe reponer al sistema de enfriamiento. La cantidad que se agrega es el porcentaje de evaporación cada disminución de 2 a 30 °C, del 2 al 3% que se evapora por cada 100 °C de enfriamiento.(Aguilar, 2017).

2.26. Pérdidas por Arrastre

Es la cantidad de agua que se pierde debido a que el agua en forma de finas gotas es arrastra por el vapor de agua saliente en la parte superior de la torre hacia el exterior. (Aguilar, 2017).

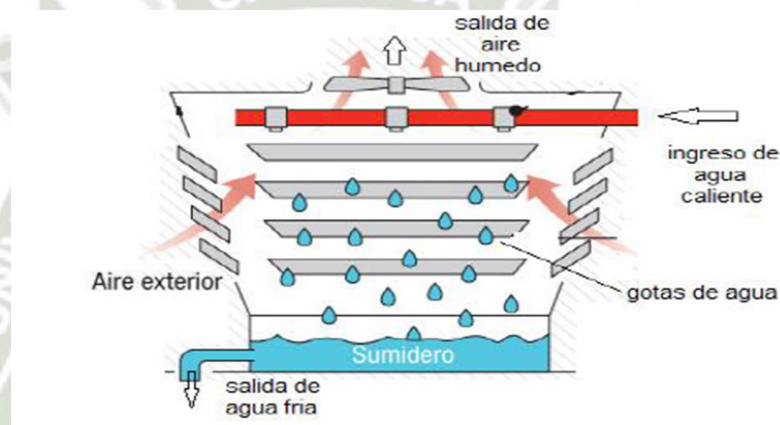
2.27. Principios de las Torres de Enfriamiento

El principio de operación de una torre de enfriamiento, inicia con el ingreso de agua a enfriar por los distribuidores de agua ubicados la parte superior de la torre. Seguidamente el fluido es distribuido en la mayor área transversal, cae pasando por el relleno, y el flujo de aire

que es inducido por el ventilador u otro método, atraviesa también el relleno en sentido opuesto. en todos los casos, el objetivo es tener un mayor contacto del fluido a enfriar y el aire que ingresa de la atmosfera. El agua que atraviesa el relleno se acumula en la parte inferior de la torre, tiene una temperatura inferior que la temperatura de ingreso, debido a la transferencia de calor que se dio en el relleno. (Celestino & Fernandez, 2017).

Figura 14

Operación de una torre de enfriamiento



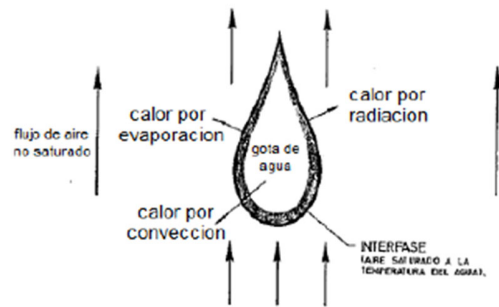
Nota: Tomado de Rendimiento térmico de una torre de enfriamiento de tiro forzado en contracorriente por Celestino & Fernandez, 2017.

La transferencia de calor se da cuando el agua caliente, atraviesa el relleno, se pone en contacto directo con el flujo de aire sin saturar de la atmosfera que fluye a contracorriente. En esas condiciones, se da una transferencia de masa de agua al aire por evaporación, transferencia de calor de las gotas de agua caliente hacia el flujo de aire, y también se transfiere calor por radiación, aunque el calor transferido por radiación es despreciable. En este proceso de transferencia de calor, el agua de ingreso pierde energía (calor sensible y calor latente), lo que genera la disminución de temperatura. El aire al finalizar su paso por la torre cambia sus propiedades, sus temperatura y humedad aumentan (humidificación del aire). la temperatura límite de enfriamiento del agua al salir de la torre, es la temperatura de bulbo húmedo del aire

a la entrada de la torre, es decir la temperatura del medio ambiente. (Celestino & Fernandez, 2017).

Figura 15

Mecanismo de enfriamiento de una gota de agua.



Nota: Tomado de Rendimiento térmico de una torre de enfriamiento de tiro forzado en contracorriente por Celestino & Fernandez, 2017.

Se considera un aproximado es el 80% al 90% del enfriamiento que se obtiene en la torre es debido a la transferencia de calor latente (evaporación) y el 10 % al 20 % por transferencia de calor sensible. (Celestino & Fernandez, 2017).

2.27.1. Indicadores de Desempeño de una Torre

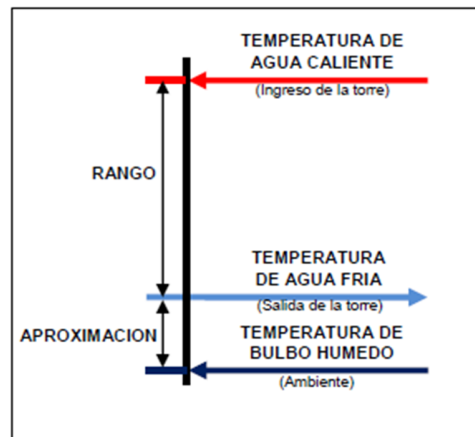
Para evaluar cual es el desempeño o comportamiento de una torre de enfriamiento, tenemos distintos indicadores.

Rango: Es la diferencia entre la temperatura del agua al ingreso de la torre (agua caliente) y la temperatura a la salida de la torre (agua fría). (Celestino & Fernandez, 2017).

Aproximación: Es la diferencia entre la temperatura del agua a la salida de la torre (agua fría) y la temperatura de bulbo húmedo del ambiente (aire de ingreso a la torre), a menor valor de aproximación, el desempeño de la torre será mejor. (Celestino & Fernandez, 2017).

Figura 16

Rango y aproximación de las torres de enfriamiento.



Nota: Tomado de Rendimiento térmico de una torre de enfriamiento de tiro forzado en contracorriente por Celestino & Fernandez, 2017.

Eficiencia: Es la división entre el rango (diferencia de temperaturas del agua de ingreso y salida de la torre) y el rango ideal de enfriamiento (diferencia entre la temperatura del agua de ingreso de la torre y temperatura de bulbo húmedo del ambiente). (Celestino & Fernandez, 2017).

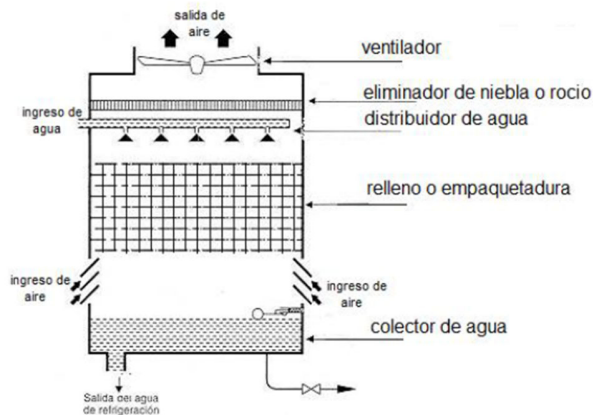
Capacidad de enfriamiento: Es el intercambio calórico entre el flujo de agua y el flujo de aire, como resultado del calor específico, la velocidad de flujo de agua y el rango de la torre. (Celestino & Fernandez, 2017).

2.28. Partes de una Torre de Enfriamiento

Las partes básicas de una torre de enfriamiento son: ventilador, tuberías de distribución de flujo de agua, relleno, eliminadores de gotas, colector de agua.

Figura 17

Partes de una torre de enfriamiento.



Nota: Tomado de Rendimiento térmico de una torre de enfriamiento de tiro forzado en contracorriente por Celestino & Fernandez, 2017.

2.28.1. Sistema de distribución de agua.

Su función es distribuir el flujo de agua por la parte superior del relleno. El flujo de agua de ingreso es atomizado para abarcar la mayor parte del área de contacto con el aire. (Celestino & Fernandez, 2017).

Figura 18

Toberas de distribución de agua.



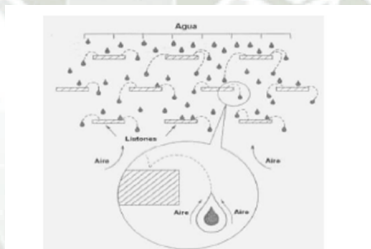
Nota: Tomado de Rendimiento térmico de una torre de enfriamiento de tiro forzado en contracorriente por Celestino & Fernandez, 2017.

2.28.2. Relleno

Su función generar el contacto entre el flujo de aire y el flujo de agua, minimizando pérdidas de presión del aire. en esta superficie se debe de distribuir el agua en forma pareja, existen distintas configuraciones para conseguir que se forme una película de gran superficie o disminuir el tamaño de las gotas. (Celestino & Fernandez, 2017).

Figura 19

Distribución del agua en el relleno.



Nota: Tomado de Rendimiento térmico de una torre de enfriamiento de tiro forzado en contracorriente por Celestino & Fernandez, 2017.

Los rellenos típicos son: De salpicadura, para torres de flujo cruzado, y de película, para flujo en contracorriente. (Celestino & Fernandez, 2017)

Figura 20

Relleno por salpicadura de contraflujo.



Nota: Tomado de Rendimiento térmico de una torre de enfriamiento de tiro forzado en contracorriente por Celestino & Fernandez, 2017.

Figura 21

Relleno por película de contraflujo.



Nota: Tomado de Rendimiento térmico de una torre de enfriamiento de tiro forzado en contracorriente por Celestino & Fernandez, 2017.

2.28.3. Eliminador de rocío.

Estos componentes disminuyen pérdidas de agua por arrastre del aire que es expulsado de la torre por la parte superior.

Figura 22

Eliminadores de rocío.



Nota: Tomado de Rendimiento térmico de una torre de enfriamiento de tiro forzado en contracorriente por Celestino & Fernandez, 2017.

2.28.4. Ventilador

Equipo mecánico que proporciona un flujo de aire a través de la torre. El aire es tomado del medio externo de la torre, y es impulsado hacia el interior de la torre. Según sea

el tipo de torre se ubica en la base de la torre (tiro forzado) o en la parte superior (tiro inducido). (Celestino & Fernandez, 2017)

2.28.5. Colector de agua

Es el recipiente donde es colectada el agua fría procedente del relleno, se encuentra en la base de la torre.

2.29. Bombas Hidráulicas

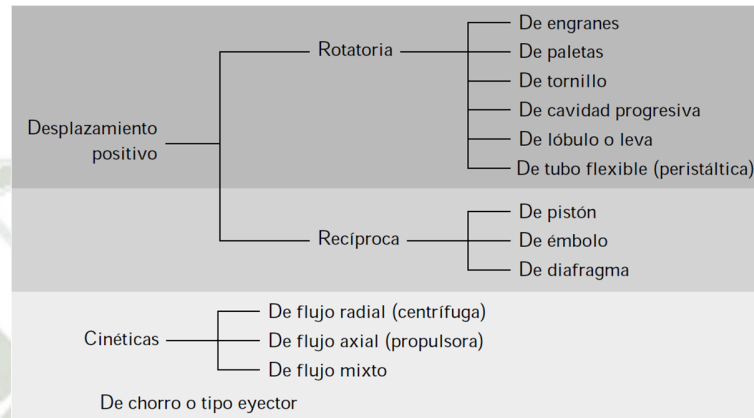
Las bombas se utilizan para impulsar líquidos que se transportan a través de sistemas de tuberías, Deben entregar el caudal deseado del fluido mientras transmite al mismo la energía cinética necesaria para vencer la carga dinámica total requerida, equivalente a la suma de las cargas por cambios de elevación, cargas por diferencias de presión, cargas de velocidad y, por último, todas las pérdidas de energía ocurridas en el sistema. (Mott & Untener, 2015)

2.29.1. Clasificación de los Tipos de Bombas

Por lo general, las bombas se clasifican como de desplazamiento positivo o bombas cinéticas. En la siguiente figura se listan varios tipos de cada una. Las bombas de desplazamiento positivo entregan un volumen determinado de fluido por cada revolución del eje de la bomba o por cada ciclo de movimiento de los elementos de bombeo activos. Con frecuencia, producen presiones muy altas con caudales moderados. Las bombas cinéticas operan mediante la transferencia de energía cinética desde un elemento giratorio, llamado impulsor, hasta un fluido mientras éste se desplaza hacia y a través de la bomba. Después, una parte de esta energía se convierte en energía de presión tanto estática como dinámica a la salida de la bomba. El tipo de bomba cinética más frecuentemente utilizado es la bomba centrífuga.(Mott & Untener, 2015)

Figura 23

Clasificación de los tipos de bombas



Nota: Tomado de Mecánica de Fluidos, Mott(2015)

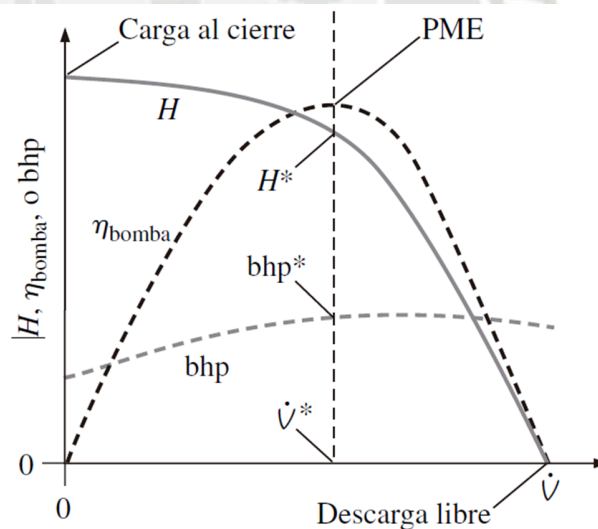
2.29.2. Curvas Características de una Bomba Centrífuga

El máximo flujo volumétrico en una bomba ocurre cuando la carga hidrostática (altura de una columna de agua que ejerce presión) neta es cero, $H = 0$; este flujo se llama descarga libre de la bomba. La condición de descarga libre se logra cuando es inexistente la restricción de flujo en la entrada o la salida de la bomba, en otras palabras, cuando no hay carga en la bomba. En este punto de operación, V (gasto volumétrico o caudal) es grande, pero H es cero; la eficiencia de la bomba es cero porque la bomba no está haciendo trabajo útil. En el otro extremo, la carga al cierre es la presión hidrostática neta que se presenta cuando el gasto volumétrico es cero, $V = 0$, y se obtiene cuando la abertura de descarga de la bomba está bloqueada. En estas condiciones, H es grande, pero V (gasto volumétrico) es igual a cero. Entre estos dos extremos, desde el cierre hasta la descarga libre, la carga hidrostática neta de la bomba, al incrementar el caudal, podría incrementarse un poco desde su valor al cierre, pero definitivamente H debe disminuir a cero a medida que el gasto

volumétrico aumenta hasta su valor de descarga libre. La eficiencia de la bomba alcanza su valor máximo en algún punto entre la condición de cierre y la condición de descarga libre; este punto de operación de eficiencia máxima se denomina punto de la mejor eficiencia (PME, BEP por sus siglas en inglés) o punto nominal o punto de diseño, y se denota con un asterisco (H^* , V^* , bhp^*). Las curvas de H , h bomba y bhp como funciones de V se denominan curvas de rendimiento de la bomba (o bien, curvas características); las curvas representativas a una velocidad rotacional se grafican en la siguiente figura. Las curvas del rendimiento de la bomba cambian con la velocidad rotacional. (Çengel & Cimbala, 2018).

Figura 24

Curvas de rendimiento típicas de una bomba centrífuga



Nota: Tomado de Mecánica de Fluidos, Çengel (2018).

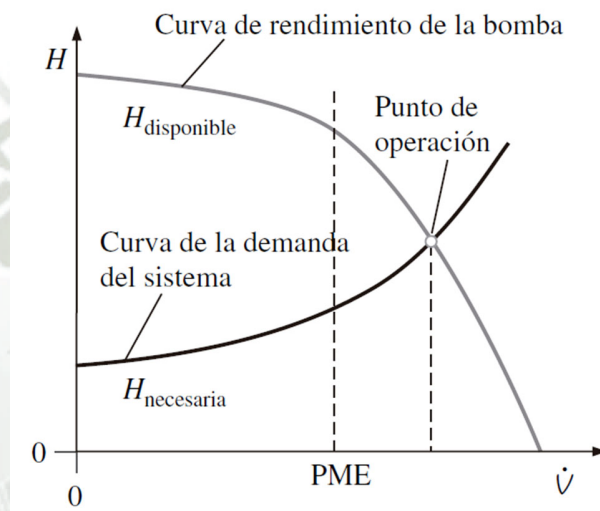
2.29.3. Punto de Operación de un Sistema de Bombeo

El punto de operación de un sistema de tuberías se determina cuando se hacen corresponder la demanda del sistema (carga hidrostática neta necesaria) con el rendimiento

de la bomba (carga hidrostática neta disponible) En una aplicación representativa, H necesaria y H disponible coinciden en un único valor de caudal, que es el punto de operación o punto de servicio del sistema. (Çengel & Cimbala, 2018).

Figura 25

Punto de operación de un sistema de bombeo



Nota: Tomado de Mecánica de Fluidos, Çengel (2018).

2.30. Herramientas Computacionales para la Simulación

2.30.1. EES (Engineering equation solver)

Es un programa general de resolución de ecuaciones que puede resolver numéricamente miles de ecuaciones diferenciales y algebraicas no lineales acopladas. El programa también se puede utilizar para resolver ecuaciones diferenciales e integrales, realizar optimización, proporcionar análisis de incertidumbre, realizar regresión lineal y no lineal, convertir unidades, comprobar la coherencia de las unidades y generar gráficos con calidad de publicación. Una característica importante de EES es la base de datos de propiedades termodinámicas y de transporte de alta precisión que se proporciona para

cientos de sustancias de una manera que permite su uso con la capacidad de resolución de ecuaciones.(F-Chart Software, 2024).

2.30.2. SOLIDWORKS

SOLIDWORKS es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software que ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Sus productos ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño.(SOLID-BI, 2024).

2.30.3. PIPEFLOW

El software Pipe Flow Expert es utilizado por diseñadores de sistemas de tuberías e ingenieros hidráulicos en más de 100 países en todo el mundo. El software calcula caudales, caídas de presión de las tuberías y rendimiento de la bomba. Puede modelar sistemas de tuberías con múltiples puntos de suministro, tanques de descarga, componentes, válvulas y múltiples bombas en serie o en paralelo.(PIPE FLOW SOFTWARE, 2024).

2.30.4. AUTODESK INVENTOR

El software de CAD 3D Autodesk Inventor proporciona herramientas de diseño mecánico, documentación y simulación. Combinación potente de capacidades de diseño paramétrico, directo, de formas libres y basado en reglas, herramientas integradas para diseño de maquinaria, chapa, diseño de estructuras, tubos y tuberías, cable y arnés, etc. . (AUTODESK, 2024).

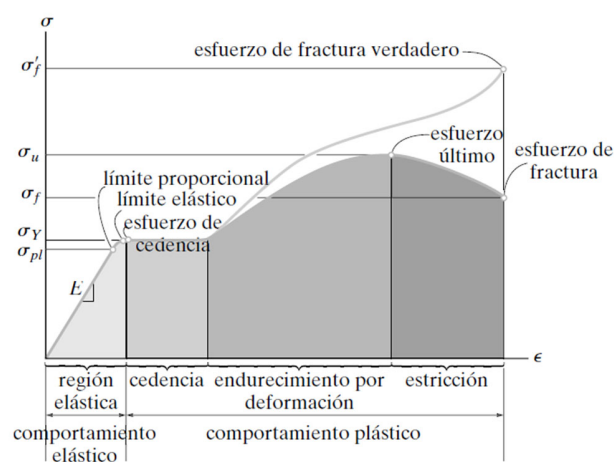
Potente definición basada en modelos para incrustar información de fabricación directamente en el modelo 3D. (AUTODESK, 2024).

2.31. Esfuerzo de Fluencia

En un ligero aumento en el esfuerzo por encima del límite elástico generará un rompimiento del material y ocasionará que éste se deforme permanentemente. Este comportamiento se denomina cedencia o fluencia, y está indicado por la región rectangular en gris medio en la figura. El esfuerzo que causa la cedencia se llama esfuerzo de cedencia o punto de cedencia. (HIBBELER, 2017).

Figura 26

Diagramas de esfuerzo-deformación convencional y verdadero para un material dúctil (acero)



Nota: Tomado de MECÁNICA DE MATERIALES, HIBBELER (2017).

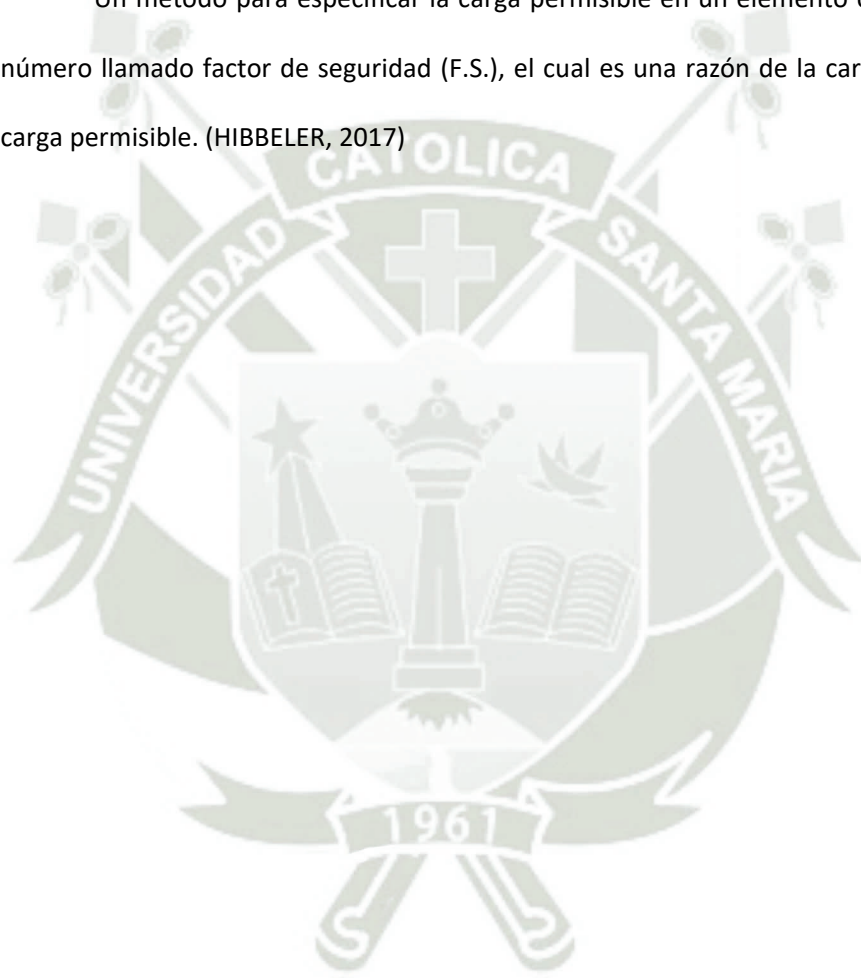
2.32. Tensión de Von Mises

La energía por unidad de volumen de material se denomina densidad de la energía de deformación, esta densidad de energía de deformación puede considerarse como la suma de dos partes: una que representa la energía necesaria para causar un cambio de volumen en el

elemento sin cambio en su forma, y la otra parte que representa la energía necesaria para distorsionar el elemento. (HIBBELER, 2017).

2.33. Factor de Seguridad

Un método para especificar la carga permisible en un elemento consiste en usar un número llamado factor de seguridad (F.S.), el cual es una razón de la carga de falla sobre la carga permisible. (HIBBELER, 2017)





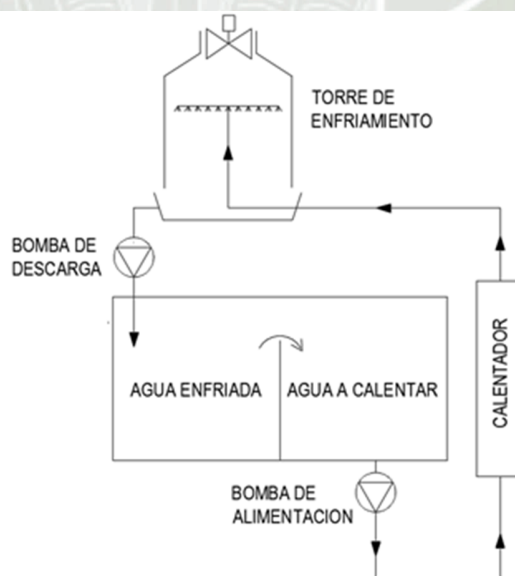
3. DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL MODULO DE TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO INDUCIDO

La Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica actualmente posee un laboratorio de Termofluidos donde se sitúa equipos y módulos para la experimentación y desarrollo de los cursos, por lo que se consideró como parámetro principal para selección de los componentes del módulo de torre de enfriamiento las dimensiones del laboratorio de Termofluidos, se tiene una altura de 2.5 m que tomaremos como parámetro al seleccionar los equipos.

Se consideró inicialmente la distribución mostrada en el siguiente diagrama, en el cual el agua se dirige directamente desde el tanque hacia el calentador y llega directamente hacia la torre de enfriamiento.

Figura 27

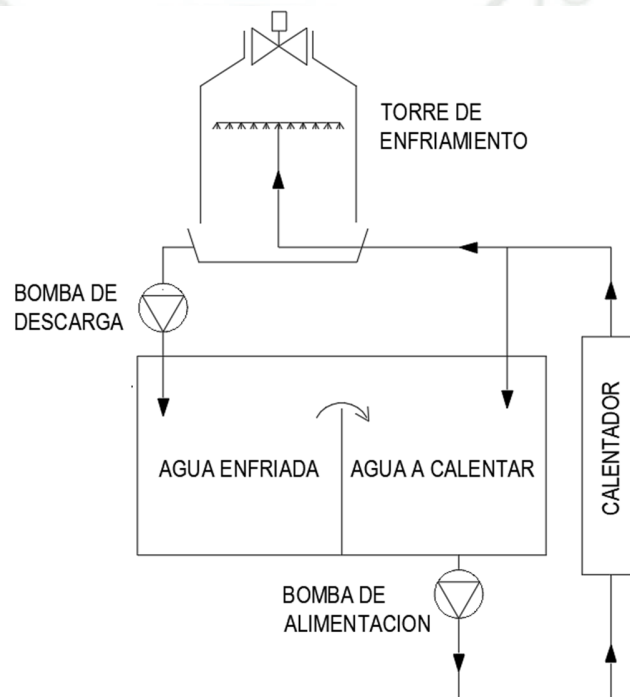
Diagrama de flujo del módulo de torre de enfriamiento



Se decidió considerar una tubería de recirculación en la salida del calentador como se muestra en la siguiente figura, debido a que esta recirculación nos permite alcanzar mayores temperaturas del agua, ya que se podrá recircular el agua por el calentador hasta una temperatura deseada antes de ingresar a la torre de enfriamiento.

Figura 28

Diagrama de flujo del módulo de torre de enfriamiento con recirculación



El funcionamiento del módulo propuesto cuenta con una fase en la cual se calienta el agua que se sitúan en un tanque de agua, se realiza el transporte mediante una bomba centrífuga que impulsa el fluido hacia el calentador de agua que incrementará su temperatura, en caso de que se requiera alcanzar temperaturas mayores a las que el calentador puede entregar en un solo recorrido se deberá recircular hacia el tanque de agua hasta llegar a la temperatura deseada.

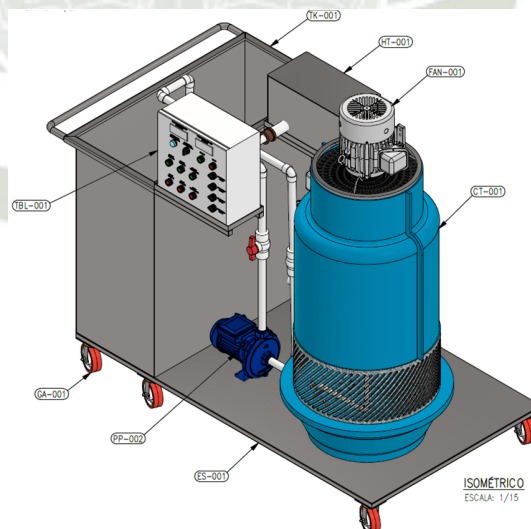
Una vez obtenida la temperatura deseada en el suministro de agua, se podrá aperturar la válvulas que dirigen el fluido hacia la torre de enfriamiento, el fluido al pasar por la torre de enfriamiento y disminuirá su temperatura debido a la transferencia de calor que se generará al interactuar con el aire que ingresa por el accionamiento del ventilador de la torre, el agua al finalizar su paso por el relleno de la torre se almacena en la base de la misma, cuando el nivel de agua en esta base llegue a casi el máximo de su capacidad, se accionara la bomba de descarga, la cual bombea el agua hasta el tanque de almacenamiento inicial.

3.1. Selección de Componentes

Teniendo en cuenta el diagrama de flujo se determinó la distribución de cada parte del módulo según la siguiente figura realizada en el software Autodesk Inventor.

Figura 29

Distribución de equipos dibujado en software Autodesk Inventor



Se evaluó y seleccionó la opción más adecuada en cada parte del módulo de enfriamiento, se detallan las partes en los planos en el Anexo “9.5.2. Planos Estructurales”.

Se optó por el fabricante de torres comerciales FRIOTEK, ya que dentro del catálogo de productos encontramos una torre que se ajusta a las dimensiones necesarias para el laboratorio de la universidad.

Figura 31

Selección de torre en base a altura de las torres de enfriamiento de agua FRIOTEK

Modelo	Capacidad*	Flujo Agua l/min	Dimensiones (mm)		Ventilador		Conexiones In/Out(mm)	Peso (Kg)	
	Kcal/h		Diámetro	Altura	HP	Ø (mm)		Vacio	Operativo
FTB-N-05	19,500	65	750	1318	1/6	500	40	35	85
FTB-N-10	39,000	130	860	1563	1/4	500	40	45	130
FTB-N-15	58,500	195	1165	1773	1/4	600	50	66	210
FTB-N-20	78,000	260	1165	1773	1/2	600	50	90	260
FTB-N-25	97,500	325	1440	1795	1	700	65	137	505
FTB-N-30	117,000	390	1440	1795	1	700	65	144	522
FTB-N-40	156,000	520	1560	1775	1	700	65	185	577
FTB-N-50	195,000	650	1800	1845	2	900	80	228	650
FTB-N-60	234,000	780	1800	1845	2	900	80	277	719
FTB-N-70	273,000	910	1900	2140	2	1200	80	337	798
FTB-N-80	312,000	1040	2140	1980	2	1200	100	352	982
FTB-N-100	390,000	1300	2410	2365	3	1500	125	474	1205

Para capacidades mayores favor solicitar información

Nota: Tomado de Catalogo FRIOTEK.

Seleccionamos el modelo FTB-N-05 de FRIOTEK ya que es un equipo usado en industria y cumple con las dimensiones y características adecuadas para el módulo.

Las características de la torre son las siguientes:

Tabla 2

Características de la torre de enfriamiento FRIOTEK

Característica	Descripción
Capacidad	19,500 Kcal/h
Flujo de agua nominal	65 L/min
Temperatura de ingreso	37 °C
Temperatura de salida	32 °C
Motor de ventilador	1/6 HP
Suministro eléctrico	220-380-440V/3ph/60Hz
Diámetro ventilador	500 mm
Diámetro exterior torre	750 mm
Altura total torre	3118 mm
Peso neto	35 Kg

Peso operativo	85 Kg
Conexiones entrada/salida agua	40 mm

Nota: Tomado de Catalogo FRIOTEK.

En la siguiente figura se muestra los datos de placa de la torre de enfriamiento.

Figura 32

Datos de placa de la torre FRIOTEK seleccionada.

FRIOTEK					
REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL					
TORRE DE ENFRIAMIENTO					
MODELO:	FTB-N-.5	CAPACIDAD:	19500		
		(Kcal/h)			
CONEXIONES:		TEMPERATURA:			
IN	1.5"	OUT	1.5"	ENTRADA:	37 °C
FLUJO AGUA	65	SALIDA:	32		°C
(L/min)		BULBO H.:	27		°C
VENTILADOR:	500 mm	MOTOR:			
Nº SERIE	201104004-1	1/6 HP	6 POLOS		
FABRICACIÓN:	11-2020	220	380	440	
FRIOTEK S.A.C.					

Nota: adaptado del Catálogo de torres FRIOTEK.

En la figura siguiente se muestra las partes internas de la torre de enfriamiento del modelo seleccionado.

Figura 33

Partes de la torre de enfriamiento FRIOTEK modelo: FTB-N-05



Nota: Tomado de Catalogo FRIOTEK.

El ventilador de la torre de la torre de enfriamiento es de la marca TECO, es de alimentación trifásica, se especifican los datos de placa en la siguiente figura.

Figura 34

Datos de placa del ventilador de la torre

TECO FAN MOTOR				
TYPE	AEMCBNQ22		RATING	Cont. (S1)
OUPUT	0.167 hp	0.11 kW	FRAME	71
POLES	6	INS.	F	3 PHASES
Hz	60			
VOLTS	220/380/440			V
AMP'S	1.09/0.36/0.55			A
r / min	1150			
EFF	57.5	%	WEIGHT	12 Kg
Cos Ø	0.52	IP -	55	S.F. 1.0
ROTOR	C	BEARINGS	6204ZZ 6202ZZ	
DATE	2020	SER. NO.	P120A327003	
WUXI TECO Elec. & Mach. Co. Ltd.				

Nota: adaptado del Catálogo de torres FRIOTEK.

3.1.2. Bombas de Alimentación y Descarga de la Torre

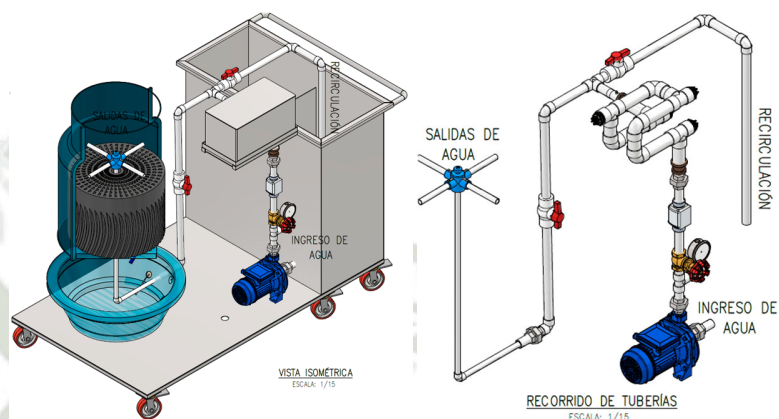
Una vez seleccionada la torre, se procedió identificar el caudal de ingreso necesario para la torre de enfriamiento, teniendo los datos de placa de la torre, podemos identificar que el caudal necesario es de 60 LPM, por lo que se seleccionó una bomba centrífuga de ½ HP de potencia para la admisión y descarga de la torre.

3.1.2.1. Alimentación de la Torre de Enfriamiento

Consideramos el circuito mostrado para la alimentación de la torre, identificamos que por la cantidad de accesorios no se requiere una elevada potencia para el bombeo de agua hacia la torre de enfriamiento.

Figura 35

Circuito de alimentación de la torre de enfriamiento



Se consideró la bomba centrífuga de la marca MEBA modelo CPM130 de 0.5 Hp para la alimentación de la torre de enfriamiento ya que esta bomba tiene un caudal máximo de 90 LPM el cual podremos regular con una válvula de paso, en la siguiente figura se muestran las características de la bomba seleccionada.

Figura 36


Bomba centrífuga MEBA CPM130

<p>MOTOR</p> <p>Motor de inducción de 2 polos (n= 2850 r.p.m) Aislamiento Clase B Protección IP44 Funcionamiento continuo S1 Protector térmico Frecuencia 60 Hz</p> <p>CONDICIONES DE USO</p> <p>Altura de aspiración manométrica hasta 8m</p>	<p>COMPONENTES Y CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS</p> <p>Cuerpo de bomba: Fierro Fundido</p> <p>Soporte de bomba: Fierro Fundido</p>	
--	--	---

Nota: Tomado de Catalogo MEBA bombas centrifugas.

Figura 37

Datos de placa de bomba CPM130

MEBA [®] ISO9001		WATER PUMP	
CPM130		n. 210934693	
Qmax 90	l/min	Hmax 22	m
Suct.Hmax 9	m	Size: 1" X 1"	
1 - Mot.	V 220	Hz 60	3450 min
KW 0.37	HP 0.5	In. 2.5	A 550 W.max
C 10 μ F	VL 450	V	ICL B IP 44
CE	Continuous duty		

Nota: adaptado del Catálogo MEBA bombas centrifugas.

Figura 38

Parámetros de caudal versus altura de bomba MEBA modelo CPM130

MODELO	POTENCIA		ENTRADA /SALIDA	Q(m ³ /h)	0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6
	(Kw)	(Hp)			Q(l/min)	0	10	20	30	40	50
CPM130	0.37	0.5	1" x 1"	H (metros)	20	18.5	17	15.5	14	12	10

Nota: Tomado de Catalogo MEBA bombas centrifugas.

Teniendo en cuenta estos datos de la bomba, circuito de alimentación y datos del suministro, podemos simular el sistema en software para verificar que dichos componentes son los correctos.

Simulación

Para comprobar que la bomba sea la adecuada para cumplir con lo requerido por la torre de enfriamiento se procedió a simular en el software PIPEFLOW.

En la siguiente figura se muestra el modelado del ruteo en el software PIPEFLOW que inicia en el tanque de la base de la torre, hacia el tanque de agua principal.

Figura 39

Modelado del ruteo de tuberías de alimentación en software PIPE FLOW



Se observa que se tienen velocidades de 1.79 m/s en las tuberías, este valor está dentro de los valores recomendados, por lo que el diámetro de las tuberías son las adecuadas.

En las siguientes tablas se muestra los datos generados por el software al ejecutar la simulación.

Tabla 3

Datos de la bomba de alimentación en el software PIPEFLOW

Name:	Pump
Catalog:	Bomba de alimentación
Manufacturer:	MEBA
Type:	CENTRIFUGA CPM130
Size:	1"x1" - IP44
Stages:	0
Speed:	3400 Rpm

Impeller Diam:	130.000 mm
Min Speed:	1800 Rpm
Max Speed:	3500 Rpm
Min Diam:	100.000 mm
Max Diam:	160.000 mm

Tabla 4

Datos del fluido en el software PIPEFLOW

Fluid:	Water
Density:	998.000000 kg/m ³
Viscosity:	1.0020 cP
Temperature:	20.000 °C
Vapor Pressure:	2.400 kPa.a
Atm Pressure:	101.325 kPa.a

Tabla 5

Punto de operación del sistema

Flow:	60.00 l/min
Head:	9.525 m.hd Fluid
Efficiency:	53.8%
Power:	0.34 kW
NPSHr:	0.433 m.hd Fluid

Se muestra en la figura la curva de la bomba y la curva del sistema y se resalta en rojo el punto de operación que tiene 53.8% de eficiencia, altura de 9.525 m a un caudal de 60 LPM.

Figura 40

*Altura versus caudal del sistema en la alimentación de la torre en el software
PIPEFLOW*

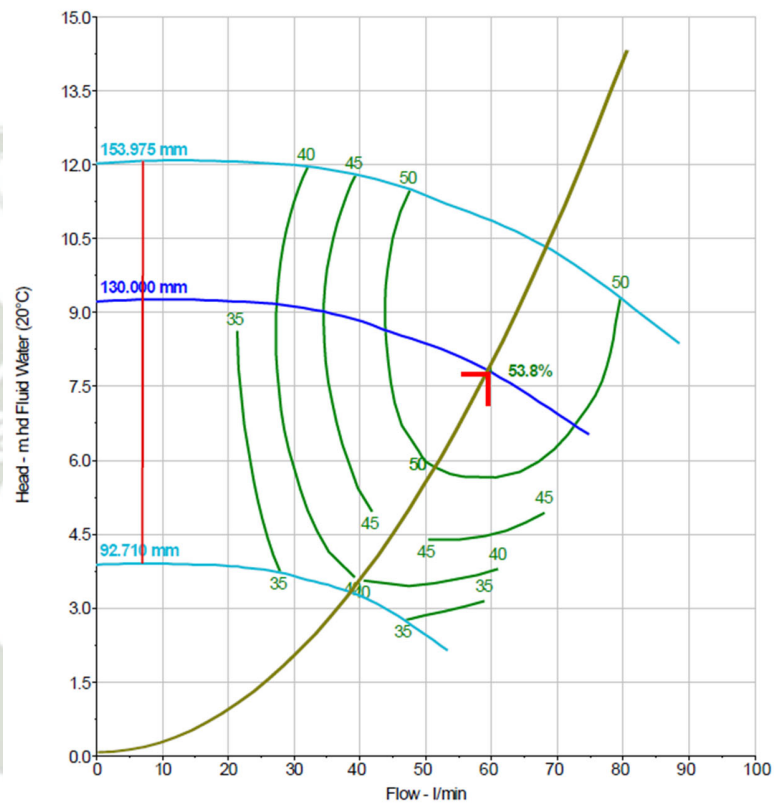


Tabla 6

Perdidas por accesorios y tubería en el circuito de alimentación

Pipe Id	Pipe	Fitting Position	Description	Imperial Size	Metric Size	Database Ref	K Value	Quantity	K Total	Entry K Total	Exit K Total	Entry Loss Total m.hd	Exit Loss Total m.hd	Total Loss m.hd
1	TUBO.01	Start of Pipe	Pipe Entry Sharp	1"	25 mm	EntSharp	0.5000	1	0.5000					
1	TUBO.01	Start of Pipe	Universal Union With Thread	1"	25 mm	UUwT	0.1500	1	0.1500					
										0.6500	0.0000	0.107	0.000	0.107
2	TUBO.02	Start of Pipe	Standard Bend	1"	25 mm	SB	0.6900	1	0.6900					
2	TUBO.02	Start of Pipe	Universal Union With Thread	1"	25 mm	UUwT	0.1500	2	0.3000					
2	TUBO.02	Start of Pipe	Through Tee	1"	25 mm	TT	0.4600	1	0.4600					
2	TUBO.02	Start of Pipe	Rotameter	1"	25 mm	Rtmtr	1.6800	1	1.6800					
2	TUBO.02	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	1"	25 mm	BallFB	0.0700	1	0.0700					
										3.2000	0.0000	0.525	0.000	0.525
3	TUBO.03	Start of Pipe	Sudden enlargement	1-1/2"	40 mm	SuEn	0.3100	1	0.3100					
										0.3100	0.0000	0.009	0.000	0.009
4	TUBO.04	Start of Pipe	Standard Bend	1-1/2"	40 mm	SB	0.6300	1	0.6300					
4	TUBO.04	End of Pipe	Standard Bend	1-1/2"	40 mm	SB	0.6300	1	0.6300					

										0.6300	0.6300	0.019	0.019	0.038
5	TUBO.05	No Fittings												
6	TUBO.06	Start of Pipe	Standard Bend	1-1/2"	40 mm	SB	0.6300	1	0.6300					
										0.6300	0.0000	0.019	0.000	0.019
7	TUBO.07	Start of Pipe	Standard Bend	1-1/2"	40 mm	SB	0.6300	1	0.6300					
										0.6300	0.0000	0.019	0.000	0.019
8	TUBO.08	Start of Pipe	Standard Bend	1-1/2"	40 mm	SB	0.6300	1	0.6300					
										0.6300	0.0000	0.019	0.000	0.019
9	TUBO.09	Start of Pipe	Standard Bend	1-1/2"	40 mm	SB	0.6300	1	0.6300					
										0.6300	0.0000	0.019	0.000	0.019
10	TUBO.10	Start of Pipe	Standard Bend	1-1/2"	40 mm	SB	0.6300	1	0.6300					
10	TUBO.10	End of Pipe	Standard Bend	1-1/2"	40 mm	SB	0.6300	1	0.6300					
										0.6300	0.6300	0.019	0.019	0.038
11	TUBO.11	End of Pipe	Sudden contraction	1-1/2"	40 mm	SuCon	1.4100	1	1.4100					
										0.0000	1.4100	0.000	0.043	0.043
12	TUBO.12	End of Pipe	Branch Tee	1"	25 mm	BT	1.3800	1	1.3800					
										0.0000	1.3800	0.000	0.226	0.226
13	TUBO.13	End of Pipe	Standard Bend	1"	25 mm	SB	0.6900	1	0.6900					
										0.0000	0.6900	0.000	0.113	0.113
14	TUBO.14	Start of Pipe	Ball Valve Full Bore	1"	25 mm	BallFB	0.0700	1	0.0700					

14	TUBO.14	End of Pipe	Standard Bend	1"	25 mm	SB	0.6900	1	0.6900					
										0.0700	0.6900	0.011	0.113	0.125
15	TUBO.15	End of Pipe	Standard Bend	1"	25 mm	SB	0.6900	1	0.6900					
										0.0000	0.6900	0.000	0.113	0.113
16	TUBO.16	No Fittings												
20	P20	Start of Pipe	Standard Bend	1-1/2"	40 mm	SB	0.6300	1	0.6300					
20	P20	End of Pipe	Pipe Entry Sharp	1-1/2"	40 mm	EntSharp	0.5000	1	0.5000					
										0.6300	0.5000	0.019	0.015	0.033

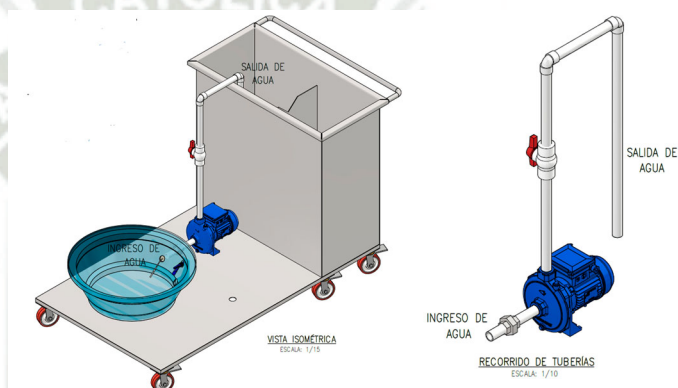
Se concluye que la bomba centrífuga MEBA de 0.5 HP seleccionada cumple con el requerimiento para el funcionamiento adecuado de la torre de enfriamiento, debido a que la torre de enfriamiento admite caudales de flujo de agua de hasta 65 LPM, y la bomba seleccionada suministra 60 LPM en uso continuo.

3.1.2.2. Descarga de la Torre de Enfriamiento

Para la descarga de la base de la torre de enfriamiento se consideró el circuito mostrado, se consideró la misma potencia de la bomba de la alimentación, debido a que se debe de retirar el fluido de la base de la torre a una velocidad igual o mayor que el caudal suministrado por la bomba de alimentación para evitar reboses de agua en esta base.

Figura 41

Circuito de descarga de la torre de enfriamiento



Para esta descarga se consideró la bomba centrífuga de la marca HUMBOLDT de 0.5 HP de potencia, en las siguientes figuras se muestran sus características.

Figura 42

Datos de placa de bomba HUMBOLDT XCM130K

 				
BOMBA CENTRÍFUGA / BOMBA CENTRIFUGADORA				
Modelo: XCM130K		n°:		
Q máx: 85 l / min		H máx: 21 m / H min: 0 m		
Succ. H max: 8 m	220 V -	60 Hz	3400 r/min	
370 W	0.5 HP	3 A	IP44	1 - Mot
C 10 µF	VL 450 V	I CL. F	25.4 mm x 25.4 mm	
Eficiencia del motor 71.9%		Factor de potencia: 0.97		
T° Máx. Fluido: 40 °C		Uso Continuo / Protección Térmica Incluida		

Nota: adaptado del catálogo de bombas HUMBOLDT.

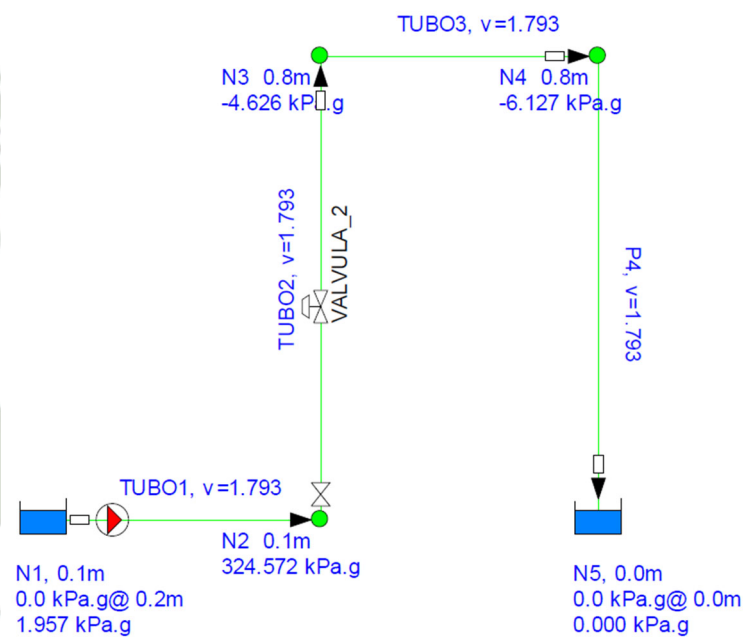
Simulación

Para comprobar que la bomba sea la adecuada para cumplir con lo requerido por la torre de enfriamiento se procedió a simular en el software PIPEFLOW.

En la siguiente figura se muestra el modelado del ruteo en el software PIPEFLOW que inicia en el tanque de la base de la torre, hacia el tanque de agua principal.

Figura 43

Modelado del ruteo de tuberías de descarga en software PIPE FLOW



Se observa que se tienen velocidades de 1.97 m/s en las tuberías, este valor está dentro de los valores recomendados, por lo que el diámetro de las tuberías son las adecuadas.

En las siguientes tablas se muestra los datos generados por el software al ejecutar la simulación.

Tabla 7

Datos de la bomba de descarga en el software PIPEFLOW

Name:	Pump
Catalog:	Bomba de descarga
Manufacturer:	HUMBOLDT
Type:	Centrifuga XCM 130K
Size:	1"X1", IP44
Stages:	0
Speed:	3400 Rpm
Impeller Diam:	130.000 mm
Min Speed:	1800 Rpm
Max Speed:	3600 Rpm
Min Diam:	100.000 mm
Max Diam:	150.000 mm

Tabla 8

Datos del fluido en el software PIPEFLOW

Fluid:	Water
Density:	998.000000 kg/m ³
Viscosity:	1.0020 cP
Temperature:	20.000 °C
Vapor Pressure:	2.400 kPa.a
Atm Pressure:	101.325 kPa.a

Tabla 9

Punto de operación del sistema

Flow:	60.00 l/min
Head:	9.234 m.hd Fluid
Efficiency:	57.70%
Power:	0.34 kW
NPSHr:	0.433 m.hd Fluid

Se muestra en la figura la curva de la bomba y la curva del sistema y se resalta en rojo el punto de operación que tiene 57.7% de eficiencia, altura de 9.234 m a un caudal de 60 LPM.

Figura 44

Altura versus caudal del sistema en la descarga de la torre en el software PIPEFLOW

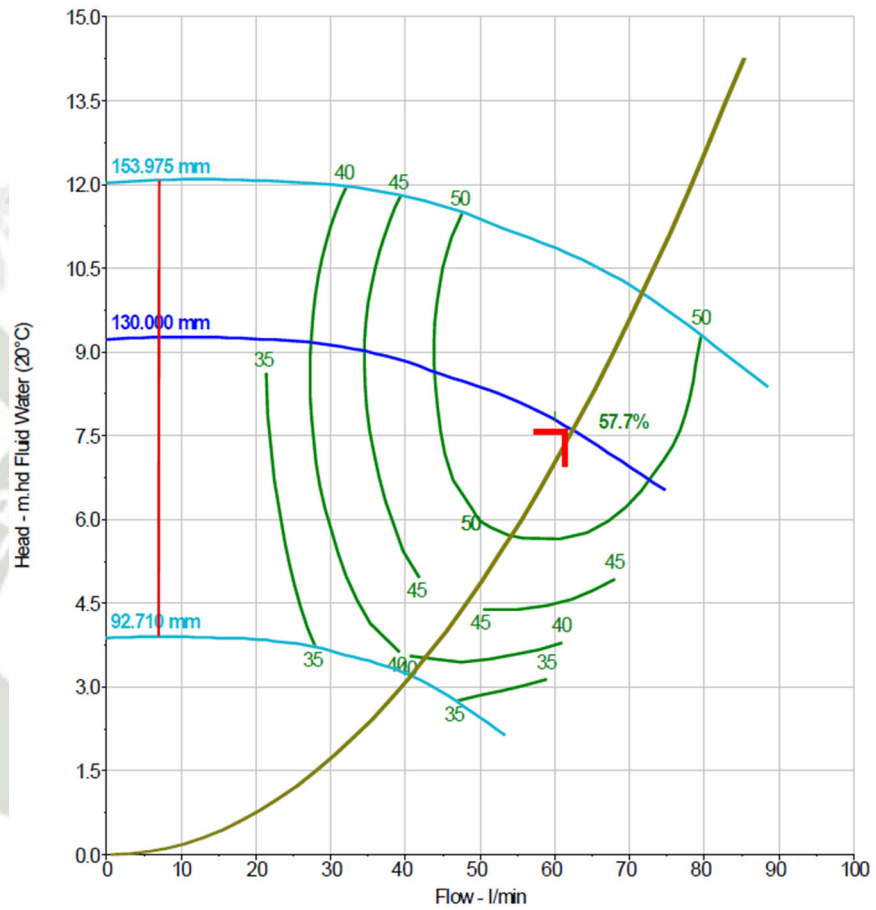


Tabla 10

Perdidas por accesorios y tubería en el circuito de descarga

Pipe Id	Pipe	Fitting Position	Description	Imperial Size	Metric Size	Database Ref	K Value	Quantity	K Total	Entry K Total	Exit K Total	Entry Loss Total m.hd	Exit Loss Total m.hd	Total Loss m.hd
1	TUBO1	Start of Pipe	Pipe Entry Sharp	1"	25 mm	EntSharp	0.5000	1	0.5000					
										0.5000	0.0000	0.082	0.000	0.082
2	TUBO2	Start of Pipe	Globe Valve	1"	25 mm	BallFB	0.0700	1	0.0700					
2	TUBO2	End of Pipe	Standard Bend	1"	25 mm	SB	0.6900	1	0.6900					
										0.0700	0.6900	0.011	0.113	0.125
3	TUBO3	End of Pipe	Standard Bend	1"	25 mm	SB	0.6900	1	0.6900					
										0.0000	0.6900	0.000	0.113	0.113
4	P4	End of Pipe	Pipe Entry Sharp	1"	25 mm	EntSharp	0.5000	1	0.5000					
										0.0000	0.5000	0.000	0.082	0.082

Según la tabla obtenemos un 0.402 m de pérdidas por tubería y accesorios en el circuito de descargas.

La bomba de descarga debe de ser de similares características que la bomba de alimentación, debido a que en el caso el caudal sea menor al de la bomba de alimentación, el tanque de la base de la torre se rebosaría.

Se concluye que la bomba HUMBOLDT XCM130K de 0.5 HP seleccionada cumple con el requerimiento de descargar un flujo de 60 LPM de la base de la torre de enfriamiento hacia el tanque.

3.1.3. Tanque de Agua y Estructura Soporte

Tanque de agua

Para el dimensionamiento del tanque de agua para el ingreso a la torre de enfriamiento tomamos en cuenta el caudal de la bomba alimentación es de 60 LPM según lo determinado en el punto “3.1.2. Bombas de alimentación y descarga de la torre”, determinamos que la cantidad de agua necesaria para la experimentación deberá de ser de 350 Litros.

Se evaluó la opción de comprar el tanque de la empresa FRIOTEK, que tiene 2 presentaciones:

- Tanque de fibra de vidrio de 1000 litros de formato circular
- Tanque de fibra de vidrio de 200 litros de formato rectángulo

Figura 45

Tanque de fibra de vidrio de 1000 litros de formato circular de FRIOTEK



Nota: Tomado de Catalogo FRIOTEK.

Figura 46

Tanque de fibra de vidrio de 200 litros de formato rectángulo de FRIOTEK

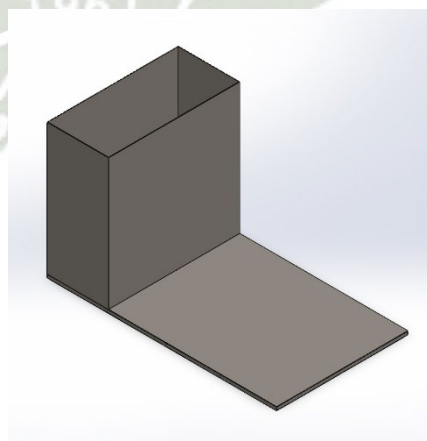


Nota: Tomado de Catalogo FRIOTEK.

Optamos por la fabricación del tanque de planchas de metálicas ya que este componente contendrá todo el suministro de agua, que representa la mayor carga en el módulo en funcionamiento, y al ser soldado en la estructura base se obtiene una mejor fijación y distribución en la estructura, adicionalmente al ser de nuestra fabricación tenemos la opción de dimensionarla para obtener la capacidad que se requiere.

Figura 47

Tanque de planchas de acero fijado a la estructura base del módulo



determinamos que el largo debe de ser 1 m, altura 1 m y un ancho de 0.47 m teniendo un rompe olas de 0.8 m de altura, obteniendo un total de 376 litros. Se determinó como material de fabricación planchas de acero ASTM A36 de 1/8" de espesor y un recubrimiento de pintura epóxica para evitar corrosión por el contacto con el agua.

Estructura de Soporte

Se seleccionó perfiles cuadrados y planchas para soportar todas las cargas que se aplican en el módulo, se empleó un perfil cuadrado de 1" x 1" de acero ASTM A36, y una plancha de acero ASTM A36 de 29 mm de espesor para cubrir los perfiles y soportar la torre de enfriamiento y equipos.

Se evaluó y determinó que se requiere 6 puntos de apoyo para el módulo, siendo 4 de ellos en las esquinas correspondientes al tanque de agua, ya que será donde se concentrará la mayor cantidad de carga, y se situó 02 en las esquinas opuestas.

Estos puntos de apoyo se soportarán en garruchas con freno de 100 Kg de capacidad, teniendo así la fácil movilidad dentro del laboratorio de Termofluidos.

Figura 48

Vista isométrica de Estructura y tanque del modulo

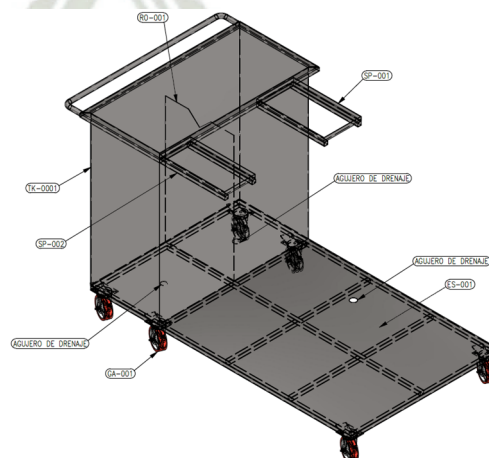


Figura 49

Vista inferior de la Estructura y tanque del modulo

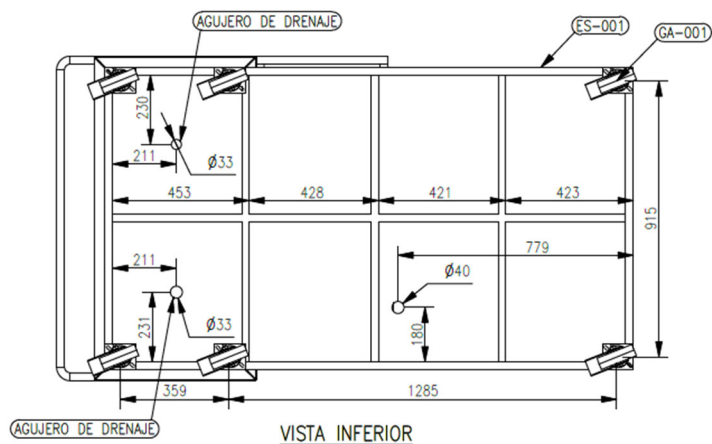
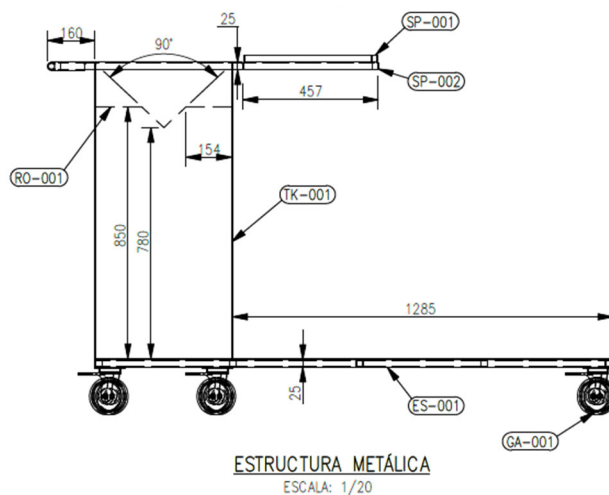


Figura 50

Vista frontal de la Estructura y tanque del modulo



Simulación de Esfuerzos en Tanque y Estructura

Se diseñó a nivel de esfuerzos y deformaciones para cumplir los límites permisibles del material garantizando un coeficiente de seguridad adecuado.

Tabla 11

Características del diseño

MATERIAL	ESFUERZO DE FLUENCIA	ESFUERZO DE TENSIÓN	DENSIDAD
ASTM A36	250 MPa	400 MPa	7850 Kg/m ³

Se consideró los siguientes pesos para la simulación mediante el software SolidWorks

Tabla 12

Peso de tanque de agua

DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	PESO
Plancha de acero de 1/8" de espesor	3.42	m ²	85 kg

Tabla 13

Peso de equipos, accesorios y plancha soporte

DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	PESO
Torre de enfriamiento	1	Und	85 Kg
Bomba centrífuga	2	Und	14 Kg
Calentador de agua con resistencias eléctricas	1	Und	10 Kg
Tablero eléctrico	1	Und	15 Kg
Plancha de acero 29 mm de espesor, base de torre	1.28	m ²	29.14 Kg
Tubería de PVC y accesorios			5 Kg
Peso Total			158.14 Kg

Tabla 14

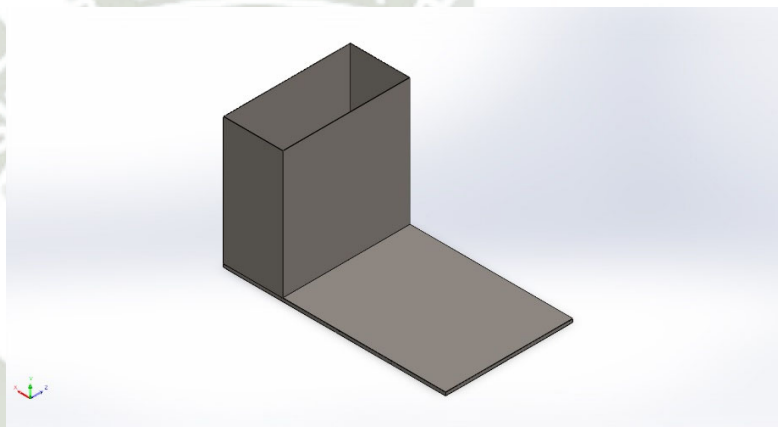
Peso de estructura de modulo

DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	PESO
Tubería cuadrada de 1" X 1",	10.25	m	11.38 Kg
Garruchas con freno	6	Und	1.5 Kg
Peso Total			12.88Kg

Se realizó el modelado 3D de la estructura en SolidWorks

Figura 51

Modelado de estructura soporte del modulo



Fuente: Elaboración propia

El modelado de la estructura nos brinda los siguientes datos:

Tabla 15

Propiedades del modelo en el software SolidWorks

Propiedades	
Nombre:	ASTM A36 Acero
Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
Criterio de error predeterminado:	Desconocido
Límite elástico:	2.5e+08 N/m ²
Límite de tracción:	4e+08 N/m ²
Módulo elástico:	2e+11 N/m ²
Coefficiente de Poisson:	0.26

Densidad:	7,850 kg/m ³
Módulo cortante:	7.93e+10 N/m ²

Se consideró como sujeciones los 06 puntos en que se soportan las garruchas.

En la simulación se aplicaron las siguientes cargas:

Gravedad-1: Se consideró la fuerza de gravedad en sentido perpendicular a la vista de planta.

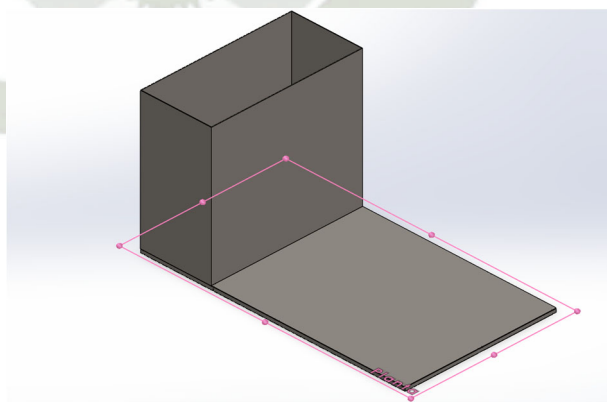
Tabla 16

Propiedades de la fuerza Gravedad-1 en el software SolidWorks

Referencia:	Planta
Valores:	0 0 -9.81
Unidades:	m/s ²

Figura 52

Fuerza de gravedad aplicada en la estructura



Presión del agua: Se representó la presión ejercida por el agua como una presión de distribución no uniforme, variando según la altura, dicha presión se aplicó en las 05 caras del tanque.

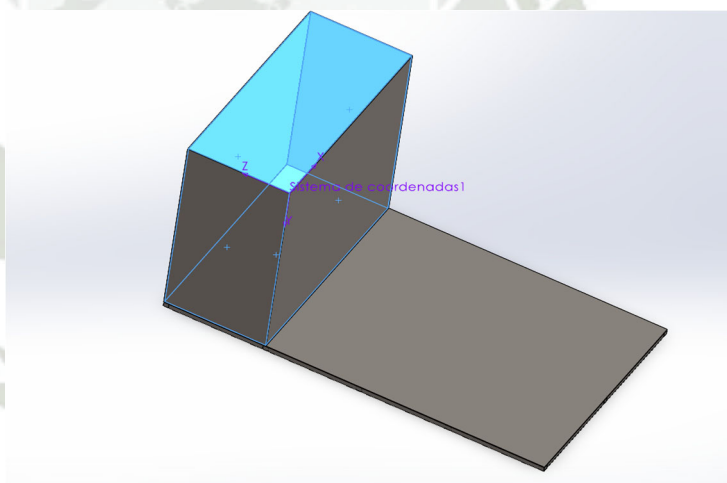
Tabla 17

Propiedades de la presión del agua aplicada en el tanque en el software

Entidades:	5 cara(s)
Tipo:	Normal a cara
Valor:	9,810
Unidades:	N/m ²
Ecuación:	0 +1Y + 0 (cm)
Tipo de sist. de coord.:	Cartesiano
Ángulo de fase:	0
Unidades:	deg

Figura 53

Presión del agua aplicada en paredes del tanque de agua



Fuerza-1 Peso de Tanque: Se aplicó el peso del tanque (indicado en la Tabla 14 Peso de tanque de agua) en la zona inferior del mismo.

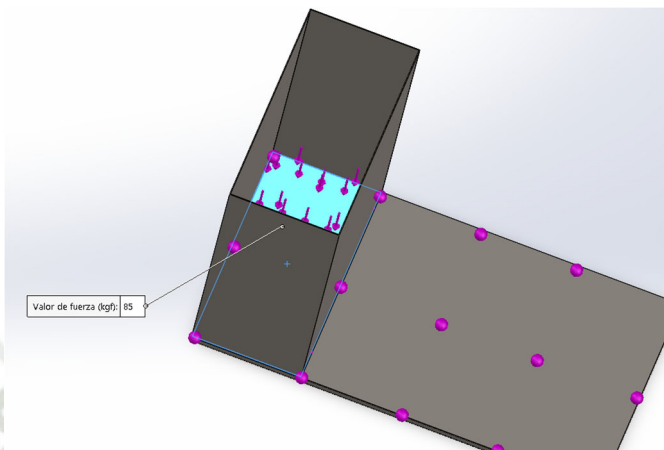
Tabla 18

Propiedades de la Fuerza-1 Peso del Tanque en el software

Entidades:	1 cara(s)
Tipo:	Aplicar fuerza normal
Valor:	85 kgf

Figura 54

Peso de estructura de tanque de agua aplicada sobre base inferior



Fuerza-2 Peso de Torre y Accesorios: Se aplicó el peso de la torre, accesorios y peso mencionados en Tabla 15 en plancha base.

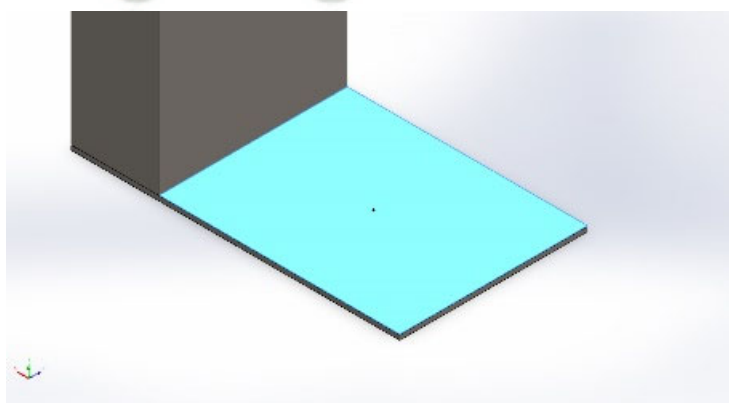
Tabla 19

Propiedades de la Fuerza-2 Peso de Torre y Accesorios en el software

Entidades:	1 cara(s)
Tipo:	Aplicar fuerza normal
Valor:	158.14 kgf

Figura 55

Peso de torre de enfriamiento y equipos aplicado sobre la plancha base de la estructura



Fuerza-3 Peso de estructura: Se aplicó el peso de la estructura en los tubos cuadrados inferiores indicado en la Tabla 16.

Tabla 20

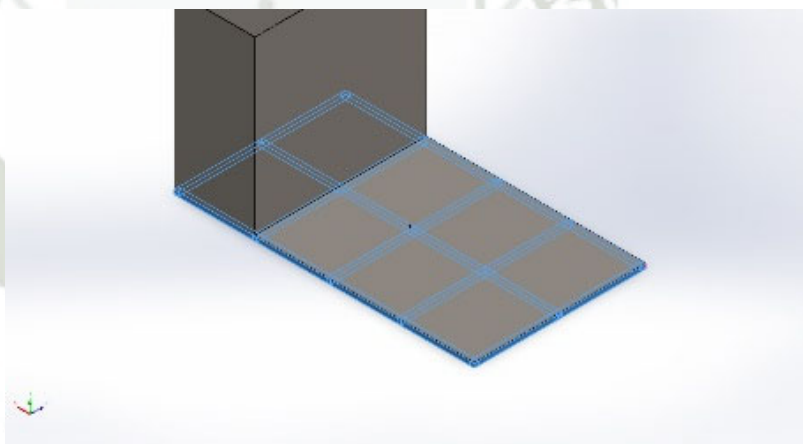
Propiedades de la Fuerza-3 Peso de estructura en el software

Entidades:	8 Viga(s)
Referencia:	Arista< 1 >
Tipo:	Aplicar fuerza
Valores:	---; ---; 12.88 Kgf
Momentos:	---; ---; --- kgf.cm

Fuente: Elaboración propia

Figura 56

Peso de estructura tubular soporte



Como resultado de la simulación tenemos:

Fuerza de reacción: Fuerza de reacción resultante de 9104.58 N.

Tabla 21

Fuerza de reacción resultante de la estructura según software

CONJUNTO DE SELECCIONES	UNIDADES	SUM X	SUM Y	SUM Z	RESULTANTE
Todo el modelo	N	0.00024414	9,104.58	0	9,104.58

Momento de reacción: Momento de reacción resultante 47.5339 N-m.

Tabla 22

Momento de reacción resultante de la estructura según software

CONJUNTO DE SELECCIONES	UNIDADES	SUM X	SUM Y	SUM Z	RESULTANTE
Todo el modelo	N.m	-17.9571	3.39745	43.8802	47.5339

Tensión de Von Mises:

De la simulación tenemos un valor máximo de 152.7 [MPa], siendo menor al límite de fluencia del Acero A36 de 250 [MPa].

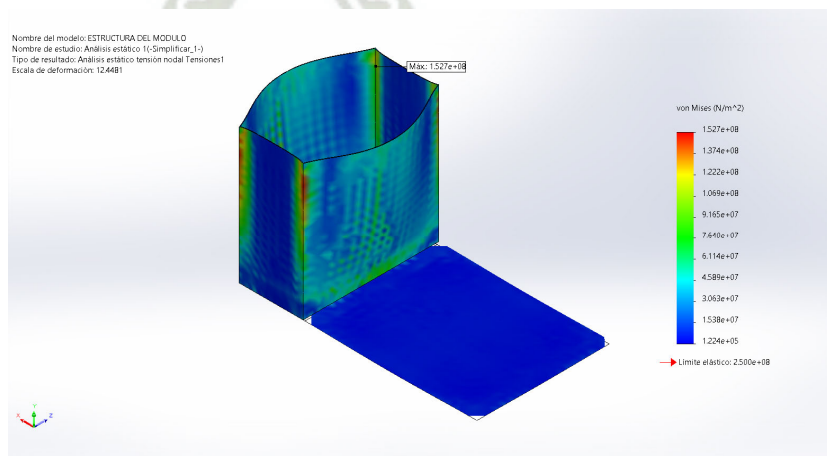
Tabla 23

Tensión de Von Mises resultante de la estructura según software

NOMBRE	TIPO	MÍN.	MÁX.	SUM Z	RESULTANTE
Tensiones1	VON: Tensión de Von Mises	0.000e+00N/m ²	1.527e+08N/m ²	43.8802	47.5339

Figura 57

Tensión de Von Mises en la estructura de modulo



Tensión Axial y flexión máxima:

De la simulación tenemos un valor máximo de 131.6 [MPa], siendo menor al límite de fluencia del Acero A36 de 250 [MPa].

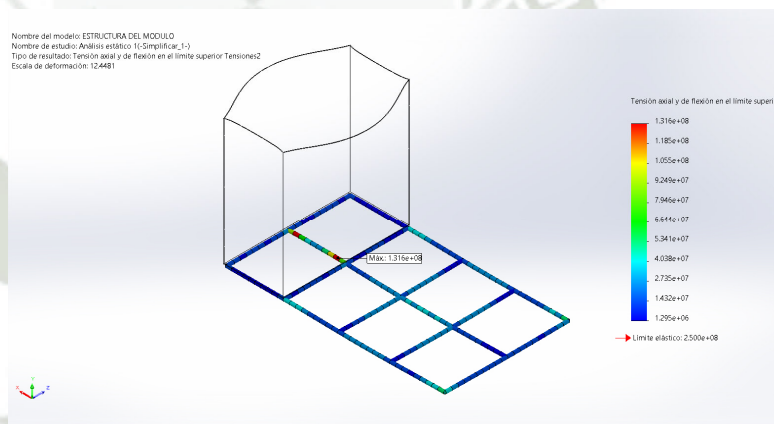
Tabla 24

Tensión axial y de flexión resultante de la estructura según software

NOMBRE	TIPO	MÍN.	MÁX.
Tensiones2	Tensión axial y de flexión en el límite superior	1.295e+06N/m ²	1.316e+08N/m ²

Figura 58

Tensión axial y flexión máxima de la estructura del modulo



Esfuerzo torsional:

De la simulación tenemos un valor máximo torsional de 24.97 [MPa] , siendo menor al límite de fluencia del Acero A36 de 250 [MPa].

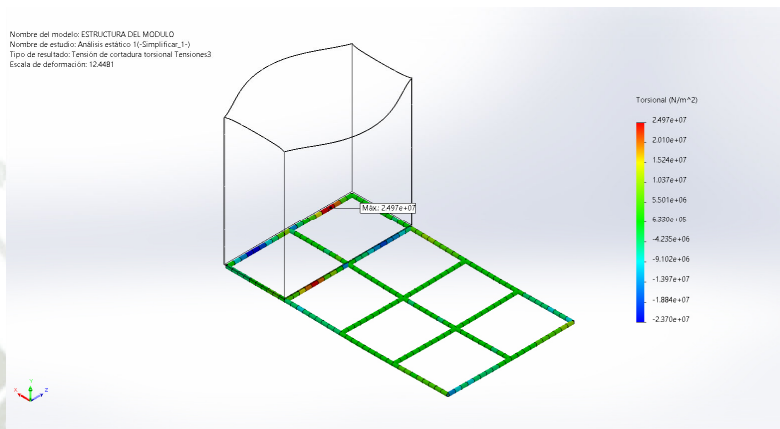
Tabla 25

Esfuerzo torsional resultante de la estructura según software

NOMBRE	TIPO	MÍN.	MÁX.
Tensiones3	Torsional	-2.370e+07N/m ²	2.497e+07N/m ²
		Elemento: 8533	Elemento: 8521

Figura 59

Esfuerzo torsional máximo en las vigas de la estructura soporte



Fuerza de reacción resultante:

De la simulación tenemos un valor máximo fuerza de reacción de 2944 [N].

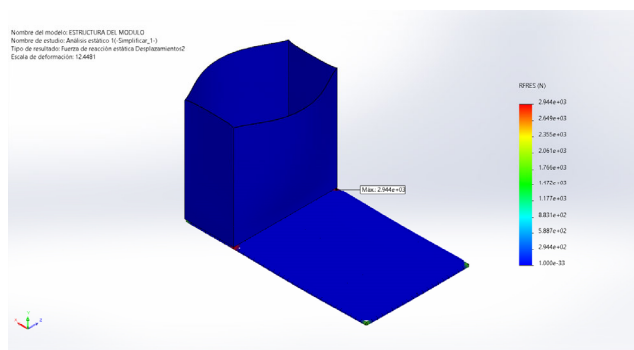
Tabla 26

Esfuerzo resultante de la estructura según software

NOMBRE	TIPO	MÍN.	MÁX.
Desplazamientos2	FRRES: Fuerza de reacción resultante	0.000e+00N Nodo: 1	2.944e+03N Nodo: 16529

Figura 60

Esfuerzo reacción de la estructura



Deformación por cargas:

De la simulación tenemos un valor máximo fuerza de reacción de 24.97 [MPa].

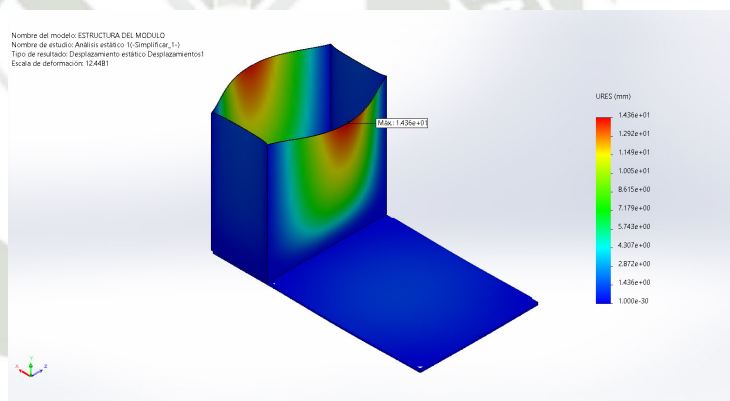
Tabla 27

Deformación resultante de la estructura según software

NOMBRE	TIPO	MÍN.	MÁX.
Desplazamientos1	URES:	0.000e+00mm	1.436e+01mm
	Desplazamientos resultantes	Nodo: 16519	Nodo: 10992

Figura 61

Deformación por cargas



Factor de seguridad:

Como resultado del análisis tenemos un factor mínimo de seguridad FS=1.6

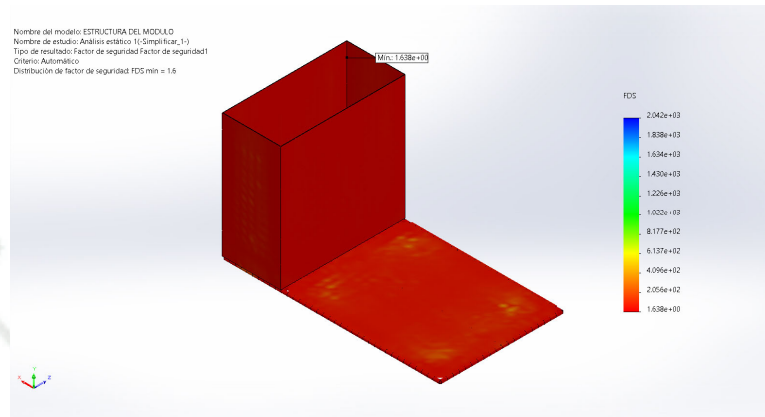
Tabla 28

Deformación resultante de la estructura según software

NOMBRE	TIPO	MÍN.	MÁX.
Factor de seguridad1	Automático	1.64E+00	2.04E+03
		Nodo: 140	Nodo: 13556

Figura 62

Factor de seguridad



Verificamos que la estructura cumple con un factor de seguridad de 1.6, por lo que concluimos que el diseño y los perfiles seleccionados son los adecuados.

3.1.4. Calentador de Agua

Para elevar la temperatura del agua seleccionamos el calentamiento por resistencias eléctricas sumergibles. Teniendo un caudal máximo de 60 LPM, consideramos un caudal de 30 LPM debido a que elevar 5 °C requerirá una elevada potencia que podría generar una sobre corriente en la red del laboratorio, activando los dispositivos de protección en el pabellón de la universidad, y tomando en cuenta que la temperatura del agua en Arequipa es de 20 grados en promedio según temporada del año, por lo que, para calentar a 37 °C, necesitamos determinar el rango de potencias para lograr dicho calentamiento.

$$W = m_{\text{agua}} \cdot C_p \cdot \Delta T_{\text{agua}} \quad (1)$$

Dónde:

W: Potencia en el sistema [KW]

m_{agua} : Flujo masico de agua $\left[\frac{Lt}{s}\right]$

C_p : Calor especifico del agua a presión constante $\left[\frac{KJ}{Kg\ ^\circ C}\right]$

ΔT_{agua} : Diferencia de temperatura del agua $[\text{°C}]$

Reemplazando de valores en la ecuación (1).

$$W = 30 \left[\frac{Lt}{Min}\right] \cdot \frac{1}{60} \left[\frac{Min}{s}\right] \cdot 4.18 \left[\frac{KJ}{Kg\ ^\circ C}\right] \cdot 5[\text{°C}]$$

$$W = 10.45 [KW]$$

Determinamos así que se requiere una potencia de 10KW para calentar el agua a la temperatura requerida, si existiera la necesidad de aumentar el caudal a 60 LPM se puede accionar la recirculación de el calentador al tanque hasta llegar a la temperatura deseada.

Se consideró la instalación de una ducha eléctrica de 10 KW de uso doméstico, la limitación de estos equipos, (usado en el módulo de torre de enfriamiento anterior) es que tiene un caudal máximo de 20 LPM, este caudal es bajo, por lo que no es adecuado para nuestra aplicación.

Otra alternativa es la instalación de la instalación de calentadores de agua por gas natural, esta alternativa requiere un suministro de gas adicional a la eléctrica, y en la mayor parte de casos tiene un flujo de caudal de 17 LPM. Como se muestra en la siguiente figura, por lo que determinamos la elaboración propia del calentador con tuberías y resistencias eléctricas sumergibles.

Figura 63

Especificaciones de termas a gas de marca Rinnai

E17		
Modelo	E17GN	E17GLP
Profundidad	16 cm	16 cm
Ancho	35 cm	35 cm
Alto	48.3 cm	48.3 cm
Peso	11 kg	11 kg
Gas	Natural	Propano
Instalación	Interior	Interior
Flujo máximo de Agua	17 l/min	17 l/min

Nota: Tomado de Catalogo de termas Rinnai.

Se vio conveniente la fabricación mediante la instalación de 04 resistencias, para el calentamiento secuencial del agua, por lo que se instaló 2 resistencias de 2KW y 2 resistencias de 3KW, teniendo el total de 10KW requeridos.

Figura 64

Resistencia sumergible



Nota: Tomado de Catalogo de resistencia sumergibles

Estas resistencias se instalarán dentro de una configuración de tuberías de fierro galvanizado de 1 ½ ", para aislar el calor generado por las resistencias se forró con fibra de vidrio y se cubrió con una carcasa de aluminio usada en termas solares.

Se distribuyo las resistencias según la figura.

Figura 65
Carcasa de calentador

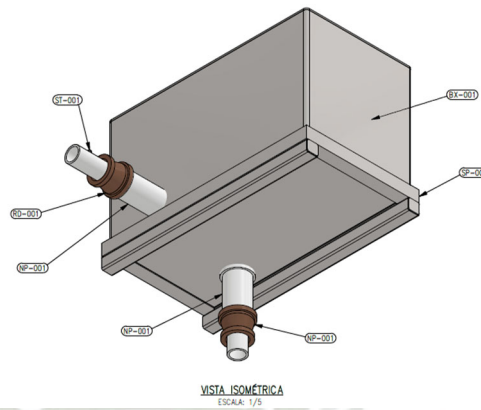
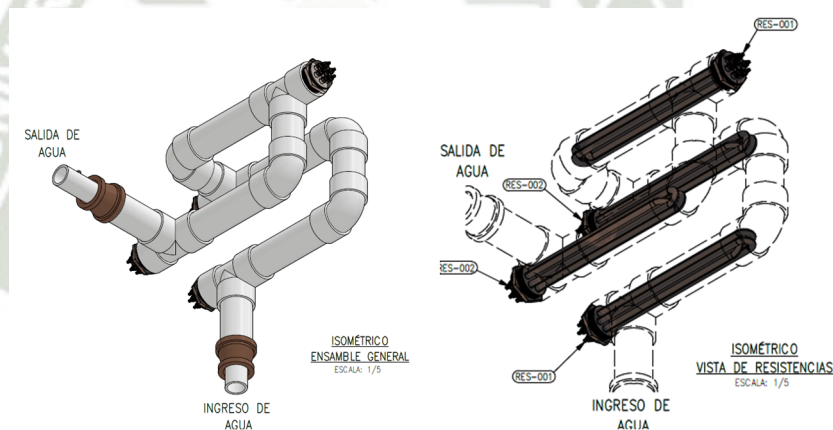


Figura 66
Tuberías y resistencias del calentador

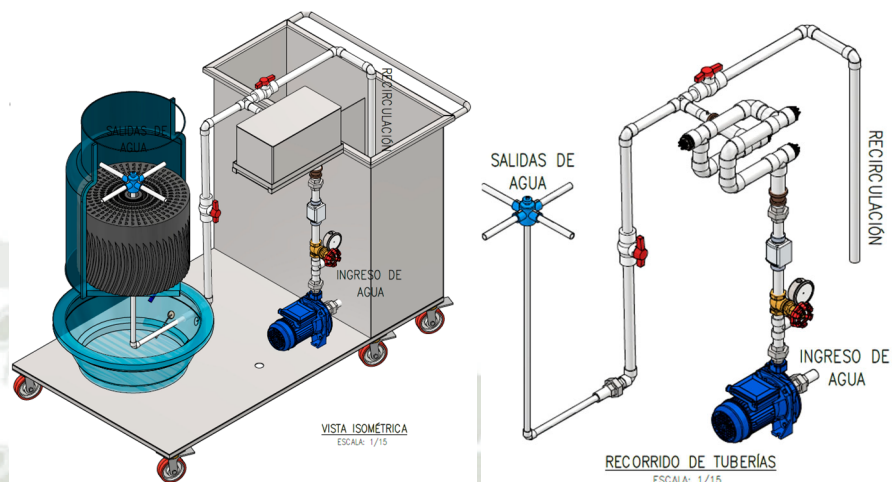


3.1.5. Tuberías y Conexionado

Se seleccionó una tubería de PVC de 1" de diámetro, ya que es el diámetro de succión y descarga de las bombas centrífugas, se instaló válvulas check para evitar para el correcto direccionamiento de flujo en los en los puntos indicados en la figura y se instaló una válvula de bola de bronce para la regulación del caudal a la salida de la bomba de alimentación, a continuación, se muestran los 3 circuitos de tuberías existentes en el módulo.

Figura 67

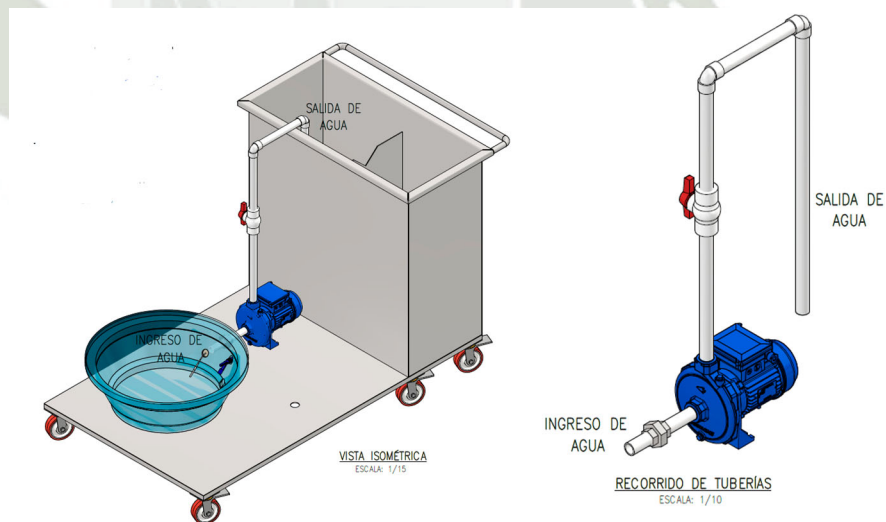
Recorrido de tuberías de alimentación de la torre de enfriamiento



Nota: Se tomó tuberías de PVC de 1" de diámetro.

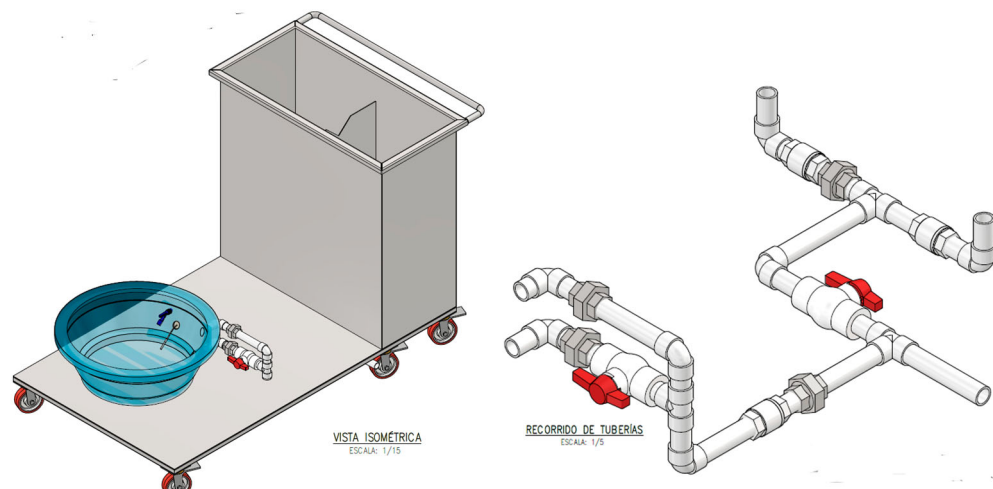
Figura 68

Recorrido de tuberías de descarga de la torre de enfriamiento



Nota: Se tomó tuberías de PVC de 1" de diámetro.

Figura 69
Recorrido de tuberías de drenaje de tanques



Nota: Se tomó tuberías de PVC de 1" de diámetro.

3.1.6. Sensores

Sensor de Temperatura al Ingreso y Salida de la Torre

Se seleccionó sensores de tipo MH1210W para la medición de temperatura del agua al ingreso de la torre y a la salida de la torre.

Figura 70
Sensor de temperatura MH1210W



Nota: Tomado de catálogo de sensor MH1210W

Características del sensor MH1210W

- Tensión de trabajo: 90 a 250 VCA $\pm 10\%$, 50/60Hz
- Corriente nominal: 10 A

- Consumo de energía: ≤ 3 Watts
- Rango de medición: $-50 \sim 110$ ° C
- Precisión de la medición: 0.1 ° C
- Error de medida: ± 3 ° C
- Precisión de control: 1 ° C
- Rango de control: -40°C a 120 ° C
- Control de precisión: 1 ° C
- Temperatura de trabajo: $-50 \sim 110$ ° C
- Sensor de temperatura: NTC 25 ° C = 10 K (B3435)
- Calibración de temperatura
- Peso: 112 g

Estos sensores de temperatura se ubicarán en la salida del calentador y salida de la torre, la ubicación de se detalla en la siguiente imagen.

Figura 71

Ubicación de sensores de temperatura en el modulo

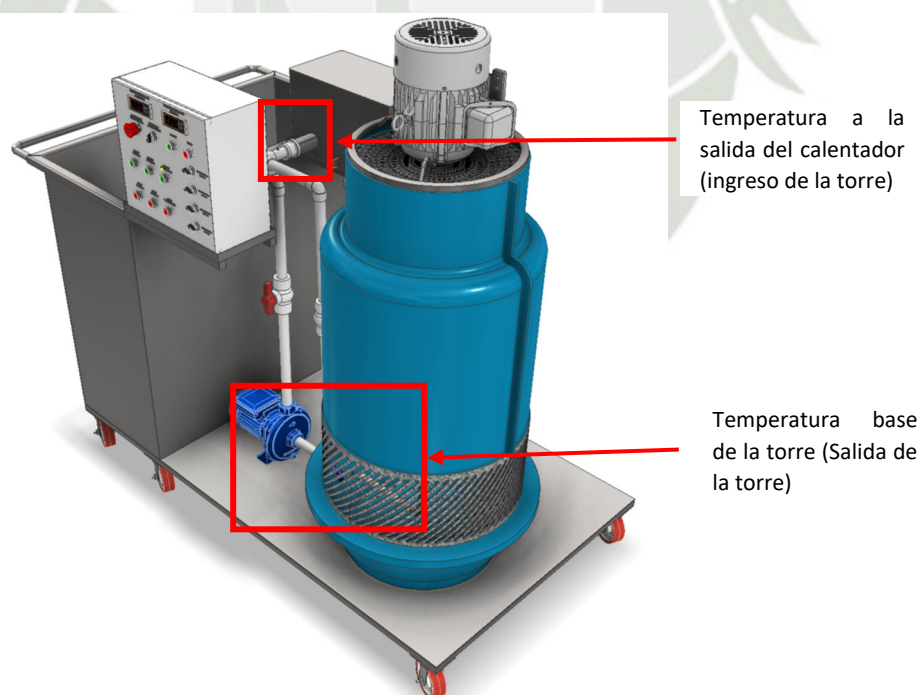


Figura 72

Sensor de temperatura de agua en la salida del calentador

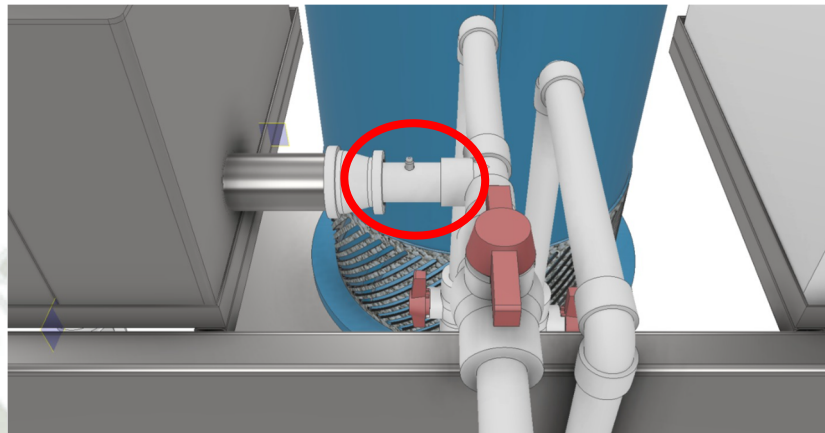
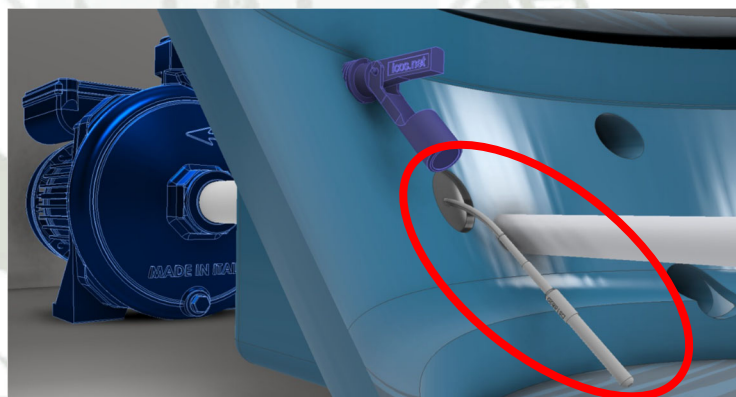


Figura 73

Sensor de temperatura de agua en la salida de la torre



Manómetro

Considerando que no se trabajara con altas presiones seleccionamos un rango de presiones de 0 a 6 Bar.

Figura 74

Manómetro de glicerina SHUNJAY de 0-30 PSI



Nota: Tomado de Catalogo SHUNJAY

Características del manómetro:

- Luise Escala: 0 – 30 PSI
- Precisión 1.6(EN 837-1/6)
- Conexión roscada de latón 5/8"
- Caja: acero inoxidable
- Esfera: con Glicerina
- Mano: aluminio pintado de negro.
- Tapa: policarbonato transparente
- Tipos de conexión: radial

La ubicación del manómetro se detalla en la siguiente figura.

Figura 75

Ubicación de manómetro y rotámetro en el modulo

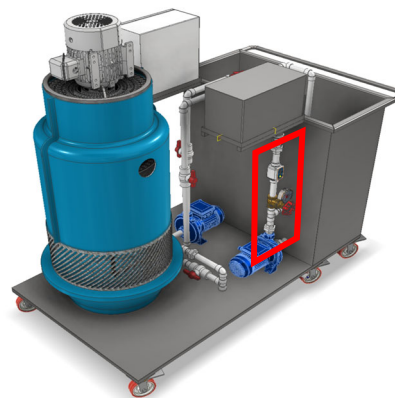
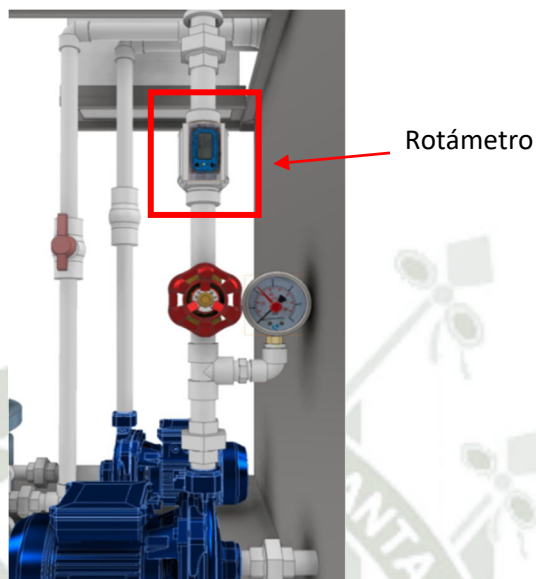


Figura 76

Ubicación del rotámetro en el módulo



Rotámetro digital

Se instaló un rotámetro digital para medir el caudal que circula al estrangular por la válvula de compuerta.

Figura 77

Rotámetro digital



Nota: Tomado de Catalogo ATO-K24

Características del rotámetro

- Modelo: ATO-K24
- Medios aplicables: diésel, gas, queroseno, metanol, agua, etc.
- Diámetro nominal: 1 pulgada, 1,5 pulgadas, 2 pulgadas, 2,5 pulgadas o 3 pulgadas

- Material: acero inoxidable, aleación de aluminio (solo 2,5 pulgadas y 3 pulgadas)
- Método de conexión: hilo
- Unidad de medida: QTS, PTS, L, GAL, m³
- Precisión de medición: $\pm 1\%$
- Presión máxima de trabajo: 0.6Mpa
- Temperatura de trabajo: $-25\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +70\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Rango de medición único: 9999
- Rango de medición acumulativo: 29999999

Se utilizó un manómetro de la marca

Figura 78

Ubicación del rotámetro en el modulo

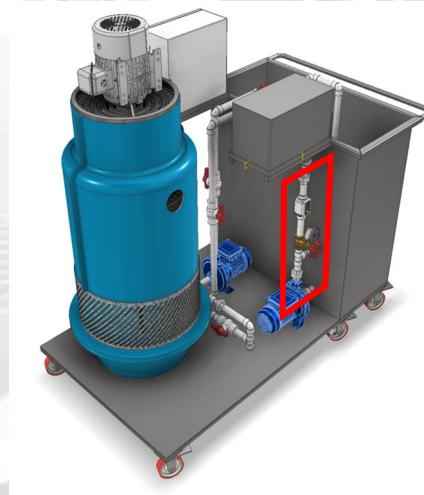
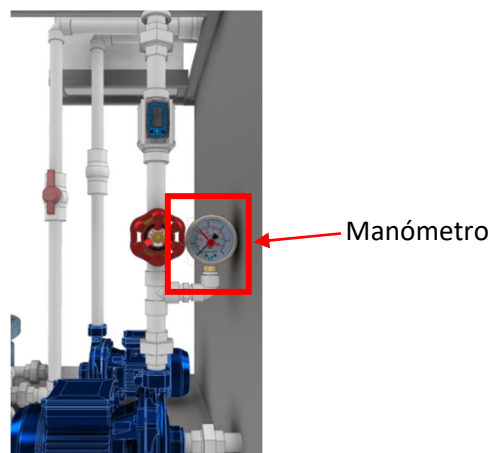


Figura 79

Ubicación del manómetro en el modulo



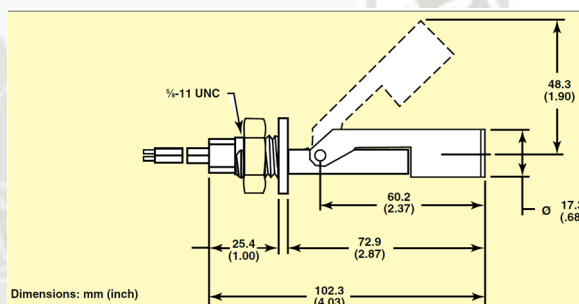
Control de nivel de tanque de base de la torre de enfriamiento

Se instaló un control de nivel para accionar la bomba de descarga de la torre.

- Hilo: 5/8-11 UNC
- Rango de temperatura: -40 a 107°C (-40 a 225°F)
- Máx. Clasificación de presión: 6,89 bares (100 psi) a 21 °C (70 °F)
- Mín. Líquido por gravedad: 0,65
- Clasificación del interruptor: 20 VA
- Orientación: Horizontal
- Interruptor: interruptor de láminas
- Material de las piezas mojadas: Rosca de polibutileno: 5/8-11 UNC

Figura 80

Switch horizontal control de nivel Modelo LVK-91



Nota: Tomado de catalogo LVK-91

En la siguiente figura se muestra la ubicación del control en el interior del tanque de la base de la torre de enfriamiento.

Figura 81

Sensor de nivel de agua en el tanque de la torre



Sensor de Temperatura del aire

Se seleccionó el termo hidrómetro HTC para la toma de datos del estado del aire al ingreso y salida de la torre.

Figura 82

Termo hidrómetro para toma de datos del aire



Nota: Tomado de catalogo HTC

- Marca: HTC
- Código SOLITEC: HTC-1
- Temperatura (°C)
- Rango (temperatura ambiente): -50.0 a 70.0°C
- Resolución: 0.1°C
- Exactitud: $\pm 1.0^\circ\text{C}$
- Humedad Relativa (HR)
- Rango: 10 a 99%
- Resolución: 1%
- Exactitud: $\pm 5\%$
- Alimentación: Baterías AAA x 1

3.1.7. Diseño y Ensamble de Tablero Eléctrico

3.1.7.1. Diseño del Tablero

Códigos y estándares utilizado:

El diseño eléctrico y montaje del sistema eléctrico del tablero eléctrico de suministro, distribución y control cumplen lo establecido en los siguientes códigos y estándares.

- DGE/MEM – 2006 Código Nacional de Electricidad – Utilización (CNE)
- DGE/MEM – 2001 Código Nacional de Electricidad – Suministro (CNE)
- IEC International Electrotechnical Commission
- ANSI American National Standards Institute
- IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers
- NTP Normas Técnicas Peruanas

Suministro Eléctrico y Características.

Para el suministro de energía eléctrica se tomará desde una toma industrial de baja tensión, ubicada en el laboratorio de Termofluidos de la Universidad Católica de Santa María (UCSM).

Las características técnicas del sistema serán.

- Voltaje : 380 Voltios
- Frecuencia : 60 Hertz
- Sistema de Distribución : Trifásico 3 Hilos + Neutro + Tierra

Tensiones Nominales de Utilización.

Se considerarán los siguientes voltajes nominales:

Cargas monofásicas.

- Voltaje : 220 - 230 Voltios
- Frecuencia : 60 Hertz
- Sistema : Monofásico 2 Hilos + Tierra

Cargas Trifásica.

- Voltaje : 380 Voltios
- Frecuencia : 60 Hertz
- Sistema de Distribución : Trifásico 3 Hilos + Neutro + Tierra

Regulación de Voltaje.

Los conductores serán dimensionados para que la caída de tensión no sea mayor de:

- Redes de baja tensión : 5%
- Alimentadores principales : 2.5%
- Circuitos derivados : 2.5%

Tablero Eléctrico.

El tablero general es un gabinete de uso exterior de acuerdo a normas IEC de montaje auto soportado, grado de encerramiento IP-54, fabricado con láminas galvanizadas de 2mm de espesor. Opera a una tensión de 380 V, 3 fases + T, 60 Hz, 25 kA.

Canalizaciones.

El conductor de alimentación hacia el tablero es aéreo y se encuentra expuesto. El cable de alimentación es de cobre electrolítico recocido y lleva aislamiento de PVC y cubierta exterior de PVC color negro. Tensión de servicio de 0.6/1Kv, 80°C de temperatura de operación, para instalaciones en lugares secos y húmedos. Al interior del tablero eléctrico las canalizaciones son mediante canaleta ranurada de PVC de 1 ½", hacia las cargas que alimenta el tablero de distribución las canalizaciones son mediante tubería flexible con forro liviano de corrugada de Polietileno (PE) de ½".

Identificación de Cables y Conductores.

Todos los cables utilizados en el montaje del tablero fueron identificados de la siguiente manera.

- Rojo : Fase R
- Negro : Fase S
- Azul : Fase T
- Verde con franjas amarillas : Conductor de puesta a tierra

Tabla 29

Potencia y carga por equipo

CARGAS	CANT	TAG	POTENCIA UNITARIA [W]	POTENCIA TOTAL (kW)	cos ϕ	Voltaje (Voltios)	Fases	I (Amp)	Id (Amp)	POTENCIA REACTIVA (KVA)
VENTILADOR 3 ϕ , 6P -60Hz	1	VENT	124,58	0,12	0,52	380	3	0,63	0,79	0,24
RESISTENCIA ELÉCTRICA DE 2000 WATTS	1	R1	2000,00	2,00	0,90	220	1	10,10	12,63	2,22
RESISTENCIA ELÉCTRICA DE 3000 WATTS	1	R3	3000,00	3,00	0,90	220	1	15,15	18,94	3,33
BOMBA 1 ϕ - 60Hz	1	B1	370,00	0,37	0,97	220	1	1,73	2,17	0,38
BOMBA 2 ϕ - 60Hz	1	B2	370,00	0,37	0,97	220	1	1,73	2,17	0,38

Tabla 30

Corriente que soporta cada conductor en el tablero eléctrico

DESDE DESCRIPCIÓN	TAG	LONGITUD (metros)	TAG	HASTA DESCRIPCIÓN	FASES	CARGA		TIPO Y CALIBRE DE CONDUCTOR	CORRIENTE QUE SOPORTA EL CONDUCTOR (Amps)
						POTENCIA (Watts)	CORRIENTE (Amps)		
INTERRUPTOR GENERAL	IG	0,50	QM	I. TERMOMAGNETICO 2X15A	1	50,00	0,40	CABLE TW-80 - 16AWG	10,00
I. TERMOMAGNÉTICO 3X50A	IG	0,75	KM1	CONTACTOR 220V 1NA 5,5KW	3	124,58	0,79	VULCANIZADO 3X18AWG + TIERRA	7,00
I. TERMOMAGNÉTICO 3X50A	IG	0,80	Q1	I. TERMOMAGNÉTICO 2X32A	1	740,00	4,34	CABLE TW-80 - 14AWG	22,00
I. TERMOMAGNÉTICO 3X50A	IG	0,45	Q2	I. TERMOMAGNÉTICO 2X25A	1	2000,00	12,63	CABLE TW-80 - 14AWG	22,00
I. TERMOMAGNÉTICO 3X50A	IG	0,50	Q3	I. TERMOMAGNÉTICO 2X25A	1	3000,00	18,94	CABLE TW-80 - 14AWG	22,00
I. TERMOMAGNÉTICO 3X50A	IG	0,60	Q4	I. TERMOMAGNÉTICO 2X25A	1	2000,00	12,63	CABLE TW-80 - 14AWG	22,00
I. TERMOMAGNÉTICO 3X50A	IG	0,75	Q5	I. TERMOMAGNÉTICO 2X25A	1	3000,00	18,94	CABLE TW-80 - 14AWG	22,00
CONTACTOR 220V 1NA 5,5KW	KM1	2,50	VENT	VENTILADOR 3Ø, 6P -60Hz, 0,12kW	3	124,58	0,79	VULCANIZADO 3X18AWG + TIERRA	7,00
CONTACTOR 220V 1NA 5,5KW	KM2	2,50	B1	BOMBA 1, 1Ø - 60Hz, 0,37kW	1	370,00	2,17	VULCANIZADO 2X16AWG + TIERRA	10,00
CONTACTOR 220V 1NA 5,5KW	KM3	2,00	B2	BOMBA 2, 1Ø - 60Hz, 0,37kW	1	370,00	2,17	VULCANIZADO 2X16AWG + TIERRA	10,00
I. TERMOMAGNÉTICO 2X25A	Q2	0,50	KM6	CONTACTOR 220V 1NA 5,5KW	1	2000,00	12,63	CABLE TW-80 - 14AWG	22,00
I. TERMOMAGNÉTICO 2X25A	Q3	0,50	KM7	CONTACTOR 220V 1NA 5,5KW	1	3000,00	18,94	CABLE TW-80 - 14AWG	22,00
I. TERMOMAGNÉTICO 2X25A	Q4	0,50	KM8	CONTACTOR 220V 1NA 5,5KW	1	2000,00	12,63	CABLE TW-80 - 14AWG	22,00
I. TERMOMAGNÉTICO 2X25A	Q5	0,50	KM9	CONTACTOR 220V 1NA 5,5KW	1	3000,00	18,94	CABLE TW-80 - 14AWG	22,00
CONTACTOR 220V 1NA 5,5KW	KM6	1,50	R1	RESISTENCIA ELÉCTRICA R1, 2000W	1	2000,00	12,63	CABLE TW-80 - 14AWG	22,00
CONTACTOR 220V 1NA 5,5KW	KM7	1,50	R2	RESISTENCIA ELÉCTRICA R2, 3000W	1	3000,00	18,94	CABLE TW-80 - 14AWG	22,00
CONTACTOR 220V 1NA 5,5KW	KM8	1,50	R3	RESISTENCIA ELÉCTRICA R3, 2000W	1	2000,00	12,63	CABLE TW-80 - 14AWG	22,00
CONTACTOR 220V 1NA 5,5KW	KM9	1,50	R4	RESISTENCIA ELÉCTRICA R4, 3000W	1	3000,00	18,94	CABLE TW-80 - 14AWG	22,00

Fuente: Elaboración propia.

3.1.7.2. Circuito Eléctrico del Tablero

Se muestra el circuito de fuerza y control del tablero.

Figura 83

Circuito de fuerza

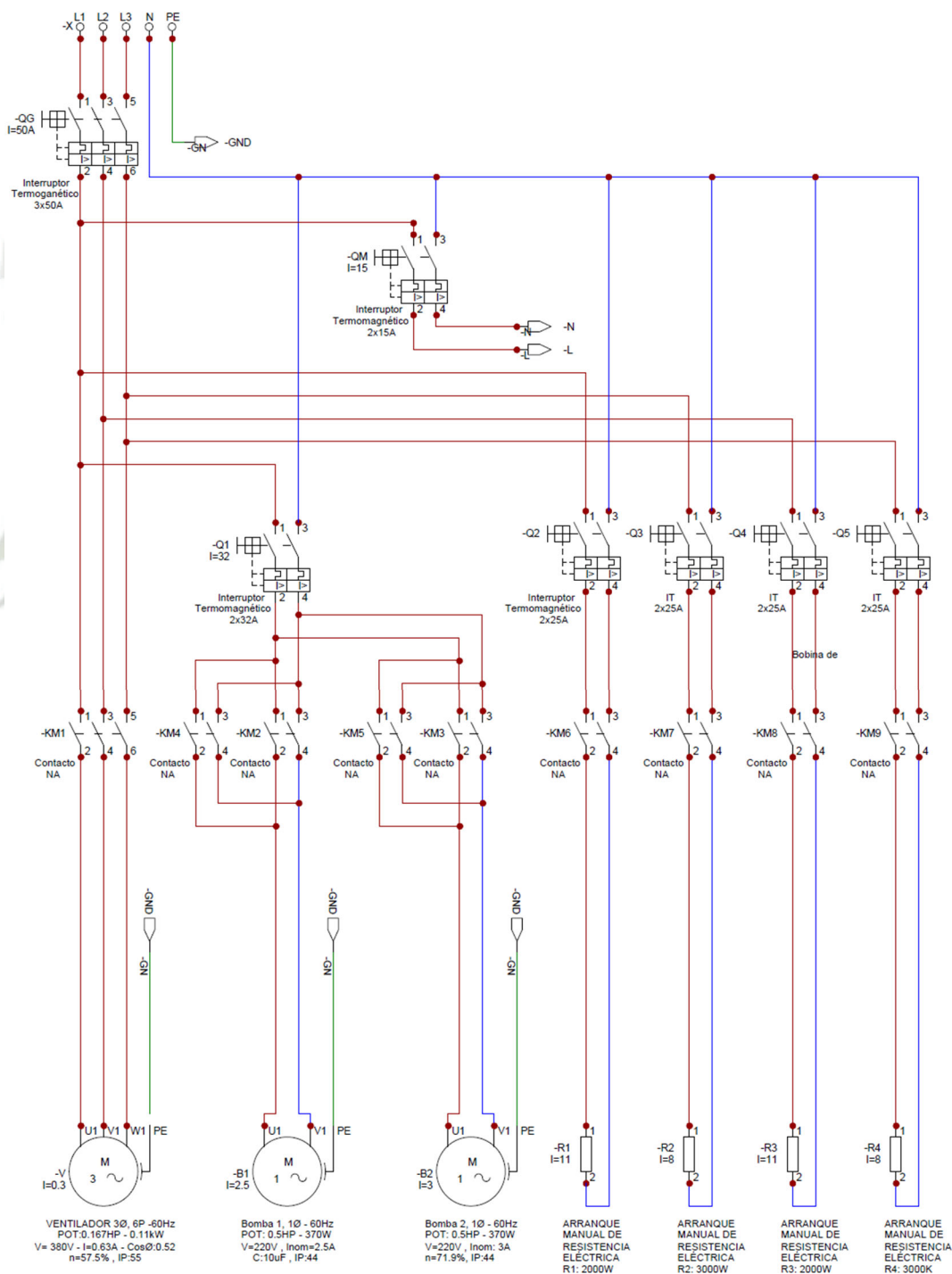
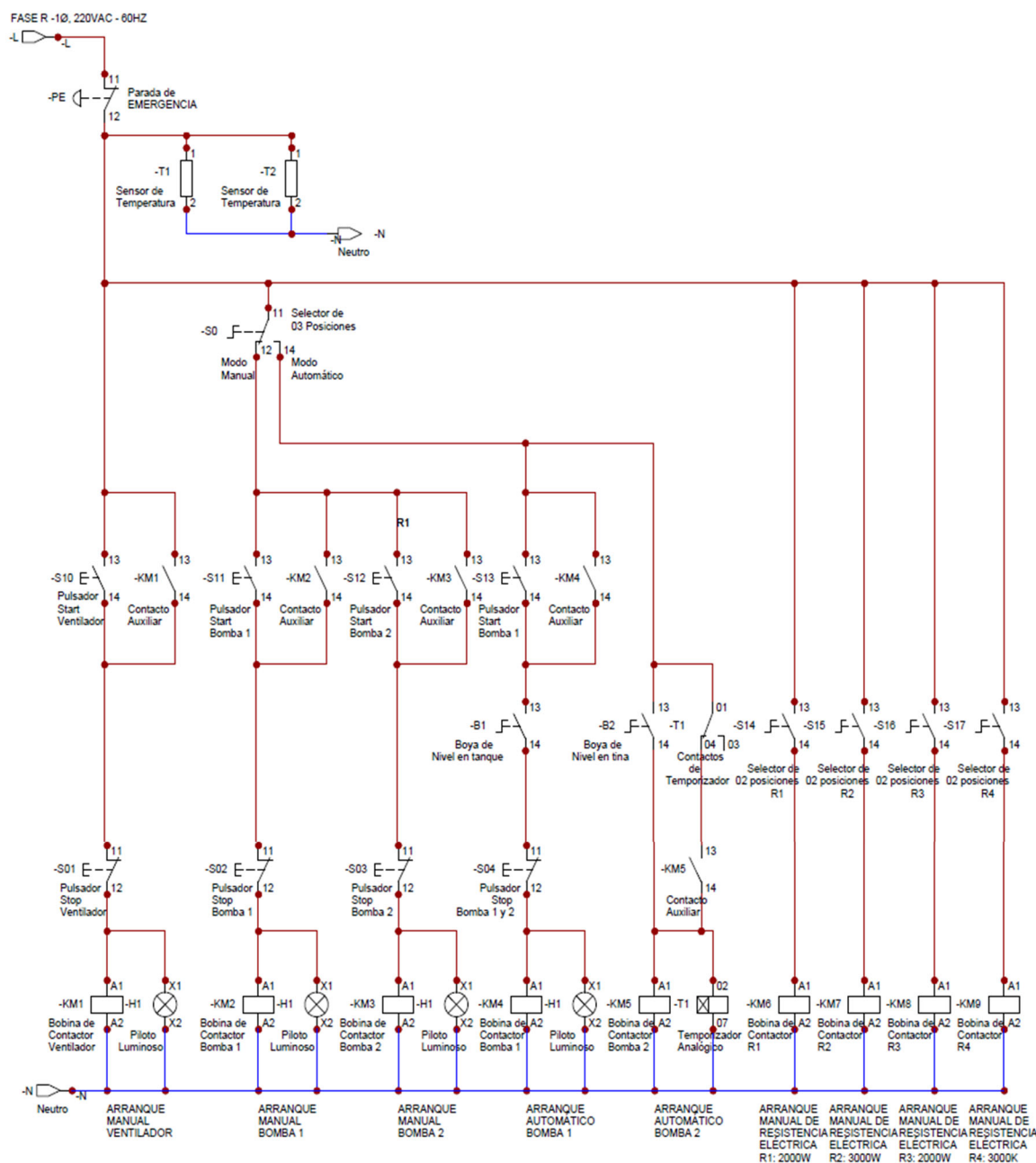


Figura 84
Circuito de control

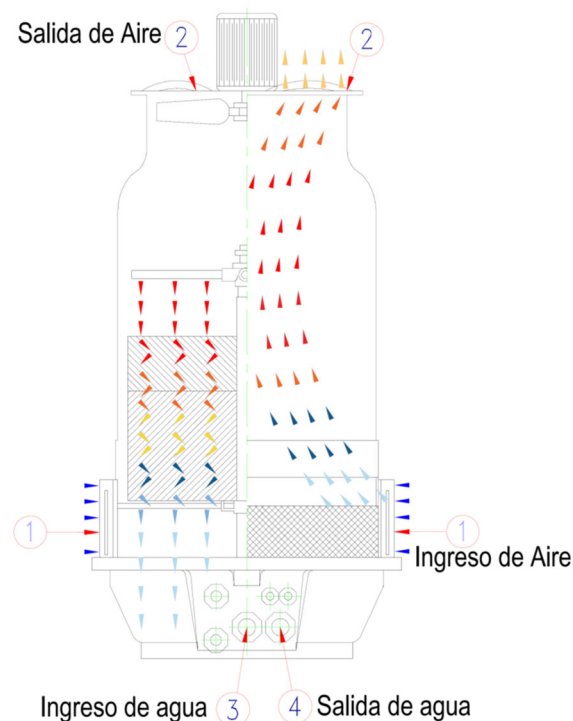


3.2. Calculo Termodinámico

Según los componentes seleccionados procedemos obtener las fórmulas necesarias para el cálculo de balance de energía en el sistema, la variación de entropía en el agua, vapor de agua y aire. Obteniendo esta formulación podemos desarrollar un código en el software EES, para la obtención precisa de las propiedades en los estados del agua y aire en la torre de enfriamiento. Tomamos en cuenta como dato inicial la altura a la que se encuentra la ciudad de Arequipa, que es de 2300 ms.n.m y que la reducción de temperatura de agua en la torre será de 5°C. Se tendrá en cuenta la siguiente figura para tener de referencia los puntos de entrada y salida de aire y agua en la torre de enfriamiento.

Figura 85

Puntos de ingreso y salida de agua y aire en la torre de enfriamiento



3.2.1. Presión Atmosférica en Función a la Altura

Para el cálculo de la presión atmosférica se requiere previamente calcular el valor de la constante α , el cual se determina por la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{\rho_{aire} \cdot g}{P_o} \quad (2)$$

Donde:

ρ_{aire} : Densidad del aire: $1.22 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$

g : aceleración de la gravedad: $9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right]$

P_{atm} : Presión atmosférica: $101325 \left[\frac{N}{m^2} \right]$

P_o : Presión inicial: ($P_o = P_{atm}$)

α = Constante

Reemplazando datos en la ecuación (2) obtenemos:

$$\alpha = \frac{1.22 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] \cdot 9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right]}{101325 \left[\frac{N}{m^2} \right]}$$

$$\alpha = 1.1811 \cdot 10^{-4} [m^{-1}]$$

Seguidamente podemos obtener la presión en función de la altura

$$P_{(h)} = P_o' \cdot e^{-\alpha h} \quad (3)$$

Donde:

$P_{(h)}$: Presión atmosférica en función de la altura: $[Pa]$

P_o' : Presión inicial ($P_o' = P_{atm}$)

h : altura de Arequipa sobre el nivel del mar: $2300 [m]$

α = Constante

Reemplazando los datos en la ecuación (3) obtenemos:

$$P_{(2300)} = 1 [atm] \cdot e^{-1.1811 \times 10^{-4} \times 2300}$$

$$P_{(2300)} = 0.76211 [atm] = 77.2207 [KPa] = 579.203 [mmHg]$$

3.2.2. Balance de Masa y Energía

Teniendo en cuenta que el flujo de masa de aire se mantiene constante, podemos decir que el flujo de másico de aire en el ingreso y salida de la torre son iguales.

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a \quad (4)$$

Donde:

\dot{m}_{a1} = Flujo másico en el punto 1, ingreso de aire $\left[\frac{Kg}{s}\right]$

\dot{m}_{a2} = Flujo másico en el punto 2, salida de aire $\left[\frac{Kg}{s}\right]$

\dot{m}_a = Flujo másico de aire $\left[\frac{Kg}{s}\right]$

Considerando la humedad presente en el aire de ingreso y salida de la torre intervienen en el cálculo de balance de masa de agua de la torre, podemos decir que el flujo de masa de aire multiplicado por la humedad presente en ese punto es considerado mediante la siguiente formula:

$$\dot{m}_3 + \dot{m}_{a1} \cdot \omega_1 = \dot{m}_4 + \dot{m}_{a2} \cdot \omega_2 \quad (5)$$

Donde:

\dot{m}_3 = Flujo másico de ingreso en el punto 3, ingreso de agua $\left[\frac{Kg}{s}\right]$

\dot{m}_4 = Flujo másico de ingreso en el punto 4, salida de agua $\left[\frac{Kg}{s}\right]$

\dot{m}_{a1} = Flujo másico en el punto 1, ingreso de aire $\left[\frac{Kg}{s}\right]$

\dot{m}_{a2} = Flujo másico en el punto 2, salida de aire $\left[\frac{Kg}{s}\right]$

$$\dot{m}_a = \text{Flujo másico de aire} \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$\omega_1 = \text{Humedad absoluta en el punto 1, ingreso de aire} \left[\frac{Kg \text{ de agua}}{Kg \text{ de aire}} \right]$$

$$\omega_2 = \text{Humedad absoluta en el punto 2, salida de aire} \left[\frac{Kg \text{ de agua}}{Kg \text{ de aire}} \right]$$

El aire que ingresa a la torre arrastra agua en forma de humedad, por lo que será requerido un flujo de reemplazo según la siguiente formula:

$$\dot{m}_{\text{reemplazo}} = \dot{m}_a \cdot (\omega_2 - \omega_1) \quad (6)$$

$$\dot{m}_{\text{reemplazo}} = \text{Flujo másico de agua de reemplazo} \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$\dot{m}_a = \text{Flujo másico en el punto 1, ingreso de aire} \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$\omega_1 = \text{Humedad absoluta en el punto 1, ingreso de aire} \left[\frac{Kg \text{ de agua}}{Kg \text{ de aire}} \right]$$

$$\omega_2 = \text{Humedad absoluta en el punto 2, salida de aire} \left[\frac{Kg \text{ de agua}}{Kg \text{ de aire}} \right]$$

Despejamos la ecuación (5) en función del flujo de aire y humedades

$$\dot{m}_3 - \dot{m}_4 = \dot{m}_{a2} \cdot \omega_2 - \dot{m}_{a1} \cdot \omega_1$$

$$\dot{m}_3 - \dot{m}_4 = \dot{m}_a \cdot (\omega_2 - \omega_1) \quad (7)$$

Reemplazamos la ecuación (6) en la ecuación (7) para obtener el flujo masico de ingreso en el punto 4, salida de agua de la torre

$$\dot{m}_3 - \dot{m}_4 = \dot{m}_{\text{reemplazo}}$$

$$\dot{m}_3 - \dot{m}_{\text{reemplazo}} = \dot{m}_4 \quad (8)$$

Donde:

$$\dot{m}_{\text{reemplazo}} = \text{Flujo másico de agua de reemplazo} \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$\dot{m}_4 = \text{Flujo másico de ingreso en el punto 4, salida de agua} \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$\dot{m}_{a1} = \text{Flujo másico en el punto 1, ingreso de aire} \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

Para el cálculo de balance de energía en la torre de enfriamiento tenemos:

$$\dot{E}_{\text{ingreso}} = \dot{E}_{\text{Salida}}$$

Al considerar que la torre de enfriamiento como un sistema y consideramos a la operación estacionaria, se concluirá que en el balance de energía los valores de \dot{Q} y \dot{W} son 0, por lo que:

$$\sum_{\text{Entrada}} \dot{m}_i \cdot h_i + \dot{Q}_i + \dot{W}_i = \sum_{\text{salida}} \dot{m}_s \cdot h_s + \dot{Q}_s + \dot{W}_s$$

$$\sum_{\text{Entrada}} \dot{m}_i \cdot h_i = \sum_{\text{salida}} \dot{m}_s \cdot h_s$$

$$\dot{m}_{a1} \cdot h_1 + \dot{m}_3 \cdot h_3 = \dot{m}_{a2} \cdot h_2 + \dot{m}_4 \cdot h_4 \quad (9)$$

Donde:

$$\dot{m}_{a1} = \text{Flujo másico en el punto 1, ingreso de aire} \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$\dot{m}_{a2} = \text{Flujo másico en el punto 2, salida de aire} \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$\dot{m}_a = \text{Flujo másico de aire} \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$h_1 = \text{Entalpía del aire en el punto 1, ingreso de aire} \left[\frac{KJ}{Kg} \right]$$

$$h_2 = \text{Entalpía del aire en el punto 2, salida de aire} \left[\frac{KJ}{Kg} \right]$$

$$h_3 = \text{Entalpía del agua en el punto 3, ingreso de agua} \left[\frac{KJ}{Kg} \right]$$

$$h_4 = \text{Entalpía del agua en el punto 4, salida de agua} \left[\frac{KJ}{Kg} \right]$$

$$\dot{m}_3 = \text{Flujo másico de ingreso en el punto 3, ingreso de agua} \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$\dot{m}_4 = \text{Flujo másico de ingreso en el punto 4, salida de agua} \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

Despejamos la ecuación (9) en función del punto 3:

$$\dot{m}_3 \cdot h_3 = \dot{m}_{a2} \cdot h_2 - \dot{m}_{a1} \cdot h_1 + \dot{m}_4 \cdot h_4 \quad (10)$$

Reemplazamos la ecuación (8) en la ecuación (10)

$$\dot{m}_3 \cdot h_3 = \dot{m}_a \cdot (h_2 - h_1) + (\dot{m}_3 - \dot{m}_{\text{reemplazo}}) \cdot h_4$$

Despejando la ecuación obtenemos la ecuación para el cálculo de flujo masico de aire

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{m}_3 \cdot (h_3 - h_4)}{h_2 - h_1 - (\omega_2 - \omega_1) \cdot h_4} \quad (11)$$

Donde:

$$\dot{m}_a = \text{Flujo másico en el punto 1, ingreso de aire} \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$\dot{m}_3 = \text{Flujo másico de ingreso en el punto 3, ingreso de agua} \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$h_1 = \text{Entalpía del aire en el punto 1, ingreso de aire} \left[\frac{KJ}{Kg} \right]$$

$$h_2 = \text{Entalpía del aire en el punto 2, salida de aire} \left[\frac{KJ}{Kg} \right]$$

$$h_3 = \text{Entalpía del agua en el punto 3, ingreso de agua} \left[\frac{KJ}{Kg} \right]$$

$$h_4 = \text{Entalpía del agua en el punto 4, salida de agua} \left[\frac{KJ}{Kg} \right]$$

$$\omega_1 = \text{Humedad absoluta en el punto 1, ingreso de aire} \left[\frac{Kg \text{ de agua}}{Kg \text{ de aire}} \right]$$

$$\omega_2 = \text{Humedad absoluta en el punto 2, salida de aire} \left[\frac{Kg \text{ de agua}}{Kg \text{ de aire}} \right]$$

Considerando que el flujo volumétrico del aire está en función del volumen específico y flujo masico del aire, tenemos que:

$$\dot{V}_1 = \dot{m}_a \cdot v_1 \quad (12)$$

$$\dot{V}_2 = \dot{m}_a \cdot v_2 \quad (13)$$

Donde:

\dot{V}_1 = Flujo volumétrico de aire en el punto 1, ingreso de aire. $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

\dot{V}_2 = Flujo volumétrico de aire en el punto 2, salida de aire. $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

\dot{m}_a = Flujo másico en el punto 1, ingreso de aire $\left[\frac{Kg}{s}\right]$

v_1 = Volumen específico del aire en el punto 1, ingreso de aire $\left[\frac{m^3}{Kg}\right]$

v_2 = Volumen específico del aire en el punto 2, salida de aire $\left[\frac{m^3}{Kg}\right]$

El porcentaje de agua de evaporación de agua será determinado en función del ingreso de agua a la torre:

$$\% \text{ Agua de evaporación} = \dot{m}_{\text{reemplazo}} \cdot \frac{100}{\dot{m}_3} \quad (14)$$

Donde:

$\% \text{ Agua de evaporación}$ = Porcentaje de agua evaporada [%]

$\dot{m}_{\text{reemplazo}}$ = Flujo másico de agua de reemplazo $\left[\frac{Kg}{s}\right]$

\dot{m}_3 = Flujo másico de ingreso en el punto 3, ingreso de agua $\left[\frac{Kg}{s}\right]$

Cálculo de flujo masico de vapor de agua en el punto 4, salida de agua de la torre

$$m_3 = \frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_a} \quad (15)$$

$$m_4 = m_3 - (\omega_2 - \omega_1) \quad (16)$$

Donde:

m_4 = Caudal másico del flujo de agua en el estado 4 por unidad de masa $\left[\frac{Kg \text{ de agua}}{Kg \text{ de aire}}\right]$

m_3 = Caudal másico del flujo de agua en el estado 3 por unidad de masa $\left[\frac{Kg \text{ de agua}}{Kg \text{ de aire}}\right]$

\dot{m}_3 = Flujo másico de ingreso en el punto 3, ingreso de agua $\left[\frac{Kg}{s}\right]$

\dot{m}_a = Flujo másico en el punto 1, ingreso de aire $\left[\frac{Kg}{s}\right]$

ω_1 = Humedad absoluta en el punto 1, ingreso de aire $\left[\frac{Kg \text{ de agua}}{Kg \text{ de aire}}\right]$

ω_2 = Humedad absoluta en el punto 2, salida de aire $\left[\frac{Kg \text{ de agua}}{Kg \text{ de aire}}\right]$

Cálculo de calor rechazado en la torre de enfriamiento

$$Calor_{rechazado} = \dot{m}_3 \cdot h_3 - h_4 \cdot (\dot{m}_3 - \dot{m}_{reemplazo}) \quad (17)$$

Donde:

$Calor_{rechazado}$ = Calor rechazado $\left[\frac{KJ}{s}\right]$

\dot{m}_3 = Flujo másico de ingreso en el punto 3, ingreso de agua $\left[\frac{Kg}{s}\right]$

h_3 = Entalpía del agua en el punto 3, ingreso de agua $\left[\frac{KJ}{Kg}\right]$

h_4 = Entalpía del agua en el punto 4, ingreso de agua $\left[\frac{KJ}{Kg}\right]$

$\dot{m}_{reemplazo}$ = Flujo másico de agua de reemplazo $\left[\frac{Kg}{s}\right]$

3.2.3. Cálculo de la Variación de Entropía del Agua

La variación de entropía del agua está en función del caudal masico por unidad de masa y la entropía en el mismo punto, por lo que la variación será:

$$\Delta_{s,agua} = m_4 \cdot s_4 - m_3 \cdot s_3 \quad (18)$$

Donde:

$\Delta_{s,agua}$ = Variación de Entropía del agua $\left[\frac{KJ}{Kg-K}\right]$

m_4 = caudal másico del flujo de agua en el estado 4 por unidad de masa $\left[\frac{Kg \text{ de agua}}{Kg \text{ de aire}}\right]$

m_3 = caudal másico del flujo de agua en el estado 3 por unidad de masa $\left[\frac{Kg \text{ de agua}}{Kg \text{ de aire}}\right]$

$$s_3 = \text{Entropía en el punto 3, ingreso de agua} \left[\frac{KJ}{Kg-K} \right]$$

$$s_4 = \text{Entropía en el punto 4, salida de agua} \left[\frac{KJ}{Kg-K} \right]$$

3.2.4. Cálculo de la Variación de Entropía del Vapor de Agua

La variación de entropía del vapor de agua está en función la humedad absoluta y la entropía en el mismo punto, por lo que la variación será:

$$\Delta_{s,\text{vapor de agua}} = \omega_2 \cdot s_2 - \omega_1 \cdot s_1 \quad (19)$$

Donde:

$$\Delta_{s,\text{vapor de agua}} = \text{Variación de Entropía del vapor de agua} \left[\frac{KJ}{Kg-K} \right]$$

$$\omega_1 = \text{Humedad absoluta en el punto 1, ingreso de aire} \left[\frac{Kg \text{ de agua}}{Kg \text{ de aire}} \right]$$

$$\omega_2 = \text{Humedad absoluta en el punto 2, salida de aire} \left[\frac{Kg \text{ de agua}}{Kg \text{ de aire}} \right]$$

$$s_1 = \text{Entropía en el punto 1, ingreso de aire} \left[\frac{KJ}{Kg-K} \right]$$

$$s_2 = \text{Entropía en el punto 2, salida de aire} \left[\frac{KJ}{Kg-K} \right]$$

Para el cálculo de presiones parciales del vapor de agua y aire seco tenemos las ecuaciones que están en función de la humedad relativa:

$$P_{V1} = \phi_1 \cdot P_{\text{sat},1} \quad (20)$$

Donde:

$$P_{V1} = \text{Presión del vapor de agua en el punto 1, ingreso de aire} [kPa]$$

$$\phi_1 = \text{Humedad Relativa en el punto 1, ingreso de aire} [\%]$$

$$P_{\text{sat},1} = \text{Presión de saturación del gas a la TBS en el punto 1, ingreso de aire} [kPa]$$

Para el cálculo de la presión del aire seco en el punto 1, ingreso de aire utilizamos la siguiente formula:

$$P_1 = p_{atm} - P_{V1} \quad (21)$$

Donde:

P_1 = Presión del aire seco en el punto 1, ingreso de aire [kPa]

p_{atm} = Presión atmosférica, es función de la altura sobre el nivel del mar [kPa]

P_{V1} = Presión del vapor de agua en el punto 1, ingreso de aire [kPa]

Presión del vapor de agua en el punto 2, salida de aire:

$$P_{V2} = \phi_2 \cdot P_{sat,2} \quad (22)$$

Donde:

P_{V2} = Presión del vapor de agua en el punto 2, salida de aire [kPa]

ϕ_2 = Humedad Relativa en el punto 2, salida de aire [%]

$P_{sat,2}$ = Presión de saturación del gas a la TBS en el punto 2, salida de aire [kPa]

$$P_2 = p_{atm} - P_{V2} \quad (23)$$

Donde:

P_2 = Presión del aire seco en el punto 2, salida de aire [kPa]

P_{V2} = Presión del vapor de agua en el punto 2, salida de aire [kPa]

p_{atm} = Presión atmosférica, es función de la altura sobre el nivel del mar [kPa]

3.2.5. Cálculo de la Variación de Entropía del Aire

Para el cálculo de la variación de entropía del aire tenemos la ecuación:

$$\Delta_{s,aire} = C_{P_{aire}} \cdot \ln \left[\frac{T_{2,k}}{T_{1,k}} \right] - R_{aire} \cdot \ln \left[\frac{P_2}{P_1} \right] \quad (24)$$

Donde:

$$\Delta_{s,\text{aire}} = \text{Variación de Entropía del aire} \left[\frac{KJ}{Kg-K} \right]$$

$$CP_{\text{aire}} = \text{Calor específico del aire, constante } 1.007 \left[\frac{KJ}{Kg-K} \right]$$

$$T_{2,k} = \text{Temperatura de bulbo seco del punto 2, ingreso de aire [K]}$$

$$T_{1,k} = \text{Temperatura de bulbo seco del punto 1, ingreso de aire [K]}$$

$$R_{\text{aire}} = \text{Constante de los gases ideales, del aire } 0.287 \left[\frac{KJ}{Kg-K} \right]$$

$$P_2 = \text{Presión parcial de vapor en el punto 2, salida de aire [kPa]}$$

$$P_1 = \text{Presión parcial de vapor en el punto 1, ingreso de aire [kPa]}$$

Cálculo de la entropía de generación de la torre de enfriamiento es el cambio total de entropía.

$$S_{\text{gen}} = \Delta_{s,\text{agua}} + \Delta_{s,\text{vapor de agua}} + \Delta_{s,\text{aire}} \quad (25)$$

Donde:

$$S_{\text{gen}} = \text{Entropía de generación} \left[\frac{KJ}{Kg-K} \right]$$

$$\Delta_{s,\text{agua}} = \text{Variación de Entropía del agua} \left[\frac{KJ}{Kg-K} \right]$$

$$\Delta_{s,\text{vapor de agua}} = \text{Variación de Entropía del vapor de agua} \left[\frac{KJ}{Kg-K} \right]$$

$$\Delta_{s,\text{aire}} = \text{Variación de Entropía del aire} \left[\frac{KJ}{Kg-K} \right]$$

Exergía destruida dentro de la torre de enfriamiento.

$$X_{\text{destruida}} = T_{1,k} \times S_{\text{gen}} \quad (26)$$

Donde:

$$X_{\text{destruida}} = \text{Exergía destruida} \left[\frac{KJ}{Kg-K} \right]$$

$$T_{1,k} = \text{Temperatura de bulbo seco del punto 1, ingreso de aire [K]}$$

$$S_{\text{gen}} = \text{Entropía de generación} \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg-K}} \right]$$

3.2.6. Cálculo de Indicadores de Desempeño

El rango de la torre de enfriamiento se determina por la diferencia de temperaturas del agua de ingreso y de salida.

$$\text{Rango} = T_3 - T_4 \quad (27)$$

Donde:

$$T_3 = \text{Temperatura de ingreso del agua} [^{\circ}\text{C}]$$

$$T_4 = \text{Temperatura de salida del agua} [^{\circ}\text{C}]$$

El acercamiento o aproximación se determina por la diferencia de temperaturas del agua de ingreso y de salida.

$$\text{Acercamiento} = T_4 - T_{bh1} \quad (28)$$

Donde:

$$T_4 = \text{Temperatura de salida del agua} [^{\circ}\text{C}]$$

$$T_{bh1} = \text{Temperatura de bulbo humedo aire al ingreso} [^{\circ}\text{C}]$$

La eficiencia de la torre es un valor porcentual, la razón del rango de enfriamiento y el rango ideal de enfriamiento.

$$\eta_H = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_{bh1}} \quad (29)$$

Donde:

$$T_4 = \text{Temperatura de salida del agua} [^{\circ}\text{C}]$$

$$T_3 = \text{Temperatura de ingreso del agua} [^{\circ}\text{C}]$$

$$T_{bh1} = \text{Temperatura de bulbo humedo aire al ingreso} [^{\circ}\text{C}]$$

3.2.7. Simulación de Enfriamiento en Torre de Enfriamiento en Software EES

Una vez obtenidas las fórmulas necesarias para determinar los estados, balances de energía, entropías y flujo masico procedimos a escribir el código para la obtención de propiedades de los estados del agua y el aire, en el ingreso y salida de la torre de enfriamiento.

Figura 86

Código de cálculo de estado en el software EES

```

"Calculadora de Estados"
//T_bulbo_seco=0[C]
//T_bulbo_humedo=0[C]
P_atmosférica=P_atm

phi_estado=relhum(AirH2O,T=T_bulbo.seco,P=P_atmosférica,B=T_bulbo.humedo)

//Q_1=10[m³/min]
Q_2=Q_1*(1000/60)[kg/s]

Calor_rechazado=(m_dot_3*h_3)-(h_4*(m_dot_3-m_dot_reemplazo))
L_G=m_dot_3/m_dot_aire

H_sat_T3=Enthalpy(AirH2O,T=T_3,P=P_atm,R=1)
G_smin=(m_dot_3*4.184)/((H_sat_T3-h_1)/(T_3-T_4))
G_s=1.5*G_smin
H_operación=((m_dot_3/G_s)*4.184)*(T_3-T_4)+h_1

//Q_ingreso=20[L/min]
//T_agua_in=17[C]
//Resistencia=2[KW]

T_agua.out=(Resistencia*60/(Q_ingreso*4.18))+T_agua.in
    
```

Formatted Equations:

$$P_{atmosférica} = P_{atm}$$

$$\phi_{estado} = RH (AIRH2O, T = T_{bulbo.seco}, P = P_{atmosférica}, B = T_{bulbo.humedo})$$

$$Q_2 = Q_1 \cdot \frac{1000}{60} \cdot 1 \text{ [kg/s]}$$

$$\text{Calor}_{rechazado} = \dot{m}_3 \cdot h_3 - h_4 \cdot (\dot{m}_3 - \dot{m}_{reemplazo})$$

$$L_G = \frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_{aire}}$$

$$H_{sat,T3} = h (AIRH2O, T = T_3, P = P_{atm}, R = 1)$$

$$G_{smin} = \frac{\dot{m}_3 \cdot 4.184}{\frac{H_{sat,T3} - h_1}{T_3 - T_4}}$$

$$G_s = 1.5 \cdot G_{smin}$$

$$H_{operación} = \frac{\dot{m}_3}{G_s} \cdot 4.184 \cdot (T_3 - T_4) + h_1$$

$$T_{agua.out} = Resistencia \cdot \frac{60}{Q_{ingreso} \cdot 4.18} + T_{agua.in}$$

Se digitó las fórmulas (2) y (3) en el software EES.

Figura 87

Código de cálculo de presión atmosférica en el software EES

```

"Cálculo de la presión Atmosférica"

//Altura_msnm=0[msnm]
rho_aire=1.22[Kg/m³]
Gravedad_tierra=9.81[m/s²]
P_referencia=101325[Pa]
alpha=(rho_aire*Gravedad_tierra)/P_referencia
P_atm=(P_referencia*(2.71828^(-alpha*Altura_msnm)))/1000
    
```

Formatted Equations:

$$P_{aire} = 1.22 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$Gravedad_{tierra} = 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$P_{referencia} = 101325 \text{ [Pa]}$$

$$\alpha = \frac{P_{aire} \cdot Gravedad_{tierra}}{P_{referencia}}$$

$$P_{atm} = \frac{P_{referencia} \cdot 2.71828^{(-\alpha \cdot Altura_{msnm})}}{1000}$$

Se digitó los códigos para extraer los datos de los estados en el punto 1 (ingreso de aire) de la base de datos de software EES.

Figura 88

Código de cálculo de estado del aire de ingreso a la torre en el software EES

```

"Del AIRE de INGRESO - PUNTO 1"

//Tbs_1=20[C]
//phi_1=0.6

[Resultados]
h_1=enthalpy(AirH2O,T=Tbs_1,P=P_atm,R=phi_1)
UPSILON_1=volume(AirH2O,T=Tbs_1,P=P_atm,R=phi_1)
Tbh_1=wetbulb(AirH2O,T=Tbs_1,P=P_atm,R=phi_1)
Tr_1=dewpoint(AirH2O,T=Tbs_1,P=P_atm,R=phi_1)
omega_1=humrat(AirH2O,T=Tbs_1,P=P_atm,R=phi_1)
s_1=Entropy(Water,T=Tbs_1,x=1)
p_sat_1=P_sat(Water,T=Tbs_1)
temperatura
R_aire=0.287[kJ/kg-K]
Cp_aire=Cp(Air_ha,T=Tbs_1,P=P_atm)

[Entalpia]
[Temperatura de bulbo seco]
[Humedad relativa ambiente]
[Volumen Especifico]
[Temperatura de bulbo humedo]
[Temperatura de rocío]
[Humedad relativa]
[Entropía del vapor de agua ]
[Presión de saturación a esa
temperatura]

```

```

Del AIRE de INGRESO - PUNTO 1
h1 = h ( AIRH2O , T = Tbs1 , P = P_atm , R = phi1 )
u1 = v ( AIRH2O , T = Tbs1 , P = P_atm , R = phi1 )
Tbh1 = WB ( AIRH2O , T = Tbs1 , P = P_atm , R = phi1 )
Tr1 = DP ( AIRH2O , T = Tbs1 , P = P_atm , R = phi1 )
o1 = omega ( AIRH2O , T = Tbs1 , P = P_atm , R = phi1 )
s1 = s ( water , T = Tbs1 , x = 1 )
Psat,1 = P_sat ( water , T = Tbs1 )
Raire = 0.287 [kJ/kg-K]
Cpaire = Cp ( Air_ha , T = Tbs1 , P = P_atm )

```

Se digitó los códigos para extraer los datos de los estados en el punto 2 (salida de aire) de la base de datos de software EES.

Figura 89

Código de cálculo de estado del aire de salida de la torre en el software EES

```

"Del AIRE de SALIDA - PUNTO 2"

//Tbs_2=30[C]
//phi_2=1

[Resultados]
h_2=enthalpy(AirH2O,T=Tbs_2,P=P_atm,R=phi_2)
UPSILON_2=volume(AirH2O,T=Tbs_2,P=P_atm,R=phi_2)
Tbh_2=wetbulb(AirH2O,T=Tbs_2,P=P_atm,R=phi_2)
Tr_2=dewpoint(AirH2O,T=Tbs_2,P=P_atm,R=phi_2)
omega_2=humrat(AirH2O,T=Tbs_2,P=P_atm,R=phi_2)
s_2=Entropy(Water,T=Tbs_2,x=1)
p_sat_2=P_sat(Water,T=Tbs_2)

[Entalpia]
[Temperatura de bulbo seco]
[Humedad relativa, humeda al 100%]
[Volumen Especifico]
[Temperatura de bulbo humedo]
[Temperatura de rocío]
[Humedad relativa]
[Entropía del vapor de agua ]
[Presión de saturación a esa temperatura]

```

```

Del AIRE de SALIDA - PUNTO 2
h2 = h ( AIRH2O , T = Tbs2 , P = P_atm , R = phi2 )
u2 = v ( AIRH2O , T = Tbs2 , P = P_atm , R = phi2 )
Tbh2 = WB ( AIRH2O , T = Tbs2 , P = P_atm , R = phi2 )
Tr2 = DP ( AIRH2O , T = Tbs2 , P = P_atm , R = phi2 )
o2 = omega ( AIRH2O , T = Tbs2 , P = P_atm , R = phi2 )
s2 = s ( water , T = Tbs2 , x = 1 )
Psat,2 = P_sat ( water , T = Tbs2 )

```

Se digitó los códigos para extraer los datos de los estados en el punto 3 (ingreso de agua) de la base de datos de software EES.

Figura 90

Código de cálculo de estado del agua de ingreso a la torre en el software EES

The screenshot shows two windows in the EES software. The 'Equations Window' on the left contains the following code:

```

"Del AGUA de INGRESO - PUNTO 3"
//T_3=35[C]
//m_dot_3=15.29[Kg/s]
[Resultados]
h_3=Enthalpy(Water,T=T_3,P=P_atm)
s_3=Entropy(Water,T=T_3,P=P_atm)
h_agua.gas.3=Enthalpy(Water,T=T_3,x=1)
    
```

The 'Formatted Equations' window on the right displays the formatted version of the code:

```

Del AGUA de INGRESO - PUNTO 3
h3 = h ( water , T = T3 , P = Patm )
s3 = s ( water , T = T3 , P = Patm )
hagua.gas.3 = h ( water , T = T3 , x = 1 )
    
```

Se digitó los códigos para extraer los datos de los estados en el punto 4 (salida de agua) de la base de datos de software EES.

Figura 91

Código de cálculo de estado del agua de salida de la torre en el software EES

The screenshot shows two windows in the EES software. The 'Equations Window' on the left contains the following code:

```

"Del AGUA de SALIDA - PUNTO 4"
//T_4=22[C]
//m_dot_4=100[Kg/s]
[Resultados]
h_4=Enthalpy(Water,T=T_4,P=P_atm)
s_4=Entropy(Water,T=T_4,P=P_atm)
h_agua.gas.4=Enthalpy(Water,T=T_4,x=1)
    
```

The 'Formatted Equations' window on the right displays the formatted version of the code:

```

Del AGUA de SALIDA - PUNTO 4
h4 = h ( water , T = T4 , P = Patm )
s4 = s ( water , T = T4 , P = Patm )
hagua.gas.4 = h ( water , T = T4 , x = 1 )
    
```

Se digitó las fórmulas (6), (11), (12) y (13) en el software EES.

Figura 92

Cálculo de flujo de aire, flujo volumétrico de aire y flujo masico de agua de reemplazo en el software EES

The screenshot shows two windows in the EES software. The 'Equations Window' on the left contains the following code:

```

m_dot_aire=(m_dot_3*(h_3-h_4))/((h_2-h_1)-(omega_2-omega_1)*h_4) [Balance de masa de aire]
V_dot_1=m_dot_aire*UPSILON_1 [Flujo volumetrico de aire al ingreso]
V_dot_2=m_dot_aire*UPSILON_2 [Flujo volumetrico de aire a la salida]
m_dot_reemplazo=m_dot_aire*(omega_2-omega_1) [Flujo másico de agua restituida]
    
```

The 'Formatted Equations' window on the right displays the formatted version of the code:

$$\dot{m}_{aire} = \frac{\dot{m}_3 \cdot (h_3 - h_4)}{h_2 - h_1 - (\omega_2 - \omega_1) \cdot h_4}$$

$$\dot{V}_1 = \dot{m}_{aire} \cdot \upsilon_1$$

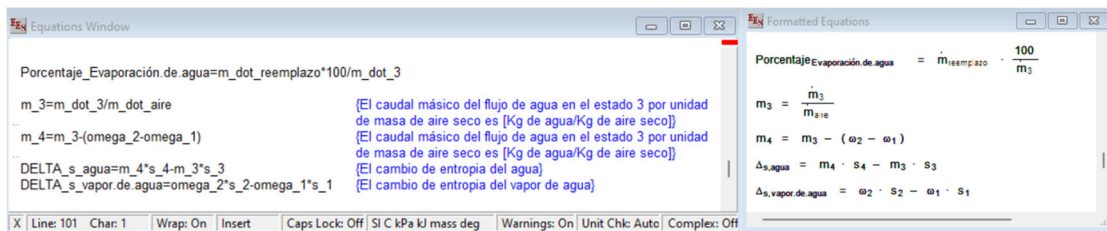
$$\dot{V}_2 = \dot{m}_{aire} \cdot \upsilon_2$$

$$\dot{m}_{reemplazo} = \dot{m}_{aire} \cdot (\omega_2 - \omega_1)$$

Se digitó las fórmulas (15), (16), (18) y (19) en el software EES.

Figura 93

Cálculo de caudal masico de aire en el software EES



Se digitó las fórmulas (20), (21), (22) y (23) en el software EES.

Figura 94

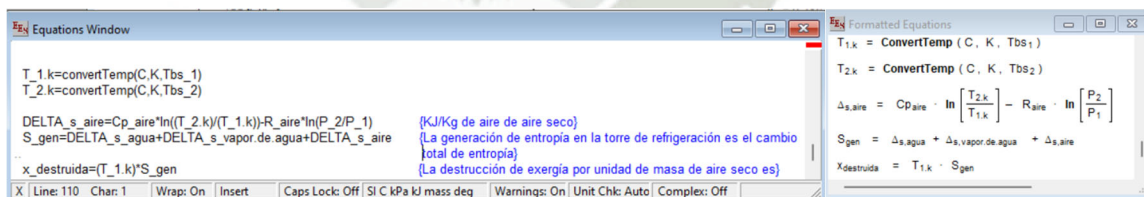
Cálculo de presiones del vapor de agua y aire seco



Se digitó las fórmulas (24), (25) y (26) en el software EES.

Figura 95

Cálculo de variación de entropía y exergía destruida



Al finalizar el código procedimos a crear el diagrama para visualizar los datos obtenidos, teniendo los siguientes datos para el cálculo de estado:

Datos considerados para el agua

$T_3 = 40.5^\circ\text{C}$: Temperatura de agua de ingreso, punto 3.

$\dot{m}_3 = 1.033 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$: Flujo másico de ingreso en el punto 3.

Teniendo en cuenta que la torre de enfriamiento disminuye en 5°C el agua de ingreso.

$T_4 = 30.1^\circ\text{C}$: Temperatura de agua de ingreso, punto 4.

$\dot{m}_4 = 01.033 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$: Flujo másico de ingreso en el punto 4.

Datos considerados del aire

$T_{bs1} = 23.3^\circ\text{C}$: Temperatura de bulbo seco del punto 1, ingreso de aire

$\phi_1 = 0.34$: Humedad Relativa en el punto 1

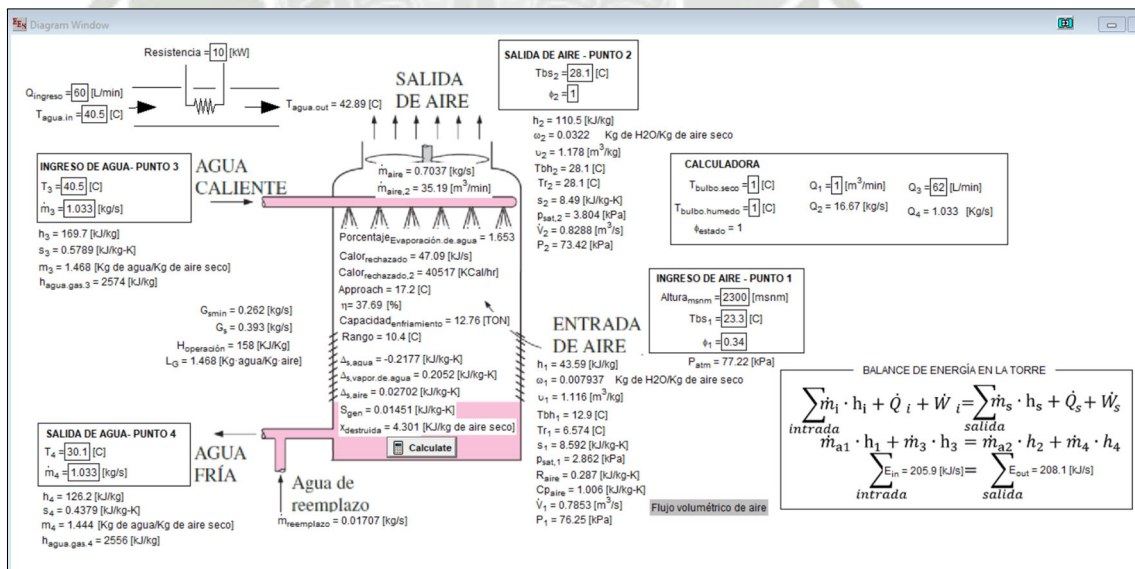
$T_{bs2} = 28.1^\circ\text{C}$: Temperatura de bulbo seco del punto 2, salida de aire

$\phi_2 = 1$: Humedad Relativa en el punto 2

Obtenemos las siguientes propiedades del agua y aire en el ingreso y salida de la torre de enfriamiento, por lo que se obtiene también flujo de aire, calor rechazado, porcentaje de evaporación de agua.

Figura 96

Diagrama y visualización de resultados de la simulación en EES



Obtenemos como resultado los siguientes valores:

Flujo másico en del aire

$$\dot{m}_{\text{aire}} = 0.7037 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

Calor rechazado

$$\text{Calor}_{\text{rechazado}} = 47.09 \frac{\text{KJ}}{\text{s}}$$

Variación de Entropía del agua

$$\Delta_{s,\text{agua}} = 0.2177 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} - \text{K}}$$

Variación de Entropía del vapor de agua

$$\Delta_{s,\text{vapor de agua}} = 0.2052 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} - \text{K}}$$

Variación de Entropía del aire

$$\Delta_{s,\text{aire}} = 0.02702 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} - \text{K}}$$

Entropía de generación

$$S_{\text{gen}} = 0.01451 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} - \text{K}}$$

Exergía destruida

$$X_{\text{destruida}} = 4.301 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg de aire seco}}$$

Flujo másico de agua de reemplazo

$$\dot{m}_{\text{reemplazo}} = 0.01707 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

Acercamiento

$$\text{Acercamiento} = 17.2^{\circ}\text{C}$$

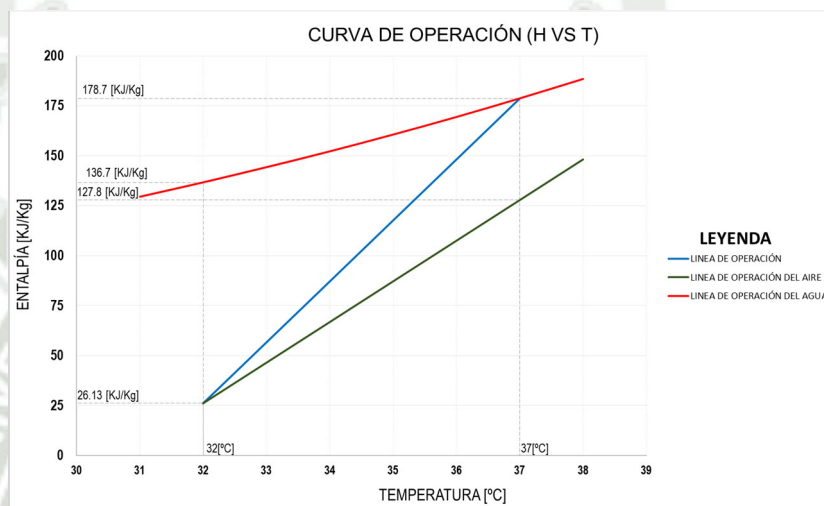
Eficiencia de la torre

$$\eta = 37.69 \%$$

Como resultado construimos la curva de operación de la torre de enfriamiento en la cual podemos observar que el agua (línea roja) desciende de una entalpia inicial de 178.7 KJ/Kg hasta 136.7 KJ/Kg, y la entalpia del aire inicia con 26.13 KJ/Kg y asciende hasta 127.8 KJ/Kg.

Figura 97

Curva de operación de la torre de enfriamiento





4. PRUEBAS Y RESULTADOS

Se realizó las pruebas en el laboratorio de Termofluidos pabellón O-309, al encender todas las resistencias del calentador con el caudal máximo de 60 LPM que proporciona la bomba obtenemos un aumento de temperatura de 0.8°C por minuto en una sección del tanque de 176 Litros en recirculación, con este calentamiento llegamos a una temperatura de 40°C desde una temperatura ambiente de 25°C en aproximadamente 17 minutos.

Figura 98

Pruebas de funcionamiento del módulo en el laboratorio de Termofluidos



Para la experimentación se determinó que la temperatura de ensayo del agua a enfriar sea de 40°C . Se realizó pruebas con todas las resistencias del calentador encendidas solamente en el caso del caudal de 60 LPM, debido a que a este caudal el tanque de 176 Litros entra al circuito en un tiempo aproximado de 3 minutos, por lo que para aumentar el tiempo de experimentación se mantienen las resistencias encendidas, permitiendo que en el caso el agua de la sección del tanque de agua enfriada rebose a la sección de agua a calentar se pueda continuar con la experimentación sin variación significativa por la mezcla de agua en los tanques de agua.

Para los ensayos de caudales menores de 55 LPM, se puede realizar los ensayos solamente precalentando el agua de una sección del tanque, teniendo las resistencias apagadas una vez

llegada a la temperatura deseada, los ensayos realizados se tomó mediciones cada 10 segundos para obtener la mayor cantidad de puntos para el análisis.

Figura 99

Pruebas de funcionamiento del módulo a 30 LPM en el laboratorio de Termofluidos



A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las pruebas.

4.1. Curvas Características de la Torre de Enfriamiento

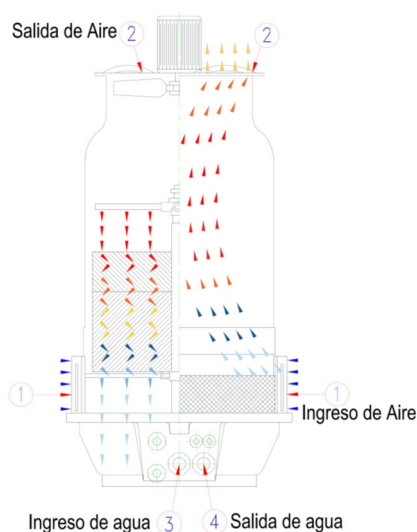
La caracterización del módulo de torre de enfriamiento se realizó para diferentes caudales y temperaturas. Se inició con ensayos a temperatura constante, considerando un caudal de 30 hasta los 50 LPM.

4.2. Curvas Obtenidas

Se realizó la experimentación 5 veces por cada caudal analizado. La siguiente figura definimos los puntos de referencia que se tomaron los datos para la experimentación.

Figura 100

Puntos de ingreso y salida de agua y aire en la torre de enfriamiento



4.2.1. Curvas Obtenidas con Apertura de 30 LPM de Caudal

Como datos constantes para este ensayo se tenemos:

Tabla 31

Datos iniciales para ensayo a 30 LPM de caudal y temperatura de agua de ingreso de 30°C

Caudal Q [Lt/min]	Presión P [PSI]	Temp. Bulbo seco T1 - TBS [°C]	Humedad $\phi 1$ [%]	Temp. Bulbo Humedo T1 - TBH [°C]
30.0	18.0	25.1	35	14.4

Tabla 32

Datos experimentación a 30 LPM de caudal y temperatura de agua de ingreso de 40°C

Nro de Muestra	Temp. de Ingreso T3 [°C]	Temp. de Salida T4 [°C]	Variación de Temp. Rango ΔT [°C]	Capacidad de Enfriamiento (TON)	Temp. Bulbo seco T2 - TBS [°C]	Humedad $\phi 2$ [%]	Eficiencia de la Torre (%)	Approach [°C]
1	38.4	29.4	9.0	5.3	25.2	99.0	37.3	15.0
2	38.0	29.1	8.9	5.3	25.3	99.0	35.4	14.7
3	37.6	29.0	8.6	5.1	25.4	99.0	34.6	14.6
4	37.1	28.9	8.2	4.9	25.1	99.0	34.8	14.5
5	36.6	28.1	8.5	5.1	25.2	99.0	35.7	13.7

6	36.1	28.4	7.8	4.6	25.2	99.0	34	14.0
7	35.7	28.5	7.2	4.3	25.3	99.0	31.7	14.1
8	34.7	27.8	7.0	4.1	25.3	99.0	30.7	13.4
9	33.6	27.7	5.9	3.5	25.1	99.0	28.9	13.3
10	32.9	27.5	5.4	3.2	24.9	99.0	28.2	13.1
11	32.1	26.7	5.4	3.2	25.0	99.0	27.2	12.3
12	31.6	26.8	4.8	2.8	24.9	99.0	25.4	12.4
13	31.2	26.2	5.0	3.0	24.8	99.0	25.7	11.8
14	30.9	25.7	5.1	3.1	24.9	99.0	26.7	11.3
15	30.3	25.8	4.5	2.6	25.0	99.0	24.2	11.4
16	29.8	25.6	4.2	2.5	25.0	99.0	24.8	11.2
17	29.6	25.1	4.6	2.7	24.8	99.0	26.1	10.7
18	29.4	25.1	4.3	2.6	24.8	99.0	24.8	10.7
19	29.3	25.1	4.2	2.5	24.8	98.2	26.1	10.7
20	29.0	24.6	4.4	2.6	24.5	98.0	26.5	10.2
21	28.7	24.9	3.8	2.2	24.3	97.8	25.9	10.5
22	28.5	24.6	4.0	2.4	24.4	97.6	27	10.2
23	28.3	24.2	4.1	2.4	24.5	97.6	27.6	9.8
24	28.3	24.1	4.1	2.4	24.3	97.4	26.1	9.7
25	28.2	24.0	4.2	2.5	24.2	97.2	25.5	9.6
26	28.0	23.8	4.2	2.5	24.2	97.2	24.8	9.4
27	27.8	24.0	3.7	2.2	24.0	97.0	25.8	9.6
28	27.6	23.7	3.9	2.3	24.3	96.8	26	9.3
29	27.5	23.5	3.9	2.3	23.8	96.6	26.7	9.1
30	27.5	23.7	3.8	2.2	23.7	96.8	25.7	9.3
31	27.4	23.4	3.9	2.3	23.6	96.6	26.4	9.0
32	27.4	23.2	4.2	2.5	23.6	96.6	26.2	8.8
33	27.3	23.2	4.0	2.4	23.4	96.4	26.2	8.8
34	27.1	22.9	4.3	2.5	23.4	96.4	27.8	8.5
35	27.0	23.0	4.0	2.4	23.2	96.4	27.7	8.6
36	26.9	23.1	3.8	2.3	23.2	96.2	26.3	8.7
37	26.6	23.0	3.6	2.2	23.4	96.2	35.6	8.6

Tabla 33

Incertezas a 30 LPM de caudal y temperatura de agua de ingreso de 40°C

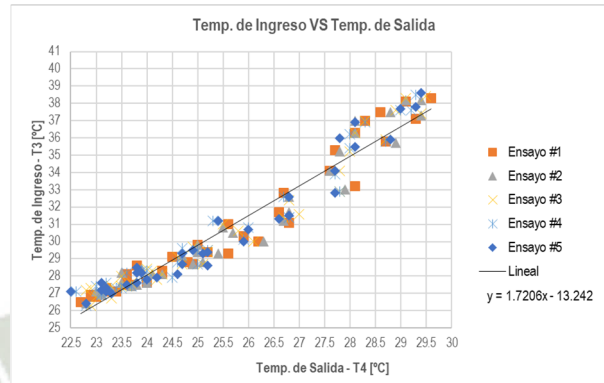
Nro de Muestra	Temp. de Ingreso T3 [°C]	Temp. de Salida T4 [°C]	Variación de Temp. Rango ΔT [°C]	Capacidad de Enfriamiento (TON)	Temp. Bulbo seco T2 - TBS [°C]	Humedad $\phi 2$ [%]	Eficiencia de la Torre (%)	Approach [°C]
1	38.4 ± 1.1	29.4 ± 1.1	9.0 ± 2.2	5.3 ± 2.5	25.2 ± 1.1	99.0 ± 5	37.3 ± 11.1	15.0 ± 1.2
2	38.0 ± 1.3	29.1 ± 1	8.9 ± 2.3	5.3 ± 2.6	25.3 ± 1.1	99.0 ± 5	35.4 ± 11.3	14.7 ± 1.1
3	37.6 ± 1.1	29.0 ± 1.2	8.6 ± 2.3	5.1 ± 2.6	25.4 ± 1.3	99.0 ± 5	34.6 ± 11.1	14.6 ± 1.3
4	37.1 ± 1.2	28.9 ± 1.6	8.2 ± 2.8	4.9 ± 3.1	25.1 ± 1.2	99.0 ± 5	34.8 ± 13.9	14.5 ± 1.7
5	36.6 ± 1.5	28.1 ± 1.2	8.5 ± 2.7	5.1 ± 3	25.2 ± 1	99.0 ± 5	35.7 ± 14.0	13.7 ± 1.3
6	36.1 ± 1.2	28.4 ± 1.3	7.8 ± 2.5	4.6 ± 2.8	25.2 ± 1.2	99.0 ± 5	34 ± 13.1	14.0 ± 1.4

7	35.7 ± 1.2	28.5 ± 1.4	7.2 ± 2.6	4.3 ± 2.9	25.3 ± 1.1	99.0 ± 5	31.7 ± 13.4	14.1 ± 1.5
8	34.7 ± 1.6	27.8 ± 1.1	7.0 ± 2.7	4.1 ± 3	25.3 ± 1.1	99.0 ± 5	30.7 ± 14.7	13.4 ± 1.2
9	33.6 ± 1.6	27.7 ± 1.1	5.9 ± 2.7	3.5 ± 3	25.1 ± 1.1	99.0 ± 5	28.9 ± 15.9	13.3 ± 1.2
10	32.9 ± 1.2	27.5 ± 1.6	5.4 ± 2.8	3.2 ± 3.1	24.9 ± 1.1	99.0 ± 5	28.2 ± 16.7	13.1 ± 1.7
11	32.1 ± 1.6	26.7 ± 1.1	5.4 ± 2.7	3.2 ± 3	25.0 ± 1.1	99.0 ± 5	27.2 ± 16.3	12.3 ± 1.2
12	31.6 ± 1.1	26.8 ± 1.1	4.8 ± 2.2	2.8 ± 2.5	24.9 ± 1.1	99.0 ± 5	25.4 ± 13.5	12.4 ± 1.2
13	31.2 ± 1.1	26.2 ± 1.7	5.0 ± 2.8	3.0 ± 3.1	24.8 ± 1.1	99.0 ± 5	25.7 ± 16.3	11.8 ± 1.8
14	30.9 ± 1.1	25.7 ± 1.2	5.1 ± 2.3	3.1 ± 2.6	24.9 ± 1.1	99.0 ± 5	26.7 ± 13.8	11.3 ± 1.3
15	30.3 ± 1.2	25.8 ± 1.1	4.5 ± 2.3	2.6 ± 2.6	25.0 ± 1.1	99.0 ± 5	24.2 ± 14.4	11.4 ± 1.2
16	29.8 ± 1.2	25.6 ± 1.7	4.2 ± 2.9	2.5 ± 3.2	25.0 ± 1.1	99.0 ± 5	24.8 ± 19.3	11.2 ± 1.8
17	29.6 ± 1.2	25.1 ± 1.1	4.6 ± 2.3	2.7 ± 2.6	24.8 ± 1.1	99.0 ± 5	26.1 ± 15.6	10.7 ± 1.2
18	29.4 ± 1.1	25.1 ± 1.1	4.3 ± 2.2	2.6 ± 2.5	24.8 ± 1	99.0 ± 5	24.8 ± 14.7	10.7 ± 1.2
19	29.3 ± 1.1	25.1 ± 1.4	4.2 ± 2.5	2.5 ± 2.8	24.8 ± 1.2	98.2 ± 6.2	26.1 ± 17.7	10.7 ± 1.5
20	29.0 ± 1.2	24.6 ± 1.1	4.4 ± 2.3	2.6 ± 2.6	24.5 ± 1.2	98.0 ± 6.5	26.5 ± 16.3	10.2 ± 1.2
21	28.7 ± 1	24.9 ± 1.1	3.8 ± 2.1	2.2 ± 2.4	24.3 ± 1.1	97.8 ± 6.8	25.9 ± 16.4	10.5 ± 1.2
22	28.5 ± 1.2	24.6 ± 1.6	4.0 ± 2.8	2.4 ± 3.1	24.4 ± 1	97.6 ± 7.2	27 ± 22.0	10.2 ± 1.7
23	28.3 ± 1.2	24.2 ± 1.3	4.1 ± 2.5	2.4 ± 2.8	24.5 ± 1.2	97.6 ± 7.2	27.6 ± 19.5	9.8 ± 1.4
24	28.3 ± 1.1	24.1 ± 1.2	4.1 ± 2.3	2.4 ± 2.6	24.3 ± 1.1	97.4 ± 7.5	26.1 ± 16.6	9.7 ± 1.3
25	28.2 ± 1	24.0 ± 1.2	4.2 ± 2.2	2.5 ± 2.5	24.2 ± 1.1	97.2 ± 7.8	25.5 ± 15.5	9.6 ± 1.3
26	28.0 ± 1.1	23.8 ± 1.3	4.2 ± 2.4	2.5 ± 2.7	24.2 ± 1.1	97.2 ± 7.8	24.8 ± 16.4	9.4 ± 1.4
27	27.8 ± 1.1	24.0 ± 1.1	3.7 ± 2.2	2.2 ± 2.5	24.0 ± 1.2	97.0 ± 8.1	25.8 ± 17.3	9.6 ± 1.2
28	27.6 ± 1.3	23.7 ± 1.4	3.9 ± 2.7	2.3 ± 3	24.3 ± 1.4	96.8 ± 8.4	26 ± 20.8	9.3 ± 1.5
29	27.5 ± 1.1	23.5 ± 1	3.9 ± 2.1	2.3 ± 2.4	23.8 ± 1.1	96.6 ± 8.7	26.7 ± 16.6	9.1 ± 1.1
30	27.5 ± 1.1	23.7 ± 1.1	3.8 ± 2.2	2.2 ± 2.5	23.7 ± 1.1	96.8 ± 8.4	25.7 ± 17.3	9.3 ± 1.2
31	27.4 ± 1.2	23.4 ± 1.3	3.9 ± 2.5	2.3 ± 2.8	23.6 ± 1.1	96.6 ± 8.7	26.4 ± 19.2	9.0 ± 1.4
32	27.4 ± 1.2	23.2 ± 1	4.2 ± 2.2	2.5 ± 2.5	23.6 ± 1.1	96.6 ± 8.7	26.2 ± 16.4	8.8 ± 1.1
33	27.3 ± 1.1	23.2 ± 1.1	4.0 ± 2.2	2.4 ± 2.5	23.4 ± 1.1	96.4 ± 9	26.2 ± 16.6	8.8 ± 1.2
34	27.1 ± 1	22.9 ± 1.3	4.3 ± 2.3	2.5 ± 2.6	23.4 ± 1.1	96.4 ± 9	27.8 ± 17.7	8.5 ± 1.4
35	27.0 ± 1.1	23.0 ± 1.1	4.0 ± 2.2	2.4 ± 2.5	23.2 ± 1.1	96.4 ± 9	27.7 ± 18.0	8.6 ± 1.2
36	26.9 ± 1.1	23.1 ± 1.1	3.8 ± 2.2	2.3 ± 2.5	23.2 ± 1.2	96.2 ± 9.3	26.3 ± 17.8	8.7 ± 1.2
37	26.6 ± 1.2	23.0 ± 1.2	3.6 ± 2.4	2.2 ± 2.7	23.4 ± 1	96.2 ± 9.3	35.6 ± 27.7	8.6 ± 1.3

En la siguiente grafica podemos observar la variación de la temperatura de ingreso y salida de la torre; a medida que desciende la temperatura de ingreso desciende la temperatura de salida, descendiendo también el rango de temperaturas, esto se debe a que, la temperatura de ingreso se aproxima a la temperatura ambiente, por lo que la cantidad de calor que se puede transferir del agua caliente al aire de la torre es menor, para el caudal ensayado de 30 LPM obtenemos un rango máximo de 9 °C.

Figura 101

Grafica de temperatura de ingreso del agua VS temperatura de salida a caudal constante de 30 LPM

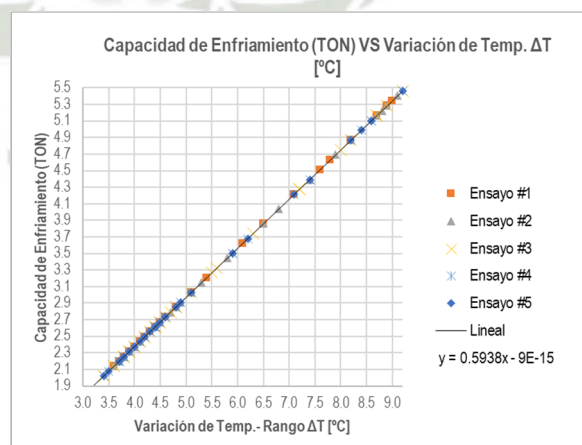


Nota: Los datos mostrados son el resultado de 5 ensayos a dicha temperatura y caudal.

En la siguiente grafica podemos observar la variación de la capacidad de enfriamiento y el rango de temperaturas; a medida que desciende el rango de temperaturas desciende también la capacidad de enfriamiento, debido a que es directamente proporcional al rango de temperaturas ΔT .

Figura 102

Grafica de capacidad de enfriamiento VS variación de temperatura del agua a caudal constante de 30 LPM

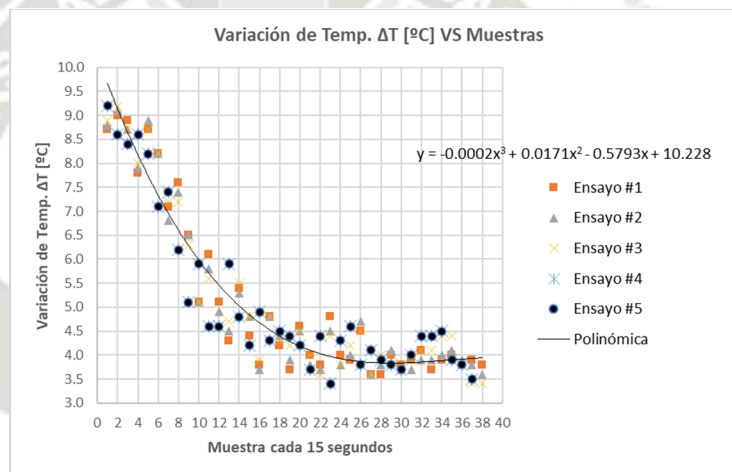


Nota: Los datos mostrados son el resultado de 5 ensayos a dicha temperatura y caudal.

En la siguiente grafica podemos observar la variación del rango de la torre versus el tiempo; a medida que avanza el tiempo de experimentación desciende el rango de temperaturas, el ensayo se inició con una temperatura de ingreso máxima de 38 °C y se obtuvo un rango de 9°C, a medida avanza el tiempo de experimentación la temperatura de ingreso y rango descienden, esto es debido a que la temperatura de ingreso se aproxima a la temperatura del ambiente.

Figura 103

Grafica de variación de temperatura del agua VS muestras en el tiempo a caudal constante de 30 LPM

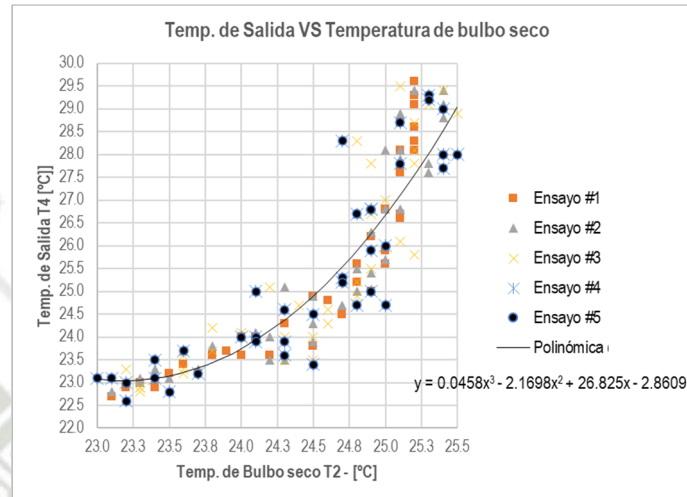


Nota: Los datos mostrados son el resultado de 5 ensayos a dicha temperatura y caudal.

En la siguiente grafica podemos observar la variación de la temperatura de salida del agua de la torre versus temperatura de salida del aire; el aire de salida aumenta su temperatura respecto a al aire de ingreso y a su vez la temperatura del agua de salida desciende respecto al agua de ingreso, al comparar las temperaturas de salida observamos que están en relación directamente proporcional, y que a medida de que avanza la experimentación se reducen hasta llegar a tener la misma temperatura, que es la temperatura ambiente.

Figura 104

Grafica de Temperatura de salida del agua VS Temperatura de bulbo seco a la salida del aire a caudal constante de 30 LPM

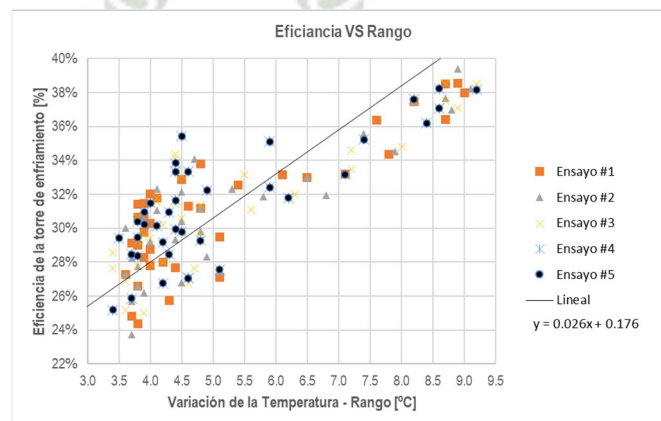


Nota: Los datos mostrados son el resultado de 5 ensayos a dicha temperatura y caudal.

En la siguiente grafica podemos observar eficiencia de la torre versus el rango de la torre; el ensayo se inició con una temperatura de ingreso máxima de 38 °C y se obtuvo un rango de 9°C, a medida avanza el tiempo de experimentación la temperatura de ingreso y rango descenden, al descender el rango afecta directamente a la eficiencia de la torre de enfriamiento que inicio con un 40%.

Figura 105

Grafica de Eficiencia VS Rango a caudal constante de 30 LPM



Nota: Los datos mostrados son el resultado de 5 ensayos a dicha temperatura y caudal.

4.2.2. Curvas Obtenidas con Apertura de 40 LPM de Caudal

Como datos constantes para este ensayo se tenemos:

Tabla 34

Datos iniciales para ensayo a 40 LPM de caudal y temperatura de agua de ingreso de 40°C

Caudal Q [Lt/min]	Presión P [PSI]	Temp. Bulbo seco T1 - TBS [°C]	Humedad ϕ 1 [%]	Temp. Bulbo Humedo T1 - TBH [°C]
40.0	13.5	23.3	34	12.9

Tabla 35

Datos experimentación a 40 LPM de caudal y temperatura de agua de ingreso de 40°C

Muestra	Temp. de Ingreso T3 [°C]	Temp. de Salida T4 [°C]	Variación de Temp. Rango ΔT [°C]	Capacidad de Enfriamiento (TON)	Temp. Bulbo seco T2 - TBS [°C]	Humedad ϕ 2 [%]	Eficienci a de la Torre (%)	Approach [°C]
1	41.9	28.1	13.8	10.9	28.2	99.0	47.6	15.20
2	41.6	27.8	13.8	10.9	28.2	99.0	35.4	14.92
3	41.5	27.8	13.6	10.8	28.1	99.0	34.6	14.94
4	41.0	27.7	13.2	10.5	28.2	99.0	34.8	14.82
5	40.4	27.8	12.5	9.9	28.2	99.0	35.7	14.94
6	40.0	28.1	11.9	9.4	28.3	99.0	34	15.20
7	39.1	28.0	11.0	8.7	28.2	99.0	31.7	15.12
8	38.3	27.8	10.5	8.3	28.1	99.0	30.7	14.92
9	37.9	27.9	10.0	7.9	27.8	99.0	28.9	14.98
10	37.7	27.7	10.0	7.9	27.9	99.0	28.2	14.78
11	37.1	27.6	9.5	7.5	27.9	99.0	27.2	14.68
12	36.2	27.7	8.5	6.7	27.9	99.0	25.4	14.80
13	34.8	27.6	7.1	5.7	27.8	99.0	25.7	14.74
14	33.8	27.7	6.2	4.9	27.5	99.0	26.7	14.78
15	33.2	27.5	5.7	4.5	27.6	99.0	24.2	14.62
16	32.7	27.4	5.4	4.3	27.6	99.0	24.8	14.46
17	32.9	27.4	5.5	4.4	27.7	99.0	26.1	14.54
18	32.8	27.2	5.6	4.4	27.6	99.0	24.8	14.30
19	32.0	27.0	5.1	4.0	27.5	98.2	26.1	14.08
20	31.3	27.1	4.2	3.3	27.2	98.0	26.5	14.22
21	30.8	27.0	3.8	3.0	27.2	97.8	25.9	14.08
22	30.1	26.5	3.6	2.8	27.0	97.6	27	13.60
23	29.4	26.2	3.3	2.6	27.1	97.6	27.6	13.26
24	29.2	26.1	3.0	2.4	26.8	97.4	26.1	13.24
25	28.6	25.6	3.0	2.4	26.6	97.2	25.5	12.72
26	28.3	25.2	3.1	2.5	26.5	97.2	24.8	12.26

27	27.9	25.0	2.9	2.3	26.4	97.0	25.8	12.08
28	27.7	25.0	2.7	2.1	26.2	96.8	26	12.10
29	27.8	24.8	3.0	2.4	25.7	96.6	26.7	11.90
30	16.5	14.8	1.8	1.4	15.2	96.8	25.7	1.86

Tabla 36

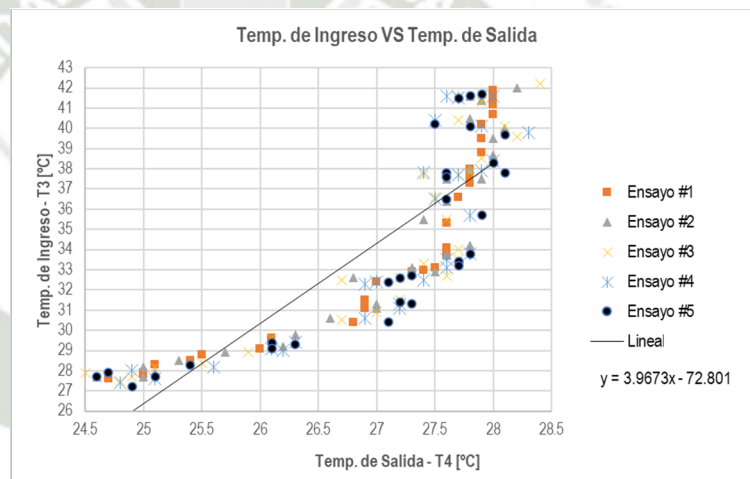
Incertezas a 40 LPM de caudal y temperatura de agua de ingreso de 40°C

Nro de Muestra	Temp. de Ingreso T3 [°C]	Temp. de Salida T4 [°C]	Variación de Temp. Rango ΔT [°C]	Capacidad de Enfriamiento (TON)	Temp. Bulbo seco T2 - TBS [°C]	Humedad φ2 [%]	Eficiencia de la Torre (%)	Approach [°C]
1	41.9 ± 1.2	28.1 ± 1.2	13.8 ± 2.4	10.9 ± 2.8	28.2 ± 1.1	99.0 ± 5	47.6 ± 10.5	15.2 ± 1.3
2	41.6 ± 1.1	27.8 ± 1.1	13.8 ± 2.2	10.9 ± 2.6	28.2 ± 1.1	99.0 ± 5	35.4 ± 7.3	14.9 ± 1.2
3	41.5 ± 1.1	27.8 ± 1.1	13.6 ± 2.2	10.8 ± 2.6	28.1 ± 1.1	99.0 ± 5	34.6 ± 7.1	14.9 ± 1.2
4	41.0 ± 1.5	27.7 ± 1.2	13.2 ± 2.7	10.5 ± 3.1	28.2 ± 1.1	99.0 ± 5	34.8 ± 9.2	14.8 ± 1.3
5	40.4 ± 1.2	27.8 ± 1.1	12.5 ± 2.3	9.9 ± 2.7	28.2 ± 1.1	99.0 ± 5	35.7 ± 8.4	14.9 ± 1.2
6	40.0 ± 1.2	28.1 ± 1.1	11.9 ± 2.3	9.4 ± 2.7	28.3 ± 1.1	99.0 ± 5	34 ± 8.4	15.2 ± 1.2
7	39.1 ± 1.6	28.0 ± 1.1	11.0 ± 2.7	8.7 ± 3.1	28.2 ± 1.1	99.0 ± 5	31.7 ± 9.9	15.1 ± 1.2
8	38.3 ± 1.5	27.8 ± 1.1	10.5 ± 2.6	8.3 ± 3	28.1 ± 1.2	99.0 ± 5	30.7 ± 9.7	14.9 ± 1.2
9	37.9 ± 1.1	27.9 ± 1.1	10.0 ± 2.2	7.9 ± 2.6	27.8 ± 1.1	99.0 ± 5	28.9 ± 7.9	15.0 ± 1.2
10	37.7 ± 1.1	27.7 ± 1.1	10.0 ± 2.2	7.9 ± 2.6	27.9 ± 1.1	99.0 ± 5	28.2 ± 7.7	14.8 ± 1.2
11	37.1 ± 1.5	27.6 ± 1.1	9.5 ± 2.6	7.5 ± 3	27.9 ± 1.1	99.0 ± 5	27.2 ± 9.4	14.7 ± 1.2
12	36.2 ± 1.4	27.7 ± 1.1	8.5 ± 2.5	6.7 ± 2.9	27.9 ± 1	99.0 ± 5	25.4 ± 9.3	14.8 ± 1.2
13	34.8 ± 1.8	27.6 ± 1.1	7.1 ± 2.9	5.7 ± 3.3	27.8 ± 1.1	99.0 ± 5	25.7 ± 12.8	14.7 ± 1.2
14	33.8 ± 1.3	27.7 ± 1.1	6.2 ± 2.4	4.9 ± 2.8	27.5 ± 1.3	99.0 ± 5	26.7 ± 12.5	14.8 ± 1.2
15	33.2 ± 1.5	27.5 ± 1.1	5.7 ± 2.6	4.5 ± 3	27.6 ± 1.1	99.0 ± 5	24.2 ± 13.2	14.6 ± 1.2
16	32.7 ± 1.2	27.4 ± 1.2	5.4 ± 2.4	4.3 ± 2.8	27.6 ± 1	99.0 ± 5	24.8 ± 13.1	14.5 ± 1.3
17	32.9 ± 1.2	27.4 ± 1.2	5.5 ± 2.4	4.4 ± 2.8	27.7 ± 1	99.0 ± 5	26.1 ± 13.3	14.5 ± 1.3
18	32.8 ± 1.4	27.2 ± 1.2	5.6 ± 2.6	4.4 ± 3	27.6 ± 1.1	99.0 ± 5	24.8 ± 13.6	14.3 ± 1.3
19	32.0 ± 1.6	27.0 ± 1.2	5.1 ± 2.8	4.0 ± 3.2	27.5 ± 1.1	98.2 ± 5.7	26.1 ± 17.2	14.1 ± 1.3
20	31.3 ± 1.1	27.1 ± 1.1	4.2 ± 2.2	3.3 ± 2.6	27.2 ± 1.1	98.0 ± 5.9	26.5 ± 15.8	14.2 ± 1.2
21	30.8 ± 1.3	27.0 ± 1.1	3.8 ± 2.4	3.0 ± 2.8	27.2 ± 1	97.8 ± 6.1	25.9 ± 18.6	14.1 ± 1.2
22	30.1 ± 1.5	26.5 ± 1.2	3.6 ± 2.7	2.8 ± 3.1	27.0 ± 1.2	97.6 ± 6.3	27 ± 23.1	13.6 ± 1.3
23	29.4 ± 1.3	26.2 ± 1.1	3.3 ± 2.4	2.6 ± 2.8	27.1 ± 1.2	97.6 ± 6.3	27.6 ± 23.4	13.3 ± 1.2
24	29.2 ± 1.1	26.1 ± 1.1	3.0 ± 2.2	2.4 ± 2.6	26.8 ± 1.3	97.4 ± 6.5	26.1 ± 20.7	13.2 ± 1.2
25	28.6 ± 1.3	25.6 ± 1.1	3.0 ± 2.4	2.4 ± 2.8	26.6 ± 1.1	97.2 ± 6.7	25.5 ± 23.0	12.7 ± 1.2
26	28.3 ± 1.2	25.2 ± 1.3	3.1 ± 2.5	2.5 ± 2.9	26.5 ± 1.2	97.2 ± 6.7	24.8 ± 22.4	12.3 ± 1.4
27	27.9 ± 1.5	25.0 ± 1.1	2.9 ± 2.6	2.3 ± 3	26.4 ± 1.1	97.0 ± 6.9	25.8 ± 26.3	12.1 ± 1.2
28	27.7 ± 1.1	25.0 ± 1.1	2.7 ± 2.2	2.1 ± 2.6	26.2 ± 1.1	96.8 ± 7	26 ± 23.6	12.1 ± 1.2
29	27.8 ± 1.1	24.8 ± 1.2	3.0 ± 2.3	2.4 ± 2.7	25.7 ± 1.5	96.6 ± 7.2	26.7 ± 22.9	11.9 ± 1.3

En la siguiente grafica podemos observar la variación de la temperatura de ingreso y salida de la torre; a medida que desciende la temperatura de ingreso desciende la temperatura de salida, descendiendo también el rango de temperaturas, esto se debe a que, la temperatura de ingreso se aproxima a la temperatura ambiente, por lo que la cantidad de calor que se puede transferir del agua caliente al aire de la torre es menor, para el caudal ensayado de 40 LPM obtenemos un rango máximo de 13.8 °C.

Figura 106

Grafica de temperatura de ingreso del agua VS temperatura de salida a caudal constante de 40 LPM

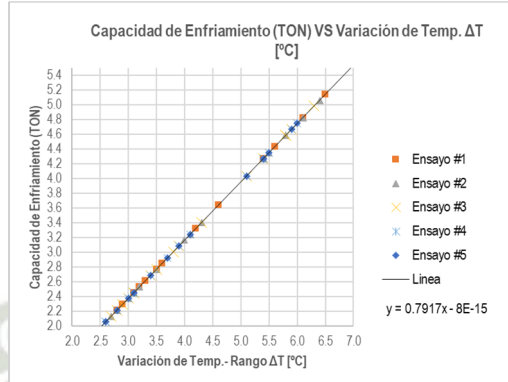


Nota: Los datos mostrados son el resultado de 5 ensayos a dicha temperatura y caudal.

En la siguiente grafica podemos observar la variación de la capacidad de enfriamiento y el rango de temperaturas; a medida que desciende el rango de temperaturas desciende también la capacidad de enfriamiento, debido a que es directamente proporcional al rango de temperaturas ΔT .

Figura 107

Grafica de capacidad de enfriamiento VS variación de temperatura del agua a caudal constante de 40 LPM

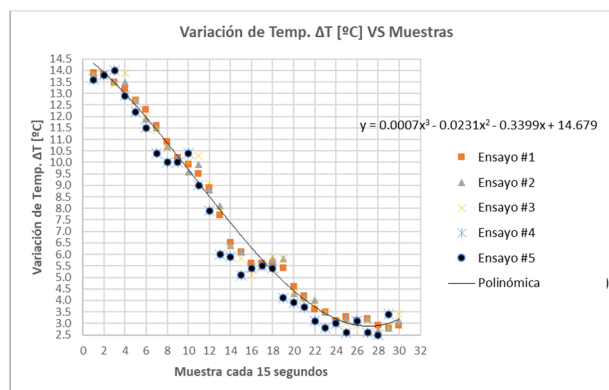


Nota: Los datos mostrados son el resultado de 5 ensayos a dicha temperatura y caudal.

En la siguiente grafica podemos observar la variación del rango de la torre versus el tiempo; a medida que avanza el tiempo de experimentación desciende el rango de temperaturas, el ensayo se inició con una temperatura de ingreso máxima de 41.9 °C y se obtuvo un rango de 13.8°C, a medida avanza el tiempo de experimentación la temperatura de ingreso y rango descienden, esto es debido a que la temperatura de ingreso se aproxima a la temperatura del ambiente.

Figura 108

Grafica de variación de temperatura del agua VS muestras en el tiempo a caudal constante de 40 LPM

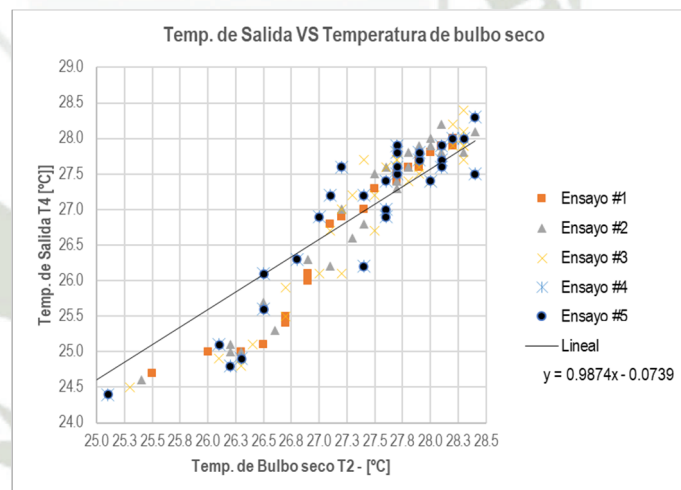


Nota: Los datos mostrados son el resultado de 5 ensayos a dicha temperatura y caudal.

En la siguiente grafica podemos observar la variación de la temperatura de salida del agua de la torre versus temperatura de salida del aire; el aire de salida aumenta su temperatura respecto a al aire de ingreso y a su vez la temperatura del agua de salida desciende respecto al agua de ingreso, al comparar las temperaturas de salida observamos que están en relación directamente proporcional, y que a medida de que avanza la experimentación se reducen hasta llegar a tener la misma temperatura, que es la temperatura ambiente.

Figura 109

Grafica de Temperatura de salida del agua VS Temperatura de bulbo seco a la salida del aire a caudal constante de 40 LPM

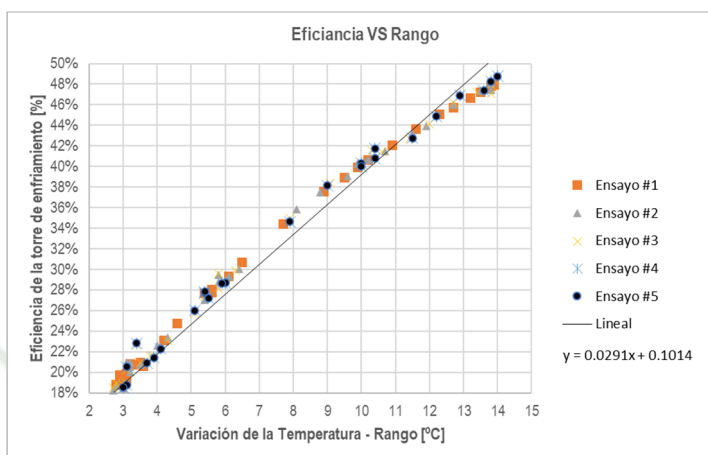


Nota: Los datos mostrados son el resultado de 5 ensayos a dicha temperatura y caudal.

En la siguiente grafica podemos observar eficiencia de la torre versus el rango de la torre; el ensayo se inició con una temperatura de ingreso máxima de 41.9 °C y se obtuvo un rango de 13.8°C, a medida avanza el tiempo de experimentación la temperatura de ingreso y rango descienden, al descender el rango afecta directamente a la eficiencia de la torre de enfriamiento que inicio con un 47.6%.

Figura 110

Grafica de Eficiencia VS Rango a caudal constante de 40 LPM



Nota: Los datos mostrados son el resultado de 5 ensayos a dicha temperatura y caudal.

4.2.3. Curvas Obtenidas con Apertura de 50 LPM de Caudal

Como datos constantes para este ensayo se tenemos:

Tabla 37

Datos iniciales para ensayo a 50 LPM de caudal y temperatura de agua de ingreso de 40°C

Caudal Q [Lt/min]	Presión P [PSI]	Temp. Bulbo seco T1 - TBS [°C]	Humedad φ1 [%]	Temp. Bulbo seco T1 - TBS [°C]
50.0	7.5	23.3	34	12.9

Tabla 38

Datos experimentación a 50 LPM de caudal y temperatura de agua de ingreso de 40°C

Muestra	Temp. de Ingreso T3 [°C]	Temp. de Salida T4 [°C]	Variación de Temp. Rango ΔT [°C]	Capacidad de Enfriamiento (TON)	Temp. Bulbo seco T2 - TBS [°C]	Humedad φ2 [%]	Eficiencia de la Torre (%)	Approach [°C]
1	38.8	28.1	10.7	10.6	28.8	99.0	41.3	15.2
2	38.7	28.5	10.2	10.1	28.7	99.0	35.4	15.6
3	38.2	28.5	9.8	9.7	28.6	99.0	34.6	15.6
4	37.7	28.3	9.4	9.3	28.6	99.0	34.8	15.4
5	36.8	28.4	8.4	8.4	28.5	99.0	35.7	15.5

6	36.1	28.4	7.7	7.6	28.5	99.0	34	15.5
7	35.1	28.3	6.8	6.7	28.9	99.0	31.7	15.4
8	33.4	27.9	5.5	5.5	28.9	99.0	30.7	15.0
9	31.4	27.1	4.3	4.3	28.5	99.0	28.9	14.2
10	30.7	26.2	4.5	4.4	28.3	99.0	28.2	13.3
11	29.8	25.1	4.7	4.6	27.7	99.0	27.2	12.2
12	29.3	24.7	4.5	4.5	26.9	99.0	25.4	11.8
13	28.6	24.2	4.4	4.4	26.3	99.0	25.7	11.3
14	27.9	23.7	4.2	4.1	26.1	99.0	26.7	10.8
15	27.7	23.5	4.2	4.2	26.1	99.0	24.2	10.6
16	27.4	23.1	4.3	4.2	26.0	99.0	24.8	10.2
17	27.2	22.8	4.4	4.3	25.9	99.0	26.1	9.9
18	27.0	22.6	4.5	4.4	26.1	99.0	24.8	9.7
19	26.7	22.2	4.4	4.4	25.8	98.2	26.1	9.3
20	26.5	22.0	4.5	4.5	25.5	98.0	26.5	9.1
21	26.6	22.1	4.5	4.5	25.3	97.8	25.9	9.2
22	26.2	21.8	4.4	4.4	25.2	97.6	27	8.9
23	25.7	22.1	3.6	3.6	25.1	97.6	27.6	9.2
24	25.5	22.1	3.4	3.4	25.1	97.4	26.1	9.2
25	25.7	22.1	3.6	3.5	25.1	97.2	25.5	9.2
26	25.6	21.5	4.0	4.0	24.8	97.2	24.8	8.6
27	25.4	20.9	4.5	4.5	24.7	97.0	25.8	8.0

Tabla 39

Incertezas a 50 LPM de caudal y temperatura de agua de ingreso de 40°C

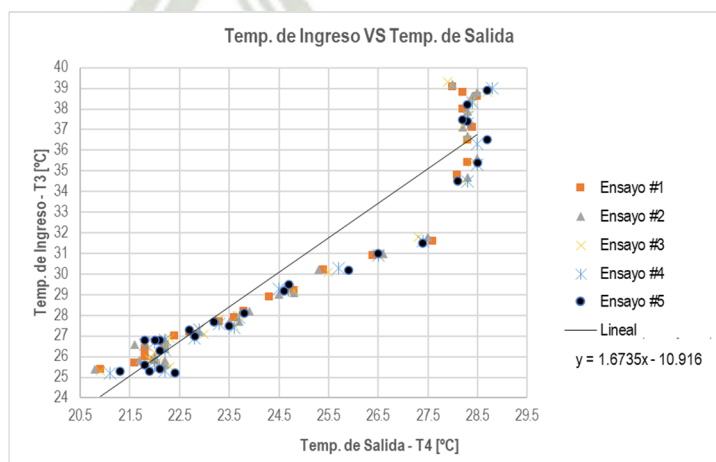
Nro de Muestra	Temp. de Ingreso T3 [°C]	Temp. de Salida T4 [°C]	Variación de Temp. Rango ΔT [°C]	Capacidad de Enfriamiento (TON)	Temp. Bulbo seco T2 - TBS [°C]	Humedad φ2 [%]	Eficiencia de la Torre (%)	Approach [°C]
1	38.8 ± 1.5	28.1 ± 1.2	10.7 ± 2.7	10.6 ± 3.2	28.8 ± 1.1	99.0 ± 5	41.3 ± 13.0	15.2 ± 1.3
2	38.7 ± 1.2	28.5 ± 1.2	10.2 ± 2.4	10.1 ± 2.8	28.7 ± 1.1	99.0 ± 5	35.4 ± 10.3	15.6 ± 1.3
3	38.2 ± 1.6	28.5 ± 1.1	9.8 ± 2.7	9.7 ± 3.1	28.6 ± 1.2	99.0 ± 5	34.6 ± 12.2	15.6 ± 1.2
4	37.7 ± 1.2	28.3 ± 1	9.4 ± 2.2	9.3 ± 2.6	28.6 ± 1.1	99.0 ± 5	34.8 ± 10.2	15.4 ± 1.1
5	36.8 ± 1.4	28.4 ± 1.2	8.4 ± 2.6	8.4 ± 3	28.5 ± 1.1	99.0 ± 5	35.7 ± 13.5	15.5 ± 1.3
6	36.1 ± 1.6	28.4 ± 1.1	7.7 ± 2.7	7.6 ± 3.1	28.5 ± 1.1	99.0 ± 5	34 ± 14.7	15.5 ± 1.2
7	35.1 ± 1.5	28.3 ± 1.1	6.8 ± 2.6	6.7 ± 3	28.9 ± 1.1	99.0 ± 5	31.7 ± 14.6	15.4 ± 1.2
8	33.4 ± 2.5	27.9 ± 1.4	5.5 ± 3.9	5.5 ± 4.3	28.9 ± 1.1	99.0 ± 5	30.7 ± 26.0	15.0 ± 1.5
9	31.4 ± 1.4	27.1 ± 1.5	4.3 ± 2.9	4.3 ± 3.3	28.5 ± 1.2	99.0 ± 5	28.9 ± 22.1	14.2 ± 1.6
10	30.7 ± 1.4	26.2 ± 1.4	4.5 ± 2.8	4.4 ± 3.2	28.3 ± 1.1	99.0 ± 5	28.2 ± 20.2	13.3 ± 1.5
11	29.8 ± 1.5	25.1 ± 1.4	4.7 ± 2.9	4.6 ± 3.3	27.7 ± 1.5	99.0 ± 5	27.2 ± 19.7	12.2 ± 1.5
12	29.3 ± 1.1	24.7 ± 1.1	4.5 ± 2.2	4.5 ± 2.6	26.9 ± 1.2	99.0 ± 5	25.4 ± 14.3	11.8 ± 1.2
13	28.6 ± 1.5	24.2 ± 1.4	4.4 ± 2.9	4.4 ± 3.3	26.3 ± 1.5	99.0 ± 5	25.7 ± 19.9	11.3 ± 1.5

14	27.9 ± 1.3	23.7 ± 1.1	4.2 ± 2.4	4.1 ± 2.8	26.1 ± 1.2	99.0 ± 5	26.7 ± 18.1	10.8 ± 1.2
15	27.7 ± 1.1	23.5 ± 1.2	4.2 ± 2.3	4.2 ± 2.7	26.1 ± 1.1	99.0 ± 5	24.2 ± 15.5	10.6 ± 1.3
16	27.4 ± 1.4	23.1 ± 1.3	4.3 ± 2.7	4.2 ± 3.1	26.0 ± 1.3	99.0 ± 5	24.8 ± 18.5	10.2 ± 1.4
17	27.2 ± 1.1	22.8 ± 1.1	4.4 ± 2.2	4.3 ± 2.6	25.9 ± 1.2	99.0 ± 5	26.1 ± 15.6	9.9 ± 1.2
18	27.0 ± 1.2	22.6 ± 1.4	4.5 ± 2.6	4.4 ± 3	26.1 ± 1.1	99.0 ± 5	24.8 ± 17.3	9.7 ± 1.5
19	26.7 ± 1.3	22.2 ± 1.1	4.4 ± 2.4	4.4 ± 2.8	25.8 ± 1.1	98.2 ± 5.7	26.1 ± 17.0	9.3 ± 1.2
20	26.5 ± 1.2	22.0 ± 1.1	4.5 ± 2.3	4.5 ± 2.7	25.5 ± 1.2	98.0 ± 5.9	26.5 ± 16.5	9.1 ± 1.2
21	26.6 ± 1.1	22.1 ± 1.1	4.5 ± 2.2	4.5 ± 2.6	25.3 ± 1.2	97.8 ± 6.1	25.9 ± 15.3	9.2 ± 1.2
22	26.2 ± 1.4	21.8 ± 1.1	4.4 ± 2.5	4.4 ± 2.9	25.2 ± 1.1	97.6 ± 6.3	27 ± 18.9	8.9 ± 1.2
23	25.7 ± 1.4	22.1 ± 1.2	3.6 ± 2.6	3.6 ± 3	25.1 ± 1.2	97.6 ± 7.2	27.6 ± 23.7	9.2 ± 1.3
24	25.5 ± 1.1	22.1 ± 1.1	3.4 ± 2.2	3.4 ± 2.6	25.1 ± 1	97.4 ± 7.5	26.1 ± 19.8	9.2 ± 1.2
25	25.7 ± 1.1	22.1 ± 1.1	3.6 ± 2.2	3.5 ± 2.6	25.1 ± 1.1	97.2 ± 7.6	25.5 ± 18.4	9.2 ± 1.2
26	25.6 ± 1.2	21.5 ± 1.3	4.0 ± 2.5	4.0 ± 2.9	24.8 ± 1.2	97.2 ± 8.4	24.8 ± 18.1	8.6 ± 1.4

En la siguiente grafica podemos observar la variación de la temperatura de ingreso y salida de la torre; a medida que desciende la temperatura de ingreso desciende la temperatura de salida, descendiendo también el rango de temperaturas, esto se debe a que, la temperatura de ingreso se aproxima a la temperatura ambiente, por lo que la cantidad de calor que se puede transferir del agua caliente al aire de la torre es menor, para el caudal ensayado de 50 LPM obtenemos un rango máximo de 10.7 °C.

Figura 111

Grafica de temperatura de ingreso del agua VS temperatura de salida a caudal constante de 50 LPM

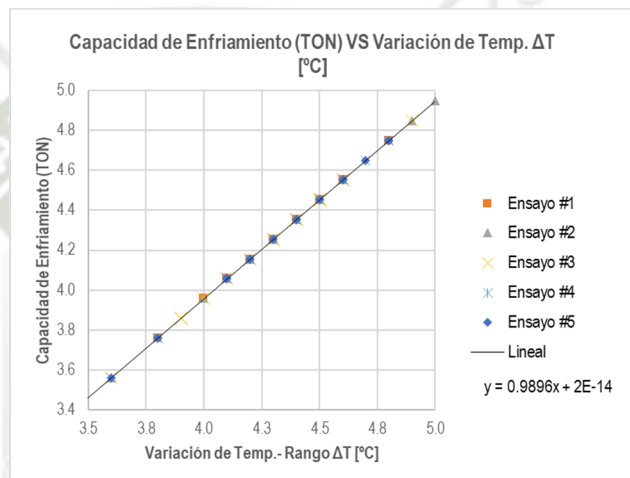


Nota: Los datos mostrados son el resultado de 5 ensayos a dicha temperatura y caudal.

En la siguiente grafica podemos observar la variación de la capacidad de enfriamiento y el rango de temperaturas; a medida que desciende el rango de temperaturas desciende también la capacidad de enfriamiento, debido a que es directamente proporcional al rango de temperaturas ΔT .

Figura 112

Grafica de capacidad de enfriamiento VS variación de temperatura del agua a caudal constante de 50 LPM

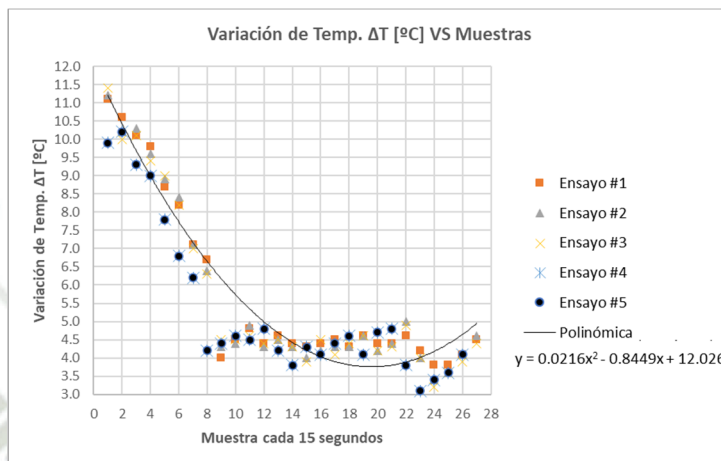


Nota: Los datos mostrados son el resultado de 5 ensayos a dicha temperatura y caudal.

En la siguiente grafica podemos observar la variación del rango de la torre versus el tiempo; a medida que avanza el tiempo de experimentación desciende el rango de temperaturas, el ensayo se inició con una temperatura de ingreso máxima de 38.8 °C y se obtuvo un rango de 10.7°C, a medida avanza el tiempo de experimentación la temperatura de ingreso y rango descienden, esto es debido a que la temperatura de ingreso se aproxima a la temperatura del ambiente.

Figura 113

Grafica de variación de temperatura del agua VS muestras en el tiempo a caudal constante de 50 LPM

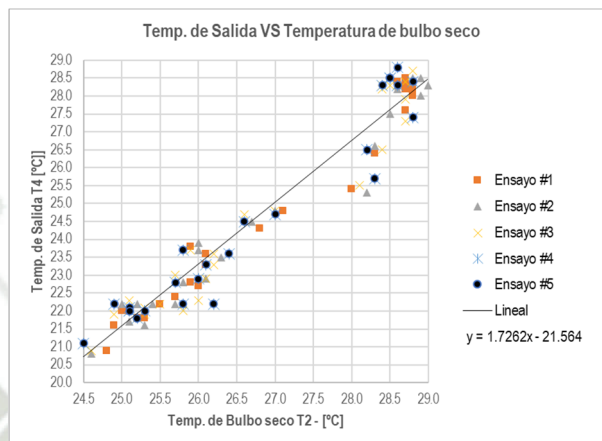


Nota: Los datos mostrados son el resultado de 5 ensayos a dicha temperatura y caudal.

En la siguiente grafica podemos observar la variación de la temperatura de salida del agua de la torre versus temperatura de salida del aire; el aire de salida aumenta su temperatura respecto a al aire de ingreso y a su vez la temperatura del agua de salida desciende respecto al agua de ingreso, al comparar las temperaturas de salida observamos que están en relación directamente proporcional, y que a medida de que avanza la experimentación se reducen hasta llegar a tener la misma temperatura, que es la temperatura ambiente.

Figura 114

Grafica de Temperatura de salida del agua VS Temperatura de bulbo seco a la salida del aire a caudal constante de 50 LPM

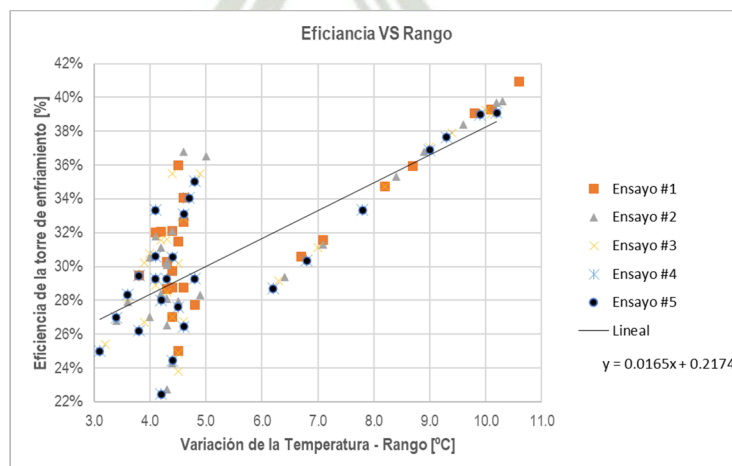


Nota: Los datos mostrados son el resultado de 5 ensayos a dicha temperatura y caudal.

En la siguiente grafica podemos observar eficiencia de la torre versus el rango de la torre; el ensayo se inició con una temperatura de ingreso máxima de 38.8 °C y se obtuvo un rango de 10.7°C, a medida avanza el tiempo de experimentación la temperatura de ingreso y rango disminuyen, al disminuir el rango afecta directamente a la eficiencia de la torre de enfriamiento que inicio con un 41.3%.

Figura 115

Grafica de Eficiencia VS Rango a caudal constante de 50 LPM



Nota: Los datos mostrados son el resultado de 5 ensayos a dicha temperatura y caudal.

4.2.4. Curvas Obtenidas con Apertura de 60 LPM de Caudal

Como datos constantes para este ensayo se tenemos:

Tabla 40

Datos iniciales para ensayo a 60 LPM de caudal y temperatura de agua de ingreso de 40°C

Caudal Q [Lt/min]	Presión P [PSI]	Temp. Bulbo seco T1 - TBS [°C]	Humedad $\phi 1$ [%]	Temp. Bulbo seco T1 - TBS [°C]
60.0	3	23.3	34	12.9

Tabla 41

Datos experimentación a 60 LPM de caudal y temperatura de agua de ingreso de 40°C

Muestra	Temp. de Ingreso T3 [°C]	Temp. de Salida T4 [°C]	Variación de Temp. Rango ΔT [°C]	Capacidad de Enfriamiento (TON)	Temp. Bulbo seco T2 - TBS [°C]	Humedad $\phi 2$ [%]	Eficiencia de la Torre (%)	Approach [°C]
1	40.5	30.1	10.5	12.4	28.1	99.0	37.8	17.18
2	40.2	30.1	10.1	11.9	28.1	99.0	35.4	17.24
3	39.8	30.1	9.7	11.5	28.3	99.0	34.6	17.24
4	39.2	30.2	9.1	10.8	28.1	99.0	34.8	17.26
5	39.5	30.0	9.5	11.3	28.0	99.0	35.7	17.12
6	39.2	30.1	9.2	10.9	28.1	99.0	34	17.16
7	36.0	29.6	6.4	7.6	27.9	99.0	31.7	16.66
8	34.3	28.8	5.5	6.5	27.9	99.0	30.7	15.92
9	33.8	27.8	5.9	7.1	27.6	99.0	28.9	14.92
10	32.2	27.3	4.9	5.8	27.4	99.0	28.2	14.36
11	31.4	26.4	5.0	5.9	27.3	99.0	27.2	13.50
12	31.0	25.9	5.1	6.0	27.3	99.0	25.4	12.98
13	30.8	25.8	5.0	6.0	27.4	99.0	25.7	12.88
14	30.7	25.5	5.2	6.2	27.2	99.0	26.7	12.56
15	30.3	25.5	4.8	5.7	27.1	99.0	24.2	12.58
16	30.0	25.4	4.6	5.4	26.9	99.0	24.8	12.48
17	30.1	25.4	4.7	5.6	27.0	99.0	26.1	12.48
18	30.0	25.3	4.8	5.7	27.0	99.0	24.8	12.38
19	29.7	24.9	4.8	5.7	26.7	98.2	26.1	12.04
20	29.7	25.1	4.6	5.5	26.5	98.0	26.5	12.18
21	29.6	25.1	4.5	5.4	26.4	97.8	25.9	12.16
22	28.8	24.8	3.9	4.7	26.4	97.6	27	11.92
23	27.7	24.7	2.9	3.5	26.4	97.6	27.6	11.84

24	26.9	24.5	2.3	2.8	26.4	97.4	26.1	11.64
25	26.6	23.9	2.8	3.3	26.1	97.2	25.5	10.98
26	26.7	23.6	3.2	3.8	25.9	97.2	24.8	10.66
27	26.6	23.3	3.2	3.8	25.8	97.0	25.8	10.44
28	26.5	23.3	3.2	3.8	25.8	96.8	26	10.38
29	26.4	23.3	3.1	3.7	25.6	96.6	26.7	10.44
30	26.4	23.5	2.9	3.4	25.6	96.8	25.7	10.58
31	26.3	23.3	3.0	3.6	25.6	96.6	26.4	10.42

Tabla 42

Incertezas a 60 LPM de caudal y temperatura de agua de ingreso de 40°C

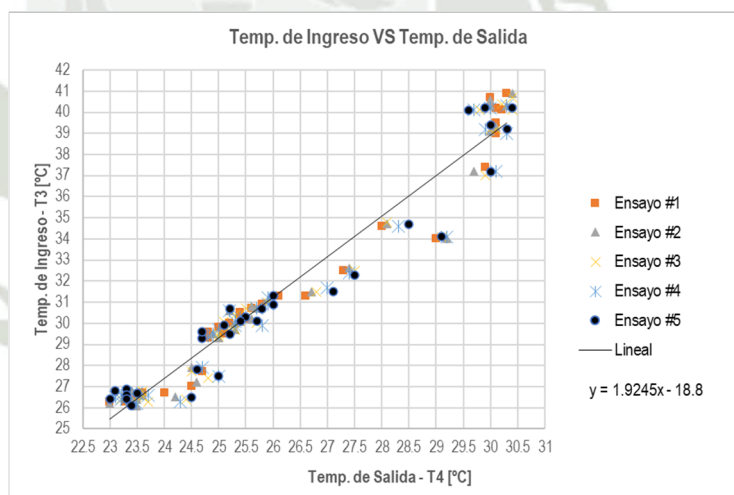
Nro de Muestra	Temp. de Ingreso T3 [°C]	Temp. de Salida T4 [°C]	Variación de Temp. Rango ΔT [°C]	Capacidad de Enfriamiento (TON)	Temp. Bulbo seco T2 - TBS [°C]	Humedad φ2 [%]	Eficiencia de la Torre (%)	Approach [°C]
1	40.5 ± 1.4	30.1 ± 1.4	10.5 ± 2.8	12.4 ± 3.4	28.1 ± 1.3	99.0 ± 5	37.8 ± 12.3	17.2 ± 1.5
2	40.2 ± 1.1	30.1 ± 1.2	10.1 ± 2.3	11.9 ± 2.6	28.1 ± 1.2	99.0 ± 5	35.4 ± 9.8	17.2 ± 1.3
3	39.8 ± 1.5	30.1 ± 1.2	9.7 ± 2.7	11.5 ± 3	28.3 ± 1.1	99.0 ± 5	34.6 ± 11.9	17.2 ± 1.3
4	39.2 ± 1.1	30.2 ± 1.1	9.1 ± 2.2	10.8 ± 2.5	28.1 ± 1.1	99.0 ± 5	34.8 ± 10.3	17.3 ± 1.2
5	39.5 ± 1.5	30.0 ± 1.1	9.5 ± 2.6	11.3 ± 2.9	28.0 ± 1.2	99.0 ± 5	35.7 ± 12.1	17.1 ± 1.2
6	39.2 ± 2.7	30.1 ± 1.1	9.2 ± 3.8	10.9 ± 4.1	28.1 ± 1.1	99.0 ± 5	34 ± 18.1	17.2 ± 1.2
7	36.0 ± 2.5	29.6 ± 1.3	6.4 ± 3.8	7.6 ± 4.1	27.9 ± 1	99.0 ± 5	31.7 ± 22.7	16.7 ± 1.4
8	34.3 ± 1.3	28.8 ± 1.4	5.5 ± 2.7	6.5 ± 3	27.9 ± 1.1	99.0 ± 5	30.7 ± 17.3	15.9 ± 1.5
9	33.8 ± 2.2	27.8 ± 1.3	5.9 ± 3.5	7.1 ± 3.8	27.6 ± 1.1	99.0 ± 5	28.9 ± 20.4	14.9 ± 1.4
10	32.2 ± 1.5	27.3 ± 1.2	4.9 ± 2.7	5.8 ± 3	27.4 ± 1.1	99.0 ± 5	28.2 ± 18.1	14.4 ± 1.3
11	31.4 ± 1.1	26.4 ± 1.4	5.0 ± 2.5	5.9 ± 2.8	27.3 ± 1.2	99.0 ± 5	27.2 ± 15.6	13.5 ± 1.5
12	31.0 ± 1.2	25.9 ± 1.1	5.1 ± 2.3	6.0 ± 2.6	27.3 ± 1.2	99.0 ± 5	25.4 ± 13.5	13.0 ± 1.2
13	30.8 ± 1.1	25.8 ± 1.1	5.0 ± 2.2	6.0 ± 2.5	27.4 ± 1.1	99.0 ± 5	25.7 ± 13.3	12.9 ± 1.2
14	30.7 ± 1	25.5 ± 1.2	5.2 ± 2.2	6.2 ± 2.5	27.2 ± 1.2	99.0 ± 5	26.7 ± 13.2	12.6 ± 1.3
15	30.3 ± 1.2	25.5 ± 1.2	4.8 ± 2.4	5.7 ± 2.7	27.1 ± 1.1	99.0 ± 5	24.2 ± 14.1	12.6 ± 1.3
16	30.0 ± 1.3	25.4 ± 1.2	4.6 ± 2.5	5.4 ± 2.8	26.9 ± 1.1	99.0 ± 5	24.8 ± 15.8	12.5 ± 1.3
17	30.1 ± 1.2	25.4 ± 1.1	4.7 ± 2.3	5.6 ± 2.6	27.0 ± 1.2	99.0 ± 5	26.1 ± 15.0	12.5 ± 1.2
18	30.0 ± 1.1	25.3 ± 1.1	4.8 ± 2.2	5.7 ± 2.5	27.0 ± 1.2	99.0 ± 5	24.8 ± 13.6	12.4 ± 1.2
19	29.7 ± 1.3	24.9 ± 1.2	4.8 ± 2.5	5.7 ± 2.8	26.7 ± 1.2	98.2 ± 5.7	26.1 ± 16.1	12.0 ± 1.3
20	29.7 ± 1.2	25.1 ± 1.2	4.6 ± 2.4	5.5 ± 2.7	26.5 ± 1.1	98.0 ± 5.9	26.5 ± 16.2	12.2 ± 1.3
21	29.6 ± 1.1	25.1 ± 1.2	4.5 ± 2.3	5.4 ± 2.6	26.4 ± 1.1	97.8 ± 6.1	25.9 ± 15.4	12.2 ± 1.3
22	28.8 ± 1.7	24.8 ± 1.1	3.9 ± 2.8	4.7 ± 3.1	26.4 ± 1.1	97.6 ± 6.3	27 ± 22.4	11.9 ± 1.2
23	27.7 ± 1.1	24.7 ± 1.2	2.9 ± 2.3	3.5 ± 2.6	26.4 ± 1	97.6 ± 6.3	27.6 ± 23.7	11.8 ± 1.3
24	26.9 ± 1.4	24.5 ± 1.1	2.3 ± 2.5	2.8 ± 2.8	26.4 ± 1.1	97.4 ± 6.5	26.1 ± 30.4	11.6 ± 1.2
25	26.6 ± 1.2	23.9 ± 1.4	2.8 ± 2.6	3.3 ± 2.9	26.1 ± 1.2	97.2 ± 6.7	25.5 ± 27.4	11.0 ± 1.5
26	26.7 ± 1.1	23.6 ± 1.1	3.2 ± 2.2	3.8 ± 2.5	25.9 ± 1.2	97.2 ± 6.7	24.8 ± 20.1	10.7 ± 1.2
27	26.6 ± 1.1	23.3 ± 1.2	3.2 ± 2.3	3.8 ± 2.6	25.8 ± 1.1	97.0 ± 6.9	25.8 ± 20.6	10.4 ± 1.3

28	26.5 ± 1.1	23.3 ± 1.1	3.2 ± 2.2	3.8 ± 2.5	25.8 ± 1.1	96.8 ± 7	26 ± 20.5	10.4 ± 1.2
29	26.4 ± 1	23.3 ± 1	3.1 ± 2	3.7 ± 2.3	25.6 ± 1.1	96.6 ± 7.2	26.7 ± 19.8	10.4 ± 1.1
30	26.4 ± 1.2	23.5 ± 1.1	2.9 ± 2.3	3.4 ± 2.6	25.6 ± 1.1	96.8 ± 7	25.7 ± 23.3	10.6 ± 1.2
31	26.3 ± 1.1	23.3 ± 1.2	3.0 ± 2.3	3.6 ± 2.6	25.6 ± 1.1	96.6 ± 7.2	26.4 ± 23.0	10.4 ± 1.3

En la siguiente grafica podemos observar la variación de la temperatura de ingreso y salida de la torre; a medida que desciende la temperatura de ingreso desciende la temperatura de salida, descendiendo también el rango de temperaturas, esto se debe a que, la temperatura de ingreso se aproxima a la temperatura ambiente, por lo que la cantidad de calor que se puede transferir del agua caliente al aire de la torre es menor, para el caudal ensayado de 60 LPM obtenemos un rango máximo de 10.5 °C.

Figura 116

Grafica de temperatura de ingreso del agua VS temperatura de salida a caudal constante de 60 LPM

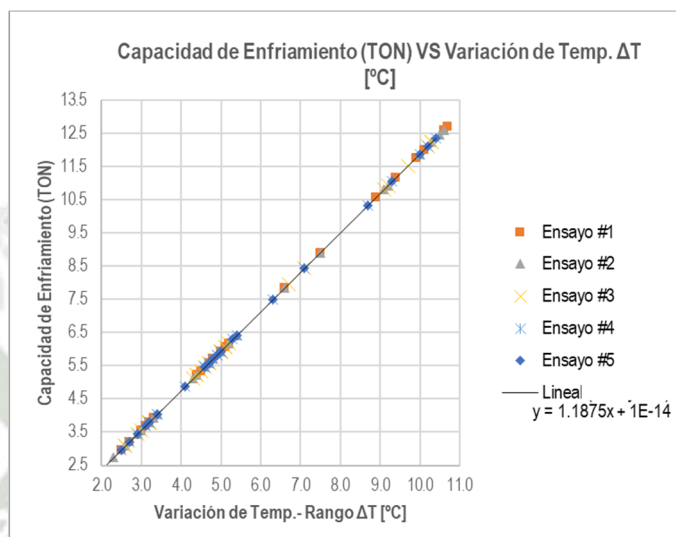


Nota: Los datos mostrados son el resultado de 5 ensayos a dicha temperatura y caudal.

En la siguiente grafica podemos observar la variación de la capacidad de enfriamiento y el rango de temperaturas; a medida que desciende el rango de temperaturas desciende también la capacidad de enfriamiento, debido a que es directamente proporcional al rango de temperaturas ΔT .

Figura 117

Grafica de capacidad de enfriamiento VS variación de temperatura del agua a caudal constante de 60 LPM

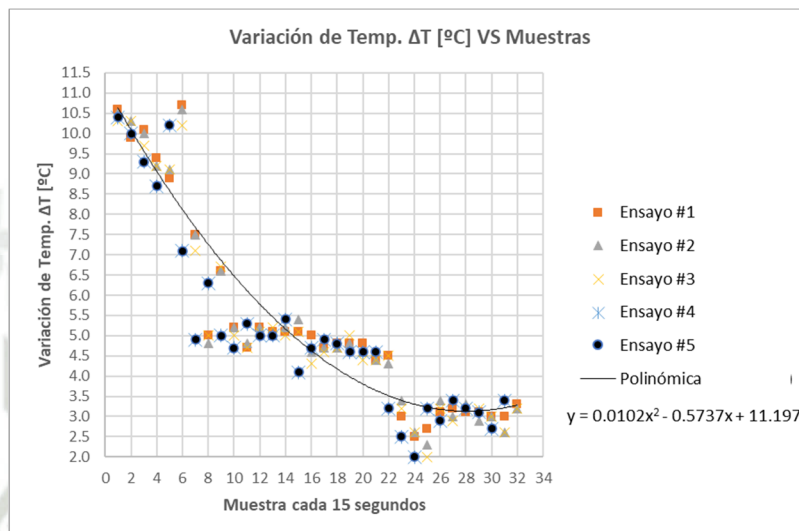


Nota: Los datos mostrados son el resultado de 5 ensayos a dicha temperatura y caudal.

En la siguiente grafica podemos observar la variación del rango de la torre versus el tiempo; a medida que avanza el tiempo de experimentación descende el rango de temperaturas, el ensayo se inició con una temperatura de ingreso máxima de 40.5 °C y se obtuvo un rango de 10.5°C, a medida avanza el tiempo de experimentación la temperatura de ingreso y rango disminuyen, esto es debido a que la temperatura de ingreso se aproxima a la temperatura del ambiente.

Figura 118

Grafica de variación de temperatura del agua VS muestras en el tiempo a caudal constante de 60 LPM

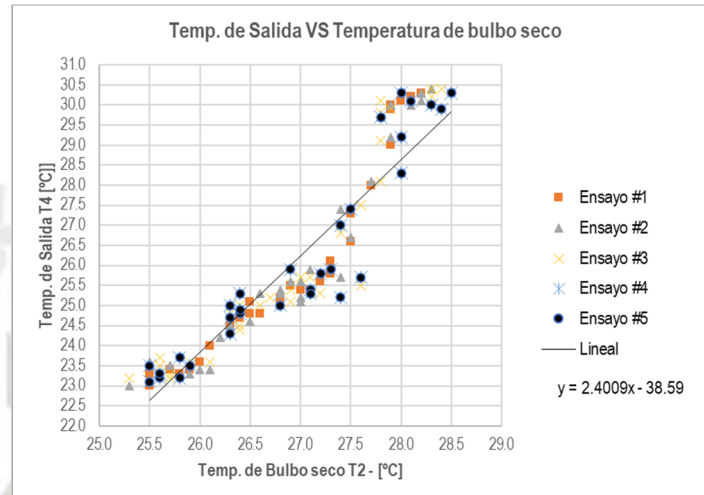


Nota: Los datos mostrados son el resultado de 5 ensayos a dicha temperatura y caudal.

En la siguiente grafica podemos observar la variación de la temperatura de salida del agua de la torre versus temperatura de salida del aire; el aire de salida aumenta su temperatura respecto a al aire de ingreso y a su vez la temperatura del agua de salida desciende respecto al agua de ingreso, al comparar las temperaturas de salida observamos que están en relación directamente proporcional, y que a medida de que avanza la experimentación se reducen hasta llegar a tener la misma temperatura, que es la temperatura ambiente.

Figura 119

Grafica de Temperatura de salida del agua VS Temperatura de bulbo seco a la salida del aire a caudal constante de 60 LPM

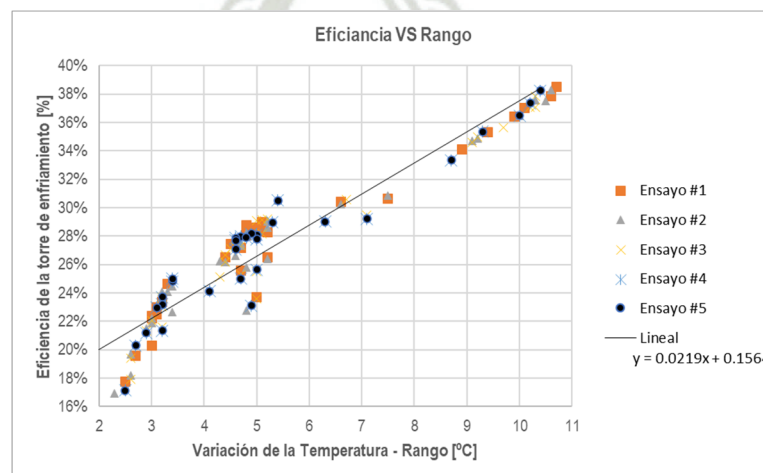


Nota: Los datos mostrados son el resultado de 5 ensayos a dicha temperatura y caudal.

En la siguiente grafica podemos observar eficiencia de la torre versus el rango de la torre; el ensayo se inició con una temperatura de ingreso máxima de 40.5 °C y se obtuvo un rango de 10.5°C, a medida avanza el tiempo de experimentación la temperatura de ingreso y rango disminuyen, al disminuir el rango afecta directamente a la eficiencia de la torre de enfriamiento que inicio con un 37.8%.

Figura 120

Grafica de Eficiencia VS Rango a caudal constante de 60 LPM



Nota: Los datos mostrados son el resultado de 5 ensayos a dicha temperatura y caudal.



5. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO

5.1. Análisis Económico

Para realizar la evaluación económica del proyecto, se desarrolló un presupuesto del módulo donde se incluirá materiales y equipos mecánicos.

El presupuesto del módulo contempla: Bombas, Cableado eléctrico, calentador de agua por resistencias, equipos de medición, estructura soporte metálica, sensores, tablero eléctrico, torre de enfriamiento y tubería de agua por lo que se realizará una tabla distribuida con los puntos mencionados.

Tabla 43

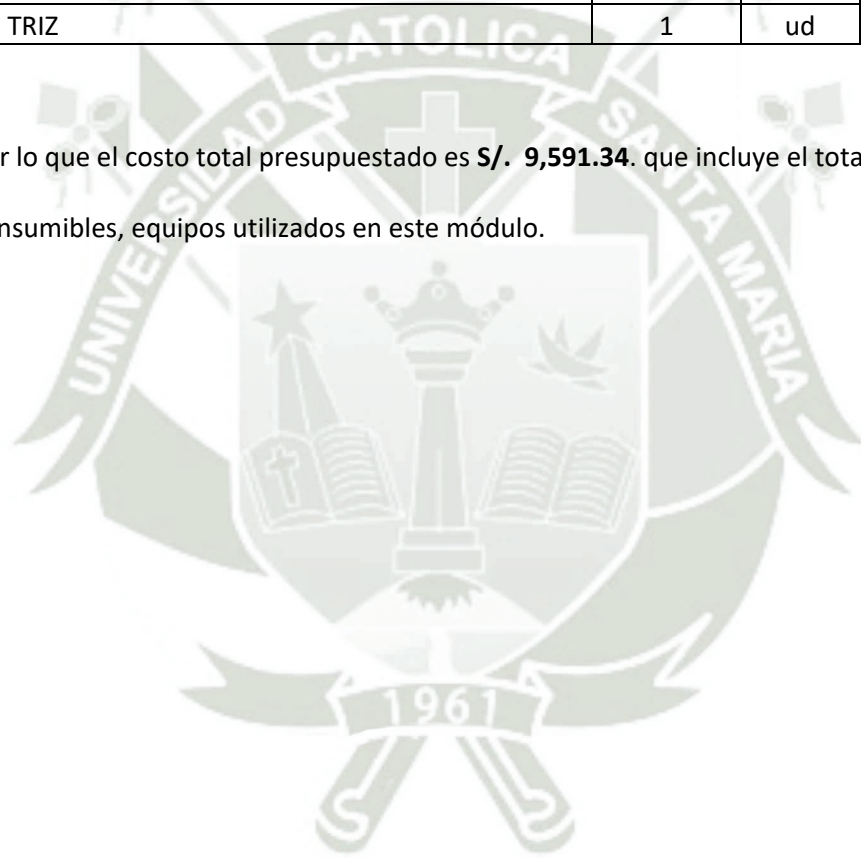
Costos de implementación del módulo

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	SUBTOTAL
*BOMBAS CENTRIFUGAS				S/ 484.90
BOMBA CENTRIFUGA HUMBOLT 1/2 HP	1	ud	S/ 234.90	S/ 234.90
ELECTROBOMBA MEBA 1/2 HP	1	ud	S/ 250.00	S/ 250.00
*CABLEADO ELÉCTRICO				S/ 1,134.00
CABLE THW 10 AWG	2	m	S/ 5.00	S/ 10.00
CABLE THW 12 AWG	4	m	S/ 1.80	S/ 7.20
CABLE THW 16 AWG	15	m	S/ 1.00	S/ 15.00
CABLE TW 14 (ROJO)	12	m	S/ 1.80	S/ 21.60
CABLE VULCANIZADO NLT 4X16 AWG, 500 V	4	m	S/ 4.90	S/ 19.60
CABLE VULCANIZADO NLT 4X18 AWG, 500 V	3	m	S/ 4.30	S/ 12.90
CONECTOR PVC PARA CORRUGADO	3	ud	S/ 2.66	S/ 8.00
TERMINALES ELÉCTRICOS	3	bolsa	S/ 10.00	S/ 30.00
TUBERIA CORRUGADA PVC 1/2"	3	m	S/ 1.50	S/ 4.50
TUBERIA CORRUGADO PVC 3/8"	3	m	S/ 0.80	S/ 2.40
*CALENTADOR DE AGUA POR RESISTENCIAS				S/ 501.40
BUSHING GALVANIZADO DE 1 1/2" a 1"	2	ud	S/ 11.90	S/ 23.80
CODO DE FIERRO GALVANIZADO DE 1 1/2"	4	ud	S/ 10.00	S/ 40.00
GOMAS DE JEBE PARA CALENTADOR	1	gbl	S/ 25.00	S/ 25.00
LANA DE VIDRIO PARA AISLAMIENTO TÉRMICO	1	gbl	S/ 40.00	S/ 40.00
NIPLE DE FIERRO GALVANIZADO DE 1 1/2" X 2"	3	ud	S/ 6.00	S/ 18.00
NIPLE DE FIERRO GALVANIZADO DE 1 1/2" X 4"	2	ud	S/ 9.50	S/ 19.00
NIPLE DE FIERRO GALVANIZADO DE 1 1/2" X 8"	4	ud	S/ 14.00	S/ 56.00
REDUCCION DE CAMPANA GALVANIZADA DE 1 1/2" X 1	4	ud	S/ 14.90	S/ 59.60
RESISTENCIA DE INMERSIÓN DE 2000W	2	ud	S/ 35.00	S/ 70.00

RESISTENCIA DE INMERSIÓN DE 3000W	2	ud	S/ 45.00	S/ 90.00
TEE DE FIERRO GALVANIZADO DE 1 1/2"	4	ud	S/ 15.00	S/ 60.00
*EQUIPOS DE MEDICIÓN				S/ 119.00
PINZA AMPERIMETRICA	1	ud	S/ 119.00	S/ 119.00
*ESTRUCTURA SOPORTE METÁLICA				S/ 1,882.50
ESTRUCTURA METALICA (GENERAL)	1	gbl	S/ 1,800.00	S/ 1,800.00
GARRUCHAS CON FRENO	6	ud	S/ 13.75	S/ 82.50
*SENSORES				S/ 355.88
ACCIONADOR TIPO BOYA ROSCADO	1	ud	S/ 19.57	S/ 19.57
BOYA DE NIVEL PARA TANQUE	1	ud	S/ 39.00	S/ 39.00
MANOMETRO 0-6 BAR	1	ud	S/ 31.90	S/ 31.90
ROTÁMETRO DIGITAL	1	ud	S/ 135.41	S/ 135.41
SENSOR DE TEMPERATURA ELECTRÓNICO MH1210	2	ud	S/ 65.00	S/ 130.00
*TABLERO ELÉCTRICO				S/ 679.50
BORNERA PARA RIEL DIN 4MM GRIS	3	bolsa	S/ 2.60	S/ 7.80
CALADO DE TABLERO	1	gbl	S/ 55.00	S/ 55.00
CANALETA RANURADA 25cmX40cmX2cm, 2metros	1	ud	S/ 20.00	S/ 20.00
CONTACTOR DE 9 AMP 220 V	4	ud	S/ 28.00	S/ 112.00
CONTACTOR MODULAR 20 A 2NA	4	ud	S/ 28.00	S/ 112.00
GABINETE ELÉCTRICO 400X400X200 HERMÉTICO	1	ud	S/ 90.00	S/ 90.00
INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 2X15A	1	ud	S/ 28.90	S/ 28.90
INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 3x32A	1	ud	S/ 28.90	S/ 28.90
INTERRUPTOR TRIFASICO 50 A	1	ud	S/ 47.90	S/ 47.90
PULSADOR DE EMERGENCIA NC ROJO	1	ud	S/ 12.00	S/ 12.00
PULSADOR LED LUMINOSO ROJO NC	3	ud	S/ 15.00	S/ 45.00
PULSADOR LED LUMINOSO VERDE NC	3	ud	S/ 15.00	S/ 45.00
PULSADOR LED RASANTE LUMINOSO ROJO NC	1	ud	S/ 15.00	S/ 15.00
PULSADOR LED RASANTE LUMINOSO VERDE NO	1	ud	S/ 15.00	S/ 15.00
SELECTOR 3 POSICIONES	1	ud	S/ 9.00	S/ 9.00
SELECTOR DE 2 POSICIONES	4	ud	S/ 9.00	S/ 36.00
*TORRE DE ENFRIAMIENTO				S/ 3,953.98
PERNOS INOX M10 X 30 CON TUERCA	3	ud	S/ 3.00	S/ 9.00
PERNOS INOX M6 X 25 CON TUERCA	12	ud	S/ 1.00	S/ 12.00
TORRE DE ENFRIAMIENTO - FRIOTEC	1	ud	S/ 3,932.98	S/ 3,932.98
*TUBERIA DE AGUA				S/ 401.18
BUSHING DE 1" A 1/2" DE PVC	1	ud	S/ 1.50	S/ 1.50
BUSHING DE 1/2" A 1/4" DE PVC	1	ud	S/ 4.00	S/ 4.00
CODO 1" DE PVC	13	ud	S/ 4.00	S/ 52.00
CODO 1/2" DE PVC	1	ud	S/ 1.50	S/ 1.50
NIPLE 1" X 2" DE PVC	12	ud	S/ 1.80	S/ 21.60
NIPLE 1" X 2" FIERRO GALVANIZADO	3	ud	S/ 4.50	S/ 13.50

NIPLE 1" X 3" DE PVC	6	ud	S/ 3.90	S/ 23.40
NIPLE 1" X 6" DE PVC	6	ud	S/ 4.90	S/ 29.40
NIPLE 1/2" X 2" DE PVC	1	ud	S/ 1.50	S/ 1.50
TEE DE 1" PVC	5	ud	S/ 4.50	S/ 22.50
TUBO 1" PVC X 6MTS	1	ud	S/ 40.00	S/ 40.00
UNIÓN UNIVERSAL 1" PVC	9	ud	S/ 7.00	S/ 63.00
VÁLVULA COMPUERTA DE BRONCE	1	ud	S/ 15.58	S/ 15.58
VÁLVULA DE BOLA DE 1"	5	ud	S/ 14.60	S/ 73.00
VÁLVULA DE RETENCIÓN CHECK DE 1"	3	ud	S/ 12.90	S/ 38.70
*CONSUMIBLES				S/ 79.00
FORMADOR DE EMPAQUETADURA	3	ud	S/ 8.00	S/ 24.00
TEFLON AMARILLO	14	ud	S/ 3.50	S/ 49.00
TRIZ	1	ud	S/ 6.00	S/ 6.00

Por lo que el costo total presupuestado es **S/. 9,591.34.** que incluye el total de materiales, consumibles, equipos utilizados en este módulo.



6. CONCLUSIONES

- Se realizó el diseño e implementación de un módulo didáctico de una “torre de enfriamiento de agua de tiro inducido” para el laboratorio de Termofluidos de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica de la universidad Católica de Santa María, considerando una torre de uso industrial, por lo que se comprobó mediante la simulación en software y experimentación en laboratorio el correcto funcionamiento de los equipos instalados.
- Se dimensionó la torre de enfriamiento de agua de tiro inducido, siendo la torre de uso industrial de la marca FRIOTEK el más adecuado a esta aplicación, se seleccionó bombas centrifugas de $\frac{1}{2}$ Hp de potencia de las marcas HUMBOLT y MEBA, se simuló y experimentó en el laboratorio de Termofluidos el funcionamiento del módulo diseñado, corroborando su correcto diseño y operación, para la parte eléctrica se seleccionó los componentes adecuados previo cálculo, se diseñó de tablero teniendo corrientes máximas de 16 A por fase, el presupuesto total del módulo de enfriamiento fue de S/. 9,591.34.
- Se logró estudiar el balance de masa y energía del agua durante su paso por la torre de enfriamiento, teniendo como resultado de las experimentaciones que el módulo puede reducir hasta 10.5°C la temperatura del agua a un caudal de agua de 60 LPM teniendo como eficiencia de la torre de 37.8%, se logró reducir hasta 10.7°C la temperatura del agua a un caudal de agua de 50 LPM teniendo una eficiencia de la torre de 41.3% y se redujo la temperatura del agua en 13.8°C a un caudal de agua de 40 LPM teniendo una eficiencia de 47.6%; para estos ensayos se consideró una temperatura de 23.3°C de bulbo seco de aire y una humedad de 34% del aire a temperatura ambiente, que fueron los datos de tomados en el laboratorio de Temofluidos,

- Se elaboró una guía de práctica de laboratorio, un manual de operación y mantenimiento del módulo “torre de enfriamiento de tiro inducido” para garantizar el correcto funcionamiento y operación del módulo de la torre de enfriamiento, así también se realizó el plan de mantenimiento para evitar fallas y desgastes prematuros del módulo.



7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda considerar la instalación de un variador de velocidad en el ventilador de la torre de enfriamiento para otorgar un mayor control del aire de ingreso, con dicha instalación será posible experimentar como al varía el flujo de aire y su efecto en la transferencia de calor en la torre de enfriamiento.
- Se recomienda la automatización del módulo mediante el uso de controladores lógicos programables PLC y válvulas solenoides, ya que la facultad cuenta con alumnos de ingeniería mecatrónica que están en la posibilidad de mejorar el módulo presentado implementando lógicas de control y automatización.
- Se recomienda instalar una válvula y una tubería en "TEE" a la salida de la válvula V-3 para poder contar con un suministro de agua caliente proveniente del calentador de 10 KW con el fin de suministrar agua a condiciones requeridas por los módulos existentes en el laboratorio de Termofluidos, complementando y ampliando la posibilidad de experimentación en los módulos de la universidad.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABRIL ZAPATA, D. G. (2016). *DETERMINACIÓN DE LA VIABILIDAD PARA REDUCIR LA PURGA DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE LA PLANTA DE FORMOL DE "INTERQUIMEC AKZONOBEL."*

Universidad Central Del Ecuador. Repositorio institucional
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6845>.

AGUILAR GARCÍA, H. A. (2010). *DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO INDUCIDO*. Instituto Politécnico Nacional Escuela. Repositorio institucional
<http://www.cic.ipn.mx/sitioCIC/images/sources/cic/tesis/B020892.pdf>

Aguilar, H. (2017). *Diseño y optimización de una torre de enfriamiento de tiro inducido* [Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional]. Repositorio institucional
<https://www.repositoriodigital.ipn.mx/>

American Journal of Sociology. (2019). *Guía técnica Torres de refrigeración. Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). Repositorio institucional
https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10540_Torres_refrigeracion_GT4_07_05eca613.pdf

APAZA CHIPANA, A. J. (2014). *DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO FORZADO PARA LA INDUSTRIA PLASTIC METAL*. Universidad Mayor De San Andres. Repositorio institucional <https://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/9443>

AUTODESK. (2024). *Autodesk Inventor: software de modelado 3D para diseñadores e ingenieros*.
<https://www.autodesk.com/latam/products/inventor/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=INVPROSA>

Barzola Lindo, M. (2014). *RENDIMIENTO TÉRMICO DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO FORZADO EN CONTRACORRIENTE*. Universidad Nacional Del Centro Del Centro Del Perú. Recuperado de <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5992>

- Bustos Salgado, L. D. (2017). *PROPUESTA DE TORRE DE ENFRIAMIENTO PARA UNA TERMOELÉCTRICA*. Universidad Técnica Federico Santa María Sede Concepción “Rey Balduino De Bélgica”. Repositorio institucional <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/23085>
- Cafaggi, A., Rodal, E., SÁNCHEZ, A. (2021). *Sistemas de bombeo*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. México.
- Carías Mejía, A. F. (2010). *Análisis Termodinámico Y Propuesta De Mejora De Eficiencia De Torre De Enfriamiento, En El Área De Cogeneración, Ingenio Tzulá*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Repositorio institucional http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0637_M.pdf
- Celestino, S., & Fernandez, H. (2017). *Rendimiento térmico de una torre de enfriamiento de tiro forzado en contracorriente* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3765>
- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2018). *Mecánica de Fluidos* (P. Montaña, Ed.; 4ta ed.). McGraw-Hill.
- Cengel, Y., Boles, M., & Kanoglu, M. (2019). *Termodinámica* (G. Chávez, Ed.; 9ª). F-Chart Software. (2024). *EES OVERVIEW*. <https://www.fchartsoftware.com/ees/>
- FERNÁNDEZ GUEVARA, N. W. (2019). *EVALUACIÓN TÉRMICA DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES DE UNA ACERÍA*. Universidad De Las Fuerzas Armadas. Repositorio institucional <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/20731>.
- FLORES SÁNCHEZ, E. L. (2016). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA MOLINOS DE BOLAS*. Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa. Repositorio institucional <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3243>
- Garlobo Cruz, L., Montoya Castillo, D., & McPherson Sánchez, D. (2006). *SIMULACIÓN DEL TRABAJO CON TORRES RELLENAS PARA EL PROCESO DE ENFRIAMIENTO DE AGUA*. *Tecnología*

Química, XXVI, 16–21. Repositorio institucional

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543750002>

González M., J. E. (2013). *EVALUACIÓN TÉRMICA DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO DE LA REFINERÍA EL PALITO - PDVSA*. Universidad De Carabobo. Repositorio institucional
<http://mriuc.bc.uc.edu.ve/handle/123456789/7950>

González Pedraza, O. J. (n.d.). *DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA ASPERSOR DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO FORZADO A CONTRA FLUJO*. Universidad Michoacana De San Nicolás De Hidalgo. Repositorio institucional
http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/316

Hernandez, D., & Villareal, R. (2008). *EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO TÉRMICO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO CT-502*. Universidad Nacional Autonoma de Mexico.

HIBBELER, R. C. (2017). *MECÁNICA DE MATERIALES* (B. Gutiérrez, Ed.; 9a ed.). Pearson Education, Inc.

JIMENO TEJEDA, I. J., & OLMOS RUIZ, C. A. (1999). *ESTUDIO Y CALCULO PARA LA SELECCIÓN DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO EN LA COMPAÑÍA COLOMBIANA DE CLINKER S.A (COLCLINKER)*. Corporación Universitaria Tecnológica De Bolívar. Repositorio institucional
<https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0058027.pdf>

MACHADO CUMPA, A. S. (2019). *CALCULO DE UNA TORRE EMPACADA DE ABSORCION DE GASES*. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Repositorio institucional
<http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/3018>

Málaga Rivera, R. F., & Vizcarra Paredes, C. A. (2013). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN TÉCNICO OPERATIVA DEL MODULO TORRE DE ENFRIAMIENTO DE 2 TON*. Universidad Católica De Santa María. Repositorio institucional
<https://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/3744>

- Málaga Rivera, Raúl F. & Vizcarra Paredes, Christian A. (2012). *Diseño, construcción y evaluación técnico operativa del módulo torre de enfriamiento de 2 ton.*
- Mendoza Cabrera, J. D., & Gallardo Segura, A. R. (2016). *Diseño y Construcción de un prototipo de Torre de Enfriamiento DE TIRO INDUCIDO DE 3 TON a Contraflujo.* Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil. Repositorio institucional <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13387>
- Mendoza, J., & Gallardo, A. (2016). *Diseño y construcción de un prototipo de torre de enfriamiento de tiro inducido a contraflujo.* Universidad Politécnica Salesiana.
- Mott, R. L., & Untener, J. A. (2015). *Mecánica de Fluidos* (B. Gutierrez, Ed.; 7ma ed.).
- Olmo Duarte, V. (2013). *Diseño y Simulación de Torres de Refrigeración húmedas.* UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID. Repositorio institucional <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/18502>
- Palacios A, L. C., & Ruiz B, Y. C. (2005). *ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE AGUA EMPLEADA COMO ELECTRIC DE LA UNIDAD CRZ1 DE LA PLANTA TACOA.* Universidad Central de Venezuela. Repositorio institucional <http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/7252/1/tesis.pdf>
- Perry, R. (2001). *Manual del Ingeniero Químico* (7ma ed.).
- PIPE FLOW SOFTWARE. (2024). *PIPE FLOW EXPERT.* <https://www.pipeflow.com/>
- PORTERO LOPEZ, V. E., & VALAREZO TIXI, S. R. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA POR EVAPORACION DE TIRO INDUCIDO.* Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. Repositorio institucional <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3765>
- Portero, V., & Valarezo, S. (2012). *Diseño y construcción de una torre de enfriamiento de agua por evaporación de tiro inducido.* Escuela superior Politecnica de Chimborazo.

Reinoso Rengifo, D. R. (2010). *Evaluación de los parámetros de explotación de las torres de enfriamiento con relleno de cerámica y PVC del sistema de climatización del Aeropuerto Internacional "Simón Bolívar"*. Instituto Superior Minero Metalúrgico De Moa "Dr. Antonio Nuñez Jimenez. Recuperado de <http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/1935>

RESTREPO GARCIA, J. R. (2011). *DISEÑO OPERACIONAL DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO ADIABÁTICA DE AGUA DE TIRO MECÁNICO INDUCIDO CONTRACORRIENTE A ESCALA DE LABORATORIO*. Universidad Industrial De Santander. Repositorio institucional <http://noesis.uis.edu.co/handle/123456789/5687>

RUÍZ RAMIREZ, L. F. (2008). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE LOS VENTILADORES DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO TOWER TECH Y BOMBAS DISTRIBUIDORAS DE AGUA FRÍA CHILLERS PARA CADA UNA DE LAS PLANTAS DE LA COMPAÑIA*. Universidad Autónoma De Occidente. Repositorio institucional <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/6365/T04367.pdf>

SOLID-BI. (2024). *SOLIDWORKS*. <https://solid-bi.es/solidworks/?v=dd07de856139>

URRUTIA ARANCIBIA, F. J. (2014). *EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE LA PLANTA DE COQUE, COMPAÑIA SIDERURGICA HUACHIPATO*. Universidad Del Bio-Bio. Repositorio institucional <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/878>

Wark, K., & Richards, D. (2003). *Termodinámica (6ª)*.

9. ANEXOS

9.1. Características De La Torre FRIOTEK



Torres de Enfriamiento de agua tipo botella: Un medio eficiente y económico para enfriar agua en aplicaciones de Refrigeración, Aire Acondicionado e Industriales.

(CONTAMOS CON STOCK PERMANENTE EN LIMA Y EN DIVERSAS CAPACIDADES)

Características:

- La carcasa de la Torre de Enfriamiento (TE) y el reservorio inferior son fabricados en base de fibra de vidrio y componentes en acero galvanizado en caliente, con ello se obtiene una alta resistencia a la intemperie y es suficientemente fuerte como para resistir las altas velocidades del viento en instalaciones de altura, movimientos telúricos ó vibraciones.
- Su forma constructiva permite una operación con una mínima cantidad de agua en el reservorio y facilita los trabajos de limpieza de la TE.
- El sistema distribuidor de agua consta de un cabezal rociador auto-giratorio con tubos rociadores que distribuyen de manera uniforme y constantemente el agua hacia el "relleno" o Fill donde se produce el intercambio de calor con el aire en contra-corriente para el enfriamiento del agua.
- La forma de campana con tobera extendida del ventilador provee un movimiento suave del aire al interior de la torre y ayuda a obtener una mejor performance.
- Las TE incorporan un ventilador de Aluminio ó PVC rígido con regulación del ángulo de inclinación y aspas ajustables accionado por un motor tipo cerrado (IP55) en una amplia gama de voltajes (220/380/440Vac-3ph-60Hz). Todos los ventiladores son probados antes del despacho.
- El diseño tipo circular permite el ingreso del aire alrededor de los 360° de la TE, teniendo como ventaja que independientemente de la dirección del aire y limitaciones de ubicación, la torre de enfriamiento siempre obtiene un óptimo rendimiento.



Modelo	Capacidad*	Flujo Agua l/min	Dimensiones (mm)		Ventilador		Conexiones In/Out(mm)	Peso (Kg)	
	Kcal/h		Diámetro	Altura	HP	Ø (mm)		Vacio	Operativo
FTB-N-05	19,500	65	750	1318	1/8	500	40	35	85
FTB-N-10	39,000	130	860	1563	1/4	500	40	45	130
FTB-N-15	58,500	195	1165	1773	1/4	600	50	66	210
FTB-N-20	78,000	260	1165	1773	1/2	600	50	90	260
FTB-N-25	97,500	325	1440	1795	1	700	65	137	505
FTB-N-30	117,000	390	1440	1795	1	700	65	144	522
FTB-N-40	156,000	520	1560	1775	1	700	65	185	577
FTB-N-50	195,000	650	1800	1845	2	900	80	228	650
FTB-N-60	234,000	780	1800	1845	2	900	80	277	719
FTB-N-70	273,000	910	1900	2140	2	1200	80	337	798
FTB-N-80	312,000	1040	2140	1980	2	1200	100	352	982
FTB-N-100	390,000	1300	2410	2365	3	1500	125	474	1205

Para capacidades mayores favor solicitar información

* Capacidad indicada en base a una temperatura de ingreso del agua de 37°C, salida 32°C y con un bulbo húmedo de 27°C

Para mayor información y/o consultas sobre este producto u otro de refrigeración industrial sírvase contactarnos.

FRIOTEK S.A.C.

Dirección: Av. El Zinc 183 - Urb. Industrial Infantas, Lima 39 (Los Olivos)
Teléfono: 528-0563 RPC Claro: 99 735 1200 Nextel: (94) 605*0488

rtn@friotek.com / htr@friotek.com
www.friotek.com



Eliminadores de Humedad (atrapa gotas) para Torre de Enfriamiento

Descripción: Los eliminadores de humedad ó también conocidos como "atrapa gotas" permiten reducir la pérdida de agua por evaporación que suele ocurrir en la operación de las torres de enfriamiento, para ello disponemos de stock de eliminadores de humedad para torres de enfriamiento tipo botella (de formato circular), así como para torres de enfriamiento cuadradas; fabricadas de material PVC de altura de 125mm, se pueden suministrar opcionalmente con los componentes de instalación.

Se pueden usar estos eliminadores de Humedad en los condensadores evaporativos.

Disponibilidad: En stock

Solicitud de cotización: Para cotización de este producto por favor tome contacto con nosotros, brindándonos las dimensiones del eliminador de humedad requerido para su torre de enfriamiento (diámetro o ancho x largo).



Instalación típica de Eliminadores de Humedad en Torres de Enfriamiento tipo botella



Motores eléctricos especiales para Torres de Enfriamiento (TE)

Descripción: Disponemos de stock de motores eléctricos importados especialmente diseñados para aplicación en torres de enfriamiento, del tipo cerrado (con grado de Protección IP55 - Protección contra polvo y humedad), diseño con eje alargado de acero inoxidable para disposición vertical.

También para aplicaciones diversas en el uso de ventiladores u otros similares.

Voltajes disponibles: 220Vac / 380Vac / 440Vac - 3Ph - 60Hz

Potencia	Nº Polos (RPM nominal)
1/4 HP	6 Polos (1,200 rpm)
1/2 HP	6 Polos (1,200 rpm)
1 HP	6 Polos (1,200 rpm)
2 HP	8 Polos (870 rpm)

Disponibilidad: Consultar (Sujeto a disponibilidad técnica)

Solicitud de cotización: Para cotización de este producto por favor tome contacto con nosotros, brindándonos: potencia, revoluciones y voltaje de motor eléctrico de la torre de enfriamiento de la cual requiere realizar el cambio ó requiere para su aplicación.



Ventiladores en PVC para reemplazo en Torres de Enfriamiento (TE)

Descripción: Disponemos de stock de ventiladores para nuestros clientes con torres de enfriamiento FRIOTEK u similar del tipo botella (de formato circular) fabricadas de material PVC ó Aluminio para diversos caudales de aire (acorde al modelo de torre de enfriamiento), se pueden suministrar opcionalmente con motor eléctrico y componentes de instalación.

Estos ventiladores si bien están diseñados para su empleo en torres de enfriamiento, se pueden emplear en diversos campos de la industria en general.

Disponibilidad: Consultar (Sujeto a disponibilidad técnica) y acorde a los siguientes modelos:

Diámetro Nominal (mm)	Caudal de Aire max. (m ³ /min)	Material	Motor requerido Potencia x Revoluciones
500	70	PVC	1/4 HP x 1,200rpm
600	130	PVC	1/2 HP x 1,200rpm
700	210	PVC	1 HP x 1,200rpm
900	370	AL	2 HP x 1,200rpm
1200	450	AL	2 HP x 870rpm
1500	500	AL	3 HP x 870rpm

Solicitud de cotización: Para cotización de este producto por favor tome contacto con nosotros, brindándonos el modelo de torre de enfriamiento FRIOTEK suministrada, diámetro del ventilador, potencia y revoluciones (rpm) del motor que acciona dicho ventilador. Para solicitud del motor indicar el voltaje trifásico de operación del ventilador.



Rellenos para Torre de Enfriamiento

Descripción: Los rellenos de las torres de enfriamiento brindan la superficie (area de transferencia de calor) necesaria para producir el contacto entre el agua y el aire en la operación de la torre de enfriamiento, con el tiempo dependiendo del mantenimiento que haya recibido la TE y la calidad del agua con que opera la TE es posible que requiera de renovar este relleno, para ello disponemos de stock de rellenos para torres de enfriamiento tipo botella (relleno de formato circular), así como para torres de enfriamiento cuadradas (consultar); fabricadas de material plastificado de alta duración, tanto para aplicaciones de medias temperaturas como para aplicaciones de altas temperaturas.

Disponibilidad: En stock.

Solicitud de cotización: Para cotización de este producto por favor tome contacto con nosotros, brindándonos las dimensiones del relleno de la torre de enfriamiento de la cual requiere realizar el cambio, así como información de las temperaturas de operación y la calidad del agua de recirculación (potable ó con solidos suspendidos).



9.2. Componentes del tablero eléctrico

CBM350



Magnetotérmico 3P, 50A. Poder de corte 6 kA. Curva C.

Magnetotérmico 3P, 50A. Poder de corte 6 kA. Curva C.3 módulos. 400 AC (50 - 60 Hz).

Aplicaciones habituales: Entorno domestico/terciario interior (Interior de vivienda, oficinas, comercios, etc..)



Características

Endurancia mecánica	20.000 ciclos
Tipo de protección (modular)	Interruptor magnetotérmico
Nº de polos	3P
Módulos (18 mm)	3
Tipo de red	Corriente alterna (ca)
Curva de disparo	C
Capacidad de cortocircuito	6 kA
Fijación	Rail DIN 35mm
Capacidad de conexión	Hasta 25 mm ²
Posibilidad de utilización de peines tipo pin	Sí
Endurancia eléctrica	15.000 ciclos
Corriente nominal	50A
Tensión nominal	400 Vca - (50/60 Hz)

Datos técnicos

Resistencia al fuego (GWEPT)	960 °C
Temperatura ambiente de funcionamiento	-5 °C; +40 °C
Libre de halógenos	Sí

Magnetotérmico 2P, 25A. Poder de corte 6 kA. Curva C.

Magnetotérmico 2P, 25A. Poder de corte 6 kA. Curva C. 2 módulos. 400V AC (50 - 60 Hz).

Aplicaciones habituales: Entorno doméstico/terciario interior (Interior de vivienda, oficinas, comercios, etc..)



Características

Endurancia mecánica	20.000 ciclos
Tipo de protección (modular)	Interruptor magnetotérmico
Nº de polos	2P
Módulos (18 mm)	2
Tipo de red	Corriente alterna (ca)
Curva de disparo	C
Capacidad de cortocircuito	6 kA
Fijación	Rail DIN 35mm
Capacidad de conexión	Hasta 25 mm ²
Posibilidad de utilización de peines tipo pin	Sí
Endurancia eléctrica	15.000 ciclos
Corriente nominal	25A
Tensión nominal	400 Vca - (50/60 Hz)

Datos técnicos

Resistencia al fuego (GWEPT)	960 °C
Temperatura ambiente de funcionamiento	-5 °C ; +40 °C
Libre de halógenos	Sí



2. Type designation

JS Z 3 □ - □
 Adopt A, B, C, D, E, F, G to represent delay range code (applicable for multi-range type)
 A: basic type (power on delay, multi-range type)
 C: instantaneously operation type (power on delay, multi-range type)
 F: power off delay type
 Y: delta start-delay type (power on delay)
 K: control off-delay
 R: repeat circulation-delay type (power on delay)
 Design sequence No.
 Integrative type
 Time Delay Relay

JSZ3 Time Delay Relay

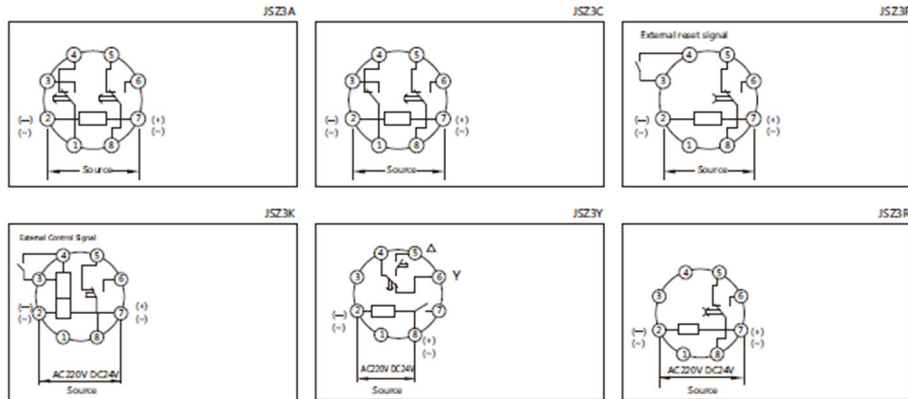
1. General

JSZ3 Time Delay Relay is applicable for automatic control system, such as machine automatic control, and complete equipment automatic control, etc.

3. Technical data

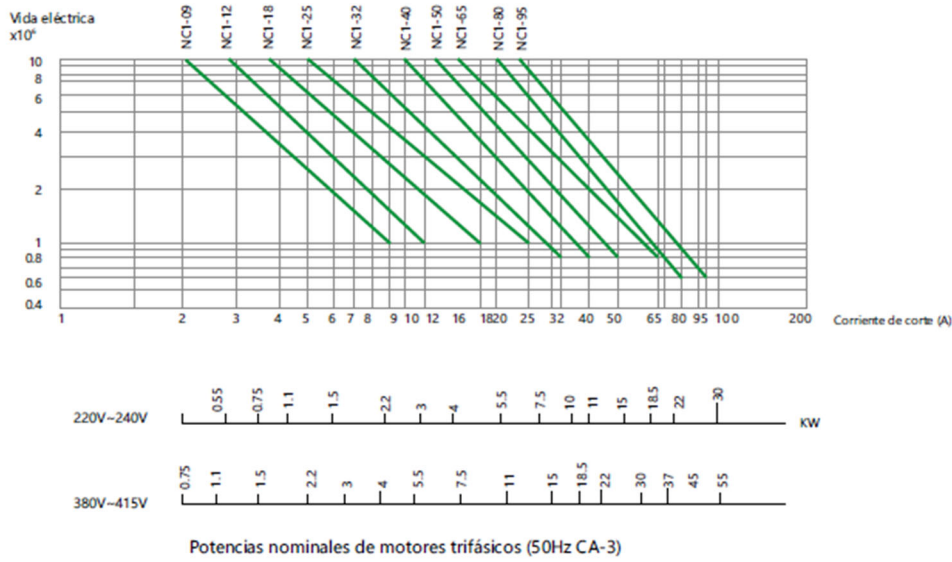
Type	JSZ3A	JSZ3C	JSZ3F	JSZ3K	JSZ3Y	JSZ3R
Operating mode	power on delay	JSZ3C power on delay with instantaneously operation contact	power off delay	Signal breaking-delay	Delta start-delay	Reciprocating circulation-delay
Delay range	A: (0.05-0.5)s/5s/30s/3min B: (0.1-1)s/10s/60s/6min C: (0.5-5)s/50s/5min/30min D: (1-10)s/100s/10min/60min E: (5-60)s/10min/60min/6h F: (0.25-2)min/2min/2h/12h G: (0.5-4)min/40min/4h/24h	(0.1-1)s (0.5-5)s (1-10)s (2.5-30)s (5-60)s (15-180)s	(0.1-1)s (0.5-5)s (1-10)s (2.5-30)s (5-60)s (15-180)s	(0.1-1)s (0.5-5)s (1-10)s (2.5-30)s (5-60)s (15-180)s	(0.1-1)s (0.5-5)s (1-10)s (2.5-30)s (5-60)s	(0.5-6)s/60s (1-10)s/10min (2.5-30)s/30min (5-60)s/60min
Set mode	Potentiometer					
Operating voltage	AC50Hz/60Hz 36V, 110V, 127V, AC220V AC380V DC24V		AC50Hz/60Hz 36V, 110V, 127V AC220V AC380V DC24V	AC50Hz/60Hz AC110V AC220V AC230V AC380V AC400V DC24V	AC36V/AC110V 50Hz/60Hz AC220V AC380V DC24V	AC36V/AC110V 50Hz/60Hz AC220V AC380V DC24V
Delay precision	≤10%		≤10%	≤10%	≤10%	≤10%
Contact number	Delay 2 switching, delay 1 changeover, instantaneous switching		Delay 1 switching or delay 2 switching	Delay 1 switching	Delay Delta 1 switching	Delay 1 switching
Contact capacity	Ue/Ie: AC-15 220V/0.75A, 380V/0.47A; DC-13 220V/0.27A, 30V/5A					
Electrical Endurance	1×10 ⁶					
Mechanical Endurance	1×10 ⁶					
Ambient temperature	-5°C ~ +40°C					
Installation mode	Equipment type, Panel type, DIN-rail type					
Matched pedestal	Panel type: FM885E, CZ508S, Equipment type: CZ508X-E					

4. Wiring diagram

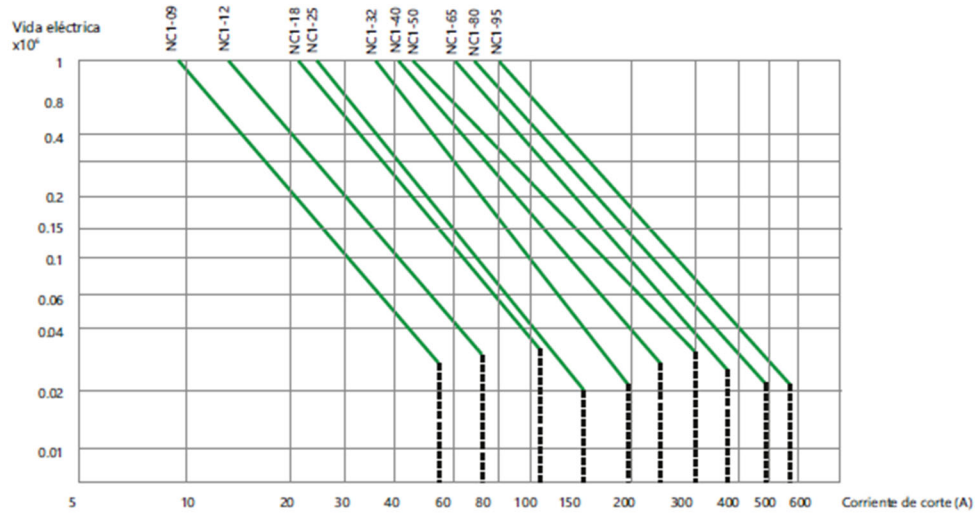


3. Curvas

Curvas de vida eléctrica (AC-3)



Curvas de vida eléctrica (AC-4)



Ejemplo:

Petición para controlar el arranque de motores trifásicos

Principales parámetros técnicos de los motores trifásicos: P=5.5kW, Ue=400V(380V), Ie=11A, I_{c6}×I_e=66A

Duración de vida eléctrica: 2 00 000 maniobras




El contactor deberá ser el NC1-32 de acuerdo con las curvas anteriores



4. Datos técnicos

4.1 Contactor bobina CA

★ Accionamiento bobina CA

Características		Modelo	NC1-09	NC1-12	NC1-18	NC1-25
Estructura			Tamaño 1 (3P, 4P)		Tamaño 2 (3P)	Tamaño 3 (3P, 4P)
						
Corriente térmica nominal (A) AC-1			25	25	32	45
Corriente nominal de funcionamiento (A)	400(380)V	AC-3	9	12	18	25
		AC-4	3.5	5	7.7	8.5
	690(660)V	AC-3	6.6	8.9	12	18
		AC-4	1.5	2	3.8	4.4
Tensión nominal de aislamiento (V CA)			690	690	690	690
Potencia de motor trifásico controlado de tipo jaula (AC-3)	kW	230(220)Vca	2.2	3	4	5.5
		400(380)Vca	4	5.5	7.5	11
		690(660)Vca	5.5	7.5	10	15
	hp	200Vca	3	5	7.5	7.5
		240Vca	3	5	7.5	10
		460Vca	5	7.5	10	15
Frecuencia de accionamiento (maniobras/hora)						
	Eléctrico	AC-3	1 200	1 200	1 200	1 200
	AC-4	300	300	300	300	
		Mecánica	3 600	3 600	3 600	3 600
Vida eléctrica (x10 ⁴ maniobras)	AC-3		1 000	1 000	1 000	1 000
	AC-4		200	200	200	200
Vida mecánica (x10 ⁴ maniobras)			10	10	10	10
Tipo de fusible compatible			RT16-20	RT16-20	RT16-32	RT16-40

★ Accionamiento bobina CA, tipo inversor

Características		Modelo	NC1-09N	NC1-12N	NC1-18N	NC1-25N
Estructura			Tamaño 1 (3P, 4P)		Tamaño 2 (3P)	Tamaño 3 (3P, 4P)
Corriente de calentamiento nominal convencional (A) AC-1			25	25	32	45
AC-4	Ie(A)	380/400V	3.5	5	7.7	8.5
		660/690V	1.5	2	3.8	4.4
	Pe(kW)	380/400V	1.5	2.2	3	4
		660/690V	1.1	1.5	3.7	4
Potencia de motor trifásico controlado de tipo jaula (AC-3)	hp	200V	3	5	7.5	7.5
		240V	3	5	7.5	10
		460V	5	7.5	10	15
		600V	5	7.5	10	15

★ Accionamiento bobina CA, tipo conmutado

Artículos		Modelo	NC1-09N	NC1-12N	NC1-25N
Estructura			Tamaño 1 (4P)	Tamaño 2 (4P)	Tamaño 3 (4P)
Corriente de calentamiento nominal convencional (A) AC-1			25	25	45
AC-4	Ie(A)	380/400V	3.5	5	8.5
		660/690V	1.5	2	4.4
	Pe(kW)	380/400V	1.5	2.2	4
		660/690V	1.1	1.5	4
Potencia de motor trifásico controlado de tipo jaula (AC-3)	hp	200V	3	5	7.5
		240V	3	5	10
		460V	5	7.5	15
		600V	5	7.5	15

TTRF-70 (NLT)

INDECO

empresa Nexans

En aparatos o equipos sujetos a desplazamientos.

DESCRIPCIÓN

Aplicación:

En aparatos o equipos sujetos a desplazamientos, arrollamientos o vibraciones y para todo tipo de equipos móviles.

Construcción:

1. Conductor: Cobre blando flexible, clase 5.
2. Aislamiento: Compuesto de PVC flexible.
3. Relleno: Compuesto de PVC flexible.
4. Cubierta externa: Compuesto de PVC flexible.

Principales características:

Gran flexibilidad, terminación compacta, resistencia a la abrasión y humedad. No propaga la llama.

Calibre:

Desde 18 AWG hasta 14 AWG.

Marcación:

PERU INDECO S.A. TTRF-70(NLT) - (Nro fases x calibre) - 300/500 V - Año - Metrado secuencial.

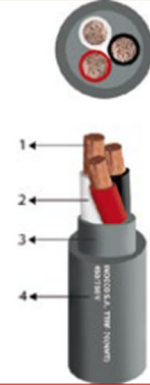
Embalaje:

Rollos de 100 metros.

Color:

Aislamiento: Ver identificación de fases.

Cubierta externa: Gris.



NORMA

Internacional IEC 60227-1;
IEC 60227-2; IEC 60227-5;
IEC 60228; IEC 60332-1-2;
IEC 60811-401; IEC 60811-409;
IEC 60811-504; IEC 60811-505;
IEC 60811-506; IEC 60811-508;
IEC 60811-509

Nacional NTP 370.250;
NTP 370.252; UL 2556

Normas nacionales

NTP 370.250: Conductores para cables aislados.



Flexibilidad del conductor
Flexible Clase 5



Libre de plomo
Sí



Tensión nominal de servicio Uo/
U
300 / 500 V



Flexibilidad del cable
Flexible



No propagación de la
llama
IEC 60332-1-2: FT1



Temperatura máxima
operación
75 °C

TTRF-70 (NLT)

NTP 370.252: Cables aislados con compuesto termoplástico y termoestable para tensiones hasta e inclusive 450/750 V.

Normas internacionales aplicables

IEC 60227-5: Cables aislados con cloruro de polivinilo de tensiones hasta e inclusive 450/750 V - Cables flexibles (cordones).

IEC 60227-1: Cables aislados con cloruro de polivinilo de tensiones hasta e inclusive 450/750 V - Requisitos generales.

IEC 60227-2: Cables aislados con cloruro de polivinilo de tensiones hasta e inclusive 450/750 V - Métodos de ensayo.

IEC 60332-1-2: Ensayo de propagación de llama vertical para un alambre o cable simple - Procedimiento para llama premezclada de 1kW.

UL 2556: Métodos de ensayo para alambre y cable. Sección 9.3: Ensayo de propagación de llama -FT1 (muestra vertical).

IEC 60811-401: Métodos de envejecimiento térmico. Envejecimiento en horno de aire.

IEC 60811-409: Ensayos misceláneos. Ensayo de pérdida de masa para aislamientos termoplásticos y cubiertas.

IEC 60811-504: Ensayo de doblado a baja temperatura para aislamientos y cubiertas.

IEC 60811-505: Elongación a baja temperatura para aislamientos y cubiertas.

IEC 60811-506: Ensayo de impacto a baja temperatura para aislamientos y cubiertas.

IEC 60811-508: Ensayo de presión a alta temperatura para aislamientos y cubiertas.

IEC 60811-509: Ensayo de resistencia al agrietamiento para aislamientos y cubiertas.

CARACTERÍSTICAS

Características de construcción	
Material del conductor	Cobre Temple Blando
Flexibilidad del conductor	Flexible Clase 5
Material de aislamiento	PVC
Cubierta exterior	PVC
Color de cubierta	Gris
Libre de plomo	Si
Características eléctricas	
Tensión nominal de servicio Uo/U	300 / 500 V



Flexibilidad del conductor
Flexible Clase 5



Libre de plomo
Si



Tensión nominal de servicio Uo/
U
300 / 500 V



Flexibilidad del cable
Flexible



No propagación de la
llama
IEC 60332-1-2; FT1



Temperatura máxima
operación
70 °C

TTRF-70 (NLT)

Características eléctricas	
Rigidez dieléctrica mínima en CC (conductor-pantalla)	2,0 kV
Tiempo Rigidez Dielectrica Vca al aislamiento	5 min.
Características mecánicas	
Flexibilidad del cable	Flexible
Características de uso	
No propagación de la llama	IEC 60332-1-2; FT1
Temperatura máxima operación	70 °C
Temperatura de sobrecarga de emergencia	100 °C
Temperatura máxima del conductor en corto-circuito	160 °C

DATOS DIMENSIONALES

ITEM	Nro.Fases	Calibre (AWG)	Diam. Conductor [mm]	Min. espes. Aislam. [mm]	Min. espes. Cubierta [mm]	Diám. sobre cubierta [mm]	Peso aprox. [kg/km]
01	2	18	1,15	0,6	0,8	6,9	67
02	2	16	1,44	0,7	0,8	7,9	92
03	2	14	1,83	0,8	0,9	9,3	133
04	3	18	1,15	0,6	0,8	7,3	79
05	3	16	1,44	0,7	0,9	8,6	113
06	3	14	1,83	0,8	1,1	10,3	168
07	4	18	1,15	0,6	0,8	7,9	93

DATOS ELÉCTRICOS

ITEM	Nro.Fases	Calibre (AWG)	Max. DC Resist. Cond. 20°C [Ohm/km]	Amperaje aire 30°C [A]
01	2	18	23	10
02	2	16	14,4	15
03	2	14	9,05	20
04	3	18	23	7
05	3	16	14,4	10
06	3	14	9,05	15
07	4	18	23	7



Flexibilidad del conductor Clase B



Tensión nominal de servicio Uo/U (Um) 450/750 V



Bajo Halógenos IEC 60754-1



Densidad de los humos
Baja Emisión de Humos - IEC 61034-2



No propagación de la llama UL 1581 VW1



No propagador del incendio IEC 60332-3-25



Temperatura máxima operación 80 °C

Todos los dibujos, diseños, especificaciones, planos y detalles sobre pesos, dimensiones, etc. contenidos en la documentación técnica o comercial de Nexans son puramente indicativos, y no serán contractuales para Nexans, ni podrán ser consideradas como que constituyen una representación de la parte de Nexans.
Versión 1.4 Generado 25/07/24 www.nexans.pe Página 1 / 4

TW-80 +PLUS AWG 450/750 V

Contacto
Venta Local
ventas.peru@nexans.com

Cable de cobre aislado con PVC Low smoke, cuya temperatura de operación es 80°C. Aplicación general en instalaciones fijas, resistente a la humedad y al calor.

DESCRIPCIÓN

Aplicación:

Aplicación especial en aquellos ambientes residenciales poco ventilados en los cuales ante un incendio aumenta la posibilidad de sobrevivencia de las posibles víctimas al tener una buena visibilidad para el salvamento y escape del lugar debido a: baja emisión de humos densos, baja emisión de gases tóxicos y no propaga el incendio. Generalmente se instalan en tubos para instalaciones fijas, en edificaciones, interior de locales con ambiente seco o húmedo. No recomendado para instalaciones a la intemperie.

Construcción:

1. Conductor: Cobre blando, clase B.
2. Aislamiento: Compuesto de PVC Low smoke.

Desde 14 AWG hasta 10 AWG en aislamiento en doble capa

8 AWG en aislamiento en capa única

Principales características:

Buena resistencia dieléctrica, resistencia a la humedad, grasas y al calor hasta la temperatura de servicio. El aislamiento tiene las siguientes características durante la exposición del cable ante un incendio:

Baja emisión de humos densos: Retraso en la emisión de humos densos y, por tanto, mejora de la capacidad de visión hasta 3 veces en comparación con el cable TW-80 estándar.

Bajo halógenos: 28% menos generación de gases halógenos que el cable TW-80 estándar.

No propaga el incendio de acuerdo a IEC 60332-3-25 CAT. D.

Calibre:

Desde 14 AWG hasta 8 AWG.

Marcación:

INDECO S.A. TW-80 +PLUS Calibre - 450/750 V - BAJO HUMOS - NO PROPAGA INCENDIO CAT.D - HECHO EN PERU.

Embalaje:



NORMAS

Internacional
IEC 60332-3-25 Cat.D;
IEC 60754-1; IEC 61034-2

Nacional NTP 370.250;
NTP 370.252; UL 2556; UL 83



Flexibilidad del conductor
Clase B



Tensión nominal de servicio Uo/U (Um)
450/750 V



Bajo Halógenos
IEC 60754-1



Densidad de los humos
Baja Emisión de Humos - IEC 61034-2



No propagación de la llama
UL 1581 VW1



No propagador del incendio
IEC 60332-3-25



Temperatura máxima operación
80 °C

Todos los dibujos, diseños, especificaciones, planos y detalles sobre pesos, dimensiones, etc. contenidos en la documentación técnica o comercial de Nexans son puramente indicativos, y no serán contractuales para Nexans, ni podrán ser consideradas como que constituyen una representación de la parte de Nexans.
Versión 1.4 Generado 25/07/24 www.nexans.pe Página 1 / 4

INDECO
by Nexans

TW-80 +PLUS AWG 450/750 V

Contacto
Venta Local
ventas.peru@nexans.com

Rollos de 100 metros y en carretes de madera.

Color:

Negro, Blanco, rojo, azul.

Normas nacionales

NTP 370.250: Conductores para cables aislados.

NTP 370.252: Cables aislados con compuesto termoplástico y termoestable para tensiones hasta e inclusive 450/750 V.

Normas internacionales aplicables

UL 83: Alambres y cables aislados con compuesto termoplástico

IEC 61034-2: Medida de la densidad de los humos emitidos por cables en combustión bajo condiciones definidas.

UL 2556: Métodos de ensayo para alambre y cable. Sección 9.3: Ensayo de propagación de llama - FT-1 (muestra vertical).

UL 2556: Métodos de ensayo para alambre y cable. Sección 9.4: Ensayo de propagación de llama - VW-1 (muestra vertical).

IEC 60332-3-25: Ensayo para llama vertical extendida de alambres agrupados o cables montados verticalmente - Categoría D.

IEC 60754-1: Ensayo de los gases emitidos durante la combustión de los materiales de los cables. Parte 1: Determinación de la cantidad de gas halógeno ácido.

CARACTERÍSTICAS

Características de construcción	
Material del conductor	Cobre Temple Blando
Material de aislamiento	PVC Low Smoke
Flexibilidad del conductor	Clase B
Características eléctricas	
Tensión nominal de servicio Uo/U (Um)	450/750 V
Rigidez dieléctrica	2.5 kV
Tiempo Rigidez Dielectrica Vca al aislamiento	5 min.
Características de uso	
Baja Emisión Gases Halógenos	IEC 60754-1
Densidad de los humos	Baja Emisión de Humos - IEC 61034-2



Flexibilidad del conductor
Clase B



Tensión nominal de servicio Uo/U (Um)
450/750 V



Bajo Halógenos
IEC 60754-1



Densidad de los humos
Baja Emisión de Humos - IEC 61034-2



No propagación de la llama
UL 1581 VW1



No propagador del incendio
IEC 60332-3-25



Temperatura máxima operación
80 °C

Todos los dibujos, diseños, especificaciones, planos y detalles sobre pesos, dimensiones, etc. contenidos en la documentación técnica o comercial de Nexans son puramente indicativos, y no serán contractuales para Nexans, ni podrán ser consideradas como que constituyen una representación de la parte de Nexans.
Versión 1.4 Generado 25/07/24 www.nexans.pe Página 2 / 4

INDECO
by Nexans

TW-80 +PLUS AWG 450/750 V

Contacto
Venta Local
ventas.peru@nexans.com

Características de uso

No propagación de la llama	UL 1581 VW1
No propagador del incendio	IEC 60332-3-25
Temperatura máxima operación	80 °C
Temperatura de sobrecarga de emergencia	100 °C
Temperatura máxima del conductor en corto-circuito	160 °C

DATOS DIMENSIONALES

ITEM	Calibre (AWG/ KCMIL)	N° total alambres	Diam. Conductor [mm]	Min. espes Aislam. [mm]	Diam. Nom. Exterior [mm]	Peso aprox. [kg/km]
01	14	7	1.7	0.8	3.4	26
02	12	7	2.2	0.8	3.9	37
03	10	7	2.8	0.8	4.4	56
04	8	7	3.3	1.0	5.4	92

DATOS ELÉCTRICOS

ITEM	Calibre (AWG/KCMIL)	Max. DC Resist. Cond. 20°C [Ohm/km]	Capac. Corriente ducto 30°C [A]	Capacitancia Nominal [pF/m]
01	14	8.97	22	641.0
02	12	5.65	28	776.0
03	10	3.547	33	983.0
04	8	2.231	44	902.0

LISTA DE PRODUCTOS

Ref. Nexans	Ref. de País	Nombre	Color	Peso aproximado [kg/km]
🔌 P00035887-8	10050203	TW-80 +PLUS 14 AWG NG, R100	Negro	26
🔌 P00035902-6	10050218	TW-80 +PLUS 8 AWG NG, R100	Negro	92
🔌 P00035903-4	10050220	TW-80 +PLUS 14 AWG NG, C600	Negro	26
🔌 P00035892-7	10050208	TW-80 +PLUS 12 AWG NG, R100	Negro	37
🔌 P00035893-7	10050209	TW-80 +PLUS 12 AWG RJ, R100	Rojo	37
🔌 P00035894-7	10050210	TW-80 +PLUS 12 AWG AZ, R100	Azul	37
🔌 P00035895-7	10050211	TW-80 +PLUS 12 AWG BL, R100	Blanco	37

📞 = Realizar pedido, 🗳️ = Reservar stock,



Flexibilidad del conductor
Clase B



Tensión nominal de servicio UoU (Um)
450/750 V



Bajo Halógenos
IEC 60754-1



Densidad de los humos
Baja Emisión de Humos - IEC 61034-2



No propagación de la llama
UL 1581 VW1



No propagador del incendio
IEC 60332-3-25



Temperatura máxima operación
80 °C

Todos los dibujos, diseños, especificaciones, planos y detalles sobre pesos, dimensiones, etc. contenidos en la documentación técnica o comercial de Nexans son puramente indicativos, y no serán contractuales para Nexans, ni podrán ser consideradas como que constituyen una representación de la parte de Nexans.
Versión 1.4 Generado 25/07/24 www.nexans.pe Página 3 / 4

INDECO
by Nexans

WLL1 TURBINE FLOW METER MANUAL



I. Summary

Turbine flow meter control panel adopts Modular design, Computer modules are local shows, it is full-featured and easy-to-use with Simple structure and clear interface.

For this manual, we have introductions about the way for jumper settings and the use of buttons

Please read this manual carefully and operate the control panel accordingly.

II. Features of control panel and wiring

1. Summary

Flow meter adopts low-power CPU core, Turbine sensor signal generated by the amplified pulse is conveyed to the CPU in, CPU operation in accordance with the flow coefficient value will flow to a 5 digits on LCD display, LCD reading range of 0.01 ~ 99999.

In addition to the normal work flow meter flow measurement of liquids, but also can automatically Factory flow coefficient (k) and user manual calibration of the flow coefficient (k) calibration

2. Functions as below

- Two cumulate (which can be reset TTL1 cumulate Clear, TTL2 the total accumulation can not clear zero), it can be shifted by the buttons
- Unit selection: The selection buttons to operate the flow units: liters and gallons (U.S.).
- Sensor pulse frequency range: 5Hz ~ 5000Hz
- Low power consumption: Two pieces of R03(UM-4) 1.5V Common Batteries (can be used for 2 years)
- Factory automatically flow coefficient (k) calibration, the user manual flow coefficient (k) calibration.

3. Performance and technical parameters

- Power supply: Two pieces of R03(UM-4) 1.5V Common Batteries
- Measurement accuracy: 1%
- LCD display: shows the current flow value, calibration and fault code code manually when the flow calibration factor (k) value

- Operating temperature range: $-10\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +60\text{ }^{\circ}\text{C}$
4. Jumper definition and connection
- Jumper J2: Choice between normal working status and automatic flow calibration status Factory

III. Functions and operating instructions

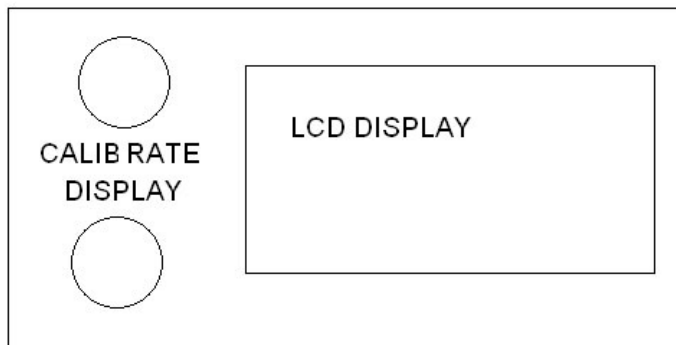


Figure 1

Buttons' operation, LCD display to indicate their location (see Figure 1)

1. Normal work status and operations

A. Buttons' operation

- To press " DISPLAY " shortly can shift current **cumulative**TTL1 and total **cumulative**TTL2, When TTL1 displayed, hold down the "DISPLAY button" about 2 seconds, cumulative flowrate of TTL1 can be cleared "0", while TTL2 can not.
- To press " CALIBRATE " can shift the unit LTR and GAL, and the corresponding characters will be showed on the LCD display
- To press "DISPLAY" and "CALIBRATE" at the same time about 2 seconds will enter the user manual flow coefficient (k) calibration status.

B. LCD Description:

- TTL1: current flow can be cumulative in which can be cleared zero;
- TTL2: current flow displayed is total cumulative in which can not be cleared zero, to clear TTL2 flow for zero, take the batteries from the body and install again.
- LTR: flow unit
- GAL: flow unit (U.S. GAL)
- Figure: five field characters, used to display the flow value of calibration coefficient (k) value and the error symbols

2. Work and dormancy status

When the panel works normally,

- The liquid flows through or to operate the buttons, the control panel LCD shows work status;
- No liquid flows through or to operate the buttons, one minute later the control panel will be in dormancy status, LCD does not display;
- The liquid flows through or to operate the buttons, the control panel LCD will display, the control panel will be waken up and normal working status restored.

3. Calibration work status

Note: only in the unit LTR for calibration

Factory calibration automatically, please follow these steps:

Batteries are not installed on the body, then a short circuit board jumpers J2, after the installation of batteries, it will display **00000**, in which means it has been entered into the calibration status, install the control panel to the shell.

When 100 liters of calibration liquid flows at the control pipeline, the flow value of the flowed liquid will be displayed on LCD screen. The liquid flows out, about 30 seconds, control panel will record the flow value, calculate the flow coefficient (**k**) values and deposited CPU of the permanent preservation of non-volatile memory, even removed the battery discharge coefficient (**k**) will not lose value. If the flow of calibration error over more than the limited 10%, the panel will consider the current calibration value is invalid, and will not record the current calibration value, the screen will show the letters Err, and then show the figure **00000**, re-entry into the auto-calibration status.

If the calibration successful, still want to re-calibration, please remove the batteries, repeat the above steps.

Automatic calibration is completed, please remove the battery, then disconnect the circuit board jumper J2, then the battery can be fitted into the normal working status.

User manual calibration by following these steps:

To press "**DISPLAY**" and "**CALIBRATE**" button about 2 seconds at the same time will enter the user manual flow coefficient (**k**) calibration status, such as: **k = 46.33**, at this time LCD display information in Figure 2.

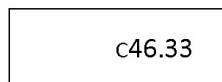


Figure 2

Numerical after "C" (such as 46.33) is the modified flow coefficient (**k**) value, the number of flashes that can be modified, and modify the scope: 0 to 9, the position can be shifted by press the "CALIBRATE" button shortly

To press " DISPLAY" shortly can increase the numerical from 0 to 9, increase only , can not reduce.

After modification, press "DISPLAY" and "CALIBRATE" buttons simultaneously, it can return to normal working status.

User manual flow coefficient (**k**) calibration correction formula:

When the user found that the actual traffic flowed liquid flow has a larger error with displayed flow, using the following formula to re-calculated **k** value

$$k = \frac{l \times k_0}{L_0}$$

Note:

- l = flow rate of flow meter
- k_0 = current flow (not to amend before) k value
- L_0 =user graduated cylinder measures the value

Users to manually modify the k value, for example:

Clear "0" TTL1 value or remove the batteries, to clear TTL1, TTL2 "0", fitted with batteries, button is shifted to TTL1 status, start the measurement of liquid flow, the flowed liquid enters into the standard cylinder. Record the displayed flow value and graduated cylinder flow value after the liquid flows out, such as displayed flow $l=95.56$ LTR, graduated cylinder measures the value $L_0=100$ LTR, current k value (not to amend before) $k_0=40$, Calculated as follows

$$k = \frac{95.56 \times 40}{100} = 38.224$$

As it only keeps the 2 numerical after two decimal, $k=38.22$, to modify **k** value to 38.22 is okay

IV. Maintenance

The computerized electronic meters can work at least 9,000 hours (one year) as the battery power. In most cases, the batteries are required to be replaced for one year. Prior to the demolition of the battery on sealed meter will extend batteries life. If the meter readings are dim or blanking, the battery should be replaced. PLS use batteries for Replacement from your distributor or factory.

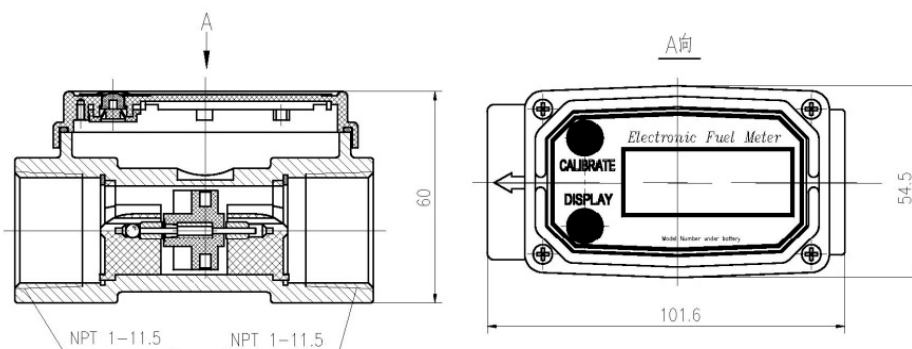
When the batteries are disconnected or damaged, circuits in batches and the total cumulative return to zero. Factory on-site check at the time still without power at the instrument computer.

I strongly recommend checking the batteries and electrodes cleansing routine should be used as part of the process of maintenance. Battery electrode should be inspected once a year. No need to remove the instrument from the pipeline system, the batteries can be replaced .

V. Batteries replacement

- Remove the four angle screws from the instrument's control panel, take the computerized electronic instruments (LCD screen) from the turbine flow
- Take out the batteries
- Check battery electrode, if rust, and clear it.
- Install new batteries, to ensure that the batteries are installed correctly, after the installation of the batteries, the the computer will be opened automatically, and display the reading information.
- Install the electronic instrument (LCD screen) on the turbine flow meter, ensure that the O-ring is installed to right place. tighten the four screws
- It is prohibited to use isopropyl alcohol to clean the external computer assembly.

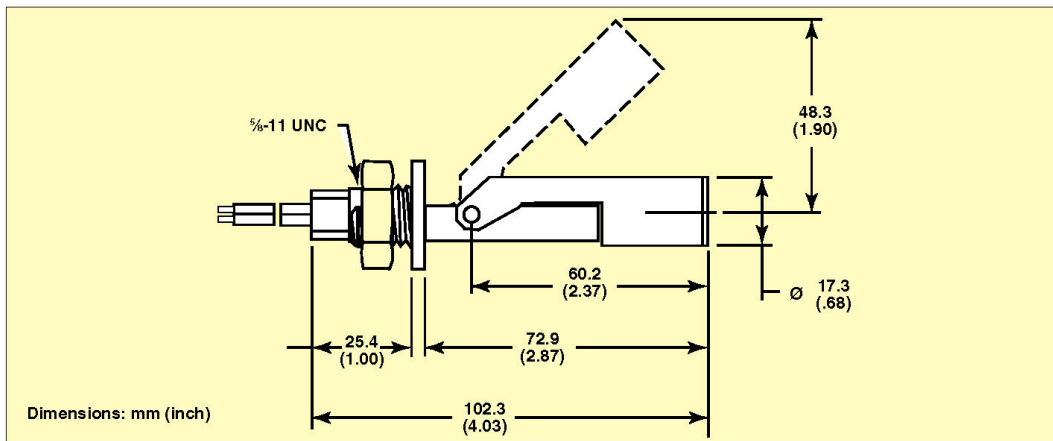
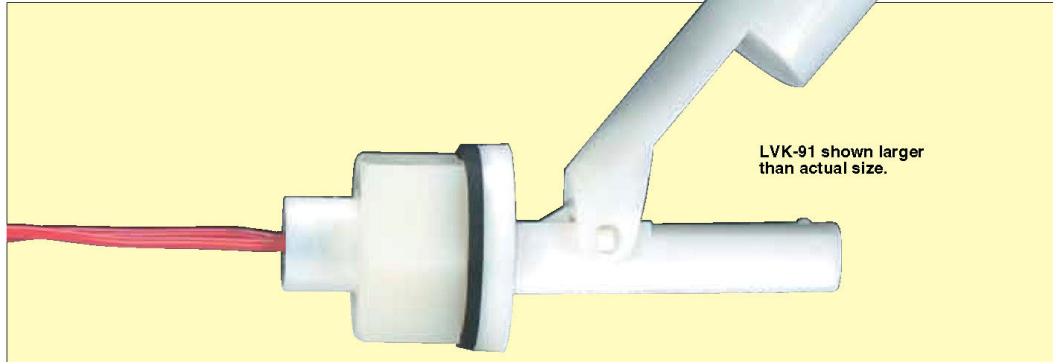
VI. Assembly drawing



VII. Fault resolution

FAULTS	REASONS	RESOLUZIONI
Data inaccurate	<ol style="list-style-type: none"> 1. On-site calibration method is not correct. 2. Factory calibration is not suitable for liquid under measurement. 3. Instrument operation is less than the minimum flow rate. 4. The flow meter is blocked by part of dry liquid. 5. Sealant material wrapped around the impeller. 6. Packed with accessories too closely. 7. Installed too close to the motor or electronic noise environment. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Re-calibration on-site or scene selection for Factory calibration. 2. Calibration on-site by Check Chapter 3. Remove the impeller and carefully cleaned. To ensure that the impeller rotating freely. 4. Removed instrument (LCD screen) to ensure that the impeller rotating freely. 5. Installed correctly. 6. Installed correctly.
Readings are degenerating or blanking	<ol style="list-style-type: none"> 1, Power of batteries is weak, or even on depleted. 2, The computer failure. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Removed the computer and, if necessary, check and reinstall or replace the batteries. 2. Factory contact.
Normal flow rate but the instrument does not count, when pressing the DISPLAY button, the instrument boots.	<ol style="list-style-type: none"> 1, On-site calibration method is not correct. 2, Impeller jammed or damaged. 3, Sealant material wrapped around the impeller. 4, The computer failure. 	<p>Re-check on-site, or check by Factory.</p> <p>Removed instrument to ensure that the impeller rotating freely.</p> <p>Removed instrumentation to ensure that the impeller rotating freely.</p> <p>Contact factory</p>
The flow rate meter reduced and can not counter, when press "DISPLAY ", instrument boots.	<ol style="list-style-type: none"> 1、 The flow meter is blocked by dry liquid. 2、 Lower than minimum flow rate 	<p>Removed instrument (LCD screen) to ensure that the impeller rotating freely.</p> <p>Improve flow rate.</p>
Instrument is not allowed the access to the site check.	<ol style="list-style-type: none"> 1, The computer circuit board failure. 2, Buttons failure. 	<p>Replace the computer, contact factory</p> <p>Replace the computer, contact factory</p>

DIRECT SIDE MOUNTED LEVEL CONTROLS



LVK-91



- ✓ Ideal For Tanks With Inaccessible Tops or Bottoms
- ✓ Convenient Side Mounting in Small Tanks
- ✓ Very Compact Size
- ✓ Selectable Normally Open or Normally Closed

The OMEGA® LVK-91 single station horizontal level switch is cost effective for level control applications in small tanks where it is more convenient to install a level switch through the sidewall of the tank. When the float arm is raised to the switch housing, the switch is activated. As the float drops away from the housing, it is deactivated. The movement of the float brings the imbedded magnet into close proximity to the encapsulated reed switch, causing it to actuate. The contact function may be selected as either normally open or normally closed.

SPECIFICATIONS

Thread: 1/8-11 UNC
Temperature Range: -40 to 107°C (-40 to 225°F)
Max. Pressure Rating: 6.89 bar (100 psi) @ 21°C (70°F)
Min. Sp. Gravity Liquid: 0.65
Switch Rating: 20 VA
Orientation: Horizontal
Switch: SPST, reed switch
Wetted Parts Material: Polybutylene Terephthalate

To Order

Model No.	Description	Material	Mounting
LVK-91	Single station horizontal switch	PBT	1/8-11 UNC

Comes with complete operator's manual.

Ordering Example: LVK-91, 1/8" NPT single station horizontal switch.

K-87

KT1210W Temperature Controller Operating Manual

1. Overview

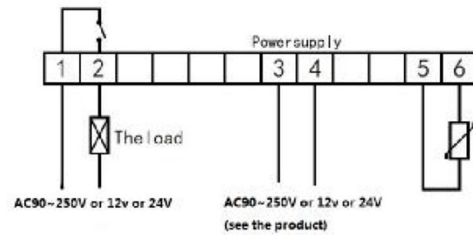
- Wide range working voltage.
- Support delay start and time shutdown.
- Heating or cooling mode can be set.
- All parameters setting can be saved after short circuit.
- high Control precision 0.1 centigrade
- Can be used for domestic freezer, water tanks, refrigerator, industrial chiller, steamer, industrial equipment and other temperature-controlled system.

2. Specifications

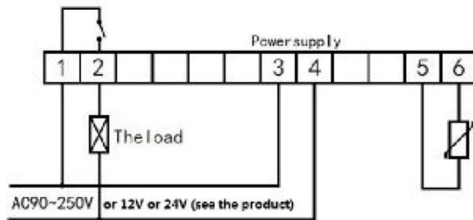
- Power Supply: AC90~250V 50/60HZ/ DC12V/ DC24V
- Temperature control range: -50~110°C
- Difference Set Value: 0.1~30°C
- Resolution Ratio: 0.1°C(-9.9-99.9); 1°C(other range)
- Measurement accuracy: ±0.1°C
- Control accuracy: 0.1°C
- Measuring inputs: NTC(10K0.5%) Waterproof sensor
- Output: Relay Contact Capacity 10A/220V normally open
- Environmental requirements: -20-70°C , humidity 20%~85%RH
- Size: 75mm(L)*34mm(W)*85mm(Depth)
- Hole size: 71(L)*29(W)mm
- Power consumption: Static current: ≤35MA, attract current: ≤65MA

3. Wiring Diagram

Connection 1:Independent power supply for load



Connection 2:Same power supply for load



4. Key Instruction

S:Set key,Confirm the setting value.Entry and Set parameter.

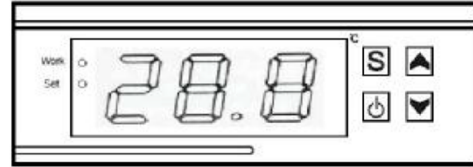
:power on/off, or quit the setting.

:increase value

:decrease value

Work:output indicator

Set:Setting indicator



5. Key Operation Instruction

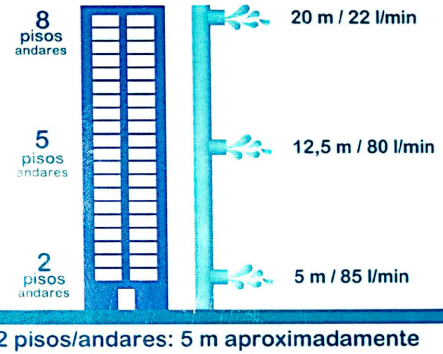
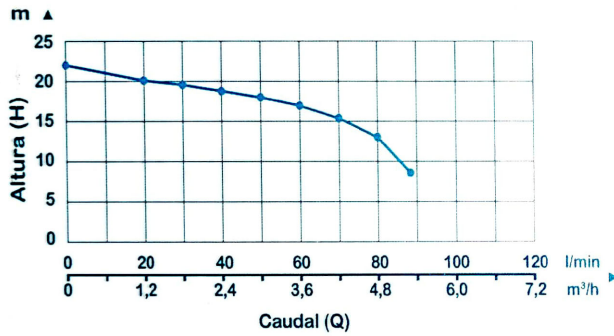
- In normal working status, hold 3seconds to power off, hold 3seconds to power on.
- In normal working status, press S. The led flash.Press or to increase or decrease the setting temperature value. Press S to save it and back to normal screen.
- In normal working status, press S for 3s to enter set mode. Press to switch from HC-A7.(see menu code). Press S to enter any code,press to change code setting.
- Both press for 3seconds to reset the controller.

6. Operation Instruction

- In normal working status, the screen display RT(real time temperature value).
- ①Cooling mode: HC set to C, use cooler as load. When $RT \geq ST$ (temperature set value) + D (difference value), work indicator turn on, output relay connect, Load start to work. When $RT \leq ST$, work indicator turn off, output relay disconnect, load stop working.
- For example,set 10 °C ,difference 3 °C ,cooler work when $RT \geq 13^{\circ}C$,cooler stop when $RT \leq 10^{\circ}C$.
- ②Heating mode: HC set to H,use heater as load. When $RT \leq ST-D$, work indicator turn on, output relay connect, load start to work. When $RT \geq ST$, work indicator turn off, output relay disconnect, load stop working.
- For example,set 10 °C ,difference 3 °C ,heater work when $RT \leq 7^{\circ}C$,heater stop when $RT \geq 10^{\circ}C$.

Code	explain	Setting Range	Factory Setting
HC	Heating/Cooling	H/C	C
D	Return Difference	0.1-30	2.0
LS	Set low Limit	-50	-50
HS	Set high limit	+110	110
PU	Delay Start	0-90minute	0
CA	Temp correction	-10-10	0.0
A7	Timing stop output	0-999minute	000

CURVA DE RENDIMIENTO HIDRÁULICO
CURVA DE DESEMPENHO HIDRÁULICO



BOMBA CENTRÍFUGA 0,5 HP / BOMBA CENTRÍFUGADORA 0,5 HP

Importado y distribuido por: Argentina: FAURELLA S.A. CUII. 34-487292-9 - Sucursal 1111 P. 18 1020 - Buenos Aires. Tel.54-11-4701-5001. - Brasil: CONSTRUECOR S.A. - CNPJ. 03.039.316/0009-44 - SAC. 55-11-2065-2500. - Chile: SODIMAC S.A. RIF. 96.792.430-K. - Av. Pedro Eduardo Frei M. 3092, Recoleta, Santiago. Tel. 56-2-2266-1000 / 449494. S.A. RIF. 74.021.233-5. Av. Santa Rosa 780, La Granga - Santiago. Tel. 56-2-2266-7000 / FAURELLA TECH. S.A. RIF. 77.261.250-K. - Manuel Rodríguez Norte 736, Santiago. Tel. 56-2-330-5000 / HERREREROS TUTTUS S.A. RIF. 76.427.210-4. - Héroles, Cva. 420, Subercastelo, Santiago. Tel. 56-2-227-0211. - Colombia: SODIMAC COLOMBIA S.A. Cod. SIC 9002210. NIT. 801242106-7. - Carrera 660 N.º 80-70, Bogotá. Tel. 57-1-3904000 / FAURELLA DE COLOMBIA S.A. NIT. 90107467-8. - Calle 99 No. 11A - 32, No. Reg. SIC. 900077407. Bogotá. Tel. 57-1-2658000. - Ecuador: 51-800-115236. - Pinar: Termino del Mejoramiento de Riego S.A. RIF. 2010227972. Av. Argentina Este No. 1025 Int. 2, Sanquillo - Lima. Tel. 51-1-2119500 / SIDA FAURELLA S.A. RIF. 201072854. - Av. Pisco de la República 220 San Isidro - Lima. Tel. 51-01-512-3222 / HERREREROS TUTTUS S.A. Av. Argentina Este 1835, oficina 5, Pisco. - Perú: RIF. 20505469704. - Tel. 51-01-513-3355. - Uruguay: Horcoerres Sidercos S.A. RIF. 71.099.665 0005. Pasa del Imperio 817, Montevideo, Uruguay. Tel. 996-208-7105.

México: COMERCIALIZADORA SODIMAC S.A. de C.V. Avenida Adolfo López Mateos 201, Colonia Santa Cruz Acatlán, Naucalpan De Juárez, Estado de México, C.P. 53150. RFC: CSD161207RZA. Tel.: +52 55 1516 4400.

ITEM N.º: XCM130K País de origen/origem: CHINA
Plazo de validez/Prazo de validade: indeterminado
N.º Lote: Código Voluntario: V20200728

CARACTERÍSTICAS

- Voltaje: 220 V -
- Frecuencia: 60 Hz
- Potencia: 370 W (0,5 HP)
- Velocidad Máxima Admisible: 3 400 r/min
- Caudal máximo: 85 l/min (5,1 m³/h)
- Altura máxima: 21 m
- T° Ambiente máx. Admisible: + 40 °C
- Diámetro entrada y salida: 25,4 mm x 25,4 mm
- Temperatura máxima de líquido: 40 °C
- Succión máxima: 8 m
- Peso: 7,5 kg



ATENCIÓN: Consulte el manual de instrucciones antes de instalar o usar el producto.
ATENÇÃO: Consultar o manual de instruções antes de instalar e usar o produto.

- Voltagem: 220 V -
- Frequência: 60 Hz
- Potência: 370 W (0,5 HP)
- Velocidade máxima admissível: 3 400 r/min
- Caudal máxima: 85 l/min (5,1 m³/h)
- Altura máxima: 21 m
- T° Ambiente máx. Admissível: + 40 °C
- Diâmetro de entrada e saída: 25,4 mm x 25,4 mm
- Temperatura máxima do líquido: 40 °C
- Sucção máxima: 8 m
- Peso: 7,5 kg



FICHA TÉCNICA



CPM130

Electrobomba
Centrífuga Monofásica



MOTOR

Motor de inducción de **2 polos**
(n= 2850 r.p.m)
Aislamiento **Clase B**
Protección **IP44**
Funcionamiento continuo **S1**
Protector térmico
Frecuencia **60 Hz**

CONDICIONES DE USO

Altura de aspiración
manométrica hasta **8m**

COMPONENTES Y CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

Cuerpo de
bomba: **Fierro
Fundido**

Soporte de
bomba: **Fierro
Fundido**



PARÁMETROS

MODELO	POTENCIA		ENTRADA / SALIDA	Q(M ³ H)	Q (L/MIN)						
	(Kw)	(Hp)			0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6
CPM130	0.37	0.5	1" x 1"	H	20	18,5	17	15,5	14	12	10

Síguenos en nuestras redes



MEBA Perú



9.3. Plan de mantenimiento del modulo

Para asegurar el correcto funcionamiento del módulo de la torre de enfriamiento se realizó el siguiente plan de mantenimiento

Tabla 44

Plan de mantenimiento del módulo de la torre de enfriamiento

DESCRIPCIÓN DE TAREAS		PERIODICIDAD				
		Puesta en marcha	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual
1	Revisión de estado general	X				
1.1	Limpieza del sistema completo	X		X		
1.2	Desinfección del sistema completo	X			X	
1.3	Verificación de estado de estructura y tanques (pintura, oxidación)	X				
1.4	Verificación de estado de garruchas	X				
1.5	Ajuste de rejillas de torre	X	X			
1.6	Acometidas (no apoyan sobre equipos)	X				X
1.7	Observación de posibles fugas de agua	X	X			
1.8	Comprobación de acometidas para servicio					X
2	Circuito hidráulico y torre de enfriamiento					
2.1	Limpieza de residuos y lavado de tanques de agua	X	X			
2.2	Inspección de válvulas de bola, de paso y Check			X		
2.3	Ajuste y verificación de estado relleno y separadores de gotas					X
2.4	Pruebas de funcionamiento de conexiones de tubería de drenaje	X			X	
2.5	Pruebas de funcionamiento de conexiones de tubería de alimentación	X			X	
2.6	Limpieza de interior de tuberías de calentador con agua	X				
2.7	Desmontaje de calentador para revisión de estado de resistencias eléctricas, relleno, cables de alimentación y borneras.					X
3	Elementos de ventilación y bombeo					
3.1	Limpieza de ventiladores (aspas, álabes)	X		X		
3.2	Comprobación libre giro de ventiladores	X		X		
3.3	Comprobación sentido giro de ventiladores			X		
3.4	Comprobación ruidos de ventilador	X		X		

3.5	Ajuste de pernos de soporte de eje ventilador				X	
3.6	Limpieza superficial de bomba	X				
3.7	Lubricar rodamientos/cojinetes de bomba				X	
3.8	Comprobación placa motor/tensión de red	X				
3.9	Comprobación tensión y consumos de bombas			X		
3.10	Comprobar fijaciones de motores	X			X	
3.11	Comprobar fijaciones de bombas	X			X	
4	Tablero de eléctrico					
4.1	Limpieza de tableros de distribución con brocha o aspiradora	X				
4.2	Inspección de tableros de distribución	X	X			
4.3	Pruebas de aislamiento				X	
4.4	Identificación de las fases de los cables de alimentación			X		
4.5	Medición de voltajes, corrientes y temperaturas	X		X		
4.6	Inspección que no existan daños o piezas flojas	X		X		
4.7	Verificación de la hermetización del tablero	X				X
4.8	Revisión de los directorios de los circuitos y leyendas	X				X
4.9	Energización eléctrica de tableros y verificación del correcto funcionamiento	X			X	

Fuente: elaboración propia

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA,
MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA



ASIGNATURA: LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS


PRACTICA N° ___

MÓDULO TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO INDUCIDO




AREQUIPA-PERÚ

2024

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	COD: TORRE-001
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	Fecha: 20/09/2024
	GUÍA DE LABORATORIO: MÓDULO TORRE DE ENFRIAMIENTO	Página: 1 de 16

CONTENIDO

1. OBJETIVO:.....	2
2. INFORMACIÓN GENERAL:	2
2.3. TORRE DE ENFRIAMIENTO	2
2.4. TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO INDUCIDO.....	2
2.5. BALANCE CALÓRICO DE UN PROCESO DE ENFRIAMIENTO	3
3. PARTES DEL MODULO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO.....	5
4. PROCEDIMIENTO.....	5
5. PASOS PARA LA PRÁCTICA DE LABORATORIO.....	8

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	COD: TORRE-001
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	Fecha: / /
	GUÍA DE LABORATORIO: MÓDULO TORRE DE ENFRIAMIENTO	Página: 2 de 16

1. OBJETIVO:

El objetivo principal de esta práctica es que el alumno conozca cual es el comportamiento de una torre de enfriamiento de tiro inducido y que esta le permita conocer cuáles son los cálculos más importantes que se deben realizar dentro de un sistema de este tipo.

- Temperatura de Ingreso VS Temperatura de salida de la torre de enfriamiento.
- Capacidad de enfriamiento (TON) VS Variación de Temperatura ΔT [°C].


2. INFORMACIÓN GENERAL:

2.3. TORRE DE ENFRIAMIENTO

Las torres de enfriamiento son equipos que se usan para enfriar agua en grandes volúmenes, extrayendo el calor del agua mediante evaporación o conducción. El proceso es económico, comparado con otros equipos de enfriamiento como los cambiadores de calor, donde el enfriamiento ocurre a través de una pared. El agua se introduce por el domo de la torre por medio de ventiladores o por boquillas para distribuir el agua en la mayor superficie posible. El enfriamiento ocurre cuando el agua, al caer a través de la torre, se pone en contacto directo con una corriente de aire que fluye a contracorriente o a flujo cruzado con una temperatura menor a la temperatura del agua, en estas condiciones, el agua se enfría por transferencia de masa (evaporación), originando que la temperatura del aire y su humedad aumenten y que la temperatura del agua descienda; la temperatura límite de enfriamiento del agua es la temperatura del aire a la entrada de la torre. Parte del agua que se evapora, causa la emisión de más calor, por eso se puede observar vapor de agua encima de las torres de refrigeración.

2.4. TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO INDUCIDO

El aire se succiona a través de la torre mediante un ventilador situado en la parte superior de la torre. Ésta tiene una velocidad de descarga de aire 3 ó 4 veces más grande que la velocidad de entrada de aproximadamente de unos 8 km/h. Dentro de las ventajas que ofrecen estas torres podemos mencionar que no hay tendencia a que se creen zonas de baja presión por acción de ventiladores que puedan provocar recirculación. Esta configuración permite que el aire pueda entrar a lo largo de una o más paredes de la torre y gracias a esto, la altura requerida es más pequeña si la comparamos con torres de otro tipo. En estas torres, el aire se descarga a través del ventilador a alta velocidad proyectando

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	COD: TORRE-001
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	Fecha: / /
	GUÍA DE LABORATORIO: MÓDULO TORRE DE ENFRIAMIENTO	Página: 3 de 16

el flujo hacia arriba, donde se encuentran las corrientes naturales de aire que evitan que exista un asentamiento posteriormente.

Torre de enfriamiento de tiro inducido



2.5. BALANCE CALÓRICO DE UN PROCESO DE ENFRIAMIENTO

En la Figura se ilustran las relaciones del agua y el aire y el potencial impulsor que existe en una torre de contraflujo, en donde el aire fluye en sentido paralelo, pero siguiendo una dirección opuesta al flujo del agua. La comprensión de este diagrama constituye una base importante para entender el proceso de la torre de enfriamiento. La línea de operación del agua está representada por la línea AB y se especifica por medio de las temperaturas del agua de la torre en la entrada y la salida. La línea de operación del aire principia en C, verticalmente por debajo de B, y en un punto que tiene una entalpía correspondiente a la temperatura de entrada de bulbo húmedo. La línea BC representa la fuerza impulsora inicial ($h' - h$). Para enfriar el agua 1 °F, la entalpía por libra de aire aumenta 1 Btu multiplicada por la razón de libras de agua por libra de aire. La relación líquida/gas (L/G) es la pendiente de la línea de operación.

El aire que sale de la torre se representa por medio del punto D y la gama de enfriamiento es la longitud proyectada de la línea CD sobre la escala de temperaturas. La diferencia útil de temperaturas en la torre de enfriamiento se ilustra en el diagrama como la diferencia entre la temperatura del agua fría que sale la torre y la temperatura de bulbo húmedo del ambiente.

Las coordenadas se refieren directamente a la temperatura y la entalpía de cualquier punto en la línea de operación del agua; pero en la línea de operación del aire, la referencia se hace tan sólo a la entalpía de un punto. La temperatura de bulbo húmedo correspondiente a cualquier punto de CD se encuentra proyectando dicho punto en sentido horizontal a la curva de saturación y luego en sentido vertical a la coordenada de temperaturas.


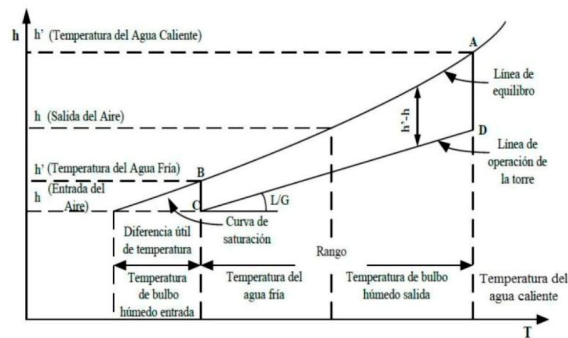

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	COD: TORRE-001
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	Fecha: / /
	GUÍA DE LABORATORIO: MÓDULO TORRE DE ENFRIAMIENTO	Página: 4 de 16

Diagrama de operación para una torre de enfriamiento; gráfica de la entalpía del aire contra la temperatura del agua.



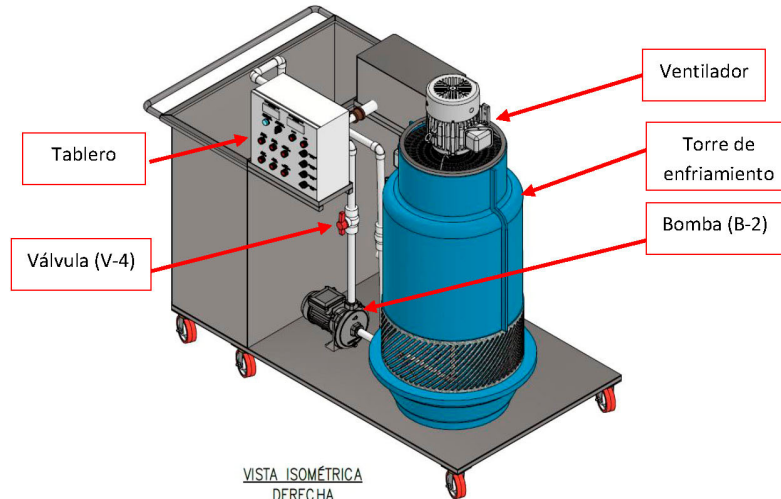
El aire se succiona a través de la torre mediante un ventilador situado en la parte superior de la torre. Ésta tiene una velocidad de descarga de aire 3 ó 4 veces más grande que la velocidad de entrada de aproximadamente de unos 8 km/h. Dentro de las ventajas que ofrecen estas torres podemos mencionar que no hay tendencia a que se creen zonas de baja presión por acción de ventiladores que puedan provocar recirculación. Esta configuración permite que el aire pueda entrar a lo largo de una o más paredes de la torre y gracias a esto, la altura requerida es más pequeña si la comparamos con torres de otro tipo.

En estas torres, el aire se descarga a través del ventilador a alta velocidad proyectando el flujo hacia arriba, donde se encuentran las corrientes naturales de aire que evitan que exista un asentamiento posteriormente

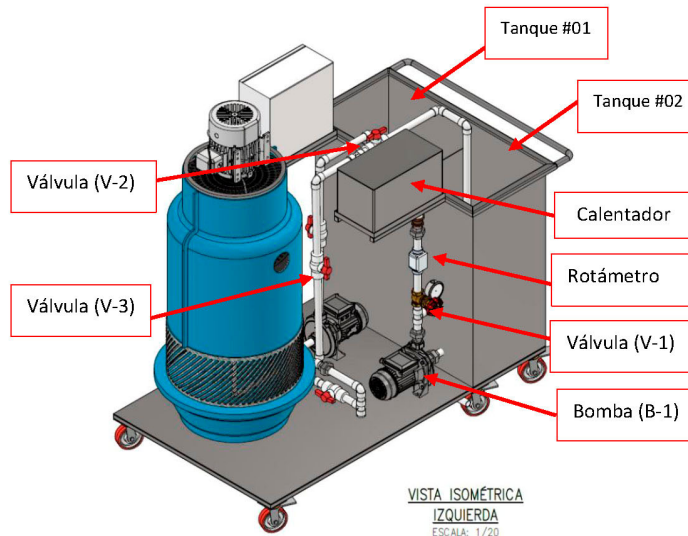
	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	COD: TORRE-001
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	Fecha: / /
	GUÍA DE LABORATORIO: MÓDULO TORRE DE ENFRIAMIENTO	Página: 5 de 16

3. PARTES DEL MÓDULO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

A continuación, se señala las principales partes del módulo




VISTA ISOMÉTRICA
DERECHA
ESCALA: 1/20



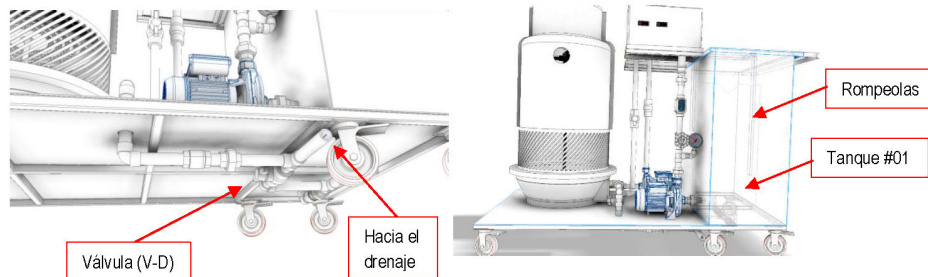
VISTA ISOMÉTRICA
IZQUIERDA
ESCALA: 1/20

4. PROCEDIMIENTO

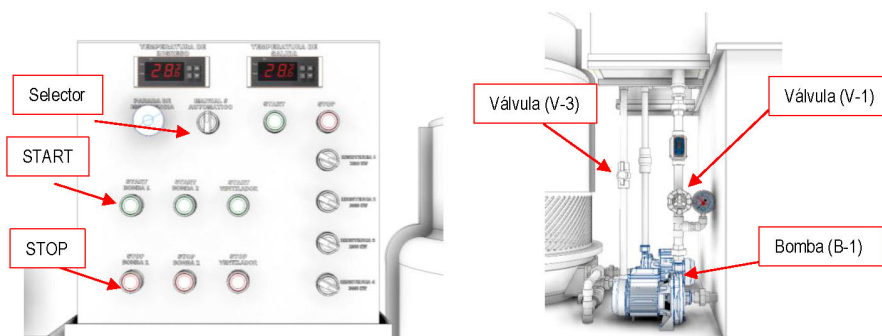
PASO 01: Verificar la limpieza del módulo antes de realizar las pruebas, el suministro de agua, drenaje, y suministro eléctrico hacia el tablero eléctrico.

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	COD: TORRE-001
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	Fecha: / /
	GUÍA DE LABORATORIO: MÓDULO TORRE DE ENFRIAMIENTO	Página: 6 de 16


PASO 02: Verificar que la válvula de drenaje (V-D) en la parte inferior del tanque se encuentre **CERRADA**. Llenar de agua la cámara de alimentación del tanque #01 hasta llegar a la mitad del tanque de alimentación. Que servirá para la primera limpieza del circuito. Realizar la conexión del sistema de drenaje del módulo a un punto de drenaje.

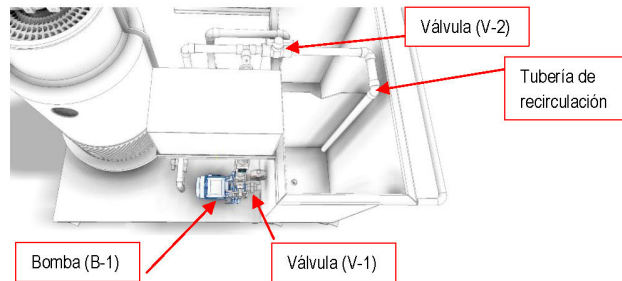


PASO 03: Con el tanque lleno, se cierra por completo la válvula PVC (V-3), en el tablero se pone el selector en “modo manual”, y pulsar el botón verde “START BOMBA 1”.

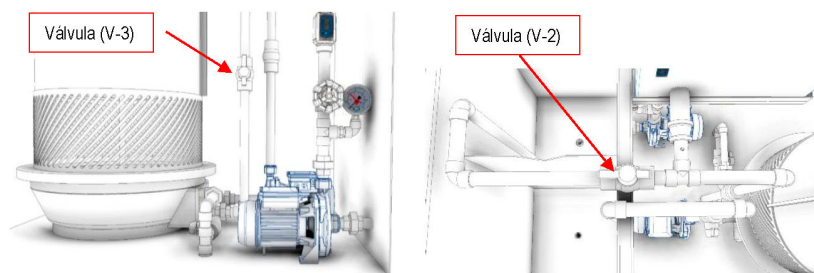


PASO 04: Con la válvula (V-3) cerrada, se apertura la válvula (V-2), secuencialmente se apertura la válvula (V-1), que circulará agua para realizar la limpieza de las tuberías. En la tubería de recirculación se recibirá esta agua en un balde, esta agua será desechada. Podemos detener el funcionamiento de la bomba con el pulsador stop de la bomba en el tablero eléctrico.

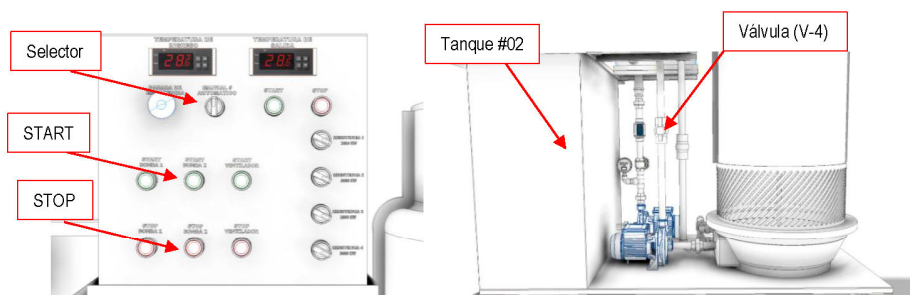
	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	COD: TORRE-001
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	Fecha: / /
	GUÍA DE LABORATORIO: MÓDULO TORRE DE ENFRIAMIENTO	Página: 7 de 16




PASO 05: Una vez limpia la línea de recirculación se procede con la apertura de la válvula (V-3) para ingresar agua a la torre de enfriamiento. Mantener la válvula (V-2) cerrada. Este proceso se realizará hasta que la tina de la torre se encuentre llena. Detener la bomba (B-1) con el botón stop de la Bomba.



PASO 06: En el tablero eléctrico accionar la bomba (B-2) manteniendo el selector en modo manual en el tablero, para drenar el agua de la tina, hacia el tanque #02, se apertura la válvula (V-4), recibir el líquido en un recipiente.

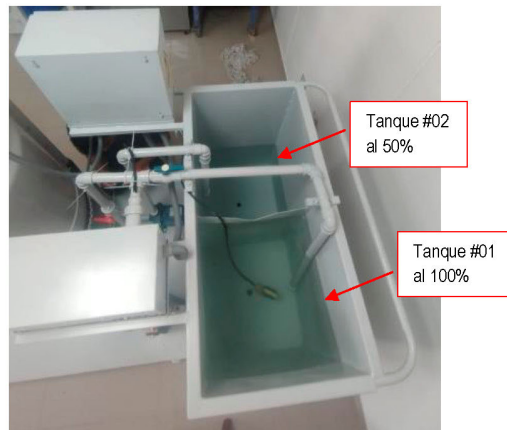


	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	COD: TORRE-001
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	Fecha: / /
	GUÍA DE LABORATORIO: MÓDULO TORRE DE ENFRIAMIENTO	Página: 8 de 16

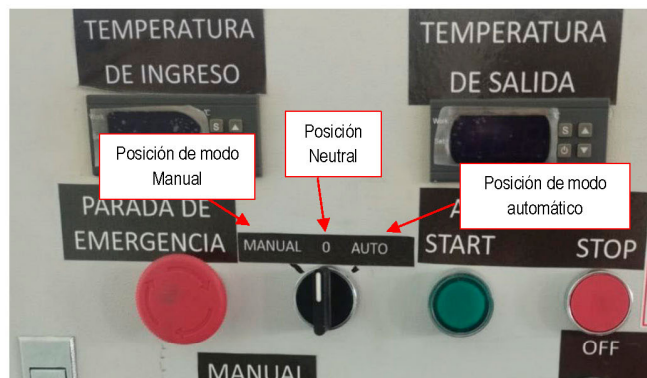
5. PASOS PARA LA PRÁCTICA DE LABORATORIO.


Una vez realizada la limpieza del módulo, cerrar todas las válvulas, y verificar que la válvula de drenaje que en la parte inferior del tanque se encuentre **CERRADA**.

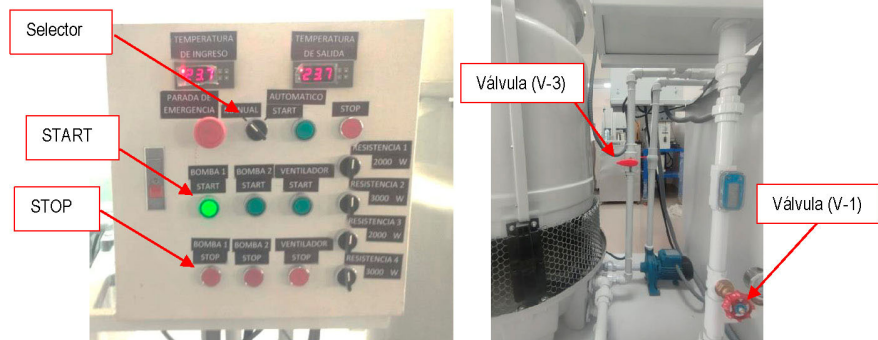
PASO 01: Llenar de agua la cámara de alimentación del tanque #01 hasta llegar al límite del rompeolas y el tanque #02 solamente hasta la mitad.



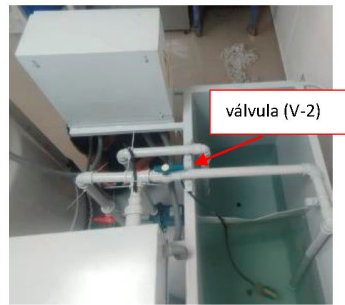
PASO 02: Con el tanque lleno, se cierra por completo la válvula PVC (V-3), en el tablero se pone el selector en “modo manual”, y pulsar el botón verde “START BOMBA 1”. Para iniciar la recirculación en el tanque #01.



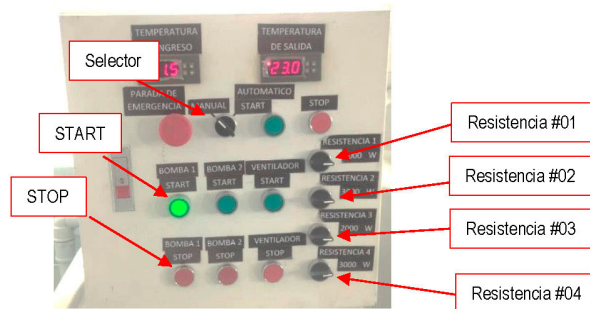
	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	COD: TORRE-001
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	Fecha: / /
	GUÍA DE LABORATORIO: MÓDULO TORRE DE ENFRIAMIENTO	Página: 9 de 16




Apertura la válvula (V-1) y (V-2) en su totalidad para llegar a los 60 Lpm en la recirculación.

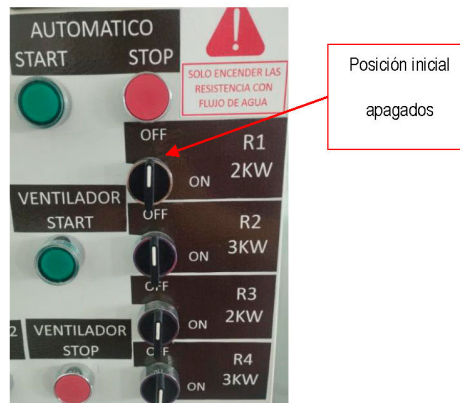


PASO 03: En el tablero eléctrico accionar el encendido de las resistencias de inmersión, de acuerdo a la necesidad para el pre-calentamiento del agua.



IMPORTANTE: Solamente se debe de encender las resistencias cuando exista flujo de agua, si las resistencias se encienden sin flujo de agua corren el riesgo de quemarse.

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	COD: TORRE-001
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	Fecha: / /
	GUÍA DE LABORATORIO: MÓDULO TORRE DE ENFRIAMIENTO	Página: 10 de 16




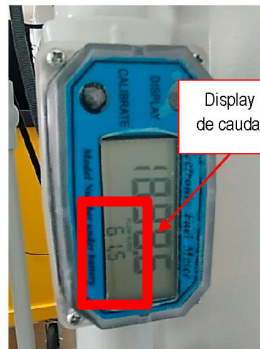
PASO 04: Identificar los sensores de temperatura para la toma de datos del agua. La lectura de los valores se tomará en los displays del tablero eléctrico.



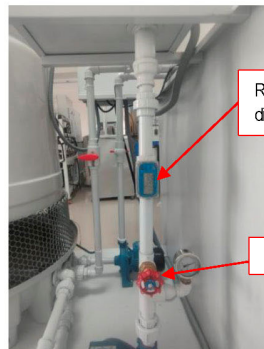
Calentar el agua hasta llegar a los 42 °C en el display del sensor de temperatura T1, una vez alcanzada esta temperatura, apagar las resistencias eléctricas, y continuar la recirculación por un aproximado de 1 min. Esto para homogenizar la temperatura del tanque de agua, después de pasar minuto el display de temperatura deberá de marcar 40°C, se deberá de cerrar parcialmente la válvula (V-1) para regular el caudal hasta llegar al caudal deseado a ensayar.



	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	COD: TORRE-001
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	Fecha: / /
	GUÍA DE LABORATORIO: MÓDULO TORRE DE ENFRIAMIENTO	Página: 11 de 16



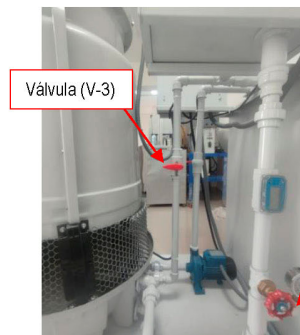
Display de caudal



Rotámetro digital

Válvula (V-1)

PASO 05: En el tablero eléctrico presionar el STOP BOMBA 1, y proceder a aperturar las válvulas (V-3), (V-4) y cerrar la válvula (V-2) de la recirculación.

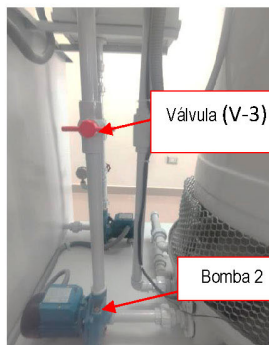


Válvula (V-3)

Válvula (V-1)




válvula (V-2)

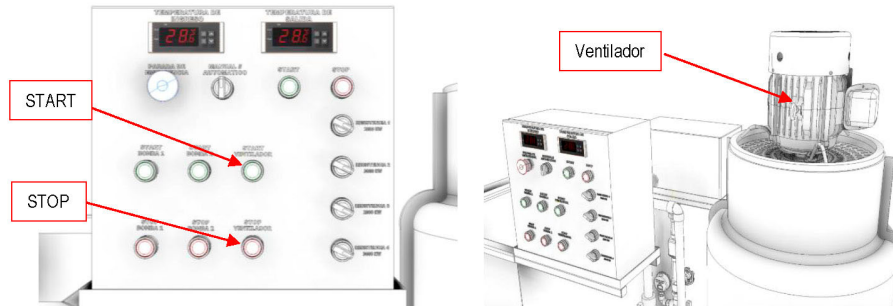


Válvula (V-3)

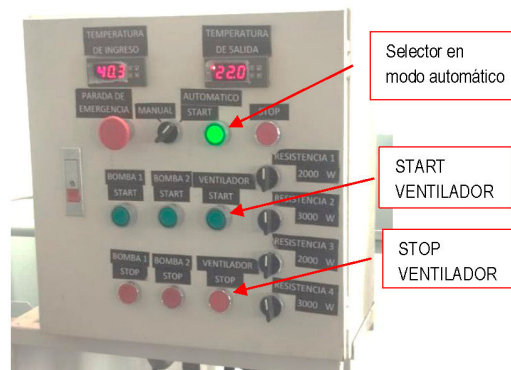
Bomba 2

PASO 06: Controlar el arranque y paro del ventilador para realizar las pruebas, ubicar en el tablero eléctrico su accionamiento.

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	COD: TORRE-001
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	Fecha: / /
	GUÍA DE LABORATORIO: MÓDULO TORRE DE ENFRIAMIENTO	Página: 12 de 16




PASO 06: Con el agua a la temperatura 40°C y regulado el caudal procedemos a accionar en el tablero eléctrico el selector en “Modo automático”, y pulsar el botón verde “START” y “VENTILADOR START”.



NOTA: Al iniciar el recorrido, se puede visualizar que la temperatura que registra el termómetro T1 puede ser superior a los 40 °C al que se llegó inicialmente en la fase de calentamiento de agua, pero esto se debe a que al parar la bomba las resistencias aun demoran en enfriarse y transfieren el calor al fluido que se encuentre en ese lugar estático, por lo que en la toma de datos no se debe considerar esta lectura hasta que se establezca a un valor aproximado a 40°C.

PASO 07: Toma de datos de ensayo de laboratorio cada vez que la temperatura de ingreso descienda 1 °C, tomar los datos de humedad en la base de la torre para determinar las temperaturas de bulbo seco y humedad, luego ubicar el termohidrometro sobre la torre para realizar la lectura de datos de humedad a la salida.

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	COD: TORRE-001
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	Fecha: / /
	GUÍA DE LABORATORIO: MÓDULO TORRE DE ENFRIAMIENTO	Página: 13 de 16



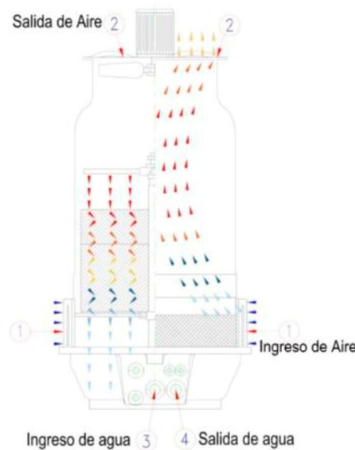
NOTA: Al finalizar cada ensayo verificar el tanque inferior de la torre, si se encuentra con agua activar la bomba 2 con el modo manual hasta vaciarlo, seguidamente **cerrar todas las válvulas** para evitar cualquier tipo de rebose.

Controlando el caudal a 20, 30 y 40 Lpm, a una temperatura de 37°C inicial y llenar las tablas considerando las siguientes formulas:


$$\Delta T [^{\circ}C] = T1 [^{\circ}C] - T2 [^{\circ}C]$$

$$Cap. de Enfriamiento [TON] = \left[\left(Q \left[\frac{Lt}{min} \right] \cdot \frac{1 [min]}{60 [s]} \right) \cdot 4.18 \left[\frac{KJ}{Kg \cdot ^{\circ}C} \right] \cdot \Delta T [^{\circ}C] \right] \cdot \frac{1 [TON]}{3.52 [KW]}$$

NOTA: Se recomienda realizar la toma de datos cada 10 s hasta llegar a que la temperatura de ingreso sea igual a la temperatura ambiente.



INGRESO DE AIRE (1)	
Temp. Bulbo seco TBS [°C]	Humedad ϕ [%]

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	COD: TORRE-001
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	Fecha: / /
	GUÍA DE LABORATORIO: MÓDULO TORRE DE ENFRIAMIENTO	Página: 14 de 16

Ensayo a caudal contante de 30 Lt/min y Temperatura de ingreso de 37°C.


Ensayo	INGRESO (3) Y SALIDA DE AGUA (4)						AIRE SALIDA (2)	
	Caudal Q [Lt/min]	Presión P [PSI]	Temp. de Ingreso T1 [°C]	Temp. de Salida T2 [°C]	Variación de Temp. ΔT [°C]	Cap. de Enfriamiento (TON)	Temp. Bulbo seco TBS [°C]	Humedad φ [%]
1	30							
2								
3								
4								
5								
6								
7								

Ensayo a caudal contante de 40 Lt/min y Temperatura de ingreso de 37°C.

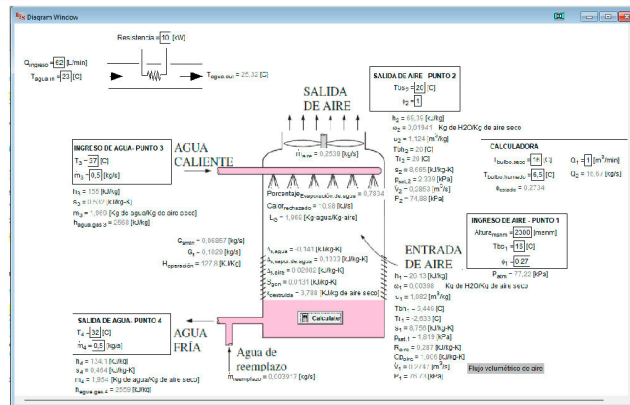
Ensayo	INGRESO (3) Y SALIDA DE AGUA (4)						AIRE SALIDA (2)	
	Caudal Q [Lt/min]	Presión P [PSI]	Temp. de Ingreso T1 [°C]	Temp. de Salida T2 [°C]	Variación de Temp. ΔT [°C]	Cap. de Enfriamiento (TON)	Temp. Bulbo seco TBS [°C]	Humedad φ [%]
1	40							
2								
3								
4								
5								
6								
7								

Ensayo a caudal contante de 50 Lt/min y Temperatura de ingreso de 37°C.

Ensayo	INGRESO (3) Y SALIDA DE AGUA (4)						AIRE SALIDA (2)	
	Caudal Q [Lt/min]	Presión P [PSI]	Temp. de Ingreso T1 [°C]	Temp. de Salida T2 [°C]	Variación de Temp. ΔT [°C]	Cap. de Enfriamiento (TON)	Temp. Bulbo seco TBS [°C]	Humedad φ [%]
1	50							
2								
3								
4								
5								
6								
7								

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	COD: TORRE-001
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	Fecha: / /
	GUÍA DE LABORATORIO: MÓDULO TORRE DE ENFRIAMIENTO	Página: 15 de 16

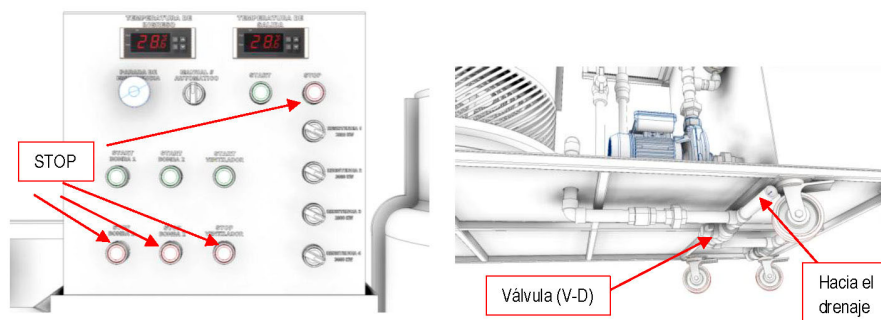
PASO 08: Con el uso del software EES, identificaremos las propiedades del agua y aire durante la experimentación.



PASO 09: Con los datos obtenidos graficar:

- ✓ Temp. de Ingreso T1 [°C] VS Temp. de Salida T2 [°C]
- ✓ Cap. de Enfriamiento (TON) VS Variación de Temp. ΔT [°C]

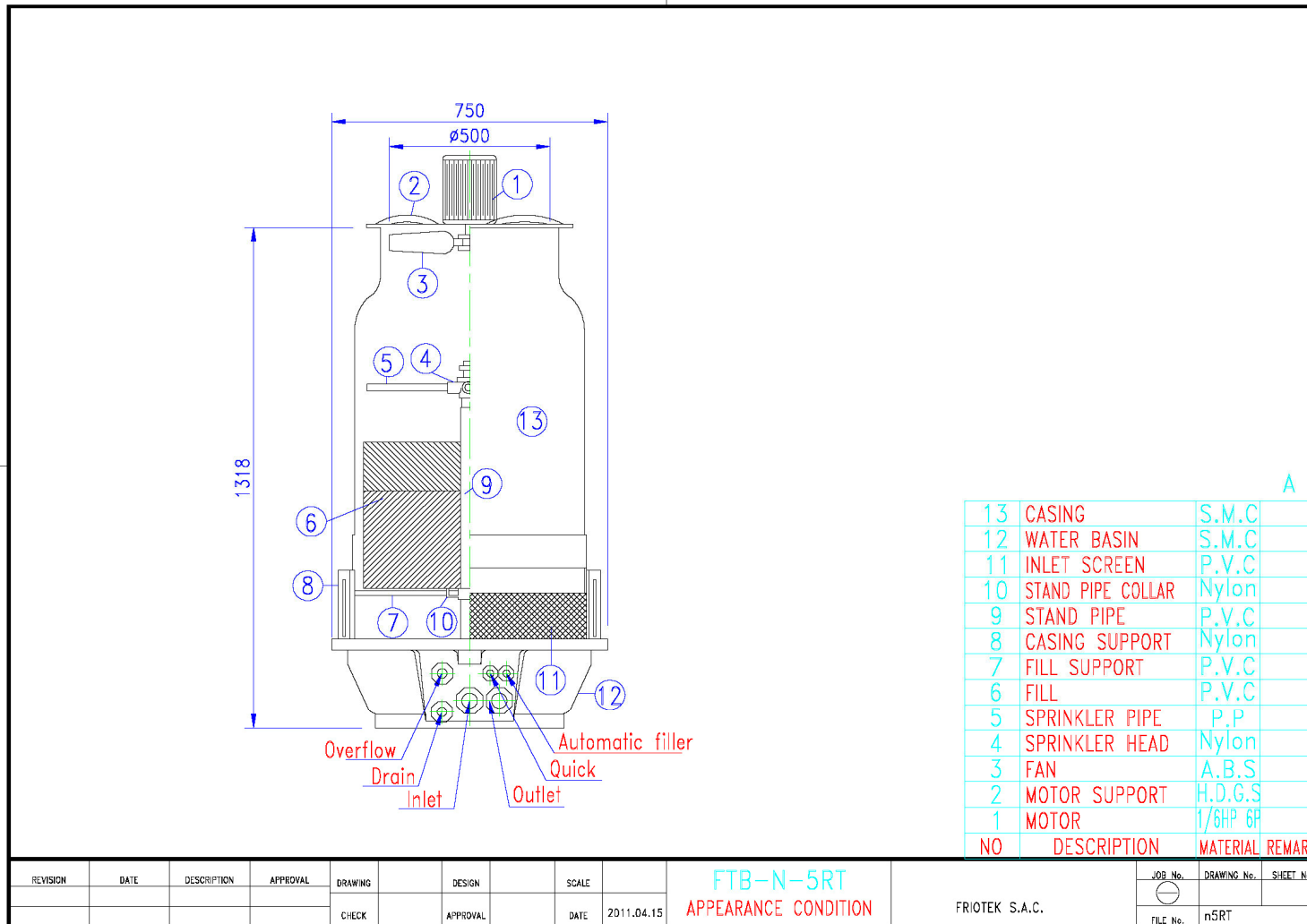
PASO 10: Al finalizar cada ensayo verificar que el tanque bajo la torre se encuentre vacío, caso contrario activar la bomba 2 manualmente para evitar reboses, apagar secuencialmente todos los equipos en el tablero eléctrico y **cerrar todas las válvulas**, desenergizar el módulo, al finalizar el laboratorio realizar el drenado de agua se apertura la válvula (V-D), asegurar de que no queden remanentes de agua para evitar el desgaste prematuro.



PASO 11: Redactar Observaciones y Conclusiones finalizada la experimentación.

9.5. Planos

9.5.1. Plano de la Torre



9.5.2. Planos Estructurales

The drawings include:

- VISTA SUPERIOR** (Top View): Shows the circular fan and internal piping from above.
- VISTA POSTERIOR** (Rear View): Shows the back of the unit with piping and electrical connections.
- VISTA ISOMÉTRICA INFERIOR** (Bottom Isometric View): Shows the unit from below, highlighting the base and wheels.
- VISTA FRONTAL** (Front View): Shows the unit from the front, including the fan and control panel.
- VISTA ISOMÉTRICA DERECHA** (Right Isometric View): Shows the unit from the right side.
- VISTA ISOMÉTRICA IZQUIERDA** (Left Isometric View): Shows the unit from the left side.
- VISTA INFERIOR** (Bottom View): Shows the unit from below, similar to the bottom isometric view but from a different perspective.

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIA DE PLANOS

**E.P. INGENIERÍA MECÁNICA,
MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA**

ESTE PLANO Y LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN EL, SON PROPIEDAD DE LA UTEM SU USO Y REPRODUCCIÓN SIN AUTORIZACIÓN PREVIA, ESTÁ PROHIBIDO.

FECHA: 15/08/2024

APROBADO: 15/08/2024

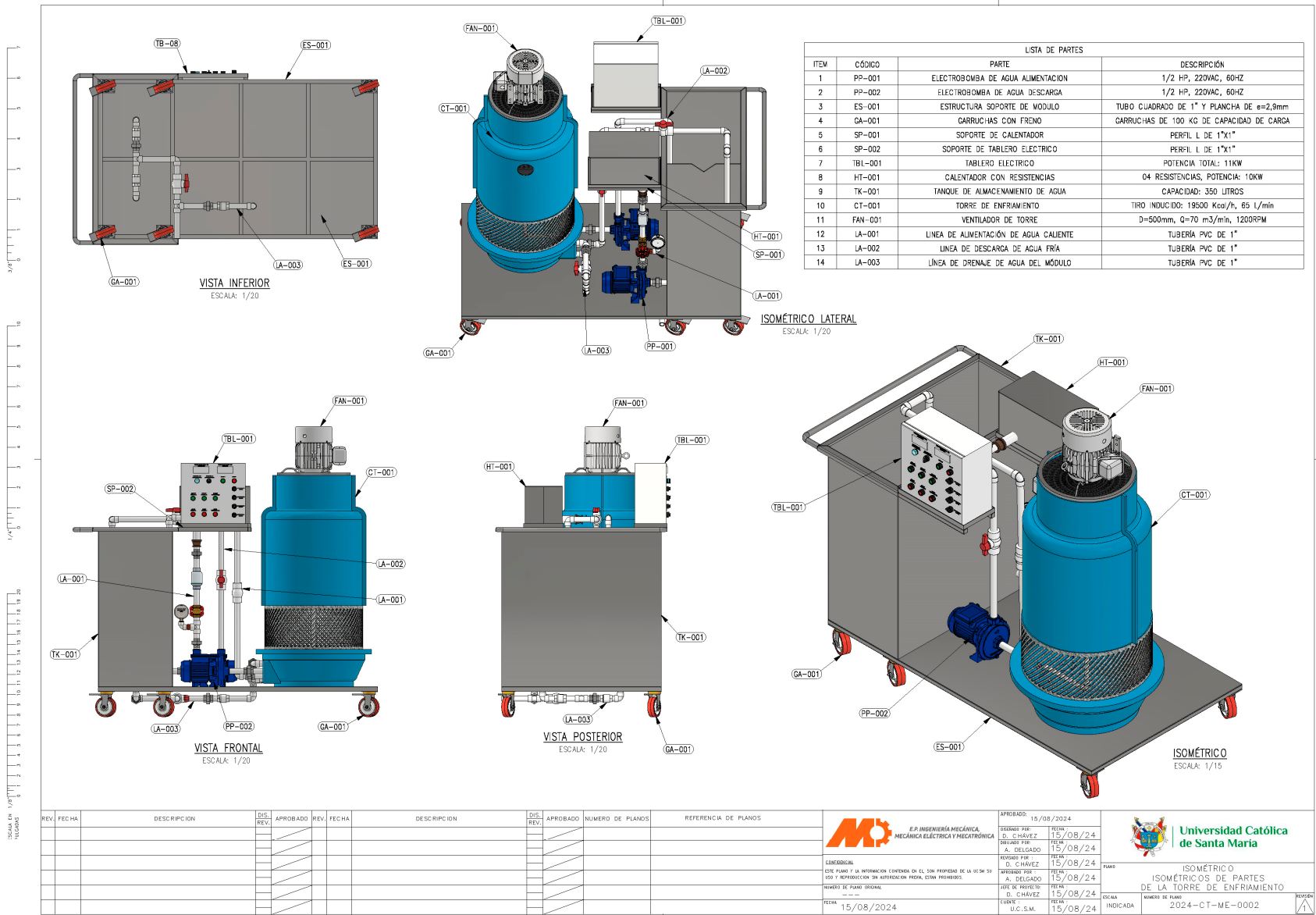
DESIGNADO POR:	FECHA:
D. CHÁVEZ	15/08/24
REVISADO POR:	FECHA:
A. DELGADO	15/08/24
REVISADO POR:	FECHA:
D. CHÁVEZ	15/08/24
REVISADO POR:	FECHA:
A. DELGADO	15/08/24
JEFE DE PROYECTO:	FECHA:
D. CHÁVEZ	15/08/24
CLIENTE:	FECHA:
U.C.S.M.	15/08/24

**Universidad Católica
de Santa María**

PLANO: ISOMÉTRICO
ISOMÉTRICOS GENERALES
DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

FECHA: 2024-CT-ME-0001

INDICADA



SECCION EN 1/20

SECCION EN 1/20

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	DIS. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	DIS. REV.	APROBADO	NÚMERO DE PLANOS	REFERENCIA DE PLANOS

**E.I. INGENIERÍA MECÁNICA,
MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA**

ESTE PLANO Y LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN EL, SON PROPIEDAD DE LA U.C.S.M. SU USO Y REPRODUCCIÓN SIN AUTORIZACIÓN PREVIA, ESTÁN PROHIBIDOS.

NÚMERO DE PLANO ORIGINAL: _____

FECHA: 15/08/2024

APROBADO: 15/08/2024

DESIGNO POR	FECHA
D. CHÁVEZ	15/08/24
PROYECTO POR	FECHA
A. DELGADO	15/08/24
PROYECTO POR	FECHA
D. CHÁVEZ	15/08/24
PROYECTO POR	FECHA
A. DELGADO	15/08/24
JEFE DE PROYECTO	FECHA
D. CHÁVEZ	15/08/24
CLIENTE	FECHA
U.C.S.M.	15/08/24

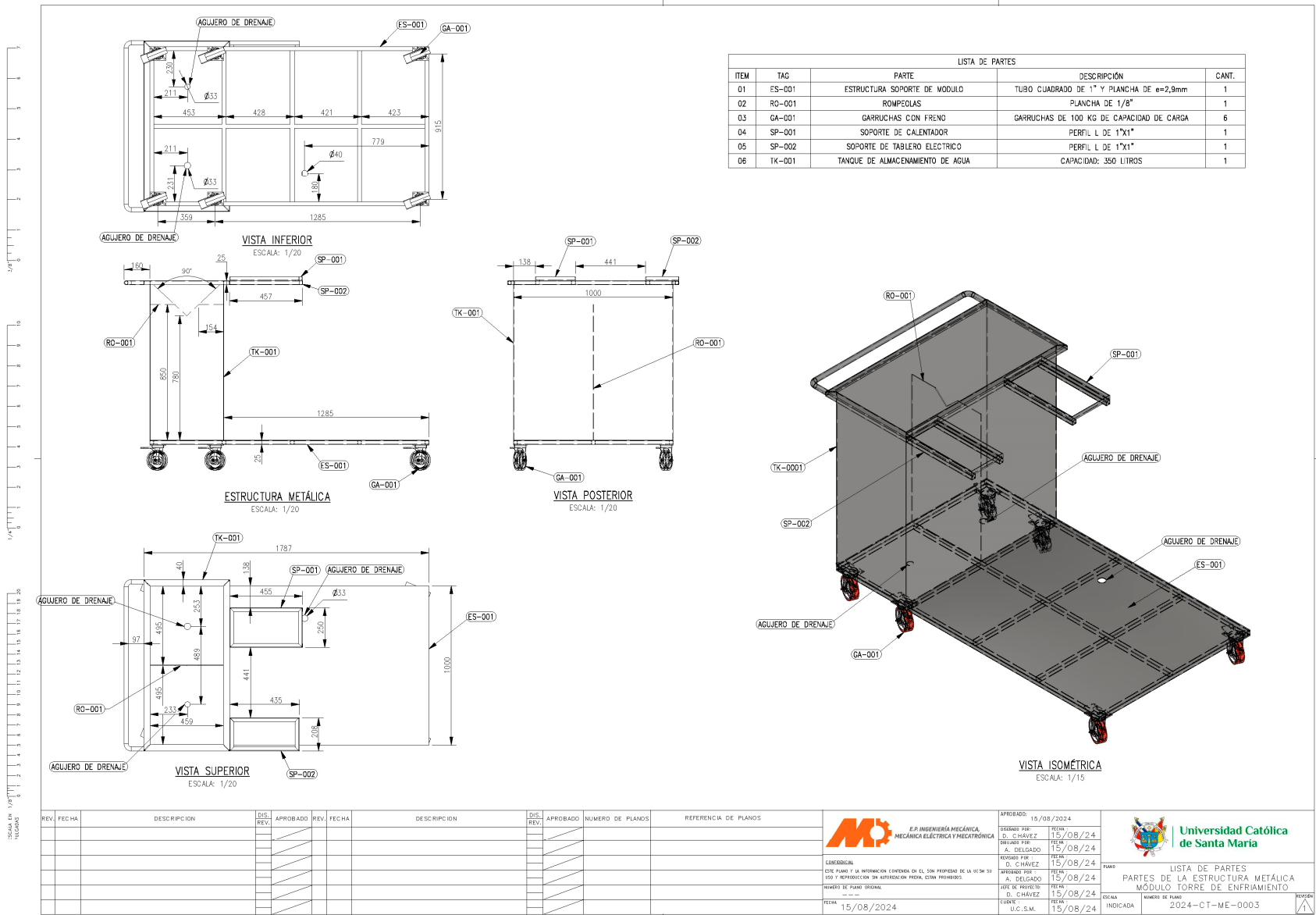
**Universidad Católica
de Santa María**

ISOMÉTRICO
ISOMÉTRICOS DE PARTES
DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

OCASO: _____

NÚMERO DE PLANO: 2024-CT-ME-0002

INDICADA: _____



LISTA DE PARTES				
ITEM	TAG	PORTE	DESCRIPCIÓN	CANT.
01	ES-001	ESTRUCTURA SOPORTE DE MÓDULO	TUBO CUADRADO DE 1" Y PLANCHA DE e=2,9mm	1
02	RO-001	ROMPEOLAS	PLANCHA DE 1/8"	1
03	GA-001	GARRUCHAS CON FRENO	GARRUCHAS DE 100 KG DE CAPACIDAD DE CARGA	6
04	SP-001	SOPORTE DE CALENTADOR	PERFIL L DE 1"x1"	1
05	SP-002	SOPORTE DE TABLERO ELECTRICO	PERFIL L DE 1"x1"	1
06	TK-001	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA	CAPACIDAD: 350 LITROS	1

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	DIS. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	DIS. REV.	APROBADO	NÚMERO DE PLANOS	REFERENCIA DE PLANOS

APROBADO: 15/08/2024

ORDENADO POR: S. CHÁVEZ 15/08/24

DISEÑADO POR: A. DELGADO 15/08/24

REVISADO POR: D. CHÁVEZ 15/08/24

PROBADO POR: A. DELGADO 15/08/24

NÚMERO DE PLANO ORIGINAL: 15/08/24

FECHA: 15/08/2024

CLIENTE: U.C.S.M.

FECHA: 15/08/24

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

LISTA DE PARTES

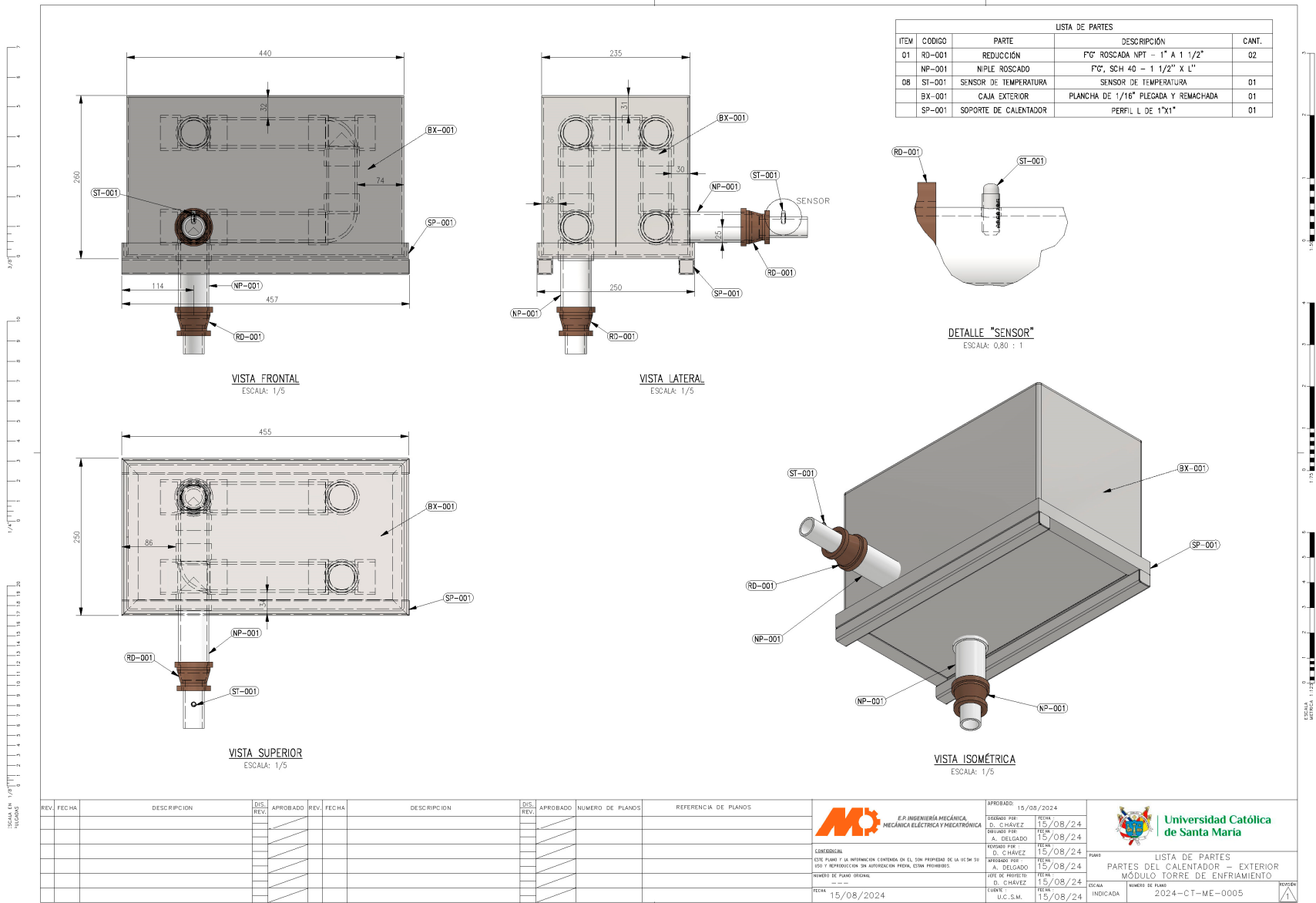
PARTES DE LA ESTRUCTURA METÁLICA

MÓDULO TORRE DE ENFRÍAMIENTO

NÚMERO DE PLANO: 2024-CT-ME-0003

INDICADA

FILE 1

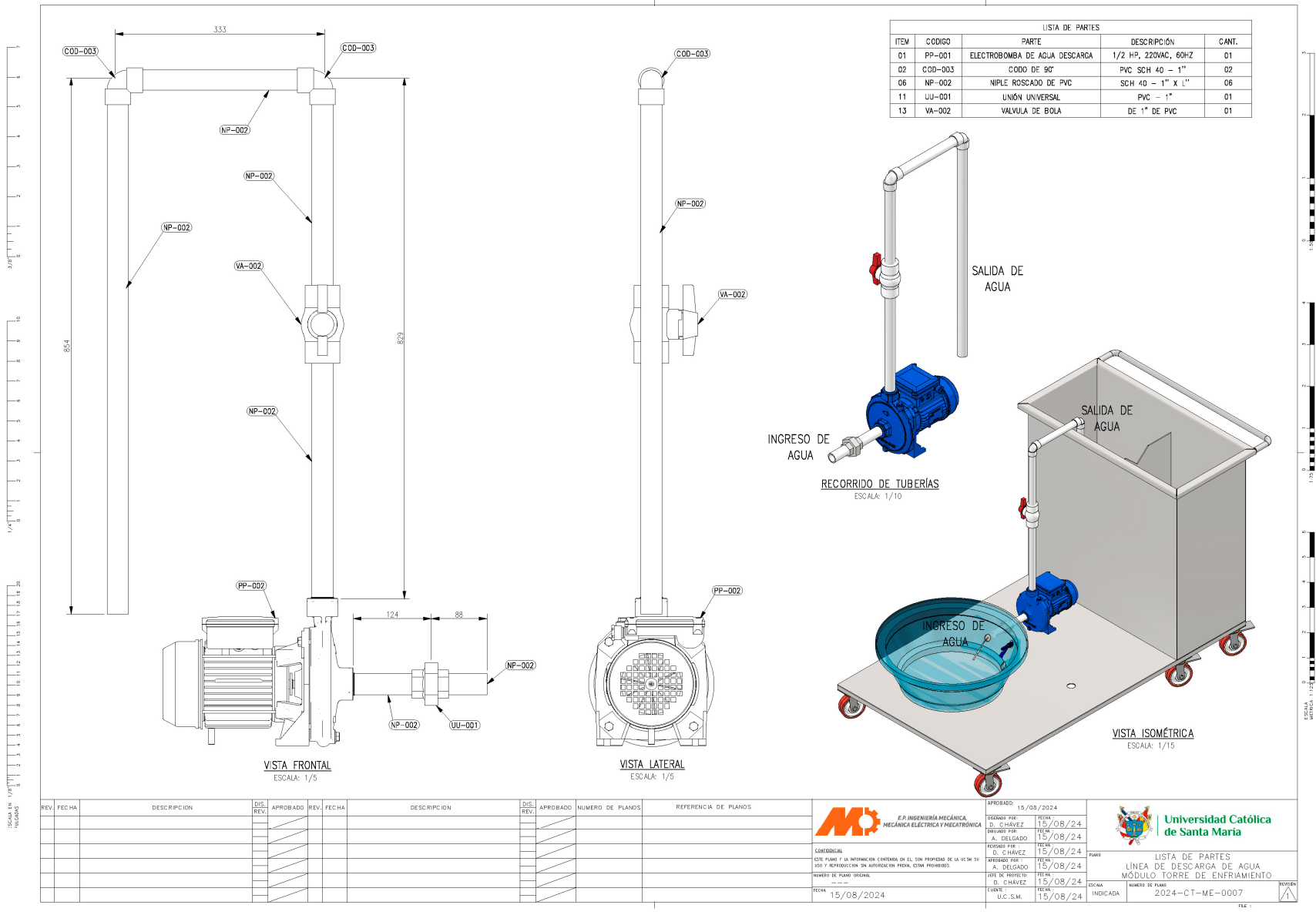


SECCION EN 1/8" INCHAS

ESCALA: 1:1 INCHAS

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIA DE PLANOS

<p>E.I. INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y REFRIGERACION</p>	APROBADO: 15/08/2024 DISEÑADO POR: S. CHAVEZ REVISADO POR: A. DELGADO PROYECTADO POR: D. CHAVEZ	FECHA: 15/08/24 FECHA: 15/08/24 FECHA: 15/08/24	<p>Universidad Católica de Santa María</p>	
	CONSERVACION: ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL SON PROPIEDAD DE LA U.C.S.M. SU USO Y REPRODUCCION SIN AUTORIZACION PREVIA, ESTAN PROHIBIDOS.	FECHA DE PLANO ORIGINAL: 15/08/2024		FECHA: 15/08/24
	CLIENTE: U.C.S.M.	FECHA: 15/08/24		FECHA: 15/08/24
	LISTA DE PARTES PARTES DEL CALENTADOR - EXTERIOR MÓDULO TORRE DE ENFRIAMIENTO	PLANOS: 2024-CT-ME-0005		PLANOS: 2024-CT-ME-0005



LISTA DE PARTES				
ITEM	CODIGO	PORTE	DESCRIPCIÓN	CANT.
01	PP-001	ELECTROBOMBA DE AGUA	DESCARGA 1/2 HP, 220VAC, 60HZ	01
02	COD-003	CODO DE 90°	PVC SCH 40 - 1"	02
06	NP-002	NIPLE ROSCADO DE PVC	SCH 40 - 1" X 1"	06
11	UU-001	UNIÓN UNIVERSAL	PVC - 1"	01
13	VA-002	VALVULA DE BOLA	DE 1" DE PVC	01

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	DIS. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	DIS. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIA DE PLANOS

	CONSERVACIÓN: ESTE PLANO Y LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN EL, SON PROPIEDAD DE LA U.C.S.M. SU USO Y REPRODUCCIÓN SIN AUTORIZACIÓN PREVIA, ESTÁN PROHIBIDOS.	FECHA: 15/08/2024
	PROYECTO POR: D. CHAVEZ	FECHA: 15/08/24
	PROYECTO POR: A. DELGADO	FECHA: 15/08/24
	PROYECTO POR: D. CHAVEZ	FECHA: 15/08/24
	PROYECTO POR: A. DELGADO	FECHA: 15/08/24

	LISTA DE PARTES LINEA DE DESCARGA DE AGUA MÓDULO TORRE DE ENFRIAMIENTO
CLIENTE: U.C.S.M.	INDICADA 2024-CT-ME-0007

9.5.3. Planos Eléctrico

