



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“REPOTENCIACIÓN, PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y PLAN
DE MANTENIMIENTO DE UN CALORÍMETRO DE
ESTRANGULAMIENTO PARA EL LABORATORIO DE
TERMODINÁMICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA
ESPOCH”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTOR:

JUAN CARLOS VINUEZA HERAS

Riobamba-Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“REPOTENCIACIÓN, PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y PLAN
DE MANTENIMIENTO DE UN CALORÍMETRO DE
ESTRANGULAMIENTO PARA EL LABORATORIO DE
TERMODINÁMICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA
ESPOCH”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTOR: JUAN CARLOS VINUEZA HERAS

DIRECTOR: Ing. EDWIN ÁNGEL JÁCOME DOMÍNGUEZ

Riobamba-Ecuador

2022

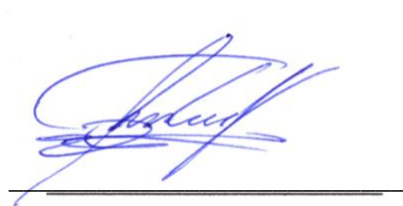
© 2023, Juan Carlos Vinueza Heras

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

Yo, JUAN CARLOS VINUEZA HERAS, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 6 de junio de 2023



Juan Carlos Vinueza Heras

1600581746

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **“REPOTENCIACIÓN, PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y PLAN DE MANTENIMIENTO DE UN CALORÍMETRO DE ESTRANGULAMIENTO PARA EL LABORATORIO DE TERMODINÁMICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH”**, realizado por el señor: **JUAN CARLOS VINUEZA HERAS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



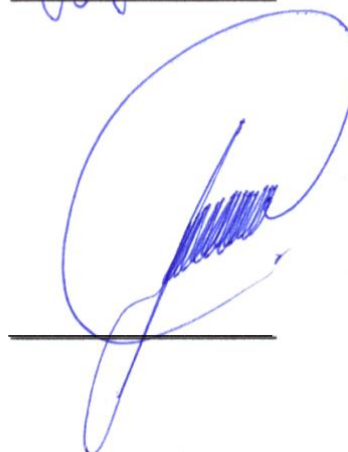
2023-06-06

Ing. Edwin Ángel Jácome Domínguez
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2023-06-06

Ing. Marco Antonio Ordoñez Viñan
ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2023-06-06

DEDICATORIA

Dedicado a mi madre, a mi tía Maguita, a mis abuelos; y a mis hermanos Diego y Ricardo.

Juan

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mi madre Gloria Heras, a mi tía Maguita, a mis abuelos, a mis hermanos Diego y Ricardo. También quiero agradecer a la familia De la Torre Ojeda por abrirme las puertas de su empresa y su hogar para poder realizar mis prácticas pre profesionales. Agradezco también al Ing. Félix Ruiz por ayudarme en todo el proceso de este trabajo en el laboratorio. Por último pero no menos importantes, a mis amigos por todo el apoyo hacia mí durante todos estos años.

Juan

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
RESUMEN	xi
SUMMARY	xii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

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

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Generador de vapor	4
2.1.1. <i>Generadores de vapor acuotubulares</i>	4
2.1.2. <i>Generadores de vapor pirotubulares</i>	4
2.1.3. <i>Ablandador de agua</i>	5
2.1.4. <i>Dureza del agua</i>	6
2.1.5. <i>Electrobomba centrífuga</i>	6
2.1.6. <i>Quemador</i>	6
2.1.6.1. <i>Fotocelda de sulfuro de cadmio</i>	6
2.1.6.2. <i>Boquilla</i>	7
2.1.7. <i>Diésel</i>	7
2.1.8. <i>Poder calorífico</i>	8
2.1.8.1. <i>Poder calorífico superior (PCS)</i>	8
2.1.9. <i>Tasa de transferencia de calor</i>	8

2.1.10.	<i>Válvulas</i>	8
2.1.11.	<i>Control de nivel McDonell & Miller</i>	9
2.2.	Calidad del vapor	9
2.2.1.	<i>Presión</i>	10
2.2.1.1.	<i>Presión atmosférica</i>	10
2.2.1.2.	<i>Presión manométrica</i>	10
2.2.1.3.	<i>Presión absoluta</i>	10
2.2.2.	<i>Temperatura</i>	10
2.2.3.	<i>Vapor húmedo</i>	10
2.2.4.	<i>Vapor saturado</i>	11
2.2.5.	<i>Vapor sobrecalentado</i>	11
2.2.6.	<i>Entalpía</i>	11
2.2.7.	<i>Estrangulamiento de un fluido</i>	12
2.3.	Calorímetro	12
2.3.1.	<i>Calorímetro de separación</i>	12
2.3.2.	<i>Calorímetro de estrangulamiento</i>	13
2.3.2.1.	<i>Válvula de estrangulamiento</i>	13
2.3.2.2.	<i>Manómetro</i>	13
2.3.2.3.	<i>Termocupla tipo K</i>	13
2.3.2.4.	<i>PT100</i>	14
2.3.2.5.	<i>Convertidor RTD a corriente</i>	14
2.3.2.6.	<i>Pantalla LCD</i>	15
2.3.2.7.	<i>Cámara de expansión</i>	15
2.3.2.8.	<i>Aislante de lana de vidrio</i>	15
2.4.	Prueba hidrostática	15
2.4.1.	<i>Factor de seguridad</i>	16
2.4.2.	<i>Compresor de aire</i>	16
2.5.	Termografía	17
2.5.1.	<i>Emisividad</i>	17
2.5.2.	<i>Anemómetro</i>	17
2.5.3.	<i>Cámara termográfica</i>	17
2.5.4.	<i>Norma ISO 18434</i>	18
2.6.	Arduino	18
2.7.	Labview	18
2.8.	Diagnóstico técnico	18
2.8.1.	<i>Fallo</i>	18

2.8.1.1.	<i>Modo de fallo</i>	19
2.8.2.	<i>Avería</i>	19
2.9.	Metodología RCM	19
2.10.	Metodología AMFE	19
2.10.1.	<i>Número de prioridad de riesgo (NPR)</i>	19
2.11.	Plan de mantenimiento	20

CAPÍTULO III

3.	ESTUDIO DE ESTADO DE SITUACIÓN INICIAL Y METODOLOGÍA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DEL CALORÍMETRO DE ESTRANGULAMIENTO	21
3.1.	Metodología del estudio de estado de situación inicial	21
3.1.1.	<i>Diagnóstico técnico de los elementos</i>	21
3.2.	Estudio de estado de situación inicial del sistema de generación de vapor	22
3.2.1.	<i>Estado de la electrobomba centrífuga</i>	22
3.2.2.	<i>Estado de la tubería galvanizada (desde la electrobomba centrífuga al caldero)</i>	23
3.2.3.	<i>Estado de la válvula antiretorno</i>	23
3.2.4.	<i>Estado del tanque de diesel</i>	23
3.2.5.	<i>Estado de la válvula de bola</i>	24
3.2.6.	<i>Estado del quemador</i>	24
3.3.	Estudio de estado de situación inicial del calorímetro de estrangulamiento	24
3.3.1.	<i>Estado del aislante (lana de vidrio) de la cámara de expansión y tubería</i>	25
3.3.2.	<i>Estado del termocupla tipo K</i>	26
3.3.3.	<i>Estado del manómetro</i>	27
3.3.4.	<i>Estado de la válvula de compuerta</i>	27
3.3.5.	<i>Estado de la cámara de expansión</i>	27
3.3.6.	<i>Estado de la tubería del calorímetro de estrangulamiento</i>	28
3.4.	Metodología del plan de mantenimiento del calorímetro de estrangulamiento ...	29
3.4.1.	<i>Análisis del modo de falla y sus efectos (AMFE)</i>	29

CAPÍTULO IV

4.	REPOTENCIACIÓN, PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y PLAN DE MANTENIMIENTO DEL CALORÍMETRO DE ESTRANGULAMIENTO	33
4.1.	Repotenciación del sistema de generación de vapor	33

4.1.1.	<i>Sustitución de la electrobomba centrífuga</i>	33
4.1.1.1.	<i>Automatización de la electrobomba centrífuga en el sistema del generador de vapor</i>	34
4.1.2.	<i>Sustitución de la sección de la tubería galvanizada</i>	34
4.1.3.	<i>Cambio de la válvula antirretorno</i>	35
4.1.4.	<i>Reparaciones en tanque de diesel, instalación de una nueva tubería y cambio de la válvula de bola de la misma</i>	36
4.1.5.	<i>Reparación del quemador</i>	37
4.1.6.	<i>Determinación de la transferencia de calor del quemador al caldero</i>	41
4.1.7.	<i>Prueba de funcionamiento del sistema de generación de vapor</i>	42
4.2.	Repotenciación del calorímetro de estrangulamiento	42
4.2.1.	<i>Extracción de la lana de vidrio</i>	42
4.2.2.	<i>Sustitución del manómetro</i>	43
4.2.3.	<i>Limpieza de la cámara de expansión</i>	43
4.2.4.	<i>Implementación de lana de vidrio en la cámara de expansión</i>	43
4.2.5.	<i>Cambio de ciertas secciones de la tubería del calorímetro</i>	44
4.2.6.	<i>Implementación de la lana de vidrio en la cañería</i>	46
4.2.7.	<i>Sustitución de un PT100 en lugar del termocupla tipo K</i>	47
4.2.8.	<i>Implementación de una pantalla LCD para la lectura de temperatura</i>	48
4.3.	Pruebas de funcionamiento finales del calorímetro de estrangulamiento	49
4.3.1.	<i>Prueba termográfica final</i>	50
4.4.	Cálculo de la calidad del vapor	51
4.5.	Plan de mantenimiento	53
4.5.1.	<i>Codificación</i>	54
4.5.1.1.	<i>Codificación de los elementos</i>	54
4.5.2.	<i>Tareas de mantenimiento</i>	55
4.5.2.1.	<i>Procedimientos de tareas de mantenimiento</i>	55

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
5.1.	Conclusiones	69
5.2.	Recomendaciones	69

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3: Estado de situación inicial del sistema de generación de vapor.....	22
Tabla 2-3: Estado de situación inicial del calorímetro de estrangulamiento	24
Tabla 3-3: Datos específicos del termograma de la Ilustración 4-3	26
Tabla 4-3: Índice de Severidad	29
Tabla 5-3: Índice de probabilidad de Ocurrencia	29
Tabla 6-3: Índice de la probabilidad de Detección del fallo.....	30
Tabla 7-3: AMFE del calorímetro de estrangulamiento	31
Tabla 1-4: Tabla de especificaciones del tubo de acero galvanizado Norma X.....	34
Tabla 2-4: Efectos de la presión sobre el caudal de la boquilla.....	39
Tabla 3-4: Interpolación para calcular caudal a 150 PSI con de una boquilla de valor nominal 0,5 GPH.....	39
Tabla 4-4: Interpolación para calcular caudal a 150 PSI con de una boquilla de valor nominal 0,7 GPH.....	40
Tabla 5-4: Interpolación para calcular el caudal real a 150 PSI con de una boquilla de valor nominal 0,8 gph.....	40
Tabla 6-4: Interpolación para calcular el caudal real a 150 PSI con de una boquilla de valor nominal 0,75 gph.....	40
Tabla 7-4: Datos específicos del termograma de la Ilustración 19-4	50
Tabla 8-4: Obtención de la calidad de vapor en el calorímetro de estrangulamiento.....	52
Tabla 9-4: Interpolación para hallar entalpía a 10 psi y 15 psi con temperatra de 244,4°F	52
Tabla 10-4: Interpolación para hallar entalpía a 10,7 psi con una temperatura de 244,4°F	53
Tabla 11-4: Interpolación para hallar hf y hfg con una presión de 52,7 psi.....	53
Tabla 12-4: Codificación del sistema del calorímetro de estrangulamiento.....	54
Tabla 13-4: Lista de tareas para el calorímetro de estrangulamiento	55
Tabla 14-4: Procedimiento de la tarea P1	56
Tabla 15-4: Procedimiento de la tarea P2-A.....	57
Tabla 16-4: Procedimiento de la tarea P2-B.....	58
Tabla 17-4: Procedimiento de la tarea P3.....	59
Tabla 18-4: Procedimiento de la tarea P4.....	60
Tabla 19-4: Procedimiento de la tarea C1-A	61
Tabla 20-4: Procedimiento de la tarea C1-B	62
Tabla 21-4: Procedimiento de la tarea C1-C	63
Tabla 22-4: Procedimiento de la tarea C1-D	64

Tabla 23-4: Procedimiento de la tarea C1-E.....	65
Tabla 24-4: Procedimiento de la tarea C1-F.....	66
Tabla 25-4: Procedimiento de la tarea C2	67
Tabla 26-4: Plan maestro anual de mantenimiento.....	68

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2: Caldero acuotubular.....	4
Ilustración 2-2: Caldero pirotubular.....	5
Ilustración 3-2: Ablandador de agua y tanque de salmuera	5
Ilustración 4-2: Quemador de diesel marca Wayne	6
Ilustración 5-2: Fococelda de sulfuro de cadmio.....	7
Ilustración 6-2: Boquilla atomizadora de diesel del quemador.....	7
Ilustración 7-2: Control de nivel McDonell & Miller.....	9
Ilustración 8-2: Diagrama termodinámico temperatura-volumen.....	11
Ilustración 9-2: RTD PT100 de 3 hilos.....	14
Ilustración 10-2: Convertidor RTD a corriente 4-20 mA	14
Ilustración 11-2: Cámara de expansión.....	15
Ilustración 12-2: Compresor de aire.....	16
Ilustración 13-2: Cámara termográfica	17
Ilustración 1-3: Electrobomba centrífuga antigua y tubería galvanizada de 0,5 pulgadas	22
Ilustración 2-3: Estado de la manguera de la salida de diesel.....	23
Ilustración 2-3: Medición de temperatura ambiente con un anemómetro	25
Ilustración 4-3: Termografía del calorímetro de estrangulamiento en su estado de situación inicial.....	25
Ilustración 4-3: Manómetro averiado.....	27
Ilustración 6-3: Prueba hidrostática de la cámara de expansión a 106,94 psia.....	28
Ilustración 1-4: Proceso de instalación de la nueva electrobomba centrífuga y nueva tubería..	33
Ilustración 2-4: Prueba de funcionamiento de la válvula antirretorno del caldero	35
Ilustración 3-4: Proceso de reparación del tanque de diesel	36
Ilustración 4-4: Tubería recién instalada de salida del Diesel desde el tanque hacia el quemador	37
Ilustración 5-4: Boquilla antigua de 0,5 GPH a 80° en el quemador.....	37
Ilustración 6-4: Pruebas de funcionamiento del quemador fuera del caldero.....	38
Ilustración 7-4: Salida del vapor	42
Ilustración 8-4: Extracción de la lana de vidrio de la cámara de expansión.....	43
Ilustración 9-4: Implementación de nueva lana de vidrio en la cámara de expansión.....	44
Ilustración 10-4: Unión universal antigua y unión universal nueva de la tubería del calorímetro	44

Ilustración 11-4: Manómetro y tubería instaladas previo a ser instalada la cañuela de lana de vidrio	45
Ilustración 12-4: Válvula de bola en tubería de purga del calorímetro.....	45
Ilustración 13-4: Codo de 45° en tubería de purga del calorímetro	46
Ilustración 14-4: Tubería recubierta por cañuela de lana de vidrio	46
Ilustración 15-4: Colocación del PT100 en la cámara de expansión	47
Ilustración 16-4: Conexiones entre el convertidor RTD y el microcontrolador arduino	48
Ilustración 17-4: Pantalla LCD para lectura de temperatura en tiempo real.....	48
Ilustración 18-4: Interfaz de visualización de temperatura en tiempo real en Labview	49
Ilustración 19-4: Diagrama de bloques en Labview	49
Ilustración 20-4: Termografía de la prueba de funcionamiento final del calorímetro de estrangulamiento	50

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: FICHA TÉCNICA ELECTROBOMBA CENTRÍFUGA

ANEXO B: FICHA TÉCNICA DEL MANÓMETRO

RESUMEN

Este trabajo tuvo como finalidad repotenciar el calorímetro de estrangulamiento del Laboratorio de Termodinámica, diseñar un plan de mantenimiento, y además encontrar la calidad del vapor generado en el caldero. Tanto en el generador de vapor como en el calorímetro se realizó un estudio de estado de situación inicial. Se empezó con el caldero ya que presentaba algunas deficiencias y por ello se repotenció el mismo. Una vez rehabilitado el caldero se efectuó pruebas termográficas del calorímetro de estrangulamiento y se constató que la lana de vidrio que fungía como aislante térmico presentaba fugas de calor. La termocupla y el manómetro estaban averiados y se procedió a sustituirlos por unos nuevos. Para la lectura de temperatura se optó por un PT100 en vez de la termocupla. Se extrajo el aislante térmico y se realizó una prueba hidrostática en la cámara de expansión para verificar su estado. Después se añadió una nueva lana de vidrio. También se agregó un lector de pantalla LCD en tiempo real de la temperatura obtenida del PT100 en la cámara de expansión al mismo tiempo que se transfiera esa información a una interface en Labview. Se hizo un análisis de modo de fallas y efectos en los elementos del calorímetro. Como resultado de esto se obtuvo el plan maestro anual de mantenimiento. Para comprobar el funcionamiento del nuevo aislante térmico y de los demás componentes se realizó una nueva prueba termográfica. Se realizó el cálculo de la calidad de vapor que dio por resultado una calidad promedio de 99,73%. Se concluye que el generador de vapor y el calorímetro pudieron ser repotenciados exitosamente, además que se determinó que el vapor que produce el caldero es vapor húmedo. Se recomienda que si se implementa un nuevo elemento se siga la misma metodología para el plan de mantenimiento.

PALABRAS CLAVE: <CALORÍMETRO DE ESTRANGULAMIENTO> CALIDAD DE VAPOR> <CALDERO> <PLAN DEMANTENIMIENTO> <REPOTENCIACIÓN>.

1157-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

This work aimed to repower the throttling calorimeter of the Thermodynamics Laboratory, design a maintenance plan, and also find the quality of the steam generated in the boiler. A study of the initial situation was carried out in the steam generator and in the calorimeter. It started with the cauldron since it had some deficiencies, and for this reason, it was repowered. Once the cauldron had been rehabilitated, thermographic tests of the throttling calorimeter were carried out, and it was verified that the glass wool that served as thermal insulation presented heat leaks. The thermocouple and the pressure gauge were faulty, and they were replaced with new ones. For the temperature reading, a PT100 was chosen instead of the thermocouple. The thermal insulation was removed, and a hydrostatic test was carried out in the expansion chamber to verify its condition. A new glass wool was then added. An LCD screen reader was also added in real time of the temperature obtained from the PT100 in the expansion chamber at the same time that this information is transferred to an interface in Labview. An analysis of failure modes and effects on the elements of the calorimeter was made. As a result of this, the annual maintenance master plan was obtained. A new thermographic test was carried out to check the operation of the new thermal insulator and the other components. The calculation of the steam quality was carried out, which resulted in an average rate of 99.73%. It is concluded that the steam generator and the calorimeter could be successfully repowered. In addition, it was determined that the steam produced by the boiler is wet steam. It is recommended that if a new element is implemented, the same methodology is followed for the maintenance plan.

Keywords: <CALORIMETER> <BOILER> <STEAM QUALITY> <MAINTENANCE PLAN> <REPOWER>.



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.: 0603366113

INTRODUCCIÓN

Por fines didácticos en la Facultad de Mecánica de la ESPOCH existen distintos laboratorios que complementan con conocimientos prácticos de algunas asignaturas que se dictan a los estudiantes de las cuatro carreras de la Facultad. Uno de ellos es el Laboratorio de Termodinámica. En este laboratorio se realizan prácticas relacionadas con las materias de termodinámica, vapores y refrigeración. Es aquí donde se encuentra un generador de vapor que consta de un calorímetro de estrangulamiento. Dicho calorímetro fue diseñado, construido e implementado por estudiantes de la Carrera de Mecánica como parte de su trabajo en el sistema del generador de vapor para poder detectar la calidad de vapor que genera el caldero.

Cuando se tiene un generador de vapor o caldero es muy importante conocer la calidad de vapor que se produce en este sistema. Esta se puede definir mediante un valor numérico de porcentaje en base a que tanta cantidad de vapor se encuentra en la masa total de la suma de vapor más el agua líquida. Es por ello que si la calidad de vapor no es el adecuado, puede incluso provocar una explosión del caldero. El calorímetro de estrangulamiento, compuesto por una válvula de estrangulamiento, termómetro, manómetro y un aislante térmico, además de usar principios termodinámicos, tiene como función arrojar la suficiente cantidad de datos para poder llegar a calcular la calidad de vapor.

En primer lugar, es necesario realizar un estudio del estado de situación inicial del generador de vapor y del calorímetro de estrangulamiento. En el caso del generador de vapor es necesario revisar sus tuberías, bomba centrífuga y el quemador. En el caso del calorímetro que fue instalado hace más de diez años, es imprescindible realizar pruebas ya que el aislante de lana de vidrio ha dejado de ser efectivo para evitar que el calor escape fuera de la cámara de expansión. Específicamente para saber si el aislante ha dejado de funcionar, es necesario analizarlo mediante termografía. Otro inconveniente es que los valores obtenidos mediante el termómetro y el manómetro han dejado de ser fiables. Además, el software implementado para llevar a cabo los cálculos para obtener la calidad de vapor mediante los datos recibidos desde el calorímetro, que en este caso, se ha programado en Labview, necesita ser actualizado para que llegue a ser compatible con los ordenadores actuales y futuros. También se ha requerido implementar una pantalla led como lector, para poder saber la temperatura a la que se encuentra el vapor en la cámara de expansión. Por último, se lleva a cabo un plan de mantenimiento para el calorímetro de estrangulamiento para prolongar su vida útil y así cuidar todas sus partes. Todo esto con el fin

de tener un sistema de generación de vapor seguro y confiable al momento que los estudiantes realicen sus prácticas.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

El Laboratorio de Termodinámica de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, consta de algunos módulos con fines didácticos. Uno de ellos, es el caldero que en la actualidad se encuentra fuera de uso. Dicho caldero presenta problemas en su bomba, la tubería, el tanque de almacenamiento de diesel y así también en el sistema del quemador. Para poder determinar la calidad del vapor producido por el caldero, en el año 2011, se diseñó y construyó un calorímetro de estrangulamiento.

Como se mencionó, previamente, el caldero del Laboratorio de Termodinámica no está siendo utilizado, debido a que su bomba no entrega la suficiente potencia para que la cantidad requerida de agua llegue al generador de vapor. Además la tubería de acero galvanizado que conecta la bomba con el caldero presenta fugas en sus conexiones.

Como Chugá (2021, p.18) menciona en su trabajo de grado, el calorímetro de estrangulamiento nos sirve con el propósito de obtener la calidad de vapor de una manera indirecta. Al estrangularse el vapor, éste se dilata sin que produzca pérdida de calor. La energía del vapor se conserva sin presentar variaciones.

Este calorímetro debido al tiempo transcurrido (un poco más de diez años) desde que se puso en operación ha empezado a presentar problemas con la lectura de sus sensores de presión y temperatura. Además la lana de vidrio que funciona como aislante en la cámara de expansión, por el uso, se presume que ha empezado dejar escapar el calor del vapor. También se implementó el software Labview. Como detallan (López y Salazar, 2011a, p. 88), este software recibe los datos obtenidos por la termocupla y manómetro del calorímetro, con la finalidad de calcular el valor de la calidad del vapor.

En el caso específico del calorímetro, no tiene un plan de mantenimiento propiamente dicho. Lo que ha provocado que todas sus partes como ya se mencionó anteriormente, se vayan deteriorando a una velocidad mayor de lo habitual.

1.2. Justificación

Debido a que la bomba del caldero no entrega la potencia necesaria, es imprescindible cambiarla por una más grande, y por ende también, se debe cambiar la sección de la tubería. Es imperativo hacer estas dos tareas en el sistema del generador de vapor, puesto que sin ello es imposible realizar pruebas de funcionamiento en el calorímetro de estrangulamiento.

El objetivo del mantenimiento es llegar a cumplir con actividades que consigan que el equipo a mantener conserve sus funciones, empleando actividades planeadas, organizadas y controladas; dejando como última opción las reparaciones. (Huaman, 2021, p.15)

La falta de un cronograma de mantenimiento en el calorímetro ha generado que dicho equipo entre en un estado de obsolescencia, puesto que la termocupla y el manómetro han presentado fallas, lo cual pone en duda los valores de medición. Así mismo, el aislante de lana de vidrio ha dejado de ser efectivo para evitar que el calor salga fuera de la cámara de expansión. Por ello es imprescindible realizar una prueba termográfica para verificar si el aislante aún funciona, o si efectivamente es necesario sustituirlo por uno nuevo.

También se ha presentado la necesidad de implementar un lector fijo en tiempo real de temperatura en base a lo que detecte el termómetro dentro del calorímetro. Al mismo tiempo que se envíe hacia Labview para que en base a lo programado (lo cual ya existe pero necesita ser actualizado el software) se calcule la calidad de vapor.

1.3. Planteamiento del problema

La fiabilidad del calorímetro de estrangulamiento implementado para el caldero, ha disminuido. Lo cual, esto representa un grave problema de seguridad, ya que no existen datos confiables de la calidad del vapor que se genera. Una de los inconvenientes radica en el aislante térmico hecho de lana de vidrio, ya que actualmente deja escapar calor fuera de la cámara de expansión hacia el exterior y esto representa un grave problema puesto que al escapar energía del vapor concentrado en la cámara de expansión, los datos arrojados para el cálculo de la calidad de vapor es poco confiable. También, por falta de correcto mantenimiento, existen fallas en la termocupla y el manómetro al momento de otorgar la lectura de los valores de temperatura y presión del vapor. Además, la versión del software Labview, que es donde se ha programado el cálculo de calidad de vapor, es una versión ya obsoleta.

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo general*

Repotenciar el calorímetro de estrangulamiento del laboratorio de termodinámica de la Facultad de Mecánica.

1.4.2. *Objetivos específicos*

Realizar un estudio del estado de situación inicial del sistema de generación de vapor y del calorímetro de estrangulamiento

Ejecutar pruebas de funcionamiento de la repotenciación del calorímetro de estrangulamiento.

Determinar la calidad de vapor.

Diseñar un plan de mantenimiento para el calorímetro de estrangulamiento.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Generador de vapor

También conocido como caldero, este es un equipo que mediante la energía química contenida en un combustible que puede ser diesel, gasolina, carbón, entre otros; que al quemarse se transforma en energía térmica. Este calor se transfiere al interior de la caldera donde el agua está localizada para que esta se convierta en vapor saturado. (Pineda y Tellez, 2021, pp. 6-7)

2.1.1. *Generadores de vapor acuotubulares*

Según Madero (2017, p.14) en su trabajo de grado explica que los calderos acuotubulares tienen tubos que dentro de ellos se transporta el agua y por los exteriores de estos se encuentran los gases de combustión, los mismos que al recorrer logran transferir el calor a los tubos que contienen el agua. Los generadores de vapor acuotubulares son idóneas para conseguir altas presiones.

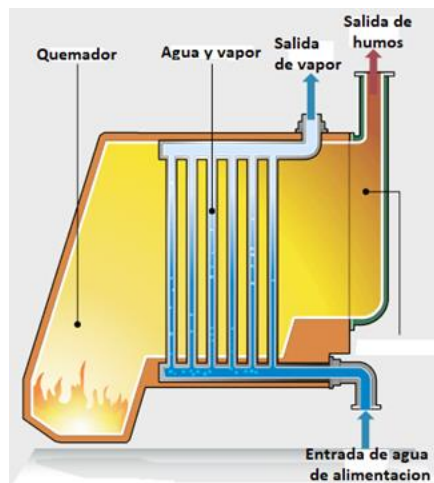


Ilustración 1-2: Caldero acuotubular

Fuente: Pérez, J. 2019

2.1.2. *Generadores de vapor piro-tubulares*

En esta clase de calderos, los gases producidos por la combustión circulan dentro de los tubos y por los exteriores de estos transcurre el agua que se va calentando a medida que la temperatura

de los tubos aumentan. Son mayormente usados que los acuotubulares, en especial, porque los costos de operación con este tipo de caldero se reducen. (Rojas, 2021, p.10)

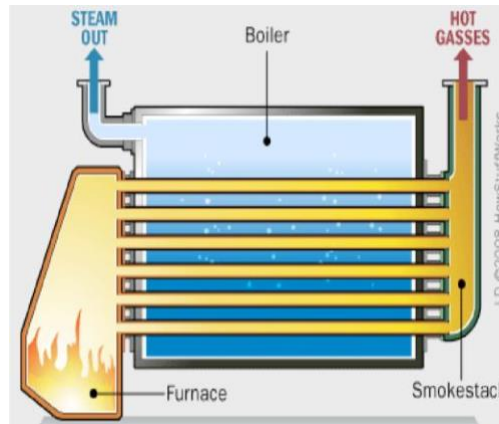


Ilustración 2-2: Caldero pirotubular

Fuente: EISA. 2018.

2.1.3. *Ablandador de agua*

Es un equipo utilizado para erradicar los impactos de la dureza en el agua. Puesto que la misma si no es tratada puede ocasionar inconvenientes en la bomba centrífuga y en el generador de vapor en general, llegando incluso a averiarlos. Así mismo, fuera de la industria, el agua dura ocasiona problemas de salud en las personas si estas llegasen a utilizar el agua sin antes ser ablandada. (Sharjeel et al., 2019, pp.23-28)



Ilustración 3-2: Ablandador de agua y tanque de salmuera

Fuente Purificatéc. 2023

2.1.4. Dureza del agua

La dureza es un parámetro que se mide en el agua para verificar la calidad de la misma. Esto ocurre cuando se presentan cantidades grandes de minerales que cuando pasan por tuberías, bombas y otros implementos hidráulicos ocasionan que se acumule sarro, lo que ocasiona que se obstruyan. Estas aguas provienen generalmente de fuentes con carbonatos de calcio y magnesio. (Chávez, 2021, pp.7-8)

2.1.5. Electrobomba centrífuga

Es una turbomáquina eléctrica que se utiliza para entregar energía a un fluido. El rodete y la voluta son componentes muy importantes de la bomba que trabajan en conjunto para proyectar el fluido, que en este caso es agua, hacia la descarga y de esta forma enviarla hacia la altura deseada. (Olate, 2021, p.9)

2.1.6. Quemador

El quemador es el equipo encargado de generar la llama que necesita el generador de vapor. Para ello funciona de la siguiente forma: Mediante una chispa producida por un transformador en los electrodos hace que el diesel que se inyecta mediante una boquilla en la cámara de combustión se encienda, siempre y cuando se inserte aire mediante una bomba. (Rojas, 2021, p.20)



Ilustración 4-2: Quemador de diesel marca Wayne

Fuente: Wayne Combustions. 2023

2.1.6.1. Fotocelda de sulfuro de cadmio

Esta incorporado en el control electrónico primario del quemador. Esta fotocelda, como cualquier otra es un sensor sensible a la luz, por lo que en el sistema de encendido del quemador sirve como

un detector de llama, ya que en el caso de un posible fallo en la llama, en conjunto con todo el sistema de control, hace que se apague el quemador. (Wayne Combustion Systems, 2011, p.1)



Ilustración 5-2: Fococelda de sulfuro de cadmio

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.

2.1.6.2. *Boquilla*

En el contexto del quemador de aceite para el generador de vapor, esta es una boquilla atomizadora de alta presión para la entrega del combustible en el quemador. La principal característica de este elemento es el caudal que se mide en galones por hora (gph) que se maneja y esto varía de boquilla en boquilla. Otra particularidad es el ángulo de rociado. (Olson, 1999, p.2)



Ilustración 6-2: Boquilla atomizadora de diesel del quemador

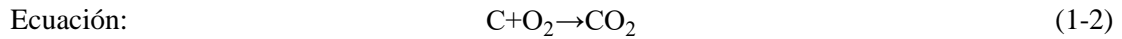
Fuente: Domusa Teknik. 2023

2.1.7. *Diésel*

Es un hidrocarburo líquido que se obtiene de la destilación del petróleo a una temperatura que varía entre los 200 °C y 380 °C. También es conocido como gasoil o gasóleo. (Carrillo y Papacristofilou 2017). El quemador del que tratará este trabajo ocupa diésel como combustible.

2.1.8. Poder calorífico

Es la cantidad de calor que entrega un kilogramo, o un metro cúbico de combustible al oxidarse en forma completa. Es decir cuando el carbono pase a anhídrido carbónico como se muestra en la Ecuación 1-2. (Ruiz y Capeletti, 2021, p.2)



2.1.8.1. Poder calorífico superior (PCS)

Cantidad de calor total que se desprende de la combustión de 1 kg de combustible y que también cuenta el calor que se desprende de la condensación del agua que es parte del proceso, y del resto de productos formados. (Mejía, 2022, p.24)

2.1.9. Tasa de transferencia de calor

Es la cantidad de calor que se transfiera por unidad de tiempo desde un cuerpo a otro, o en otros casos, desde una fuente de energía calórica hacia el medio en el que se encuentra, como es el caso de la llama de fuego. Esta velocidad de transferencia de calor o tasa de transferencia se mide en Joules sobre segundo [J/s]. (Departamento de física, 2017, p.1)

Ecuación:
$$\dot{Q}=\dot{m}*PCS \quad (2-2)$$

Donde:

\dot{Q} = Tasa de transferencia de calor

\dot{m} = Flujo másico

PCS = Poder calorífico superior

2.1.10. Válvulas

Las valvulas son dispositivos mecánicos que se encuentran generalmente en sistemas de tuberías para regular, empezar o detener la circulación de fluidos. Estos elementos mediante mecanismos de piezas móviles que se abren, cierran u obstruyen con uno o más aberturas. Existen tanto válvulas manuales o automáticas. (Sabhadiya, 2021)

2.1.11. Control de nivel McDonell & Miller

Es un sistema de control que permite saber el nivel de agua que existe dentro del generador de vapor mediante un tubo de cristal en el que se encuentra una columna de agua. Este dispositivo, en su interior, consta de tres electrodos de cobre que poseen conexiones a una placa de control. De esta forma, esto advierte al sistema del generador de vapor que el nivel de agua es bajo. (Marca y Humpiri, 2021, p.32)



Ilustración 7-2: Control de nivel McDonell & Miller

Fuente: Imfluid. 2023

2.2. Calidad del vapor

Como menciona Cardona (2017, p.16) en su trabajo de investigación, la calidad del vapor corresponde a qué porcentaje de vapor hay en una masa total de agua en dos fases; el agua en fase de vapor y en fase líquida. Es decir, el grado de sequedad del vapor generado por el caldero, y esto se representa con la letra x . A medida que la presión aumenta, la calidad de vapor se vuelve menos predominante porque la entalpía del agua es proporcional a la presión. Por ende, el calor de vaporización disminuye. La calidad de vapor se lo puede definir mediante la siguiente fórmula:

Ecuación:

$$x = \frac{m_{\text{vapor}}}{m_{\text{líquido}} + m_{\text{vapor}}} \quad (3-2)$$

Donde:

x = calidad de vapor

m_{vapor} = masa de vapor

$m_{\text{líquido}}$ = masa de agua condensada

$m_{\text{vapor}} + m_{\text{líquido}} = \text{masa total de vapor generado por el caldero}$

2.2.1. Presión

Es la magnitud escalar que se genera al ejercer una fuerza perpendicular sobre un área o superficie de manera uniforme. (Montalvo, 2009, p.7-8)

2.2.1.1. Presión atmosférica

Es la presión que ejerce la masa del aire desde la atmósfera sobre la superficie de la tierra y esta varía dependiendo de la altura del lugar a la que se calcule. También se le llama presión barométrica. (Cordoba, 2022, p.9)

2.2.1.2. Presión manométrica

Es la presión que se obtiene de un manómetro. Se le define como la presión resultante de un fluido partiendo desde de la presión ejercida por la atmósfera. Es decir, es la diferencia entre la presión absoluta del fluido y la presión atmosférica. (Cevallos, 2022, p.25)

2.2.1.3. Presión absoluta

Es la presión medida desde el cero absoluto. La presión absoluta de un fluido es la suma de la presión atmosférica y la presión manométrica. (Fullmecanica, 2014)

2.2.2. Temperatura

Es una magnitud, determinada por una cifra dependiendo en la escala que se trabaje que representa si un sistema está en equilibrio térmico o no con otros sistemas. Se lo podría simplificar diciendo que esta magnitud gobierna la transferencia de calor. (del Campo, 2018)

2.2.3. Vapor húmedo

Se lo conoce también como el estado de agua saturada. Es el estado que se encuentra entre líquido saturado y vapor saturado. Es decir, que dependiendo de la calidad que varía de 0 a 1, el vapor húmedo es todo ese intervalo que se encuentran entre esos dos estados. (Connor, 2020)

2.2.4. Vapor saturado

Es el estado en el que el vapor se encuentra con la calidad igual a 1. En este punto la compresión del volumen hará que se condense a líquido con una velocidad considerable para que se mantenga la presión constante, siempre y cuando la temperatura se mantenga igualmente constante. (Leyva, 2020, p.17)

2.2.5. Vapor sobrecalentado

Se conoce también como vapor recalentado. Representa el vapor a una temperatura superior a la temperatura de vapor saturado, con presión constante. La temperatura y la presión no guardan una relación biunívoca. (Cequeira y Fontana, 2019, pp.54-55)

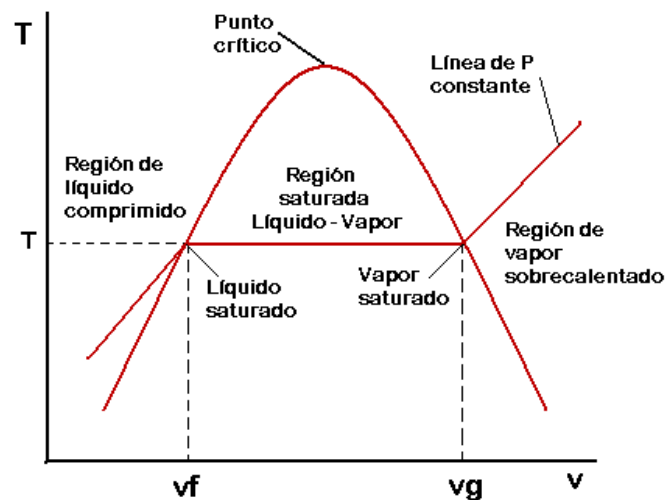


Ilustración 8-2: Diagrama termodinámico temperatura-volumen

Fuente: The Finit Element, 2023

2.2.6. Entalpía

Según (Riera et al., 2021, pp.47-53) la entalpía, que se la simboliza con la letra h, se la puede definir como la energía que se requiere en cualquier sistema termodinámico para absorber o liberar energía en procesos isobáricos. Como menciona es importante resaltar que en el caso del calorímetro de estrangulamiento la entalpía antes y después de que el vapor pase por la válvula de estrangulamiento es la misma. Para el cálculo de la entalpía se puede ocupar la siguiente relación:

Ecuación:
$$h=h_f+xh_{fg} \tag{4-2}$$

Donde:

$h = h_1 = h_2 =$ entalpía a la entrada y a la salida

$h_f =$ entalpía del líquido a la presión inicial

$h_{fg} =$ entalpía de evaporación

$x =$ calidad del vapor

A la suma de la entalpía de evaporación h_{fg} con la entalpía del líquido a presión inicial se consigue obtener la entalpía de vapor saturado h_g . Esto se expresa mediante la siguiente fórmula:

Ecuación:
$$h_g = h_{fg} + h_f \quad (5-2)$$

2.2.7. Estrangulamiento de un fluido

Este es un proceso en el que el fluido, que en este caso es el vapor, pasa por una válvula de estrangulamiento en el que no se produce trabajo, pero que si se genera la caída de presión. Además se produce una disminución de temperatura, pero la entalpía permanece constante. (Rojas, 2020, p.2)

2.3. Calorímetro

Es un instrumento que sirve para realizar mediciones del cambio de calor que suministra o recibe una sustancia. Para ello, existen calorímetros que son isotérmicos, isoperibólicos, o adiabáticos, según las necesidades en las que vaya a ser empleado. (Salazar y Cañas, 2021, p.23)

El proceso isotérmico es en el que la temperatura permanece constante y el proceso adiabático se explica como en el que no existe transferencia de calor entre un sistema y su entorno (Yan 2022, p. 25). A su vez un calorímetro isoperibólico es aquel que posee una resistencia térmica constante y grande. Es decir, dentro del recipiente se produce un gradiente térmico insignificante. (Carvente, 2019, p.35)

2.3.1. Calorímetro de separación

Tiene como objetivo separar mecánicamente el líquido del vapor húmedo. Este líquido es recogido en un depósito, y allí es medido y pesado. Así mismo el vapor luego de salir del calorímetro mediante un agujero se le calcula su cantidad total. Un manómetro se encuentra en la

cámara interior para medir la presión del vapor. Este calorímetro debe estar aislado para que no presente pérdidas por radiación. (Noguera, 2022)

2.3.2. Calorímetro de estrangulamiento

Como se menciona en la tesis de Acosta (2009, pp.23-24) este instrumento tiene como objetivo principal obtener de forma indirecta la calidad del vapor generado por el caldero. Esto se realiza mediante la estrangulación del vapor mediante una válvula de estrangulamiento. Posteriormente, al pasar el vapor a la cámara de expansión, es donde se mide la temperatura y así se obtiene la entalpía. Antes y después del estrangulamiento, la entalpía es la misma, ya que el vapor se expande sin realizar trabajo o sin fuga de calor porque en la cámara de expansión está aislado térmicamente.

2.3.2.1. Válvula de estrangulamiento

Según (Lopez, 2021, p.24) una válvula de estrangulamiento tiene un orificio para controlar el caudal del vapor, es decir restringiendo el flujo del mismo disminuyendo la presión aguas abajo. En este proceso no se realiza trabajo.

2.3.2.2. Manómetro

En base a lo que menciona (Molina, 2021, p.1) en su artículo, el manómetro es un dispositivo que mide la presión de un determinado sistema o de una determinada sección de la misma. Es muy importante ya que ayuda a la calibración y configuración de los equipos. Su principal función es la de verificar que no existan diferencias de presión que puedan ocasionar daños en el sistema que esté implementado. En la mayoría de los casos los manómetros vienen rellenos de glicerina para amortiguar las vibraciones del sistema donde se lo implemente.

2.3.2.3. Termocupla tipo K

Sirve para medir la temperatura. El principio de este instrumento se basa en dos alambres metálicos de diferentes materiales por los cuales fluye una corriente. La temperatura varía y esto a su vez hace variar la diferencia de potencial entre los dos metales. El termocupla tipo K funciona con alumel y cromo, y es el más usado en procesos industriales para monitoreo de temperatura. (Grajales y Monsalve, 2019, p.29)

2.3.2.4. PT100

Como indica Luque (2022, p.13) en su trabajo de tesis, el PT100 es un sensor de temperatura del tipo RTD, que significa que es un detector de temperatura de resistencia. La medición de temperatura varía y esto a su vez hace variar la resistencia del conductor que en este caso es de platino. Cuando aumente la temperatura existirá una agitación térmica mayor, lo que dispersará los electrones y se reducirá su velocidad media, lo que hará que aumente su resistencia.



Ilustración 9-2: RTD PT100 de 3 hilos

Fuente: Naylamp Mechatronics, 2021

2.3.2.5. Convertidor RTD a corriente

Es un dispositivo que sirve para convertir la señal proveniente del RTD PT100 en miliamperios en un rango de 4 a 20 miliamperios. Con esta conversión la señal puede ser enviada por cables de gran longitud, sin que se vea afectada por la resistencia de los mismos. Tiene una precisión de más menos 5%. (Orgontec, 2023)



Ilustración 10-2: Convertidor RTD a corriente 4-20 mA

Fuente: Didactas electronicas, 2023

2.3.2.6. *Pantalla LCD*

Es una pantalla de cristal líquido (Liquid Crystal Display en inglés) que usa las propiedades de modulación de luz que presentan los cristales líquidos. Posee una eficiencia energética alta. Se los puede encontrar en diferentes tamaños y se lo usa para una gran variedad de dispositivos como: relojes, televisiones, calculadoras, teléfonos, etc. (Prat, 2012, p.20)

2.3.2.7. *Cámara de expansión*

Es el lugar del calorímetro donde se evalúa la temperatura y presión del vapor. Es muy importante que aquí no exista fugas de calor hacia los exteriores, es por eso que la cámara de expansión está aislada con lana de vidrio. (López y Salazar, 2011b, p.31)



Ilustración 11-2: Cámara de expansión

Fuente: López A., Salazar L., 2011.

2.3.2.8. *Aislante de lana de vidrio*

Este es un producto que se utiliza para evitar que se filtre el calor debido a su resistencia térmica. Se estructura por fibras largas y finas de vidrio que se unen por resina térmicamente fraguada, lo que hace que se forme una frazada aislante flexible y liviana. (Sicon, 2019)

2.4. **Prueba hidrostática**

Es un ensayo no destructivo con el cual se comprueba el estado de una tanque, tubería o cualquier sistema. Para realizar dicha prueba se bombea agua a una presión por encima de la presión de trabajo y allí se mantiene esa presión por un tiempo determinado con anterioridad, y que varía según el tamaño o longitud del sistema a ser probado. (Uriarte, 2017, pp.37-38)

2.4.1. *Factor de seguridad*

Es el valor que al ser sumado a la carga de diseño, o en el caso de una prueba, al valor máximo permitido de trabajo es superior y es determinado según el contexto en el que se desarrolle, con el objetivo de contrarrestar en su máximo las probabilidades de fallar del elemento. (Ríos y Roncancio, 2007, p.35). Con la siguiente ecuación se evalúa la presión de la prueba hidrostática:

$$\text{Ecuación:} \quad P_h = P_d + F_s \quad (6-2)$$

Donde:

P_h = Presión de prueba hidrostática

P_d = Presión máxima permitida de trabajo

F_s = Factor de seguridad ($F_s = 0,25 * P_d$)

En este caso, el factor de seguridad está definido como el 25% de P_d .

2.4.2. *Compresor de aire*

Es un máquina que almacena y aporta una energía a un fluido, que en este caso es aire, hasta el punto de comprimirlo al mismo tiempo que aumenta su presión para luego ser expulsado con la finalidad de darle potencia a otras herramientas, llenar de presión un sistema, entre otras funciones. (Ollarve, 2017)



Ilustración 12-2: Compresor de aire

Fuente: Ingco. 2023

2.5. Termografía

Cabizosu (2020, p.18) en su trabajo de investigación expresa que la termografía es un registro gráfico en base a la temperatura de un cuerpo, ya sea este un ser inerte como un equipo industrial, o un ser vivo como el cuerpo humano. Esta técnica se la realiza usando un cámara termográfica a una distancia prudente del cuerpo que se desea ser analizado. En base a la temperatura que emite el cuerpo mediante radiaciones infrarrojas se va formando un grafico térmico en la cámara.

2.5.1. Emisividad

Según en su norma ISO 18434-1 la emisividad es la relación entre la radiación que emite la superficie de un objeto y la de un cuerpo negro a la misma temperatura durante el mismo intervalo espectral. (ISO, 2008, p.9)

2.5.2. Anemómetro

La principal función del anemómetro es la de medir algunas componentes del vector de la velocidad del viento. Existen también anemómetros multifuncionales que miden tanto la temperatura como la humedad. (Renom, 2011, p.1)

2.5.3. Cámara termográfica

Es un instrumento de alta complejidad creado para poder receptar los rayos infrarrojos que se emiten desde un cuerpo. De esta forma se determina la temperatura del mismo y es así que en la cámara se forma una imagen térmica mediante el procesamiento de las señales recibidas convirtiendolas en señales digitales. (Silva-Juárez et al., 2017; citados en Carvallo y Nieto, 2020, p.22)



Ilustración 13-2: Cámara termográfica

Fuente: Pro-Viento S.A., 2020

2.5.4. Norma ISO 18434

Esta norma se creó para entender el uso de la termografía infrarroja (TI) para el monitoreo, control y diagnóstico de maquinaria, tanto eléctrica y no eléctrica. También se define la terminología usada, tipos de procedimientos y logros de esta técnica de detección de fallas, para establecer criterios de valoración en cuanto a la gravedad de las anomalías que se manifiesten en la prueba termográfica. En la ISO 18434 también se menciona cómo se debe realizar la TI, en el que se incluyen requisitos para la misma, recomendaciones de seguridad. Además se proporciona una guía para la evaluación de los resultados obtenidos. (Aldana y Muñoz, 2017, pp.52-53)

2.6. Arduino

Es una plataforma conformada por hardware y software creado para plataformas electrónicas con un código abierto. Mediante el microcontrolador de la placa se recibe la entrada de datos desde una variedad de sensores y a su vez controla distintos dispositivos y artefactos. Se programa con Arduino Programming Language y Arduino Development Environment. (Enríquez, 2009, p.8)

2.7. Labview

Es un software de programación con lenguaje gráfico que normalmente se usa para desarrollar sistemas de pruebas automatizadas, sistemas de investigación, validación y producción, entre otros. (National Instruments, 2022)

2.8. Diagnóstico técnico

Como menciona Yavarone (2019, p. 27) en su artículo, el diagnóstico técnico es el resultado o resultados que se consigue después de realizar una evaluación, análisis o estudio en un determinado sistema productivo o en los elementos del mismo. De esta forma se obtiene la situación real de un elemento para que luego se proceda con una acción preventiva o correctiva.

2.8.1. Fallo

Es la suspensión de la aptitud de un activo, elemento o componente para realizar su función requerida. Se diferencia de la avería porque el fallo es un evento y la avería es un estado. (Espinos, 2019)

2.8.1.1. *Modo de fallo*

Como explican (Aguilar et al., 2010, p.18) el modo de fallo se lo puede definir como la forma o modo que un equipo pierde su capacidad de desenvolver su función.

2.8.2. *Avería*

Es el estado de un elemento que se caracteriza por la incapacidad de realizar una función requerida, pero se excluye la incapacidad cuando se realiza al elemento su respectivo mantenimiento preventivo, o por la falta de recurso externos. Generalmente es la consecuencia de un fallo. (UNE, 2017, p.14)

2.9. **Metodología RCM**

Por sus siglas en inglés significa mantenimiento centrado en la confiabilidad y es una metodología que se usa generalmente para la elaboración de planes de mantenimiento de sistemas y equipos industriales, con el enfoque en que los equipos sean confiables y así puedan cumplir con sus funciones. (Campos et al., 2019, p.51)

2.10. **Metodología AMFE**

El análisis de modos de falla y efectos es una metodología que sirve para diagnosticar los problemas que se puedan producir en un proceso, servicio o producto, con el fin de erradicarlos o apaciguar los efectos de los mismos. El primer paso es conocer todas las posibles fallas y jerarquizarlas en base a la prioridad que se les debe dar, con el fin de tomar acciones sobre ellas. (Rojas Lema, 2019; citado en Rodríguez y Rodríguez, 2021, p.10)

2.10.1. *Número de prioridad de riesgo (NPR)*

Este es un índice que se consigue con la multiplicación de los índices de la probabilidad de severidad del fallo, ocurrencia del fallo y detectabilidad del mismo. Tales factores se los categoriza y se les da un valor numérico que luego sirven para calcular el NPR, con el fin de categorizar para tomar las acciones correctoras. (Bestratén y Orriols, 2004, p.2). En la Ecuación 7-2 se muestra la forma de calcular el NPR

Ecuación:
$$NPR = S * O * D \quad (7-2)$$

Donde:

S = Severidad del fallo

O = Ocurrencia del fallo

D = Detectabilidad del fallo

2.11. Plan de mantenimiento

Es un cronograma de actividades que tienen por finalidad mantener las propiedades funcionales de un activo y prolongar su vida útil. Al mismo tiempo que con el plan de actividades se busca conseguir aumentar su fiabilidad de la máquina, disminuir su costo de operación y el gasto en reparaciones de la misma. (Rubio, 2019, p.23)

CAPÍTULO III

3. ESTUDIO DE ESTADO DE SITUACIÓN INICIAL Y METODOLOGÍA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DEL CALORÍMETRO DE ESTRANGULAMIENTO

3.1. Metodología del estudio de estado de situación inicial

Para poder empezar con la repotenciación del calorímetro de estrangulamiento, en primer lugar se realizó un estudio de estado de situación inicial de los dos sistemas que intervienen en este proyecto técnico. Tanto en el sistema de generación de vapor como en el sistema del calorímetro de estrangulamiento. Para ello fue necesario dividir cada sistema en los elementos que los componen y realizar un estudio del estado en el que se encuentran dichos elementos.

3.1.1. *Diagnóstico técnico de los elementos*

Para realizar el estudio de estado de situación inicial de los elementos fue necesario realizar un diagnóstico técnico sobre cada uno de los mismos. A partir de esto, se tomarán las acciones correctivas correspondientes.

En este caso, con los resultados que se obtuvieron en el diagnóstico técnico en los dos sistemas, se dividió el estados de sus elementos en tres diferentes contextos operacionales: Disponible, con fallo y averiado. Los elementos disponibles quiere decir que se encuentran en un estado de disponibilidad y no fue necesario que sean intervenidos. Los elementos con fallos necesitaron una reparación; y por último los elementos averiados necesitaron una intervención correctiva o incluso ser sustituidos por uno nuevo.

De esa forma fue fácil resumir en una tabla la real situación de los elementos. Se optó por diferentes técnicas para realizar el diagnóstico técnico dependiendo del elemento.

En las pruebas de funcionamiento se realizó la inspección visual, termografía, prueba hidrostática. Así mismo, por medio de las funciones requeridas un elemento llegó a ser considerado en fallo o disponible.

3.2. Estudio de estado de situación inicial del sistema de generación de vapor

Fue necesario realizar un estudio de estado de situación inicial. Para que el estudio se haya podido llevar a cabo, en primer lugar se puso en funcionamiento el generador de vapor. Posterior a eso, se evidenció muchos fallos en distintos puntos del equipo. A continuación se muestra una tabla que presenta el resumen del estado de cada uno de los elementos que hacen parte del generador de vapor y su estado antes de la correspondiente intervención para su repotenciación.

Tabla 1-3: Estado de situación inicial del sistema de generación de vapor

Elemento	Disponible	Con fallos	Averiado
Ablandador de agua	X		
Electrombomba centrífuga		X	
Control de Nivel McDonell	X		
Tubería galvanizada	X		
Válvula antirretorno			X
Tanque de diesel		X	
Válvula de bola			X
Quemador			X

Realizado por: Vinueza, Juan, 2023.

Posteriormente se detalla elemento por elemento del sistema de generación del vapor el estado exacto en el que se encontraban antes de la repotenciación que se realizó.

3.2.1. Estado de la electrobomba centrífuga

Se encontró una electrobomba centrífuga de 0,5 hp que era utilizada para transportar el agua ya ablandada desde un tanque hacia el caldero. La bomba no presentaba fallos pero por requerimientos de trabajo del caldero era necesario que la presión se aumentara, por lo que optó por sustituir dicha bomba por una de mayor capacidad.



Ilustración 1-3: Electrobomba centrífuga antigua y tubería galvanizada de 0,5 pulgadas

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.

3.2.2. Estado de la tubería galvanizada (desde la electrobomba centrífuga al caldero)

Esta era un tubería que iba desde la bomba centrífuga hasta la válvula antirretorno colocada antes del ingreso del agua al caldero. No presentaba problemas de fugas. La sección de esta tubería era de 0,5 pulgadas, por lo que, así mismo como la bomba centrífuga, esta debía ser cambiada por una sección mayor.

3.2.3. Estado de la válvula antiretorno

La válvula antirretorno colocada antes del ingreso del agua en el caldero, se encontraba en un estado de total avería ya que al momento de realizar las pruebas correspondientes se evidenció que el agua retornaba y por ende no ingresaba al caldero. Esto se concluyó debido a lo que marcaba el control de nivel agua Mcdonell & Miller.

3.2.4. Estado del tanque de diesel

Este es el tanque donde se almacena el diesel necesario para la combustión producida dentro del quemador del sistema del generador de vapor. El mismo que con una breve inspección visual se pudo determinar que tenía un fallo de diseño debido a que la manguera de salida del diesel hacia el quemador estaba instalada en una parte muy alta del tanque. Esto hacía necesario que el tanque permanentemente esté por lo menos con la mitad de diesel de su capacidad. Además que en la unión de la manguera y el orificio de salida presentaba fugas del combustible.



Ilustración 2-3: Estado de la manguera de la salida de diesel

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.

3.2.5. Estado de la válvula de bola

Desde el tanque de diesel hacia el quemador se encuentra una válvula de bola para abrir o cerrar el paso del combustible. Este elemento presentaba fugas al momento de que el combustible fluyera hacia el quemador.

3.2.6. Estado del quemador

Para poder conocer el estado preciso del quemador fue necesario realizar varias pruebas de funcionamiento. Al inicio el quemador no encendía por lo que estaba en un estado de avería. Se procedió a una inspección del controlador electrónico del mismo. El sensor de célula de cadmio se encontraba quemado. Además de eso, posterior a sustituir el sensor antes mencionado mediante pruebas se comprobó que la boquilla del quemador estaba disparando de manera errónea el diesel, lo que hacía que la llama se apagara a los pocos momentos de encenderse.

3.3. Estudio de estado de situación inicial del calorímetro de estrangulamiento

Después de dejar completamente operativo el generador de vapor, lo que a continuación se realizó fue determinar el estado en el que se encontraba el calorímetro de estrangulamiento. Para ello el primer paso fue obviamente encender nuevamente el generador de vapor y abrir todas las válvulas correspondientes de las tuberías de vapor para que así el fluido llegase hacia el calorímetro y de esta forma proceder a evaluar cada uno de los elementos que correspondían al calorímetro. En la Tabla 2-3 se encuentra el resumen del estado de todos los elementos correspondientes al calorímetro de estrangulamiento

Tabla 2-3: Estado de situación inicial del calorímetro de estrangulamiento

Elemento	Disponible	Con fallos	Averiado
Cámara de expansión	X		
Tubería	X		
Válvula de compuerta	X		
Aislante (lana de vidrio)		X	
Termocupla			X
Manómetro			X

Realizado por: Vinuesa, Juan, 2023.

A continuación, con más detalle se encuentra el estado de todos los elementos que pertenecen al calorímetro de estrangulamiento

3.3.1. Estado del aislante (lana de vidrio) de la cámara de expansión y tubería



Ilustración 3-3: Medición de temperatura ambiente con un anemómetro

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.

Tanto la cámara de expansión y sus cañerías estaban recubiertas de lana de vidrio para que sirva como aislante y no escape el calor del vapor cuando este atraviesa el calorímetro. Por ende, para evaluar su estado fue necesario recurrir a la termografía. Esto debido a que solo mediante el termograma se puede observar si existe fugas de calor hacia el exterior de todas las áreas que la lana de vidrio servía como recubrimiento. Siguiendo las recomendaciones que se encuentra en la Norma ISO 18434, en primer lugar fue necesario medir la temperatura ambiente con un anemómetro. La medición ambiente obtenido fue de 23,5 °C.

Después de realizar la medición de temperatura ambiente, se procedió a abrir la última válvula que es previa a la entrada de la cámara de expansión del vapor. De esta forma, el vapor atravesaba todo el sistema que correspondía al calorímetro de estrangulamiento para que así pueda ser tomada la termografía para su posterior análisis.

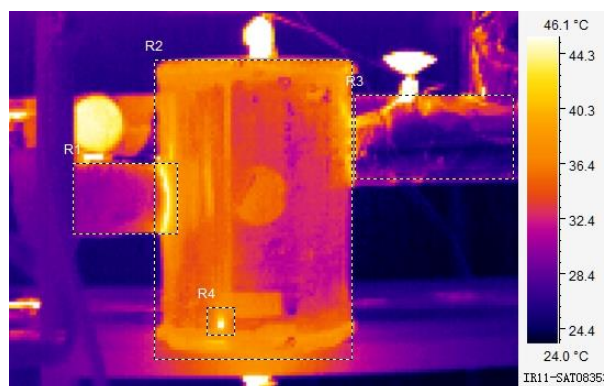


Ilustración 4-3: Termografía del calorímetro de estrangulamiento en su estado de situación inicial

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.

Tabla 3-3: Datos específicos del termograma de la Ilustración 4-3

Emisividad	0,28
Temperatura máxima del termograma	79,7 °C
Distancia	1 m
Temperatura ambiente	23,3 °C
Temperatura máxima área R1	46,3 °C
Temperatura máxima área R2	46,6 °C
Temperatura máxima área R3	73,3 °C
Temperatura máxima área R4	46,6 °C

Fuente: Satir Report. 2023

Realizado por: Vinueza, Juan, 2023.

La termografía que se observa en la Ilustración 4-3 fue dividida en 4 áreas específicas para un análisis más completo. El área R2 abarca todo lo que corresponde a la cámara de expansión, y allí podemos identificar dos puntos específicos, los cuales son los puntos más calientes de dicha área. Uno está en la unión con la tubería que se dirige hacia el manómetro y el otro en la parte inferior izquierda de la cámara de expansión. Para corroborar esto, se trazo además, las áreas R1 y R4. En el área R1 en base a los datos expuestos en la Tabla 3-3 junto con la termografía se puede observar que el punto más caliente de esta área es la unión de la cámara de expansión con la tubería a 46,6 °C. Así mismo mediante el trazado del área R4 podemos comprobar que el punto más caliente de la misma es el punto más caliente del área R2. Es decir que el punto más caliente de la cámara de expansión es de 46,6 °C. Esto significa que en ese punto existe fuga de calor debido a que la lana de vidrio en esa zona esta en mal estado. También en el área de la cámara de expansión existen otras zonas que mediante forma gráfica se puede observar que existen fugas de calor. En cuanto al área R3 el punto más caliente corresponde a la zona de la válvula de entrada del vapor en el calorímetro, lo cual es normal que se recalienta por efecto de la conducción. El punto de temperatura máxima de toda la termografía también corresponde a esta válvula pero se encuentra fuera del área R3.

También vale mencionar que en la unión entre en el área R2 y R3, es decir, entre la unión de la cámara de expansión y la tubería de entrada existe fuga de calor. Esto se produce ya que la lana de vidrio tiende a partirse ya sea por el uso o por mala instalación de la misma y quedar más vulnerable en las zona de unión, y así dejando escapar el calor en esas zonas.

3.3.2. Estado del termocupla tipo K

El termocupla se encontraba ubicado dentro de la cámara de expansión pero al momento de dar la lectura de temperatura cuando el vapor ingresaba al calorímetro de estrangulamiento no servía.

3.3.3. *Estado del manómetro*

El manómetro se encontraba en un estado deplorable y averiado. No marcaba la presión que se generaba en el calorímetro de estrangulamiento.



Ilustración 5-3: Manómetro averiado

Fuente: Vinuesa, Juan, 2023.

3.3.4. *Estado de la válvula de compuerta*

Para constatar el estado de esta válvula que abre/cierra el ingreso el vapor a la cámara de expansión se realizó pruebas de funcionamiento. Se concluyó que se encontraba en buen estado.

3.3.5. *Estado de la cámara de expansión*

Para llegar a saber el estado de la cámara de expansión fue necesario desmontarlo del lugar donde se encontraba. Posterior a eso se le quitó el tol galvanizado que recubría a la lana de vidrio que esta a su vez recubría la cámara de expansión hecha de acero SA-515 grado C y de acero A-36 según las especificaciones del fabricante del calorímetro de estrangulamiento. En la cámara de expansión mediante inspección visual se pudo evidenciar un claro desgaste por óxido. Posterior a esto se tomó la decisión de realizar una prueba hidrostática para saber el verdadero estado de la cámara de expansión, y así verificar tanto la hermeticidad del tanque, como de los cordones de soldadura del mismo.

Para llevar a cabo la prueba hidrostática en la cámara de expansión en primer lugar fue necesario taponar todas las cavidades que tenía el tanque con excepción a una que fue la tubería de $\frac{3}{4}$ de pulgadas por donde se decidió ingresar el agua y aire a presión. Posterior a eso se instaló el nuevo

manómetro para que de esta forma medir la presión que se generaba durante la prueba. Una vez hecho esto, se procedió a llenar el tanque de agua. Después mediante la ayuda de un compresor de aire se ingresó aire comprimido a la cámara de expansión hasta que la presión llegase a la presión máxima permitida de trabajo [P_d] más el 25% de la misma, el cual este porcentaje agregado representa el factor de seguridad asignado para estas pruebas. Cabe mencionar que la presión máxima permitida de trabajo se obtuvo de la tesis de fabricación del calorímetro de estrangulamiento. A continuación, se representa el cálculo final de la prueba hidrostática [P_h]:

$$P_h = P_d + F_s$$
$$P_h = P_d + (0,25 * P_d)$$
$$P_h = 85,55 \text{ psia} + (0,25 * 85,55 \text{ psia})$$
$$P_h = 106,94 \text{ psia}$$

Por ello, fue hasta la presión de prueba hidrostática [P_h] que llegó a marcar el manómetro de la cámara de expansión del calorímetro y allí se mantuvo durante diez minutos donde se comprobó que no hubo fugas y se pudo corroborar el buen estado de la cámara de expansión y de su tubería.



Ilustración 6-3: Prueba hidrostática de la cámara de expansión a 106,94 psia

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.

3.3.6. *Estado de la tubería del calorímetro de estrangulamiento*

Así mismo que con la cámara de expansión, para poder llegar a saber el estado de la tubería que era de acero galvanizado se necesitó quitar la lana de vidrio que la recubría. Hecho esto, no se detectó fugas en la tubería, pero sí se evidenció un desgaste considerable, como así también óxido en ciertas partes de la misma. Con la misma prueba hidrostática también se comprobó que la tubería aguantó la misma presión que la cámara de expansión.

3.4. Metodología del plan de mantenimiento del calorímetro de estrangulamiento

Una vez terminado repotenciación del calorímetro de estrangulamiento, se debió plantear una metodología para estructurar un plan de mantenimiento para este sistema. De esta forma se buscó prolongar el mayor tiempo posible la vida útil de cada uno de los elementos del calorímetro. La metodología que se escogió fue el análisis de modo de falla y efectos.

3.4.1. Análisis del modo de falla y sus efectos (AMFE)

Este método se basa en tres índices específicos: gravedad del fallo o severidad (S), probabilidad de ocurrencia del fallo (O), y probabilidad de la detección del fallo (D). Para cada elemento del sistema, se le da una valoración cuantitativa de estos índices para posteriormente calcular el Número de Prioridad de Riesgo (NPR).

$$\text{NPR} = \text{S} * \text{O} * \text{D}$$

Tabla 4-3: Índice de Severidad

Nivel de severidad	Criterio	Valor de S
Ínfima	No afecta al rendimiento del elemento.	1
Escasa	Afecta levemente en el desempeño del elemento, pero aún puede cumplir sus funciones.	2-3
Baja	No permite al elemento desempeñar sus funciones requeridas correctamente pero no tiene consecuencias considerables.	4-5
Moderada	Afecta al elemento considerablemente y puede desencadenar en un fallo más importante.	6-7
Elevada	Perjudica al elemento gravemente, dejándolo prácticamente fuera de las funciones que desempeña.	8-9
Muy elevada	Deja al elemento inservible. Puede perjudicar el rendimiento de otros elementos y en ciertos casos puede ocasionar riesgos de seguridad.	10

Realizado por: Vinueza, Juan, 2023.

Tabla 5-3: Índice de probabilidad de Ocurrencia

Nivel de Ocurrencia	Criterio	Valor de O
Ínfima	Nula probabilidad de ocurrencia. Este elemento prácticamente nunca falla dentro del transcurso de su vida útil.	1
Escasa	Poca probabilidad de que suceda. Es poco común que ocurra un fallo en este elemento, pero puede suceder.	2-3
Baja	Puede ocurrir fallos, pero la probabilidad que esto suceda es moderada.	4-5
Moderada	Proclive a que ocurran fallos, pero con poca frecuencia.	6-7

Elevada	Este elemento es muy susceptible a que tenga fallos. En su historial han ocurrido con mucha frecuencia.	8-9
Muy elevada	Es practicamente seguro que este elemento tenga fallos y ocurren constantemente	10

Realizado por: Vinueza, Juan, 2023.

Tabla 6-3: Índice de la probabilidad de Detección del fallo

Nivel Detección	Criterio	Valor de D
Muy elevada	Se puede detectar a simple vista.	1
Elevada	Necesita ser puesto en uso el elemento para detectar su falla.	2-3
Moderada	Es fácil de detectar la falla, pero ya no a simple vista. Se necesita realizar un chequeo cotidiano, sin mayor esfuerzo.	4-5
Baja	La falla ya no puede ser descubierta con facilidad. Se necesitan pruebas más exhaustivas para ello.	6-7
Escasa	Es muy improbable que se puede detectar la falla, inclusive con los controles regurales.	8-9
Ínfima	No se puede detectar el fallo. Es muy probable que cause una avería antes de ser diagnosticado.	10

Realizado por: Vinueza, Juan, 2023.

Los NPR que son igual o mayor que 100 son considerados elementos más críticos que los demás. A continuación se detalla la tabla del análisis del modo de falla y efectos del calorímetro de estrangulamiento.

Tabla 7-3: AMFE del calorímetro de estrangulamiento

Componente	Modo de fallo	Efecto de falla	Causa del fallo	Acciones a ejecutar	Consecuencia	S	O	D	NPR
Aislante de lana de vidrio	Temperatura excesiva en el laton de la cámara de expansión	No retiene el calor en la cámara de expansión	Agujeros en la lana de vidrio	Cambio de la lana de vidrio	Operacional	5	3	4	60
	La lana de vidrio se desprende la cañería	No retiene el calor en la tubería	Incorrecta instalación de lana de vidrio	Correcta implementación de lana de vidrio	Operacional/ Seguridad	5	4	2	40
Cámara de expansión	Temperatura excesiva en el laton de la cámara de expansión	No se produce la estrangulación del vapor.	Grietas en el cordón de soldadura	Soldar nuevamente la cámara de expansión	Operacional	9	2	4	72
PT100	No lee la temperatura	No se puede saber la temperatura a la que se encuentra el vapor	Mala conexión del PT100 al arduino, o de este a la computadora	Revisar conexiones hacia y desde el arduino.	Operacional	8	3	2	48
Manómetro	No marca ninguna presión	No se puede saber la presión del vapor en el calorímetro	Alguna fuga en la cámara de expansión o la cañería	Revisar fugas en el sistema y corregirlas	Operacional	8	7	3	168
	Indicador doblado o roto	Pérdida de precisión de lectura de la presión	Cambios bruscos de presión. Pérdida de la glicerina en el manómetro	Rellenar de glicerina el manómetro. Sustituir por manómetro con mayor rango de presión	Operacional	7	4	3	84
Tubería	Fuga de vapor por codos u otras uniones	La presión dentro del sistema no es el adecuado	Inadecuada instalación de la tubería	Unir de forma correcta todas las uniones que intervienen en la cañería	Operacional/ Seguridad	8	7	4	160

Válvula de compuerta	No deja conducir el vapor hacia la cámara de expansión	No se puede realizar los análisis correspondientes en el calorímetro	Agarrotamiento de la compuerta de la válvula	Cambio de válvula	Operacional	6	4	4	96
Válvula de bola	Deja escapar el vapor hacia la atmósfera	El manómetro no marca la presión	La esfera de la válvula no cierra por completo	Cambio de válvula	Operacional	4	6	4	96
Pantalla LCD/Microcontrolador Arduino	No marca la temperatura	No se puede determinar calidad de vapor	Desconexión de cables	Inspección de las conexiones en la placa arduino	Operacional	8	2	3	48

Realizado por: Vinueza, Juan, 2023.

En base al análisis AMFE se puede determinar que las partes del sistema que presentan más riesgo, y por lo tanto deben tener mayor prioridad a la hora de realizar el plan de mantenimiento son el manómetro y la tubería por la cual entra y sale el vapor del calorímetro. Principalmente porque si se presentan fallas en estos dos elementos el calorímetro de estrangulamiento dejaría de funcionar en su totalidad. En especial, si existiera una fuga en la cañería, todo el calor y la presión escaparían y por ende no se podría realizar los análisis posteriores para los cuales se usa el calorímetro de estrangulamiento.

CAPÍTULO IV

4. REPOTENCIACIÓN, PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y PLAN DE MANTENIMIENTO DEL CALORÍMETRO DE ESTRANGULAMIENTO

4.1. Repotenciación del sistema de generación de vapor

Después del respectivo estudio de estado de situación inicial se procedió a corregir los inconvenientes que presentaban cada uno de los elementos y en otros casos a sustituirlos por unos nuevos.

4.1.1. *Sustitución de la electrobomba centrífuga*

Debido a que la electrobomba de 0,5 hp no suministraba agua al cadero con la suficiente presión, es decir, no cumplía con la nueva función requerida por el sistema, fue necesario cambiarla por una nueva electrobomba de 3 hp que ya se encontraba en el laboratorio de termodinámica de la Facultad de Mecánica. El sistema del generador de vapor y todos sus elementos, incluyendo a la antigua electrobomba, se encontraban trabajando a 110 V; pero la nueva electrobomba trabajaba a 220 V, lo que supuso que fuera imprescindible realizar una adaptación en el sistema. A continuación se presenta la instalación de la nueva electrobomba.



Ilustración 1-4: Proceso de instalación de la nueva electrobomba centrífuga y nueva tubería.

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.

En primer lugar era necesario que en la caja de breakers del laboratorio se instale un nuevo taco térmico que corresponda al voltaje de la nueva electrobomba centrífuga. Este fue un taco térmico de dos polos de 20 amperios. Posterior a eso desde la caja de breakers hasta donde se añadiría un arrancador a 220 V se implementó un cable de calibre 10 AWG doble concentrico, lo cual es suficiente para poner en uso la nueva electrobomba centrífuga. Para poder realizar el proceso fue necesario implementar un arrancador eléctrico a 220 V , con un amperaje mínimo de 13,2 A, este último es dato que se sacó de la ficha técnica de la electrobomba. El arrancador que se seleccionó trabaja entre 12 A a 18 A.

4.1.1.1. *Automatización de la electrobomba centrífuga en el sistema del generador de vapor*

La automatización consistió en lograr que mediante el tablero de control del generador de vapor, el control de nivel de agua McDonell & Miller mandara una señal a la electrobomba para que esta se encendiera si el nivel de agua del caldero está muy baja y que la mandara a apagar si el nivel de agua llegara al requerido. Mediante el cambio del contactor que recibía la señal desde el McDonell y enviaba a prender o apagar la electrobomba pero anteriormente de 110 V, ahora se cambió por un contactor que trabajara a 220 V, se logró llegar a hacer dicha automatización.

4.1.2. *Sustitución de la sección de la tubería galvanizada*

En consecuencia al cambio de la electrobomba centrífuga y por ende al cambio de presión que requería resistir la antigua tubería que suministraba el agua al caldero, fue necesario agrandar la sección de la misma. El procedimiento fue el siguiente:

Mediante el uso de un calibrador se tomo la medida de la antigua sección. La medida que se obtuvo fue de 21,8 mm. A partir de esto se evaluó el diámetro nominal en la siguiente tabla:

Tabla 1-4: Tabla de especificaciones del tubo de acero galvanizado Norma X

Diámetro nominal		Diámetro exterior		Espesor de pared		Diámetro interior	
Plg	mm	Plg	mm	Plg	mm	Plg	mm
½	13	0,84	21,33	0,075	1,90	0,69	17,53
¾	19	1,05	26,67	0,075	1,90	0,90	22,86
1	25	1,32	33,40	0,075	1,90	1,17	29,59
1 ¼	32	1,66	42,16	0,09	2,30	1,48	37,59
1 ½	38	1,90	48,26	0,09	2,30	1,72	43,69
2	51	2,38	60,32	0,11	2,70	2,17	55,12
2 ½	64	2,88	73,03	0,11	2,70	2,67	67,82
3	76	3,50	88,90	0,12	3,04	3,26	82,80
4	102	2,50	114,30	0,12	3,04	4,26	108,20

Fuente: Ferreaceros, 2022.

Realizado por: Vinueza, Juan, 2023.

Como la medida que se obtuvo de la tubería a ser removida corresponde al diámetro exterior entonces se realizó un análisis de cual valor de esa columna se acerca al obtenido, ya que no siempre las medidas obtenidas mediante el calibrador son exactas. Hecho esto, el valor que se acercaba a los 21,8 mm era el de 21,33 mm que corresponde a la fila del diámetro nominal de 0,5 pulgadas.

Así también se realizó la medición en el diámetro de la salida de agua de la nueva electrobomba. El valor que se obtuvo fue de 31 mm. De la misma forma con la ayuda de la tabla en la columna de diámetro exterior se infirió que el valor que se acerca fue el de 33,40 mm, y esto quiere decir que el diámetro nominal es el de 1 pulgada. Por lo que se procedió a implementar la nueva nueva tubería de este valor.

4.1.3. Cambio de la válvula antirretorno

Una vez cambiadas tanto la electrobomba centrífuga y la tubería que va desde la electrobomba al caldero se procedió a encender el sistema para proceder a continuar con las pruebas de funcionamiento del sistema de generación de vapor. Al hacer esto, no hubo ningún problema con la nueva electrobomba, y se evidenció que cumplía su función. Así mismo la nueva tubería no presentaba fugas por ninguna parte.



Ilustración 2-4: Prueba de funcionamiento de la válvula antirretorno del caldero

Fuente: Vinuesa, Juan, 2023.

Posterior a eso, mediante evidencia visual en el controlador de nivel McDonell & Miller se pudo constatar que el agua no estaba llegando al caldero. A lo que se concluyó que el agua si ingresaba

al caldero, pero esta retornaba debió al mal estado de la válvula antirretorno ubicada justo antes del ingreso del agua en el caldero. Por ello se procedió a sustituirla por una nueva válvula.

En la Ilustración 2-4 se puede observar cómo al ya ser retirada la válvula antirretorno que presentaba problemas se realizó una prueba con agua para comprobar que en realidad la misma estaba obsoleta. Una válvula en buen estado no debería dejar pasar el agua en esa dirección.

4.1.4. *Reparaciones en tanque de diesel, instalación de una nueva tubería y cambio de la válvula de bola de la misma*

La manguera de salida de diesel desde el tanque hacia el quemador estaba instalada en la mitad del tanque. Debido a esto, y a una fuga que estaba presente entre la manguera y el tanque se tomó la decisión de sustituir la manguera por una tubería PVC de media pulgada. Esta nueva tubería se decidió instalar en la parte inferior del tanque, a 0.5 pulgadas desde la parte inferior, en consideración de que los sedimentos del diesel no salgan hacia el quemador. Para ello, se tuvo que hacer un nuevo agujero del diámetro antes mencionado, y posterior a eso se soldó al tanque una unión de acero galvanizado para la instalación de la tubería. En el antiguo agujero en el tanque donde estaba instalada la manguera de salida de diesel se procedió a poner un tapón de acero.



Ilustración 3-4: Proceso de reparación del tanque de diesel

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.

Después de varios días de realizar la instalación de la nueva tubería se procedió a probarla. Aquí se constató que en la válvula de bola existía fuga de diesel, por lo que se realizó una sustitución por una nueva válvula.



Ilustración 4-4: Tubería recién instalada de salida del Diesel desde el tanque hacia el quemador

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.

4.1.5. Reparación del quemador

Después de ya solucionar los problemas presentados con el suministro de diesel, se pudo evidenciar el estado real del quemador, puesto que este no encendía. A partir de esto se procedió a inspeccionar el controlador electrónico primario del quemador. Ya en el controlador se decidió aislar la fotocelda de sulfuro de cadmio para de esta manera obviar el sistema de control y automatización del sistema eléctrico del quemador. El quemador si encendió, y de esta forma se comprobó que la fotocelda estaba averiada. Por lo tanto, se sustituyó la antigua fotocelda por una nueva.



Ilustración 5-4: Boquilla antigua de 0,5 gph a 80° en el quemador.

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.

Posteriormente a este cambio de pieza del sistema de control del quemador se intentó nuevamente arrancar el sistema de generación de vapor pero una vez más el quemador falló. Este equipo si encendía la llama pero a los pocos segundos se volvía a apagar. Entonces se tomó la decisión de extraerlo del sistema del caldero y realizar una inspección más exhaustiva. En dicho procedimiento, y con más intentos para encender la llama se logró observar que la boquilla por donde se expulsaba el diesel para la combustión estaba descompuesta ya que el ángulo de expulsión no era el correcto. Esto hacía que la llama lograra encenderse pero que unos pocos momentos después se apagara.

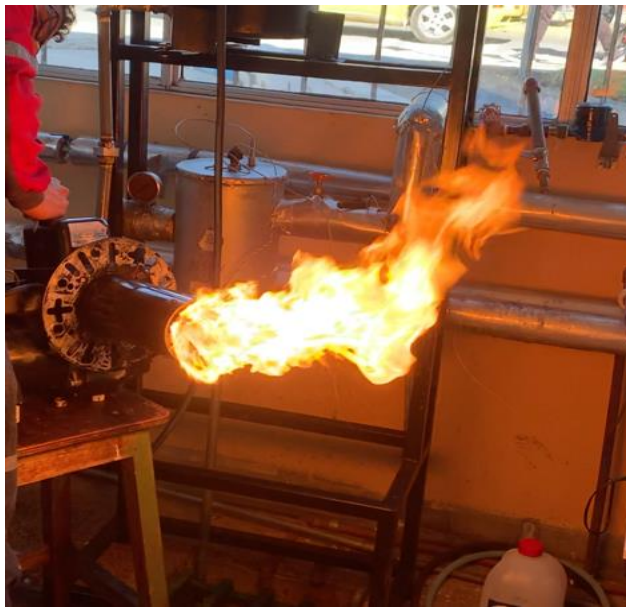


Ilustración 6-4: Pruebas de funcionamiento del quemador fuera del caldero

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.

Por esta razón se cambió la boquilla antigua por una nueva. La boquilla que estaba en el quemador tenía un ángulo de rocío del diesel de 80° trabajaba a 0,50 gph. Es decir, que la boquilla esparcía 0,50 galones de diesel por hora. Cabe acotar que la calibración de la presión de la bomba de combustible con la antigua boquilla era de 150 psi. Para la elección de la nueva boquilla, se tomó en cuenta el factor del caudal de dispersión de combustible. Por lo que se optó por una boquilla mayor caudal de dispersión del diesel.

La elección fue una boquilla de 0,75 gph a 80° , ya que de esta forma se aseguraría evitar el problema que se generaba con la antigua boquilla que hacía que la llama del quemador no sea permanente. Con ayuda de la Tabla 2-4 se calculó la denominación de la nueva boquilla, es decir el caudal (gph).

Tabla 2-4: Efectos de la presión sobre el caudal de la boquilla

Clasificación boquillas a 100 psi	Tasa de flujo de la boquilla en galones por hora (aprox.)					
	120 psi	145 psi	160 psi	175 psi	200 psi	300 psi
0,4	0,44	0,48	0,51	0,53	0,57	0,69
0,5	0,55	0,60	0,63	0,66	0,71	0,87
0,6	0,66	0,72	0,76	0,79	0,85	1,04
0,7	0,71	0,78	0,82	0,86	0,92	1,13
0,8	0,82	0,90	0,95	0,99	1,06	1,30
0,9	0,93	1,02	1,08	1,12	1,20	1,47

Fuente: Wayne Combustion Systems

Realizado por: Vinueza, Juan, 2023..

La columna de “Clasificación boquilla a 100 psi” hace referencial al valor nominal del caudal que tendría esa boquilla si la calibración de presión es a 100 psi.

El cálculo para la elección de la nueva boquilla constó en saber en primer lugar que tasa de flujo se estaba manejando a una presión de la bomba de combustible de 150 psi con la denominación 0,50 gph a 80°. Para ello se hizo una interpolación de la boquilla con valor nominal de 0,5 gph. A continuación, dicho cálculo:

Tabla 3-4: Interpolación para calcular caudal a 150 PSI con de una boquilla de valor nominal 0,5 gph

Presión (psi)	Caudal (gph)
145	0,60
150	y
160	0,63

Realizado por: Vinueza, Juan, 2023.

$$y=0,60+\frac{(0,63-0,60)}{160-145}x(150-145)$$

$$y= 0,61 \text{ gph}$$

De esta forma se ha calculado el verdadero caudal con el que dispersaba la antigua boquilla era de 0,61 gph. Lo que la tasa de flujo era demasiado baja y por ello la dispersión no era la correcta, y esto sumandole a que la antigua boquilla estaba descompuesta en lo que respecta el ángulo de dispersión ocasionaba que la llama no llegue a ser constante.

Con el propósito de que la tasa de flujo de combustible de la nueva boquilla no sea tan baja como la anterior la elección fue una boquilla de 0,75 gph a 80°. Después de instalar la nueva boquilla fue necesario realizar otras interpolaciones para saber su verdadera tasa de flujo de diesel con una calibración de la bomba de combustible del quemador igual a 150 psi:

Tabla 4-4: Interpolación para calcular caudal a 150 psi con de una boquilla de valor nominal 0,7 gph

Presión (psi)	Caudal (gph)
145	0,78
150	y
160	0,82

Realizado por: Vinueza, Juan, 2023.

$$y=0,78+\frac{(0,82-0,78)}{160-145}x(150-145)$$

$$y= 0,79 \text{ gph}$$

Tabla 5-4: Interpolación para calcular el caudal real a 150 psi con de una boquilla de valor nominal 0,8 gph

Presión (psi)	Caudal (gph)
145	0,90
150	y
160	0,95

Realizado por: Vinueza, Juan, 2023.

$$y=0,90+\frac{(0,95-0,90)}{160-145}x(150-145)$$

$$y= 0,92 \text{ gph}$$

Por último se realiza la interpolación final para saber la tasa de flujo que va a tener la boquilla de valor nominal 0,75 gph a una calibración de 150 psi

Tabla 6-4: Interpolación para calcular el caudal real a 150 psi con de una boquilla de valor nominal 0,75 gph

Clasificación boquillas a 100 PSI	Caudal (gph)
0,7	0,79
0,75	y
0,8	0,92

Realizado por: Vinueza, Juan, 2023.

$$y=0,79+\frac{(0,92-0,79)}{0,8-0,7}x(0,75-0,7)$$

$$y= 0,86 \text{ gph}$$

Por lo tanto la tasa de flujo real de dispersión de diesel de la nueva boquilla de 0,75 gph a 80° con calibración de la presión de la bomba de combustible del quemador a 150 psi es de 0,86 gph. Esto es útil saber para tener en conocimiento cuanto diesel ocupara el quemador en una hora, y por ende para que el tanque de diesel este previsto con el suficiente combustible para cuando se use el generador de vapor.

Hecho esto se volvió a realizar la prueba de encendido de la llama, a lo que resultó como exitoso dicho ensayo donde la llama sí se mantuvo encendida. Por último se volvió a ubicar el quemador en la ubicación correspondiente para que funcione en el generador de vapor.

4.1.6. *Determinación de la transferencia de calor del quemador al caldero*

Dado que por el cambio de la boquilla del quemador, tanto el flujo másico como el calor entregado del quemador al caldero variaron, es importante saber estos nuevos datos para tener en cuenta para el mantenimiento preventivo, así como para futuras reparaciones del caldero. A continuación los cálculos:

Datos que no varían:

Poder calorífico superior del diésel: $PCS=18069,5 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}}=42,03 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$

Caudal: $\dot{V}=0,86 \text{ gph}=9,04 \times 10^{-7} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ (este dato corresponde a lo calculado anteriormente)

Densidad del diésel: $\rho=50,25 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}=804,93 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

En primer lugar se procede a calcular el flujo másico:

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \rho * \dot{V} \\ \dot{m} &= 804,93 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left(9,04 \times 10^{-7} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \\ \dot{m} &= 7,28 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \end{aligned}$$

A continuación se calcula la tasa de calor producido por el quemador en el caldero:

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= \dot{m} * PCS \\ \dot{Q} &= 7,28 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 42,03 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \\ \dot{Q} &= 0,0306 \frac{\text{MJ}}{\text{s}} \\ \dot{Q} &= 30,59 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \end{aligned}$$

$$\dot{Q}=30,59 \text{ kW}$$

4.1.7. Prueba de funcionamiento del sistema de generación de vapor

Con la última reparación del quemador exitosa, a continuación se realizó una prueba de funcionamiento de todo el sistema de generación de vapor. Se procedió a encender el sistema y todo funcionó correctamente. Al caldero le tomó alrededor de unos 50 minutos para que la temperatura llegue a los 140 °C y la presión llegue a 40 psi, y de esta forma se empieza a producir el vapor de agua. El mismo que era evacuado por una cañería que se dirigía al calorímetro de estrangulamiento, y posterior a eso por otra tubería el vapor se evacuaba al exterior como se muestra en la Ilustración 7-4.



Ilustración 7-4: Salida del vapor

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.

4.2. Repotenciación del calorímetro de estrangulamiento

Con todas las pruebas realizadas en los elementos pertenecientes a este sistema, se pudo determinar su estado de situación inicial, y con ello las actividades a realizar para dejar en buen estado al calorímetro.

4.2.1. Extracción de la lana de vidrio

Lo primero que se hizo fue sacar la lana de vidrio que recubría la tubería. Luego se separó la sección de la cámara de expansión de la cañería que ingresa y sale el vapor, además de la que conecta al manómetro. Después de eso, se continuó con el retiro del recubrimiento que poseía la

cámara de expansión del tol de acero galvanizado para que de esta forma, se pueda finalmente extraer la lana de vidrio como se observa en la Ilustración 9-4.



Ilustración 8-4: Extracción de la lana de vidrio de la cámara de expansión

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.

4.2.2. *Sustitución del manómetro*

Se tuvo que desechar el antiguo manómetro y adquirir uno nuevo con las mismas especificaciones: de capacidad hasta 240 psi, lo cual es más que suficiente para la funciones requeridas en el calorímetro y de glicerina para evitar cualquier vibración al momento de las mediciones. El nuevo manómetro ya fue instalado para el momento de realizar la prueba hidrostática de la cámara de expansión.

4.2.3. *Limpieza de la cámara de expansión*

Este tanque que está hecho de acero, luego de su prueba hidrostática se procedió a limpiar todo su óxido que se había presentado durante los años. Con una lija se logró quitar dicho material con herrumbre, y posterior a eso con agua se liberó de todo material no deseado en el elemento.

4.2.4. *Implementación de lana de vidrio en la cámara de expansión*

Se procedió a instalar lana de vidrio en la cámara de expansión, cubriendo toda su área y luego posteriormente sellando la cámara de expansión con un nuevo tol de acero galvanizado para

contener de mejor manera cualquier fuga de calor. Las tapas superior e inferior del protector del tol estaban sellados con tornillos como anteriormente estaban puestos anteriormente antes de las reparaciones.



Ilustración 9-4: Implementación de nueva lana de vidrio en la cámara de expansión

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.

4.2.5. *Cambio de ciertas secciones de la tubería del calorímetro*

Al ser afectadas a través de los años por el óxido, ciertas secciones de la cañería de acero galvanizado tuvieron que ser sustituidas. De esta forma se garantizó que no existan fugas del fluido.



Ilustración 10-4: Unión universal antigua y unión universal nueva de la tubería del calorímetro

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.



Ilustración 11-4: Manómetro y tubería instaladas previo a ser instalada la cañuela de lana de vidrio

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.

En el caso de la tubería que corresponde a la purga del calorímetro se implementó una válvula de bola para que de esta forma al momento de querer realizar los análisis en el calorímetro se pueda cerrar la válvula y el vapor no escape hacia afuera, y así mismo cuando se quiera evacuar el vapor se abra esta válvula. Primero se tuvo que cortar la tubería de media pulgada de acero galvanizado y con una terraja se añadió la rosca en cada tubo para después implementar la válvula de bola. En la Ilustración 12-4 se evidencia esto.



Ilustración 12-4: Válvula de bola en tubería de purga del calorímetro

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.

Además, en el final de la tubería de purga se sustituyó el antiguo codo de 90° para evitar que la condensación que puede llegar a efectuarse en el codo se estanque allí y así evitar el deterioro del codo. Por ello se optó cambiarlo por uno de 45°.



Ilustración 13-4: Codo de 45° en tubería de purga del calorímetro

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.

4.2.6. *Implementación de la lana de vidrio en la cañería*

Luego de dejar ensamblada correctamente la cañería, se logró adquirir una cañuela de lana de vidrio para la tubería de media pulgada. Ya con esto, se pudo instalar la cañuela tanto en la tubería de ingreso de vapor a la cámara de expansión, en la cañería donde se encuentra el manómetro y también en la tubería de purga. En la cañería de purga solo fue cubierta con el aislante térmico hasta donde se encuentra la válvula de bola porque en cierto momento de realizar las pruebas correspondientes se necesita que el vapor llegue solo hasta ese punto. Después de instalar la cañuela de lana de vidrio, se procedió a revestir ciertas partes de la misma con cinta de aluminio con la finalidad de asegurar la cañuela y también de cubrir en las partes donde la fibra de vidrio estaba expuesta a la superficie como era el caso de ciertas uniones, codos y terminales del protector térmico en la tubería.



Ilustración 14-4: Tubería recubierta por cañuela de lana de vidrio

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.

4.2.7. *Sustitución de un PT100 en lugar del termocupla tipo K*

Tanto el PT100 como el termocupla tipo K tienen la función de ser sensores de temperatura, pero el PT100 al estar hecho de platino presenta una lectura más precisa que el termocupla. Es por ello que en este caso se optó por instalar el PT100 con un rango de $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dicho rango abarca tanto las mínimas como las máximas temperaturas que puede llegar a tener el vapor de agua. Dicho sensor termo-resistivo se lo instaló en el viejo orificio con rosca en el que estaba el termocupla y que se encuentra en la cámara de expansión.

Para que con el PT100 se pueda leer la temperatura se necesitó la adquisición de un convertidor RTD a corriente de 3 hilos para que posteriormente el microcontrolador arduino pueda interpretar la señal en miliamperios. Al PT100 se le alimentó con una fuente de voltaje de 24 V y 2 A. Ya con las conexiones hechas desde el PT100 al convertidor RTD y del convertidor a la placa arduino se prosiguió con la programación en el software arduino. Hecho esto, se realizó una prueba de funcionamiento del PT100 con el objetivo de poder visualizar en el software arduino la temperatura que capta el sensor en tiempo real. La prueba fue hecha con éxito.



Ilustración 15-4: Colocación del PT100 en la cámara de expansión

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.

Adicionalmente, para también tener la información de la temperatura del vapor en el calorímetro para futuras prácticas en el Laboratorio de Termodinámica, se optó por ingresar dicho dato en Labview. Allí en ese software se programó mediante el uso de varios bloques de adquisición de datos tomando la información del puerto serial de arduino. Así mismo, se realizó una prueba de funcionamiento en el que en el software Labview si se pudo ver reflejada la temperatura captada por el PT100 en tiempo real.

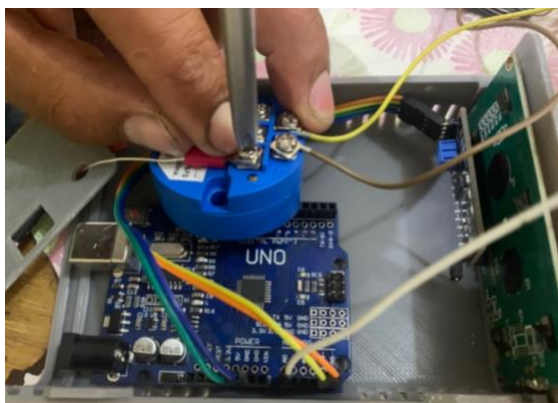


Ilustración 16-4: Conexiones entre el convertidor RTD y el microcontrolador arduino

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.

4.2.8. Implementación de una pantalla LCD para la lectura de temperatura

Como parte de la repotenciación del calorímetro, fue necesario implementar una pequeña pantalla LCD cerca del calorímetro como se puede observar en la Ilustración 17-4 para que de esta forma se pueda leer la temperatura en tiempo real a la que se encuentra el vapor dentro de la cámara de expansión. En la programación mencionada en el apartado anterior también se tomó en cuenta para que la temperatura se pueda proyectar en la pantalla LCD. Desde la placa se realizó la conexión a la pantalla LCD. Se realizó una prueba de funcionamiento del LCD y allí se puede visualizar en tiempo real el cambio de temperatura. Cabe mencionar que la placa arduino y por ende el LCD son alimentados con un cable USB y que este puede estar conectado a la computadora en el caso que se necesite también visualizar en el software los datos generados desde el PT100 o puede ser conectado a un tomacorriente con adaptador.



Ilustración 17-4: Pantalla LCD para lectura de temperatura en tiempo real

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.

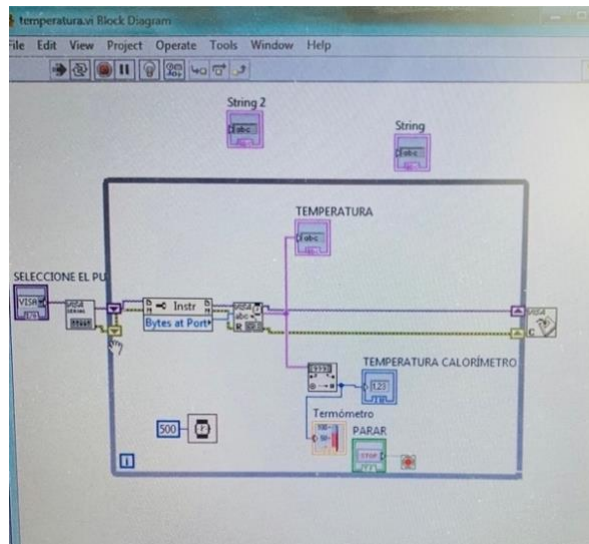


Ilustración 18-4: Diagrama de bloques en Labview

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.

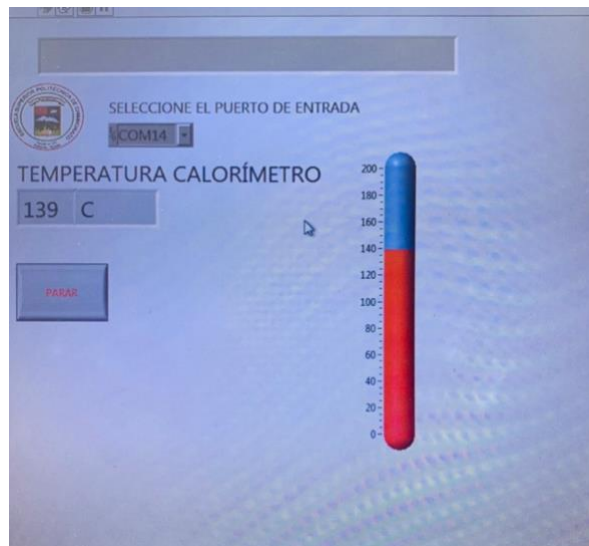


Ilustración 19-4: Visualización de temperatura en tiempo real en Labview

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.

Tanto la pantalla LCD, como el microcontrolador arduino y el convertidor RTD se los colocó dentro de una caja hecha con impresión 3D. Allí la placa y el LCD fueron pegados con silicona. Esta caja fue puesta a un costado del calorímetro de estrangulamiento para que sea así visible para la persona que haga uso del sistema.

4.3. Pruebas de funcionamiento finales del calorímetro de estrangulamiento

Con todos los elementos en su lugar se procedió con las pruebas de funcionamiento para corroborar que todo el sistema esté trabajando correctamente. Para ello se encendió el sistema de generación de vapor. Después se abrió la valvula de compuerta y se cerró la válvula de bola.

Mediante inspecciones visuales se pudo comprobar el buen funcionamiento del manómetro al marcar la presión, del PT100 mediante la visualización de la temperatura en la pantalla LCD y en el software Labview. Al mismo tiempo que marcaron estos indicadores, con ello se pudo comprobar que efectivamente las válvulas estaban en buen estado y que no existían fugas en ninguna parte de las cañerías.

4.3.1. Prueba termográfica final

Para comprobar el buen estado de la lana de vidrio que fue sustituida en la repotenciación se decidió realizar una prueba termográfica, para que así pueda ser comparado con la termografía tomada en el estudio de estado de situación inicial y de esta corroborar el mejoramiento en cuanto al recubrimiento térmico de la cámara de expansión y de las tuberías. La prueba termográfica post repotenciación se presenta en la Ilustración 20-4 a continuación.

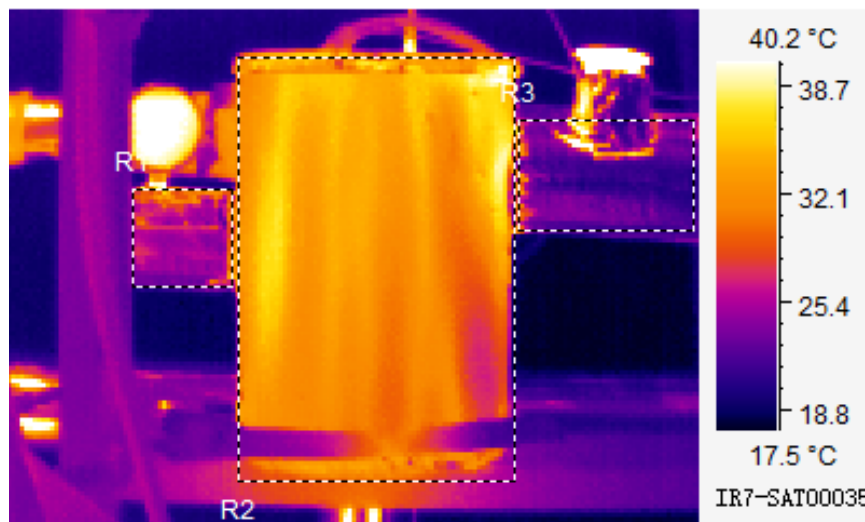


Ilustración 20-4: Termografía de la prueba de funcionamiento final del calorímetro de estrangulamiento

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.

Tabla 7-4: Datos específicos del termograma de la Ilustración 19-4

Emisividad	0,28
Temperatura máxima del termograma	75,5 °C
Distancia	1 m
Temperatura ambiente	19 °C
Temperatura máxima área R1	42,3 °C
Temperatura máxima área R2	41,3 °C
Temperatura máxima área R3	50,1 °C

Fuente: Satir Report. 2023

Realizado por: Vinueza, Juan, 2023.

Como se pudo observar en base al análisis por áreas en comparación con las mismas áreas de la termografía previa a la repotenciación se pudo determinar que la temperatura ha disminuido. Es así que en el área R1 correspondiente a la cañería que se dirige al manómetro la termografía anterior arrojaba que el punto más caliente era una temperatura de 46,3 °C y ahora es de 42,3 °C. En el área R2 que abarca la cámara de expansión el punto más caliente en la primera termografía era de 46,6 °C y ahora el punto fue caliente en esa zona es de 41,3 °C. Así mismo en el área R3 que es la tubería que donde ingresa el vapor al calorímetro antes su punto más caliente era de 73,3 °C y ahora fue de 50,1 °C. El punto más caliente en el termograma de la Ilustración 20-4 fue de 75,5 °C y corresponde al manómetro. Así también vale mencionar que en la válvula se encontró otra zona de alta temperatura. Esto se debe a que esos elementos no están con recubrimiento térmico.

4.4. Cálculo de la calidad del vapor

Este cálculo es importante porque de esta forma se puede saber que tanta agua condensada existe en la masa total de vapor generado por el caldero y de esa forma tomar en cuenta el daño que se producirá en los equipos de los sistemas por donde atraviesa el vapor. Para calcular primero se recolectó los datos requeridos en la Tabla 8-4, y se lo hizo de la siguiente manera:

Se encendió el sistema de generación de vapor y se esperó a que el caldero llegue a la presión seteada que es de alrededor de 46 psi. Luego se abrió las válvulas de salida de vapor desde el caldero hasta el calorímetro de estrangulamiento. Allí en el calorímetro, se debió cerrar la válvula de la tubería de purga para que el vapor circule por la cámara de expansión. Se esperó unos minutos hasta conseguir que la temperatura y la presión se estabilicen en el calorímetro.

Luego de unos minutos se abrió la válvula de purga del calorímetro para que el vapor salga a la atmósfera. Posterior a eso se esperó que el manómetro del calorímetro se estabilice nuevamente (es decir que llegue a cero completamente para asegurarnos que solo estaba presente la presión atmosférica).

Cuando esto sucedió se debe procedió a tomar los datos de presión del generador de vapor y también la temperatura de la cámara de expansión. Se tomó veinte datos, en lo que se procuró que sea en cada descenso de presión en el caldero de 2 psi pero también se tomó datos intermedarios para mayor precisión como se muestra en la Tabla 8-4. Cabe mencionar que se tomó la presión atmosférica de Riobamba igual a 10,7 psi.

Tabla 8-4: Obtención de la calidad de vapor en el calorímetro de estrangulamiento

No. de dato	Tiempo (minutos)	Presión en generador de vapor (psig)	Presión 1: en generador de vapor (psia)	Presión 2: atmosférica local (psia)	Temperatura cámara de expansión (°C)	Calidad del vapor (%)
1	0	42	52,7	10,7	118	99,14
2	1	40	50,7	10,7	117	99,13
3	2	38	48,7	10,7	119	99,41
4	2	36	46,7	10,7	118	99,50
5	3	34	44,7	10,7	120	99,68
6	3	32	42,7	10,7	119	99,68
7	4	31	41,7	10,7	118	99,63
8	4	30	40,7	10,7	118	99,68
9	5	29	39,7	10,7	118	99,75
10	6	28	38,7	10,7	119	99,90
11	7	27	38,7	10,7	118	99,87
12	8	26	36,7	10,7	118	99,92
13	9	24	34,7	10,7	117	99,95
14	10	22	32,7	10,7	114	99,80
15	12	21	31,7	10,7	114	99,87
16	13	20	30,2	10,7	114	99,93
17	15	18	28,7	10,7	112	99,89
18	18	17	27,7	10,7	111	99,88
19	22	16	26,7	10,7	111	99,96
20	26	15	25,2	10,7	110	99,94
Promedio calidad de vapor (%) =						99,73

Fuente: Vinueza, Juan, 2023.

El cálculo a continuación se realizó con el dato número 1 de la Tabla 8-4:

El vapor en el caldero se encontraba en estado de agua saturada y fue el estado 1. Ya cuando salió a la atmósfera después de pasar por el proceso de estrangulamiento pasó a ser vapor sobrecalentado y fue el estado 2. En el estado 2 la presión es igual a 10,7 psi y la temperatura a 118 °C. Lo primero que se hizo fue transformar de grados centígrados a fahrenheit, y con ello se obtuvo una temperatura de 244,4 °F. Con ese dato en las tablas de vapor sobrecalentado se realizó las interpolaciones a continuación descritas para hallar la entalpía (h):

Tabla 9-4: Interpolación para hallar entalpía a 10 psi y 15 psi con temperatura de 244,4°F

T (°F)	P = 10 psi	P = 15 psi
	h (Btu/lbm)	h (Btu/lbm)
240	1165,5	1163,9
244,4	1167,58	1166,02
280	1184,4	1183,2

Fuente: Cengel, Yunus.

Realizado por: Vinueza, Juan, 2023.

Tabla 10-4: Interpolación para hallar entalpía a 10,7 psi con una temperatura de 244,4°F

P (psi)	h (Btu/lbm)
10	1167,58
10,7	1167,36
15	1166,02

Fuente: Cengel, Yunus.

Realizado por: Vinueza, Juan, 2023.

La entalpía hallada fue de $h=1167,36 \frac{\text{Btu}}{\text{lbm}}$. Como la entalpía $h_1=h_2=h$, entonces en el estado 1 la entalpía también fue la misma que en el estado 2. Por ello en el estado 1 lo que faltaba para hallar la calidad de vapor era h_f y h_{fg} . Para hallar estos dos valores se realizó interpolación en la tabla de agua saturada teniendo en cuenta que la presión 1 fue de 52,7 psi.

Tabla 11-4: Interpolación para hallar h_f y h_{fg} con una presión de 52,7 psi

P (psi)	h_f (Btu/lbm)	h_{fg} (Btu/lbm)
50	250,21	924,03
52,7	253,56	921,69
55	256,42	919,7

Fuente: Cengel, Yunus.

Realizado por: Vinueza, Juan, 2023.

Se halló $h_f=253,56 \frac{\text{Btu}}{\text{lbm}}$ y $h_{fg}=921,69 \frac{\text{Btu}}{\text{lbm}}$. A continuación se realizó el cálculo de la calidad de vapor.

$$x = \frac{1167,36 \frac{\text{Btu}}{\text{lbm}} - 253,56 \frac{\text{Btu}}{\text{lbm}}}{921,69 \frac{\text{Btu}}{\text{lbm}}}$$
$$x = 0,9914$$

Este valor se multiplicó por 100 y se halló el porcentaje de la calidad de vapor $x = 99,14\%$.

Este cálculo se realizó con los veinte datos recogidos en el Laboratorio de Termodinámica y por último se realizó un promedio de calidad de vapor que dio por resultado $x = 99,73\%$.

4.5. Plan de mantenimiento

Una vez repotenciado el sistema del calorímetro de estrangulamiento con todos los componentes que lo conforman se debe proceder con la codificación de los mismos para posteriormente realizar las hojas de las tareas que conformarán el plan maestro anual de mantenimiento.

4.5.1. Codificación

La codificación es necesario para poder identificar el sistema, la ubicación del mismo. Para ello se usó la codificación establecida previamente y que ya se han usado en otros sistemas de la Facultad de Mecánica. Al laboratorio de Termodinámica en la codificación se lo conoce como Laboratorio de Transferencia de Calor.

Tabla 12-4: Codificación del sistema del calorímetro de estrangulamiento

Establecimiento	Facultad	Área	Sistema	Elemento
ESPOCH	Mecánica	Laboratorio de Transferencia de Calor	Calorímetro de estrangulamiento	
ESP	FAME	TC	CE	

Realizado por: Vinueza, Juan, 2023.

La codificación final del sistema sería: **ESP-FAME-TC-CE01**.

El “01” corresponde al número de equipos que existen con iguales o similares características.

4.5.1.1. Codificación de los elementos

Los elementos que conforman el calorímetro de estrangulamiento posterior a su repotenciación como son parte del mismo sistema llevan la codificación antes presentada y se le añadió un nivel más que corresponde a la identificación de cada componente o elemento.

Esta codificación quedó de la siguiente forma:

- Aislante de lana de vidrio para la cámara de expansión: ESP-FAME-TC-CE01-LN01
- Cañuela o aislante de lana de vidrio para la cañería: ESP-FAME-TC-CE01-LN02
- Cámara de expansión: ESP-FAME-TC-CE01-CX
- Tubería: ESP-FAME-TC-CE01-TB
- Válvula de compuerta: ESP-FAME-TC-CE01-VA01
- Válvula de bola: ESP-FAME-TC-CE01-VA02
- Manómetro: ESP-FAME-TC-CE01-MN01
- PT100: ESP-FAME-TC-CE01-PT01
- Sistema de pantalla LCD: ESP-FAME-TC-CE01-LC

4.5.2. Tareas de mantenimiento

Es necesario saber el conjunto de todas las tareas que se podrán aplicar al calorímetro de estrangulamiento para poder codificarlas y además detallarlas más adelante unas tablas donde se precisará su procedimiento. Todo esto se realiza con el fin de generar el plan de maestro de mantenimiento y así de esta manera siempre y cuando se cumpla con dichas tareas prolongar la vida útil de los elementos que forman el calorímetro.

Algunas de las tareas a continuación corresponden al mantenimiento correctivo pero que igualmente que las tareas preventivas necesitan ser codificadas y tomadas en cuenta para cuando necesiten ser implementadas.

Tabla 13-4: Lista de tareas para el calorímetro de estrangulamiento



Número	Tarea	Tipo de mantenimiento	Elemento	Código
1	Limpieza externa	Preventivo	Sistema general	P1
2	Limpieza interna	Preventivo	Pantalla LCD	P2-A
			PT100	P2-B
3	Inspección	Preventivo	Sistema general	P3
4	Pruebas funcionales	Preventivo	Sistema general	P4
5	Sustitución	Correctivo	Cañuela de lana de vidrio	C1-A
			Lana de vidrio (cámara de expansión)	C1-B
			Válvula de compuerta	C1-C
			Válvula de bola	C1-D
			PT100	C1-E
			Manómetro	C1-F
6	Reparación	Correctivo	Cámara de expansión	C2

Realizado por: Vinuesa, Juan, 2023.

4.5.2.1. Procedimientos de tareas de mantenimiento

El procedimiento de cada tarea de mantenimiento es el detalle de todos los pasos para realizar las tareas previamente mencionadas y varía según elemento en el que va a ser implementado, es por ello que en las tablas a continuación son las Hojas de Tareas.

Tabla 14-4: Procedimiento de la tarea P1

HOJA DE TAREA		P1	
 	CALORÍMETRO DE ESTRANGULAMIENTO	FRECUENCIA	
		Mensual	X
	LABORATORIO DE TERMODINÁMICA (TRANSFERENCIA DE CALOR)	Trimestral	
		Semestral	
		Anual	

		Sistema	
		En funciones	
Tiempo de ejecución	25 min	Sin funciones	X
LIMPIEZA EXTERNA ESP-FAME-TC-CE01			
Herramientas	Materiales	Equipo	
Franela, brocha.	Agua.		
Procedimiento:			
<ul style="list-style-type: none"> • Constatar que el generador de vapor esté apagado o a su vez, que las válvulas que se dirigen hacia el calorímetro de estrangulamiento estén cerradas. • Limpiar con la franela y la brocha según se necesite, los cables eléctricos que proceden del PT100, la pantalla LCD, y las tuberías recubiertas de cañuela. • Remojar la franela con agua, posterior a eso exprimirla para solo dejarla en un estado húmedo y limpiar el polvo y la suciedad con la franela la cámara de expansión. • Repetir el anterior procedimiento dirigido al manómetro y la parte externa del PT100, y la cañería de purga que no está recubierta de cañuela. • Con la brocha limpiar las partes de difícil acceso, ya sea en las válvulas, la cámara de expansión, la parte externa del PT100 o las tuberías y cables en general. • Por último lavar y hacer secar la franela y la brocha para su próximo uso. 			
Observaciones:			

Realizado por: Vinueza, Juan, 2023.


Tabla 15-4: Procedimiento de la tarea P2-A

HOJA DE TAREA		P2-A	
 	CALORÍMETRO DE ESTRANGULAMIENTO	FRECUENCIA	
		Mensual	
	LABORATORIO DE TERMODINÁMICA (TRANSFERENCIA DE CALOR)	Trimestral	X
		Semestral	
		Anual	

		Sistema	
		En funciones	
Tiempo de ejecución	20 min	Sin funciones	X
LIMPIEZA INTERNA ESP-FAME-TC-CE01-LC			
Herramientas	Materiales	Equipo	
Destornillador estrella, brocha.			
Procedimiento:			
<ul style="list-style-type: none"> • Verificar que los cables del sistema de la pantalla LCD no estén conectados. • Con el destornillador, abrir la caja en el que se encuentra instalado el sistema de la pantalla LCD, y guardar los tornillos en un lugar que no se pueda perder. • Proceder a limpiar con la brocha la placa arduino, el convertidor y la pantalla LCD, removiendo los cables con sumo cuidado para evitar cualquier desconexión. • Después de la limpieza, se debe acomodar el convertidor y los cables. • Se debe cerrar la caja y atornillarla. • Lavar la brocha y hacerla seca para su próximo uso. 			
Observaciones:			

Realizado por: Vinuesa, Juan, 2023.



Tabla 16-4: Procedimiento de la tarea P2-B

HOJA DE TAREA		P2-B	
 	CALORÍMETRO DE ESTRANGULAMIENTO	FRECUENCIA	
		Mensual	
		Trimestral	
LABORATORIO DE TERMODINÁMICA (TRANSFERENCIA DE CALOR)		Semestral	X
		Anual	

		Sistema	
		En funciones	
		Sin funciones	X
Tiempo de ejecución	25 min		
LIMPIEZA INTERNA ESP-FAME-TC-CE01-PT01			
Herramientas	Materiales	Equipo	
Destornillador estrella, llave pico de loro, franela, guantes, mascarilla, cepillo.	Agua, jabón líquido.		
Procedimiento:			
<ul style="list-style-type: none"> • Ponerse la mascarilla y los guantes para protegerse de la lana de vidrio. • Desatornillar la tapa de la cámara superior del protector de tol galvanizado de la cámara de expansión, y guardar los tornillos en un lugar que no se puedan perder. • Con la llave pico de loro desatornillar el PT100 de la cámara de expansión. • Llevar el PT100 a una fuente de agua y lavar el elemento con jabón y un cepillo para remover cualquier suciedad que pueda acumularse. Posterior a eso enjuagar y secarlo con una franela. • Con la ayuda de la llave pico de loro atornillar el PT100 a la cámara de expansión. • Una vez que se haya asegurado el PT100 poner la tapa protectora de tol galvanizado de la cámara de expansión y atornillarlo. • Sacarse los guantes y enjuagarlos. Botar la mascarilla. • Lavar el cepillo y secarlo para usarlos en una próxima ocasión. 			
Observaciones:			

Realizado por: Vinuesa, Juan, 2023.



Tabla 17-4: Procedimiento de la tarea P3

HOJA DE TAREA		P3	
 	CALORÍMETRO DE ESTRANGULAMIENTO	FRECUENCIA	
		Mensual	
	LABORATORIO DE TERMODINÁMICA (TRANSFERENCIA DE CALOR)	Trimestral	X
		Semestral	
		Anual	

		Sistema	
		En funciones	X
		Sin funciones	
Tiempo de ejecución	60 min		
INSPECCIÓN ESP-FAME-TC-CE01			
Herramientas	Materiales	Equipo	
Medios visuales, guantes.			
Procedimiento:			
<ul style="list-style-type: none"> • Verificar que exista glicerina en el manómetro. • Conectar el sistema de pantalla LCD y la fuente de voltaje del PT100. • Ponerse los guantes y prender el generador de vapor y esperar que la presión sea la pre seteadada en el caldero (42 psi aproximadamente) para abrir las válvulas de vapor que conducen hacia el calorímetro de estrangulamiento. • Ya en el calorímetro, abrir la válvula de compuerta y cerrar la válvula de bola. • Esperar que el vapor ingrese al calorímetro . • Verificar que se incremente la presión en el manómetro. • Cerciorarse que en la pantalla LCD marque una temperatura cercana a lo que marca medidor de temperatura del generador de vapor. • Inspeccionar y asegurarse que no exista fuga de cualquier tipo. • Anotar cualquier falla o anomalía de cualquier elemento. • Cerrar la válvula de compuerta y abrir la válvula de bola para liberar el vapor. • Desconectar los cables alimentadores de la pantalla LCD y del PT100. 			
Observaciones:			

Realizado por: Vinuesa, Juan, 2023.



Tabla 18-4: Procedimiento de la tarea P4

HOJA DE TAREA		P4	
 	<p align="center">CALORÍMETRO DE ESTRANGULAMIENTO</p>	FRECUENCIA	
		Mensual	
<p align="center">LABORATORIO DE TERMODINÁMICA (TRANSFERENCIA DE CALOR)</p>		Trimestral	
		Semestral	
		Anual	X

		Sistema	
		En funciones	X
		Sin funciones	
Tiempo de ejecución	80 min		
PRUEBAS FUNCIONALES ESP-FAME-TC-CE01			
Herramientas	Materiales	Equipo	
		Cámara termográfica, anemómetro.	
Procedimiento:			
<ul style="list-style-type: none"> • Repetir los primeros 8 pasos de la Tarea P3 • Con la ayuda de un anemómetro medir la temperatura ambiente y la humedad relativa • Conectar la cámara termográfica, y encenderla • Ingresar los datos de humedad relativa, temperatura ambiente, distancia a lo que va a ser tomada la termografía, emisividad, etc. • Verificar todos los parámetros correspondientes de la cámara termográfica previo a la prueba. • Tomar las termografías necesarias para verificar las temperaturas presentes en la cámara de expansión y en las tuberías con el fin de comprobar el estado de la lana de vidrio. • Cerrar la válvula de compuerta y abrir la válvula de bola para liberar el vapor. • Apagar la cámara termográfica y desconectar de la fuente de alimentación • Desconectar los cables alimentadores de la pantalla LCD y del PT100. 			
Observaciones:			

Realizado por: Vinuesa, Juan, 2023.



Tabla 19-4: Procedimiento de la tarea C1-A

HOJA DE TAREA		C1-A
 	<p align="center">CALORÍMETRO DE ESTRANGULAMIENTO</p>	FRECUENCIA
		<p align="center">Cuando el elemento lo requiera</p>
<p align="center">LABORATORIO DE TERMODINÁMICA (TRANSFERENCIA DE CALOR)</p>		

		Sistema	
		En funciones	
		Sin funciones	X
Tiempo de ejecución	30 min		
SUSTITUCIÓN ESP-FAME-TC-CE01-LN02			
Herramientas	Materiales	Equipo	
Guantes, mascarilla, tijeras.	Cañuela de lana de vidrio, cinta de aluminio.		
<p>Procedimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ponerse la mascarilla y los guantes. • Con la tijera cortar la cinta pegable con la que se haya asegurado la cañuela para posteriormente removerla. • Remover la cañuela de todas las secciones de la tubería del sistema del calorímetro de estrangulamiento. • La cañuela que se vaya a instalar cortar adecuadamente con la tijera para que empate correctamente en todos los codos según sea necesario. • Instalar la cañuela de lana de vidrio en la tubería. • Asegurar con la cinta de aluminio la cañuela de lana de vidrio. Así también pegar la cinta sobre todas las partes de la cañuela que este descubierta la lana de vidrio. • Sacarse los guantes y lavarlos para extraer cualquier fibra de vidrio. Botar la mascarilla. <p>Observaciones:</p>			

Realizado por: Vinueza, Juan, 2023.


Tabla 20-4: Procedimiento de la tarea C1-B

HOJA DE TAREA		C1-B
 	<p align="center">CALORÍMETRO DE ESTRANGULAMIENTO</p>	FRECUENCIA
		<p align="center">Cuando el elemento lo requiera</p>
<p align="center">LABORATORIO DE TERMODINÁMICA (TRANSFERENCIA DE CALOR)</p>		

		Sistema	
		En funciones	
		Sin funciones	X
Tiempo de ejecución	120 min		
SUSTITUCIÓN ESP-FAME-TC-CE01-LN01			
Herramientas	Materiales	Equipo	
Guantes, mascarilla, lija, cepillo, destornillador estrella, llave pico de loro.	Lana de vidrio al granel, agua.		
Procedimiento:			
<ul style="list-style-type: none"> • Ponerse la mascarilla y los guantes. Desatornillar la tapa superior del protector de la cámara de expansión y con la ayuda de la llave de pico de loro sacar el PT100. Liberar los pernos sujetadores en la base de la cámara de expansión. removerla de su posición y llevarla a la mesa de trabajo. Guardar las rodela y los pernos. • Desatornillar las tapa inferior del tol galvanizado y liberar a la cámara de expansión del protector de tol galvanizado. • Extraer la lana de vidrio que cubre a la cámara de expansión. • Lavar con abundante agua la cámara de expansión y lijarla para quitarle el óxido. • Una vez limpiada la cámara de expansión ponerle el protector de tol galvanizado y a este atornillarle su tapa inferior. Luego rellenar el espacio entre el tol y la cámara de expansión con la lana de vidrio. • Devolver la cámara de expansión a su sitio y asegurarla con los pernos. Atornillar el PT100 y poner la tapa superior del protector. • Lavar todas las herramientas utilizadas y botar la mascarilla. 			
Observaciones:			

Realizado por: Vinuesa, Juan, 2023.


Tabla 21-4: Procedimiento de la tarea C1-C

HOJA DE TAREA		C1-C
 	<p align="center">CALORÍMETRO DE ESTRANGULAMIENTO</p>	FRECUENCIA
		<p align="center">Cuando el elemento lo requiera</p>
<p align="center">LABORATORIO DE TERMODINÁMICA (TRANSFERENCIA DE CALOR)</p>		

		Sistema	
		En funciones	
		Sin funciones	X
Tiempo de ejecución	45 min		
SUSTITUCIÓN ESP-FAME-TC-CE01-VA01			
Herramientas	Materiales	Equipo	
Guantes, mascarilla, tijera, llave de tubo.	Cinta de aluminio, pegamento sellador, teflón, aceite penetrante.		
Procedimiento:			
<ul style="list-style-type: none"> • Ponerse la mascarilla y los guantes; y con la tijera cortar la cinta pegable y extraer la cañuela donde se encuentre la válvula de compuerta. • Con la ayuda de la llave de tubo separar la unión universal* • A continuación, separar el neplo de la válvula de compuerta y posterior a eso aflojar la válvula del tubo contiguo al otro extremo.* • Una vez retirada la antigua válvula, se procede a colocar teflon y pegamento sellador en el tubo que se enrosca la nueva válvula de compuerta. • En el orden inverso en el que se quitaron las partes se irá uniendo hasta dejar la cañería nuevamente instalada. • Poner nuevamente la cañuela de lana de vidrio, con cinta de alumino para asegurarla. • Una vez acabado la tarea lavar todas las herramientas usadas. 			
Observaciones:			
*Usar el líquido penetrante en caso de que se dificulte aflojar las partes de la cañería solo con la llave de tubo.			

Realizado por: Vinuesa, Juan, 2023.

Tabla 22-4: Procedimiento de la tarea C1-D

HOJA DE TAREA		C1-D
 	CALORÍMETRO DE ESTRANGULAMIENTO	FRECUENCIA
		Cuando el elemento lo requiera
LABORATORIO DE TERMODINÁMICA (TRANSFERENCIA DE CALOR)		

		Sistema	
		En funciones	
		Sin funciones	X
Tiempo de ejecución	30 min		
SUSTITUCIÓN ESP-FAME-TC-CE01-VA02			
Herramientas	Materiales	Equipo	
Guantes, mascarilla, tijera, llave de tubo.	Cinta de aluminio, pegamento sellador, teflón, aceite penetrante.		
Procedimiento:			
<ul style="list-style-type: none"> • Ponerse la mascarilla y los guantes; y con la tijera cortar la cinta pegable y extraer la cañuela donde se encuentre la válvula de compuerta. • Con la ayuda de la llave de tubo aflojar la sección de tubería que esta posterior a la válvula de bola.* • A continuación, se procede a extraer la válvula de bola a ser sustituida. • Una vez retirada la antigua válvula, con la ayuda de teflon y pegamento sellador se instala la nueva válvula de bola. • En el orden inverso en el que se quitaron las partes se irá uniendo hasta dejar la cañería nuevamente instalada. • Poner nuevamente la cañuela de lana de vidrio, con cinta de aluminio para asegurarla. • Una vez acabado la tarea lavar todas las herramientas usadas. 			
Observaciones:			
*Usar el líquido penetrante en caso de que se dificulte aflojar las partes de la cañería solo con la llave de tubo.			

Realizado por: Vinuesa, Juan, 2023.



Tabla 23-4: Procedimiento de la tarea C1-E

HOJA DE TAREA		C1-E
 	<p align="center">CALORÍMETRO DE ESTRANGULAMIENTO</p>	FRECUENCIA
		<p>Quando el elemento lo requiera</p>
<p align="center">LABORATORIO DE TERMODINÁMICA (TRANSFERENCIA DE CALOR)</p>		

		Sistema	
		En funciones	
		Sin funciones	X
Tiempo de ejecución	50 min		
SUSTITUCIÓN ESP-FAME-TC-CE01-PT01			
Herramientas	Materiales	Equipo	
Destornillador estrella, llave pico de loro, franela, guantes, mascarilla, cepillo.			
Procedimiento:			
<ul style="list-style-type: none"> • Ponerse la mascarilla y los guantes para protegerse de la lana de vidrio. • Desatornillar la tapa de la cámara superior del protector de tol galvanizado de la cámara de expansión, y guardar los tornillos en un lugar que no se puedan perder. • Con la llave pico de loro desatornillar el PT100 de la cámara de expansión y extraerlo. • Del otro extremo del PT100, se debe desatornillar la caja de la pantalla LCD y liberar los 3 hilos del PT100 para liberarlos del convertidor RTD. • Ya con el nuevo PT100 los hilos de este se deben ajustar al convertidor RTD y en el otro extremo atornillarlo a la cámara de expansión con la llave pico de loro. • Una vez que se haya asegurado el PT100 poner la tapa protectora de tol galvanizado de la cámara de expansión y atornillarlo. • Botar la mascarilla, y lavar todos los implementos usados. 			
Observaciones:			

Realizado por: Vinueza, Juan, 2023.



Tabla 24-4: Procedimiento de la tarea C1-F

HOJA DE TAREA		C1-F
 	<p align="center">CALORÍMETRO DE ESTRANGULAMIENTO</p>	FRECUENCIA
		<p>Quando el elemento lo requiera</p>
<p align="center">LABORATORIO DE TERMODINÁMICA (TRANSFERENCIA DE CALOR)</p>		

		Sistema	
		En funciones	
		Sin funciones	X
Tiempo de ejecución	30 min		
SUSTITUCIÓN ESP-FAME-TC-CE01-MN01			
Herramientas	Materiales	Equipo	
Llave de tubo, guantes, mascarilla.	Cinta de aluminio, pegamento sellador, teflón, aceite penetrante.		
<p>Procedimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ponerse la mascarilla y los guantes. • Con la tijera cortar la cinta pegable y extraer la cañuela donde se encuentre el manómetro. • Aflojar con la llave de el antiguo manómetro a ser sustituido y extraerlo* • Una vez retirada el antiguo manómetro, con la ayuda de teflon y pegamento sellador se instala el nuevo manómetro. • Poner nuevamente la cañuela de lana de vidrio, con cinta de alumino para asegurarla. • Botar la mascarilla, y lavar todos los implementos usados. <p>Observaciones:</p> <p>*Usar el líquido penetrante en caso de que se dificulte aflojar las partes de la cañería solo con la llave de tubo.</p>			

Realizado por: Vinuesa, Juan, 2023.



Tabla 25-4: Procedimiento de la tarea C2

HOJA DE TAREA		C2
 	<p align="center">CALORÍMETRO DE ESTRANGULAMIENTO</p>	FRECUENCIA
		<p>Quando el elemento lo requiera</p>
<p align="center">LABORATORIO DE TERMODINÁMICA (TRANSFERENCIA DE CALOR)</p>		

		Sistema	
		En funciones	
		Sin funciones	X
Tiempo de ejecución	180 - 360 min		
SUSTITUCIÓN ESP-FAME-TC-CE01-MN01			
Herramientas	Materiales	Equipo	
Destornillador estrella, llave pico de loro, guantes, mascarilla,	Electrodos, lana de vidrio al granel	Máquina soldadora, casco de soldadura,	
Procedimiento:			
<ul style="list-style-type: none"> • Ponerse la mascarilla y los guantes. Desatornillar la tapa superior del protector de la cámara de expansión y con la ayuda de la llave de pico de loro sacar el PT100. Liberar los pernos sujetadores en la base de la cámara de expansión. removerla de su posición y llevarla a la mesa de trabajo. Guardar las rodela y los pernos. • Desatornillar las tapa inferior del tol galvanizado y liberar a la cámara de expansión del protector de tol galvanizado. • Extraer la lana de vidrio que cubre a la cámara de expansión. • Sacarse la mascarilla y ponerse el casco de soldadura. Soldar la cámara de expansión en donde se haya presentador la fuga. • Una vez realizado el procedimiento de soldadura, a la cámara de expansión ponerle el protector de tol galvanizado y a este atornillarle su tapa inferior. Luego rellenar el espacio entre el tol y la cámara de expansión con la lana de vidrio. • Devolver la cámara de expansión a su sitio y asegurarla con los pernos. Atornillar el PT100 y poner la tapa superior del protector. 			
Observaciones:			

Realizado por: Vinueza, Juan, 2023.

Tabla 26-4: Plan maestro anual de mantenimiento

  ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA LABORATORIO DE TERMODINÁMICA					PLAN DE MANTENIMIENTO CALORÍMETRO DE ESTRANGULAMIENTO											
					MESES DEL AÑO											
Ítem	Tarea de mantenimiento	Aplica a	Código de tarea	Duración de tarea (min)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	Limpieza externa	ESP-FAME-TC-CE01	P1	25	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	Limpieza interna	ESP-FAME-TC-CE01-LC	P2-A	20	X			X			X			X		
3	Limpieza interna	ESP-FAME-TC-CE01-PT01	P2-B	25	X						X					
4	Inspección	ESP-FAME-TC-CE01	P3	60	X			X			X			X		
5	Pruebas funcionales	ESP-FAME-TC-CE01	P4	80	X											

Realizado por: Vinuesa, Juan. 2023

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se realizó un estudio exhaustivo sobre el estado de generación de vapor en el que se halló inconvenientes en su electrobomba centrífuga, el quemador, el tanque de combustible y algunas válvulas.

Se corrigió los elementos que presentaban fallas en el generador de vapor y se repotenció otros del mismo sistema.

Se repotenció el calorímetro al sustituir todos los elementos que estaban averiados como el manómetro y la lana de vidrio, e implementar otros al sistema como el PT100, la pantalla LCD y la interface en Labview.

Se realizó pruebas de funcionamiento del calorímetro de estrangulamiento donde se comprobó el correcto funcionamiento de todos sus elementos.

La calidad de vapor promedio del caldero fue de 99,73%.

Se diseñó un plan maestro anual de mantenimiento para el calorímetro de estrangulamiento en base a la metodología AMFE.

5.2. Recomendaciones

Siempre antes de realizar cualquier prueba de funcionamiento se debe corroborar visualmente el estado de todos los implementos de los sistemas con fines de seguridad y operacionales.

Para realizar la prueba termográfica se debe tomar muy en cuenta la emisividad, la temperatura ambiente y la distancia a la que se tome el termograma.

Para manipular la lana de vidrio siempre se debe hacerlo con las medidas de seguridad pertinentes usando guantes y cubriendo los ojos, boca y oídos para no sufrir daños a la salud.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA HERNÁNDEZ Luis Manuel. Desarrollo de un calorímetro de estrangulamiento para medir la entalpía del flujo de vapor de una planta geotermoeléctrica de la comisión federal de electricidad [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. 2009. pp. 23-24. [Consulta: 16 junio 2022]. Disponible en: <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/1073>.

AGUILAR, J.; et al. “Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad ” *Tecnología, Ciencia, Educación* [En línea], 2010, (España) 25(1), pp. 18. [Consulta: 28 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/482/48215094003.pdf>.

ALDANA RODRÍGUEZ, Didier & MUÑOZ RODRÍGUEZ, Cristian. Aplicación de la termografía infrarroja como método de inspección no destructivo de un túnel de viento de baja velocidad. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Fundación Universitaria Los Libertadores. Bogotá, Colombia. 2017. pp. 52-53. [Consulta: 21 junio 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11371/1294>.

BESTRATÉN, Manuel; et al. *Análisis modal de fallos y efectos. AMFE.* [En línea]. Barcelona-España: NTP, 2004. [Consulta: 18 diciembre 2022]. Disponible en: https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp_679.pdf/3f2a81e3-531c-4daa-bfc2-2abd3aaba4ba.

CABIZOSU, Alessio. El uso de la termografía en la distrofia muscular de Emery-Dreifuss. [En línea] (Trabajo de titulación). (Doctorado) Universidad Católica de Murcia. Murcia, España. 2020. p. 18. [Consulta: 18 junio 2022]. Disponible en: <https://repositorio.ucam.edu/handle/10952/4927>

CAMPOS, Omar; et al. “Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos” *Científica* [En línea], 2019, (Mexico) 23(1), p. 51. [Consulta: 28 diciembre 2022]. ISSN: 2594-2921. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/>.

CARDONA ROJAS, Luisana. Efecto de Nanopartículas en Procesos con Inyección de Vapor a Diferentes Calidades. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. 2017. p. 16. [Consulta: 14 junio 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/63056/1152199431.2018.pdf?sequence=1>.

CARRILLO, C. & PAPACRISTOFILOU, S. *¿Cómo se producen los combustibles?* [Blog]. Ciudad de México: CONUEE, 2017 [Consulta: 1 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/241728/DieselIFT.pdf>.

CARVALLO CUMPA, Ruben Ivan & NIETO NARCISO, Ernesto Ronald. Termografía infrarroja como herramienta para el mantenimiento predictivo de tableros eléctricos en la empresa AEI Engineers S.A.C. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Privada del Norte. Lima, Perú. 2020. p. 22 [Consulta: 18 junio 2022]. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/26027>

CARVENTE MERINO, Jaime. Termoquímica de derivados de metilfenol clorados [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Benemérita Universidad Autónoma de Puebla Puebla, México. 2019. p.35. [Consulta: 13 octubre 2022]. Disponible en: <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/14768>

CEQUEIRA, J. & FONTANA, L. *Termodinámica: Apunte didáctico* [en línea]. Posadas-Argentina: Editorial Universitaria. 2019 [Consulta: 10 julio 2022]. Disponible en: https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos_digitales/F8_TERMODINMICA_Parte1.pdf

CEVALLOS MUÑOZ, Omar Arturo. 2022. *Introducción a la mecánica de fluidos*. [En línea] Quevedo, Ecuador: Universidad Técnica Estatal de Quevedo. [Consulta: 27 enero 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6776>.

CHÁVEZ MARRUFO, José Cristian Adolfo. Tratamiento de la dureza de las aguas utilizando un filtro con espesor variable de zeolita-2021 [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú. 2019. pp.7-8. [Consulta: 12 octubre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4676>.

CHUGÁ CHAMORRO, Javier Arnulfo 2021. Sistema de ensayo termodinámico para determinar la calidad de vapor 2021 [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador. 2021. p.18. [Consulta: 6 junio 2022]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11782>.

CONNOR, N. 2020. *¿Qué es el vapor húmedo?* [Blog]. Barcelona: Thermal Engineering, 2020 [Consulta: 6 julio 2022]. Disponible en: <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-el-vapor-humedo-definicion/>.

CORDOBA Calvache, Giovanni Albeiro. Diseño de un prototipo de ajuste de presión atmosférica de una cámara altimétrica para pruebas de altímetros sensitivos por medio de visualización en Labview. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. 2022. p.9. [Consulta: 25 enero 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11349/30254>.

DEL CAMPO, D. *El concepto de temperatura y su unidad de medida.* [Blog]. Madrid: e-medida. 2018 [Consulta: 14 junio 2022]. Disponible en: <https://www.e-medida.es/numero-4/el-concepto-de-temperatura-y-su-unidad-de-medida/>

DEPARTAMENTO DE FÍSICA. *Transferencia de calor.* [Blog]. Bahía Blanca: Ing. Industrial y Mecánica. 2017 [Consulta: 19 diciembre 2022]. Disponible en: http://www.fisica.uns.edu.ar/albert/archivos/21/254/2438481309_f1.pdf

ENRÍQUEZ RAFAEL, Herrador. *Guía de Usuario de Arduino.* [En línea]. Córdoba-España: Creative Common, 2009 [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: https://www.uco.es/aulasoftwarelibre/wp-content/uploads/2010/05/Arduino_user_manual_es.pdf

ESPINOS, D. 2019. *Tipos de fallos en la industria de procesos.* [Blog]. Pittsburgh: ISA Sección Española. 2019. [Consulta: 11 diciembre 2022]. Disponible en: <https://isa-spain.org/tipos-de-fallos-en-la-industria-de-procesos/>.

FULLMECANICA 2014. *Presión absoluta.* [Blog]. Mayorga. Fullmecánica 2014. [Consulta: 27 enero 2023]. Disponible en: <https://www.fullmecanica.com/definiciones/p/918-presion-absoluta>

GRAJALES ERAZ, Yeraldin & MONSALVE VARGAS, Juan Felipe. Diseño de un instrumento de adquisición de temperatura a través de termocupla tipo k y microcontrolador usando el protocolo de comunicación SPI. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central. Bogotá, Colombia. 2019. p.29. [Consulta: 9 noviembre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.itc.edu.co/handle/001/378>

HUAMAN, L. Los reportes de fallas y su importancia en el control del mantenimiento preventivo en una nave empresa naviera nacional. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Marítima del Perú. Callao, Perú. 2021. p: 15. [Consulta: 6 junio 2022]. Disponible en: <http://repositorio.ump.edu.pe/bitstream/handle/UMP/97/TESIS%20LUIS%20HUAMAN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

ISO 18434-1:2008. *Monitoreo de condición y diagnóstico de máquinas.*

LEYVA ALCAZABA, Jenns Derick. Estudio del aprovechamiento del Vapor Flash de purgas de superficie para incrementar la temperatura del agua de alimentación de las calderas pirotubulares de la empresa Sociedad Agrícola Virú S. A. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad César Vallejo. Trujillo, Perú. 2020. p: 17. [Consulta: 10 julio 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/55833>.

LÓPEZ LÓPEZ, Adonías Patricio & SALAZAR OROZCO, Luis Enrique. Diseño, construcción y pruebas de un calorímetro de estrangulamiento para el laboratorio de termodinámica de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 2011. pp.31-88. [Consulta: 6 junio 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/869>.

LOPEZ BLANCO, Samuel Raul. 2021. Apoyo en el diseño y parametrización de un control avanzado de proceso (APC) para un proceso petroquímico basado en analítica de datos. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Distrital Fráncico José de Caldas. Bogotá, Colombia. 2021. p: 24 [Consulta: 29 junio 2022]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/28248>

LUQUE COHAILA, Yudie Jaquelin. Diseño de un sistema de monitoreo remoto del desempeño de una red de generación eólica. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa, Perú 2022. p: 13. [Consulta: 7 diciembre 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12773/14604>.

MADERO LUQUERNA, Indira Carolina. Estudio numérico de una caldera acuotubular de una planta de cogeneración de la industria azucarera. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Autónoma de Bucaramanga. Bucaramanga, Colombia 2017. p: 14 [Consulta: 12 junio 2022]. Disponible en: <https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/1471>

MARCA ARIAS, Brian Kevin & HUMPIRI CHAMBI, Alex Humberto. Mejoramiento de la seguridad mediante un sistema de control y monitoreo para la caldera pirotubular de 12 bhp de la Universidad José Carlos Mariátegui, 2018. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad José Carlos Mariátegui. Moquegua, Perú. 2021. p 32 [Consulta: 16 octubre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/1060>

MEJÍA HINOJOSA, Gracia Tahina. Determinación del poder calorífico superior correlacionado con el contenido de proteína, grasa y carbohidrato de tres pseudocereales andinos: quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen.) y kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.). [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. 2022. p: 24. [Consulta: 28 diciembre 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/18144>.

MOLINA CASTRO, Fabricio Andrés. *Medidores de presión empleados en neumática.* [Blog]. Costa Rica. Alajuela 2021. [Consulta: 4 julio 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Fabricio_Molina_Castro/publication/354771005_Medidores_de_presion_empleados_en_neumatica/links/614bd006a595d06017e4c525/Medidores-de-presion-empleados-en-neumatica.pdf.

MONTALVO, P. *Texto Básico de Electroneumática y Oleohidráulica.* [Blog]. Ecuador. Scribd. 2009. [Consulta: 14 junio 2022]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/291518643/Texto-de-Neumatica-y-Electroneumatica>.

NATIONAL INSTRUMENTS. *¿Qué es LabVIEW?* [Blog]. Austin. Programación gráfica para pruebas y medidas - NI. 2022. [Consulta: 6 junio 2022]. Disponible en: <https://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html>.

NOGUERA, B. *Importancia de la calidad del vapor en los sistemas de vapor industriales.* [Blog]. Barcelona. Ingeniería Química Reviews. 2022. [Consulta: 11 julio 2022]. Disponible en: <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2022/01/importancia-calidad-del-vapor-sistemas-vapor-industrial.html>.

OLATE MUÑOZ, Yerko Francisco. Análisis del comportamiento de una bomba centrífuga de relaves no operativa ante diferentes condiciones de flujo. [En línea]. (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad de Chile. Santiago de Chile. Chile. 2021. p: 9. [Consulta: 11 octubre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/180610>.

OLLARVES, Guillermo 2017. *¿Qué es un compresor de aire?* [Blog]. Madrid. Bricolemar. 2017 [Consulta: 5 enero 2023]. Disponible en: <https://www.bricolemar.com/blog/que-es-un-compresor-de-aire/>.

OLSON, E.O. *Fuel Nozzles for Oil Burners*. [Blog]. Carolina.Bamberg. 1999. [Consulta: 7 diciembre 2022]. Disponible en: <https://designheating.com/pdf/ACF44D.pdf>.

ORGONTEC. *Transductor de Temperatura RTD 24VDC*. [Blog]. León. Orgontec. 2023. [Consulta: 21 enero 2023]. Disponible en: <https://www.orgontec.com/product-page/transductor-de-temperatura-rtd-24vdc>.

PINEDA TALERO, Daniel Mateo & TÉLLEZ BAREÑO, Laura Valentina. Elaboración de un generador de vapor como laboratorio programado y de acceso remoto. [En línea]. (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia: 2021. pp: 6-7. [Consulta: 12 junio 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11349/27618>.

PRAT VIÑAS, Lluís. *Dispositivos Optoelectrónicos* [Blog]. Barcelona, Pantallas Electrónicas. 2012. [Consulta: 21 enero 2023]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/189647/7.-_pantallas_electronicas_y_proyectores_de_video-4826.pdf.

RENOM, M. *Anemometría*. [Blog], Madrid, Principios básicos de las mediciones atmosféricas. 2011. [Consulta: 13 diciembre 2023]. Disponible en: http://www.meteorologia.edu.uy/wp-content/uploads/2019/principios_bas_medicones_atms/Bolilla5-Anemometria.pdf.

RIERA, María; et al. “Estimación de la entalpía de gelatinización en una mezcla de almidón termoplástico”. *Prisma Tecnológico* [En línea], 2021 (Ecuador) 12(1), pp. 47-53. [Consulta: 14 junio 2022]. ISSN 2076-8133. Disponible en: <https://doi.org/10.33412/pri.v12.1.2864>.

RÍOS, Luis & RONCANCIO, Educaro. 2007. “Análisis y desarrollo de un programa de selección rápida de factores de seguridad, para diseño de elementos mecánicos”. *Scientia et technica* [En línea]. 2007. (Colombia) 1(35). pp. 255. [Consulta: 18 diciembre 2022]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4804105.pdf>.

RODRÍGUEZ PADRÓ, José Miguel & RODRÍGUEZ IZQUIERDO, Mario Miguel. 2021. “Metodologías validadas para el análisis causal de eventos adversos de trascendencia clínica en la biomedicina”. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas* [En línea] 2021 (Cuba).40(2).

pp. 10. 2011 [Consulta: 18 diciembre 2022]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03002021000300017&lng=es&nrm=iso.

ROJAS, Alejandro. *Coefficiente de Joule-Thomson*. [Blog]. México. Práctica 11. [Consulta: 6 julio 2022]. 2019. Disponible en: https://dcb.ingenieria.unam.mx/wp-content/themes/temperachild/CoordinacionesAcademicas/FQ/TEM/PresentacionesT/P11_COEFICIENTE_J_THOMSON_2021_1.pdf.

ROJAS, Julio. Análisis del balance térmico en el funcionamiento de la caldera pirotubular intesa (Modelo: PT-100) en el Hospital EsSALUD III – Chimbote. [En línea]. (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad San Pedro. Chimbote, Perú. 2021. pp: 2. [Consulta: 11 octubre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/20.500.129076/20122>.

ROJAS VALDEZ, Raúl David Desarrollador de un controlador DMC para el control de la presión del vapor de una caldera pirotubular de una planta de fosfato bicálcico. [En línea]. (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. 2021. pp: 10-20 [Consulta: 14 junio 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/19525>.

RUBIO PACHECO, William Alfonso. Plan de mantenimiento preventivo para la flota de maquinaria pesada y vehículos administrativos del Municipio de Motavita. [En línea]. (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Santo Tomás Seccional Tunja. Tunja, Colombia.:2019. pp: 23. [Consulta: 16 octubre 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11634/19188>.

RUIZ, Marcos & CAPELETTI, Walter. *Poder calorífico* [Blog] Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional. 2021. [Consulta: 20 diciembre 2022]. Disponible en: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:95Cw5glaL5UJ:https://frrq.cvg.utn.edu.ar/mod/resource/view.php%3Fid%3D10989%26redirect%3D1&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec&client=safari>.

SABHADIYA, J. *What is Valve?- Their Types, Parts, Uses, and More*. [Blog] United states. Engineering Choice. 2021. [Consulta: 16 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.engineeringchoice.com/what-is-valve-and-their-types/>.

SALAZAR HERNÁNDEZ, Carlos Andrés & CAÑAS MORENO, Juan Pablo. 2021. Determinación de la eficiencia térmica del proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido SMAW. [En línea]. (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Escuela Politécnica Nacional

.Quito, Ecuador. 2021. pp 23 [Consulta: 15 junio 2022]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21981>.

SHARJEEL, A; et al. 2019. "Design, development and performance of optimum water softener." *Earth Sciences Pakistan*. [En línea] 2019, (Brasil) 3(1), pp. 23-28. [Consulta: 12 octubre 2022]. ISSN 25212893. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/zib/zbnesp/v3y2019i1p18-22.html>.

SICON. *Lana de vidrio*. [Blog] Riobamba. Sicon. 2019. [en línea]. [Consulta: 11 julio 2022]. Disponible en: <https://siconecuador.com/lana-de-vidrio/>.

UNE-EN 13306 (2018). *Mantenimiento. Terminología del mantenimiento*.

URIARTE CONDORI, Juan Carlos. Metodología para la aplicación, medición y control de la prueba hidrostática del Loop Costa II, tramo Chilca-Lurín [En línea]. (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa, Perú. 2017. pp: 37-38. [Consulta: 12 diciembre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3172>.

WAYNE COMBUSTION SYSTEMS. *Electronic Oil Primary* [Blog] United States. EnviraCOM™ Enabled APPLICATION. 2011. [Consulta: 7 diciembre 2022]. Disponible en: https://waynecombustion.com/uploads/downloads/OIL_PRIMARY_CONTROL_120V_101343-SER.pdf.

YAN YU , Claire. 2022. *Introduction to Engineering Thermodynamics* [En línea]. Victoria-Canada: BCcampus, 2022. [Consulta: 13 octubre 2022]. Disponible en: <https://open.umn.edu/opentextbooks/textbooks/1252>.

YAVARONE, Raúl. "La importancia del diagnóstico eficiente en el mantenimiento industrial". *Aadeca Revista* [En línea], 2019 (Argentina), 11(1), pp. 27. [Consulta: 11 diciembre 2022]. ISSN: 1815-5928. Disponible en: https://www.editores-srl.com.ar/revistas/aa/11/yavarone_diagnostico_eficiente.

ANEXOS

ANEXO A: FICHA TÉCNICA ELECTROBOMBA CENTRÍFUGA

CP

Electrobombas centrífugas

-  Agua limpia
-  Utilizo doméstico
-  Utilizo civil



CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta **160 l/min** (9.6 m³/h)
- Altura manométrica hasta **56 m**

LIMITES DE UTILIZO

- Altura de aspiración manométrica hasta **7 m**
- Temperatura del líquido de **-10 °C** hasta **+90 °C**
- Temperatura ambiente hasta **+40 °C**
- Presión máxima en el cuerpo de la bomba:
 - **6 bar** para CP 600-610-620
 - **10 bar** para CP 650-660-670
- Funcionamiento continuo **S1**

EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD

EN 60335-1
IEC 60335-1
CEI 61-150

EN 60034-1
IEC 60034-1
CEI 2-3



CERTIFICACIONES

Empresa con sistema de gestión certificado DNV
ISO 9001: CALIDAD

UTILIZOS E INSTALACIONES

Son recomendadas para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con los materiales que constituyen la bomba.

Por su confiabilidad y simplicidad encuentran un amplio utilizo en el sector doméstico y civil, particularmente para la distribución del agua acopladas a pequeños o medianos tanques autoclaves, para el vaciado o para la irrigación de huertos o jardines.

La instalación se debe realizar en lugares cerrados o protegidos de la intemperie.

PATENTES - MARCAS - MODELOS

- Modelo comunitario registrado nº 002098434

EJECUCION BAJO PEDIDO

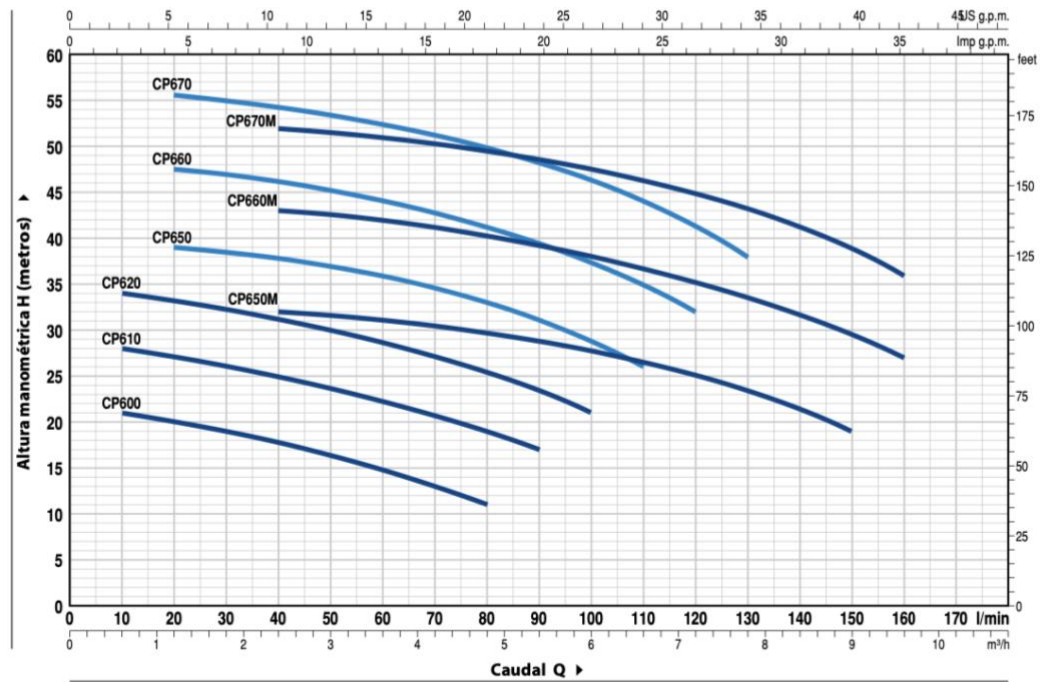
- Sello mecánico especial
- Otros voltajes
- Protección IP X5 para CP 650-660-670

GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 min⁻¹ HS= 0 m



MODELO		POTENCIA (P ₂)		Q	H metros															
Monofásica	Trifásica	kW	HP ▲		0	0.6	1.2	2.4	3.6	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	9.0	9.6			
				l/min	0	10	20	40	60	80	90	100	110	120	130	150	160			
CPm 600	CP 600	0.37	0.50	H metros	22	21	20	18	15	11										
CPm 610	CP 610	0.60	0.85		28.5	28	27	25	22	19	17									
CPm 620	CP 620	0.75	1		35	34	33	31	28.5	25.5	23.5	21								
CPm 650	CP 650	1.1	1.5		40	-	39	38	36	33.1	31.2	28.8	26							
CPm 660	CP 660	1.5	2		48	-	47.5	46	44	41	39.5	37.5	35	32						
CPm 670	CP 670	2.2	3		56	-	55.5	54.5	52.5	50	48.5	46.5	44	41.5	38					
CPm 650M	CP 650M	1.1	1.5		33	-	-	32	31	30	29	28	26.5	25	23	19				
CPm 660M	CP 660M	1.5	2		44	-	-	43	42	40	39	38	37	35.5	34	29.5	27			
CPm 670M	CP 670M	2.2	3		53	-	-	52	51	49.5	48.5	47.5	46.5	45	43.5	39	36			

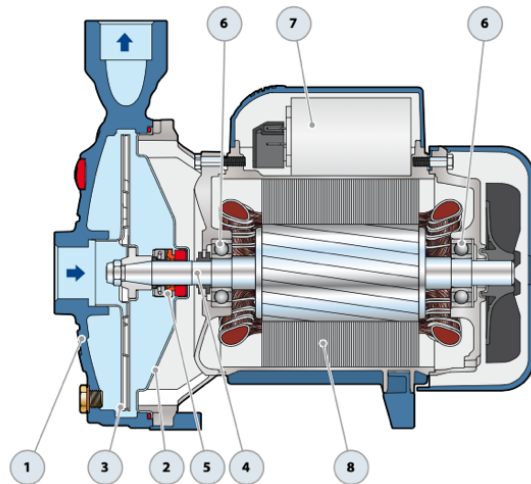
Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

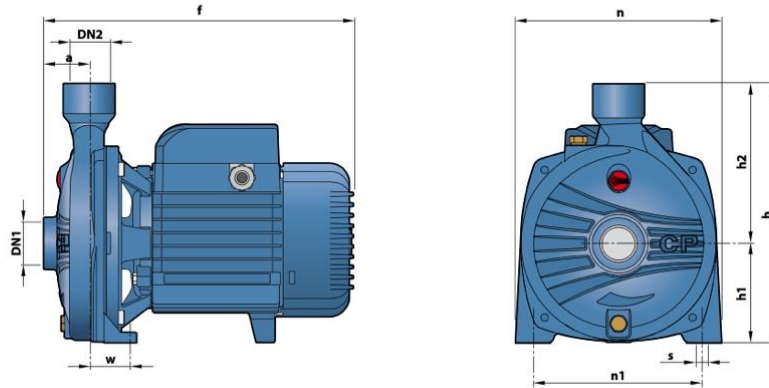
▲ Clase de rendimiento del motor trifásico (IEC 60034-30-1)

POS. COMPONENTE CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

1 CUERPO BOMBA	Hierro fundido con tratamiento de cataforesis con bocas roscadas ISO 228/1					
2 TAPA	Acero inoxidable AISI 304 (en hierro para CP 650-660-670)					
3 RODETE	Acero inoxidable AISI 304					
4 EJE MOTOR	– Acero inoxidable EN 10088-3 - 1.4104 para CP600-610-620 – Acero inoxidable AISI 431 para CP 650-660-670, CP 650M-660M-670M					
5 SELLO MECANICO	Electrobomba	Sello	Eje	Materiales		
	<i>Modelo</i>	<i>Modelo</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Anillo fijo</i>	<i>Anillo móvil</i>	<i>Elastómero</i>
	CP 600-610	AR-12	Ø 12 mm	Cerámica	Grafito	NBR
	CP 620	AR-14	Ø 14 mm	Cerámica	Grafito	NBR
	CP 650-660-670 CP 650M-660M-670M	FN-18	Ø 18 mm	Grafito	Cerámica	NBR
6 RODAMIENTOS	Electrobomba	Modelo				
	CP 600-610	6201 ZZ / 6201 ZZ				
	CP 620	6203 ZZ / 6203 ZZ				
	CP 650-660-670	6204 ZZ / 6204 ZZ				
	CP 650M-660M-670M	6204 ZZ / 6204 ZZ				
7 CONDENSADOR	Electrobomba	Capacidad				
	<i>Monofásica</i>	<i>(220 V)</i>		<i>(110 V o 127 V)</i>		
	CPm 600	10 µF - 450 VL	25 µF - 250 VL			
	CPm 610	14 µF - 450 VL	25 µF - 250 VL			
	CPm 620	20 µF - 450 VL	60 µF - 300 VL			
	CPm 650-650M	25 µF - 450 VL	60 µF - 250 VL			
	CPm 660-660M	31.5 µF - 450 VL	60 µF - 250 VL			
	CPm 670-670M	50 µF - 450 VL	80 µF - 250 VL			
8 MOTOR ELECTRICO	CPm: monofásica 220 V - 60 Hz con protección térmica incorporada en el bobinado. CP: trifásica 220/380 V - 60 Hz o 220/440 V - 60 Hz. ➔ Las electrobombas trifásicas están equipadas con motores de alto rendimiento en clase IE2 hasta P ₂ =0.60 kW y en clase IE3 desde P ₂ =0.75 kW (IEC 60034-30-1) – Aislamiento: clase F – Protección: IP X4					



DIMENSIONES Y PESOS



MODELO		BOCAS		DIMENSIONES mm										kg	
Monofásica	Trifásica	DN1	DN2	a	f	h	h1	h2	n	n1	w	s	1~	3~	
CPm 600	CP 600	1"	1"	42	258	205	82	123	165	135	41	10	7.0	7.7	
CPm 610	CP 610				286	240	92	148	190	160	38		8.5	7.8	
CPm 620	CP 620				367	260	110	150	206	165	44.5		11	17.8	17.6
CPm 650 - 650M	CP 650 - 650M	1 1/4"	1"	51	367/387	260	110	150	206	165	44.5	11	18.9	17.9	
CPm 660 - 660M	CP 660 - 660M				20.9								22.5		
CPm 670 - 670M	CP 670 - 670M														

CONSUMO EN AMPERIOS

MODELO	TENSION		
	220 V	110 V	127 V
CPm 600	2.7 A	5.5 A	5.2 A
CPm 610	4.0 A	8.0 A	8.0 A
CPm 620	6.0 A	12.0 A	10.0 A
CPm 650	8.8 A	17.6 A	16.7 A
CPm 650M	8.8 A	17.6 A	16.7 A
CPm 660	9.7 A	20.0 A	19.0 A
CPm 660M	9.7 A	19.0 A	18.4 A
CPm 670	13.2 A	25.0 A	22.8 A
CPm 670M	12.0 A	25.0 A	22.8 A

MODELO	TENSION			
	220 V	380 V	220 V	440 V
CP 600	1.8 A	1.0 A	2.0 A	1.2 A
CP 610	2.8 A	1.6 A	2.6 A	1.5 A
CP 620	4.2 A	2.4 A	4.2 A	2.4 A
CP 650	6.9 A	4.0 A	5.8 A	3.2 A
CP 650M	6.9 A	4.0 A	5.8 A	3.2 A
CP 660	7.6 A	4.4 A	6.4 A	4.1 A
CP 660M	7.6 A	4.4 A	6.4 A	4.1 A
CP 670	10.0 A	5.8 A	8.6 A	5.0 A
CP 670M	9.0 A	5.2 A	7.0 A	4.0 A

PALETIZADO

MODELO		PARA GRUPAJE	PARA CONTAINER
Monofásica	Trifásica	n° bombas	n° bombas
CPm 600	CP 600	96	144
CPm 610	CP 610	96	144
CPm 620	CP 620	70	112
CPm 650 - 650M	CP 650 - 650M	50	70
CPm 660 - 660M	CP 660 - 660M	50	70
CPm 670 - 670 M	-	50	70
-	CP 670 - 670 M	35	49

ANEXO B: FICHA TÉCNICA DEL MANÓMETRO

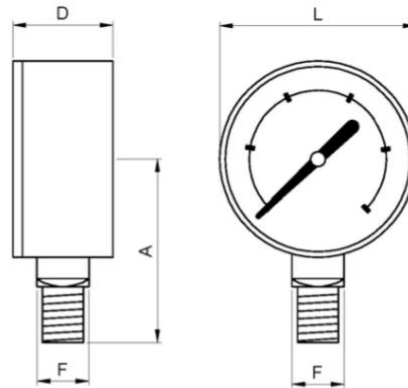
GENEBRE

GENEBRE S.A. · Avda. Joan Carles I, 46-48 · EDIFICIO GENEBRE
 Tel. +34 93 298 80 00/01 · Fax +34 93 298 80 06
 08908 L'HOSPITALET DE LLOBREGAT Barcelona (Spain)
 e-mail: genebre@genebre.es
 internet: <http://www.genebre.es>

Art.: 3814

Manómetro Ø63 con glicerina, salida inferior, rosca BSP /
Pressure gauge Ø63 with glycerine, bottom connection, BSP thread

Características	Features
1. Tamaño Ø63.	1. Size Ø63.
2. Manómetro con conexión radial inferior, rosca macho (BSP) G 1/4" según ISO 228/1.	2. Pressure gauge with radial bottom connection, male thread (BSP) G 1/4" according ISO 228/1.
3. Caja en acero inoxidable AISI 304.	3. Case in stainless steel AISI 304.
4. Contiene glicerina.	4. Contains glycerine.
5. Tubo "Bourdon" y racor en acero inoxidable AISI 304.	5. Tube "Bourdon" and fitting connection made of stainless steel AISI 304.
6. Dial blanco: escala en negro (bar) y roja (psi).	6. White dial: black scale (bar) and red (psi).
7. Visor en Policarbonato.	7. Polycarbonate viewer.
8. Tapón de goma para agujero de llenado.	8. Rubber plug for filling hole.
9. Clase de precisión: cl. 2,5.	9. Class precision: cl. 2,5.
10. Graduaciones disponibles de 0 a 2,5 - 4 - 6 - 10 - 16 - 25 - 40 - 60 - 100 bar.	10. Scale available from 0 to 2,5 - 4 - 6 - 10 - 16 - 25 - 40 - 60 - 100 bar.
11. Temperatura de trabajo: de -20°C a 60°C.	11. Working temperature from -20°C to 60°C.



Ref.	Escala / Scale		Dimensiones / Dimensions (mm)				Peso / Weight (Kg)
	bar	psi	A	L	D	F	
3814 002	0 - 2,5	0 - 40	56	63	30	14x14	0,207
3814 004	0 - 4	0 - 60	56	63	30	14x14	0,207
3814 006	0 - 6	0 - 90	56	63	30	14x14	0,207
3814 010	0 - 10	0 - 150	56	63	30	14x14	0,207
3814 016	0 - 16	0 - 240	56	63	30	14x14	0,207
3814 025	0 - 25	0 - 400	56	63	30	14x14	0,207
3814 040	0 - 40	0 - 600	56	63	30	14x14	0,207
3814 060	0 - 60	0 - 900	56	63	30	14x14	0,207
3814 100	0 - 100	0 - 1500	56	63	30	14x14	0,207