



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

**“MANTENIMIENTO DE CUARTO Y QUINTO ESCALÓN E
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS
PARA EL SUPERCALENTADOR DE LA PLANTA DE VAPOR DEL
LABORATORIO DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA”**

AUTORES:

BUENAÑO FRANCO, PAUL SEBASTIAN

SALGUERO VALVERDE, FRANKLIN JAVIER

DIRECTOR:

ING.VILLAVICENCIO POVEDA, ANGELO HOMERO, MSc.

SANGOLQUÍ

2018



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, *“MANTENIMIENTO DE CUARTO Y QUINTO ESCALÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EL SUPERCALENTADOR DE LA PLANTA DE VAPOR DEL LABORATORIO DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA”* fue realizado por los señores *Buenaño Franco, Paul Sebastian, y Salguero Valverde, Franklin Javier*, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 30 de Noviembre de 2018

Ing. Ángelo Homero Villavicencio Poveda. MSc.
C. C 1709338931

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, *Buenaño Franco, Paul Sebastian, y Salguero Valverde, Franklin Javier*, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *Mantenimiento de cuarto y quinto escalón e implementación de un sistema de adquisición de datos para el supercalentador de la planta de vapor del laboratorio de conversión de energía* es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 30 de Noviembre de 2018

Paul Sebastian Buenaño Franco

C. C 1722146741

Franklin Javier Salguero Valverde

C.C 1720499522



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

*Nosotros, Buenaño Franco, Paul Sebastian, y Salguero Valverde, Franklin Javier, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Mantenimiento de cuarto y quinto escalón e implementación de un sistema de adquisición de datos para el supercalentador de la planta de vapor del laboratorio de conversión de energía en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.***

Sangolquí, 30 de Noviembre de 2018

Paul Sebastian Buenaño Franco

C. C 1722146741

Franklin Javier Salguero Valverde

C.C 1720499522

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mi familia la cual estuvo presente en mi formación profesional, a mis padres, pilares fundamentales en el ámbito personal y profesional, a mi padre, Roberto Buenaño, guía y maestro el cual me aconsejo en cada etapa permitiéndome seguir adelante, a mi madre, Gloria Franco, por su apoyo incondicional, por saber comprenderme y no dejarme caer en los momentos más difíciles, a mi hermano, Matías Buenaño, por estar ahí en cada paso y finalmente a la vida por darme la oportunidad de creer en un mañana.

Paul Sebastian Buenaño Franco

El presente trabajo se lo dedico:

A Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar ante los problemas, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

Con mucho cariño a mi madre Narcisa Valverde y a mi padre Franklin Salguero quienes me dieron la vida y con su amor, paciencia y esfuerzo me han sabido formar como persona de bien, gracias por sus enseñanzas y por siempre confiar en mí, todos mis logros se los debo a ustedes.

A mis hermanas Solange y Soraya por siempre estar conmigo y brindarme su apoyo incondicional.

Franklin Javier Salguero Valverde

AGRADECIMIENTO

En la vida es importante saber reconocer cuando una mano amiga te brinda una ayuda desinteresada, por este motivo agradezco a todas las personas que me supieron dar un consejo o una palabra de aliento, cada uno fue parte importante para llegar la meta de ser Ingeniero. En especial, Ing. Villavicencio, Ing. Gutiérrez y PhD Delgado, desde el inicio de mi formación profesional supieron aconsejarme para seguir adelante.

Paul Sebastian Buenaño Franco

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer nuevamente a lo más valioso e importante que tengo en mi vida mis padres Narcisa Valverde y Franklin Salguero por haberme dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, gracias

por todos sus sacrificios y el esfuerzo que han realizado con el único objetivo de que yo pueda alcanzar este sueño. Gracias por siempre estar pendientes de mi, por sus palabras de aliento, sus consejos y su apoyo incondicional, gracias por ser mi inspiración y mi modelo a seguir.

Gracias a mis hermanas Solange y Soraya y a mi sobrina Anahí por siempre estar ahí para escucharme y brindarme sus consejos, gracias por confiar en mi y tenerme como su modelo a seguir, gracias por su cariño verdadero y desinteresado, porque siempre encontré en ustedes un alivio a mis problemas, con sus ocurrencias lograban sacarme una sonrisa y darme fuerzas para enfrentar las adversidades en los momentos más difíciles.

A toda mi familia quiero agradecerles de corazón porque siempre estuvieron pendientes de mi progreso en el ámbito personal y académico.

Gracias a todos mis amigos y amigas que formaron parte de este arduo camino, porque cada uno de ustedes colaboró para que esta meta pueda ser alcanzada, en especial al grupo de “Hierros” un grupo de amigos con los cuales se puede contar en las buenas y las malas.

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que hacen parte de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, en especial a mis profesores y amigos: Ing. Ángelo Villavicencio, Ing. Roberto Gutiérrez y Lic. Roberto Buenaño por haber compartido sus conocimientos y haberme brindado su apoyo a lo largo de toda la carrera.

Franklin Javier Salguero Valverde

ÍNDICE

CERTIFICADO	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
CAPÍTULO I	1
GENERALIDADES	1
CAPÍTULO II	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1. Análisis bibliográfico	8
2.1.1. Ciclo Rankine	8
2.1.2. Propiedades intensivas termodinámicas que intervienen en el proceso	13
2.1.2.1. Propiedad intensiva	13

2.1.2.2.Temperatura.	13
2.1.2.3.Presión.	14
2.1.3.Supercalentador.	14
2.1.3.1.Ventajas y desventajas de un supercalentador.	14
2.1.3.2.Tipos de supercalentadores.	15
2.1.3.3.Principales partes de un supercalentador.	17
2.2.Mantenimiento.	18
2.2.1.Definición.	18
2.2.2.Objetivos del mantenimiento.	18
2.2.3.Tipos de mantenimiento.	18
2.2.3.1.Mantenimiento correctivo.	19
2.2.3.2.Mantenimiento predictivo.	19
2.2.3.3.Mantenimiento preventivo.	20
2.2.4.Escalones de mantenimiento.	20
2.2.4.1.Primer escalón de mantenimiento.	20
2.2.4.2.Segundo escalón de mantenimiento.	21
2.2.4.3.Tercer escalón de mantenimiento.	21
2.2.4.4.Cuarto escalón de mantenimiento.	21
2.2.4.5.Quinto escalón de mantenimiento.	21
2.3.Sistema de adquisición de datos.	21
2.3.1.Fundamentos teóricos.	21

2.3.1.1. Proceso de adquisición de datos.....	22
2.3.1.2. Acondicionamiento de señal.....	22
2.3.2. Instrumentación.....	24
2.3.2.1. Sensores de presión.....	25
2.3.2.2. Sensores de temperatura.....	26
CAPÍTULO III	29
MANTENIMIENTO DE IV ESCALÓN	29
3.1. Análisis primario y determinación del estado del supercalentador.....	29
3.2. Mantenimiento y defectación de componentes.....	30
CAPÍTULO IV	80
MANTENIMIENTO DE V ESCALON E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS	80
4.1. Implementación del sistema electrónico del control de llama.....	80
4.2. Diseño del sistema de adquisición de datos.....	83
4.2.1. Sensores de temperatura.....	84
4.2.2. Sensores de presión.....	88
4.2.3. Selección del controlador de temperatura y presión.....	90
4.2.3.1. Control de temperatura.....	91
4.2.3.2. Controlador de presión.....	93
4.3. Diseño del sistema electrónico, de control y de adquisición de datos principal.....	98
4.4. Implementación del sistema de adquisición de datos Secundario.....	98

4.4.1. Selección de los módulos para el acondicionamiento de señal.	100
4.4.1.1. Selección del módulo para el acondicionamiento de señal del transductor de presión Sensys PTDH0300PEIA.	101
4.4.1.2. Selección del módulo para el acondicionamiento de señal de los sensores de temperatura.	103
4.4.1.3. Diseño del circuito electrónico.	106
CAPÍTULO V	107
MONTAJE DE LOS SISTEMAS, PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.	107
5.1. Montaje de los sistemas.	107
5.2. Pruebas de Funcionamiento.	109
5.3. Análisis de Resultados.	114
5.3.1. Cálculo de la eficiencia de combustión del quemador.	114
5.3.2. Balance energético del Supercalentador.	119
CAPÍTULO VI	137
ANÁLISIS ECONÓMICO.	137
6.1. Análisis económico.	137
CAPÍTULO VII	143
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Tipos de Termopares</i>	28
Tabla 2	<i>Características Generales de la Chapa Metálica del Supercalentador BOLTONS.</i>	31
Tabla 3	<i>Características Generales del Aislante Térmico (Lana de Roca)</i>	31
Tabla 4	<i>Características del Ácido Muriático (Muriatol)</i>	34
Tabla 5	<i>Escala de ponderación</i>	37
Tabla 6	<i>Matriz de Selección para el Aislante Térmico</i>	37
Tabla 7	<i>Características de la lana de vidrio Frescasa Eco</i>	38
Tabla 8	<i>Características Generales del Serpentín del Supercalentador BOLTONS</i>	39
Tabla 9	<i>Características Generales de las bridas de conexión del serpentín</i>	39
Tabla 10	<i>Características Generales del Manómetro ASHCROFT</i>	41
Tabla 11	<i>Matriz de Selección para los empaques de las bridas de conexión.</i>	44
Tabla 12	<i>Características Generales de los Empaques KLINGERSIL</i>	45
Tabla 13	<i>Características Generales de la Chimenea del Supercalentador</i>	46
Tabla 14	<i>Características Generales del Quemador DUNPHY</i>	49
Tabla 15	<i>Características Generales de la fotocelda Beckett 7006U</i>	51
Tabla 16	<i>Características Generales del Multímetro Master Tools DT-9208A</i>	52
Tabla 17	<i>Datos obtenidos de la medición de resistencia en la fotocelda Becket 7006U</i>	52
Tabla 18	<i>Matriz de Selección para la celda Cad</i>	53
Tabla 19	<i>Características Generales de la Celda CAD Westwood</i>	54
Tabla 20	<i>Características Generales de los Electrodo de Ignición.</i>	55
Tabla 21	<i>Características Generales de la bomba de Combustible DANFOSS</i>	58

Tabla 22 <i>Presión de descarga de la bomba de Combustible</i>	61
Tabla 23 <i>Características del motor eléctrico Brook Crompton</i>	62
Tabla 24 <i>Matriz de Selección para los rodamientos 6202</i>	65
Tabla 25 <i>Elementos reemplazados en el motor Eléctrico</i>	65
Tabla 26 <i>Características Técnicas del Rodamiento NSK 6202</i>	65
Tabla 27 <i>Características de los elementos</i>	67
Tabla 28 <i>Características de las cañerías de combustible</i>	70
Tabla 29 <i>Matriz de Selección para las cañerías de combustible</i>	72
Tabla 30 <i>Características Generales de las Tuberías de Cobre utilizadas como repuesto</i>	72
Tabla 31 <i>Características del ladrillo refractario</i>	73
Tabla 32 <i>Características Generales del Baroscopio URREA</i>	74
Tabla 33 <i>Características del Transductor de Presión Diferencial</i>	76
Tabla 34 <i>Características técnicas del transductor de temperatura</i>	78
Tabla 35 <i>Matriz de Selección para el control de llama</i>	80
Tabla 36 <i>Características del control Honeywell R7284</i>	81
Tabla 37 <i>Sensores de temperatura</i>	84
Tabla 38 <i>Transductores de presión</i>	84
Tabla 39 <i>Clases de termopares</i>	85
Tabla 40 <i>Características técnicas del Termopar tipo K</i>	86
Tabla 41 <i>Características del PT100</i>	88
Tabla 42 <i>Matriz de Selección para transductores de presión</i>	89
Tabla 43 <i>Características del transductor de presión Sensys</i>	89
Tabla 44 <i>Matriz de Selección para controladores de Temperatura</i>	91
Tabla 45 <i>Características técnicas del controlador de temperatura MYPIN</i>	92

Tabla 46 <i>Matriz de Selección para controladores de Presión</i>	94
Tabla 47 <i>Características del control de presión Autonics TZ4ST.</i>	95
Tabla 48 <i>Matriz de Selección para el controlador (Arduino/Raspberry)</i>	99
Tabla 49 <i>Características técnicas del Controlador arduino UNO.</i>	100
Tabla 50 <i>Matriz de Selección módulos de acondicionamiento de señal [V]-[A]</i>	101
Tabla 51 <i>Características técnicas del Módulo LM YN.</i>	102
Tabla 52 <i>Matriz de Selección módulos de acondicionamiento de señal [mV] [V]</i>	104
Tabla 53 <i>Características técnicas del Módulo HiLetgo Max 6675</i>	105
Tabla 54 <i>Verificación del funcionamiento del Supercalentador.</i>	112
Tabla 55 <i>Características del Analizador de Gases DELTAsmart</i>	112
Tabla 56 <i>Parámetros de medición en la calibración de la mezcla aire - combustible.</i>	113
Tabla 57 <i>Longitud equivalente de tubería por pérdidas expresados en pies (m).</i>	124
Tabla 58 <i>Costos indirectos</i>	137
Tabla 59 <i>Remuneración a docentes</i>	138
Tabla 60 <i>Remuneración a estudiantes</i>	138
Tabla 61 <i>Materiales y equipos.</i>	138
Tabla 62 <i>Costos totales.</i>	140
Tabla 63 <i>Financiamiento del proyecto</i>	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Supercalentador Tecequipment.....	1
Figura 2 Ciclo Rankine.....	8
Figura 3 Ciclo Rankine Ideal.....	10
Figura 4 Diagrama T-S.....	12
Figura 5 Energía cinética en partículas.	13
Figura 6 Presión.....	14
Figura 7 Supercalentador de convección.....	15
Figura 8 Supercalentador de radiación.	16
Figura 9 Temperatura final del vapor con varias cargas.	17
Figura 10 Proceso de adquisición de datos.	22
Figura 11 Señal analógica.	23
Figura 12 Señal digital.	23
Figura 13 Acondicionamiento de señal.	24
Figura 14 Sensor de presión.	25
Figura 15 Sensor de temperatura.....	26
Figura 16 Curvas de Termistor NTC y PTC	27
Figura 17 RTD.....	27
Figura 18 Chapa metálica del supercalentador.....	32
Figura 19 Limpieza de Chapa Metálica	34
Figura 20 Chapa Metálica libre de Óxido	35
Figura 21 Pintura exterior.....	36
Figura 22 Malla de soporte.....	36
Figura 23 Lana de Vidrio Frescasa Eco	38

<i>Figura 24</i> Bridas.	40
<i>Figura 25</i> Certificado de calibración.	41
<i>Figura 26</i> Manómetro ASHCROFT.	42
<i>Figura 27</i> Presión de prueba.	43
<i>Figura 28</i> Empaque de las bridas de conexión.	45
<i>Figura 29</i> Ducto para gases de combustión.	47
<i>Figura 30</i> Soldadura del ducto.	48
<i>Figura 31</i> Pintura del ducto.	48
<i>Figura 32</i> Empaque del ducto.	48
<i>Figura 33</i> Elementos de un quemador de Pulverización Mecánica por Presión.	50
<i>Figura 34</i> Mediciones de resistencia.	52
<i>Figura 35</i> Ubicación de la fotocelda.	54
<i>Figura 36</i> Electrodo de Ignición.	56
<i>Figura 37</i> Recubrimiento de los Electrodo.	56
<i>Figura 38</i> Electrodo reemplazado.	57
<i>Figura 39</i> Capacidad de la boquilla.	59
<i>Figura 40</i> Acople de la bomba.	59
<i>Figura 41</i> Componentes de la bomba.	60
<i>Figura 42</i> Limpieza del conjunto.	60
<i>Figura 43</i> Elementos para limpieza.	63
<i>Figura 44</i> Contactos del Interruptor Centrífugo.	63
<i>Figura 45</i> Rodamientos NSK 6202.	66
<i>Figura 46</i> Motor Eléctrico.	66
<i>Figura 47</i> Ventilador.	68

Figura 48 Electroválvula.	68
Figura 49 Tobera de atomización.	69
Figura 50 Filtro de tobera.	69
Figura 51 Controlador del Quemador Actual.	69
Figura 52 Tubería de combustible.	71
Figura 53 Ladrillo refractario.	74
Figura 54 Baroscópio URREA.	74
Figura 55 Inspección del ladrillo refractario.	75
Figura 56 Transductor de Presión	77
Figura 57 Instrumento de medición de temperatura.	79
Figura 58 Control Honeywell R784	81
Figura 59 Código de Colores del Controlador Honeywell R784	82
Figura 60 Esquema de conexión del control de llama.	83
Figura 61 Curva característica de los termopares	86
Figura 62 Sensor PT100	87
Figura 63 Curva característica del PT100	87
Figura 64 Transductor de presión.	90
Figura 65 Esquema eléctrico del circuito del transductor de presión Sensys.	90
Figura 66 Controlador de temperatura MYPIN.	92
Figura 67 Diagrama de conexión del Controlador MYPIN.	93
Figura 68 Controlador de presión Autonics TZ4ST.	94
Figura 69 Diagrama de conexión del Controlador de presión Autonics TZ4ST.	95
Figura 70 Ubicación de los sensores exteriores y partes del Supercalentador.	96
Figura 71 Ubicación de los sensores en el interiores y partes del Supercalentador.	97

Figura 72 Esquema de Conexiones del sistema de Adquisición de Datos Principal.	98
Figura 73 Arduino UNO.....	100
Figura 74 Módulo de Acondicionamiento de Señal LM YN	102
Figura 75 Esquema de conexión del módulo LM YN.....	103
Figura 76 Módulo HiLetgo Max 6675.	105
Figura 77 Esquema de Conexión Módulo HiLetgo.....	105
Figura 78 Diseño PCB de la placa.....	106
Figura 79 Diagrama de conexión sistema de adquisición de datos secundario.....	106
Figura 80 Montaje del Control Honeywell R784.....	107
Figura 81 Conexión de controladores de presión y temperatura.....	108
Figura 82 Panel de adquisición de datos.	108
Figura 83. Sistema de adquisición de datos Secundario.	109
Figura 84 Ejecución del sistema de Adquisición de Datos Secundario	111
Figura 85 Interfaz Gráfica del sistema de adquisición de datos Secundario.....	111
Figura 86 Calibración de la Mezcla Aire Combustible.....	113
Figura 87 Datos registrados durante funcionamiento.....	119
Figura 88 Diagrama de bloque para el balance energético en la placa orificio.....	120
Figura 89 Nomograma para caídas de presión por cada 100 ft de tubería	126
Figura 90 Diagrama de bloque para el balance energético en el supercalentador	128
Figura 91 Esquema de pared compuesta del supercalentador.	134
Figura 92 Costos del proyecto.....	142

RESUMEN

El presente trabajo de titulación consiste en el mantenimiento de cuarto y quinto escalón e implementación de un sistema de adquisición de datos para el supercalentador de la planta de vapor del laboratorio de conversión de energía perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, donde se realiza un análisis primario en base a toda la documentación e información existente para poder comprender el funcionamiento de todo el sistema en base a catálogos y manuales, además se muestra la evaluación preliminar del estado del equipo mediante inspecciones visuales mediciones metrológicas y pruebas de operación de sus componentes, posterior a ello mediante el uso de reportes técnicos se detalla de manera pormenorizada el mantenimiento preventivo y correctivo de cada uno de los elementos que constituyen el lado de fuego, el cuerpo del supercalentador y el quemador, consecuentemente dadas las condiciones que anteceden se realiza el diseño e implementación de los sistemas de potencia y control, todo esto se traduce a pruebas de funcionamiento y puesta en marcha del supercalentador para finalmente exponer un análisis económico y realizar un balance energético del sistema haciendo uso de las diferentes leyes de la termodinámica logrando de esta manera calcular la eficiencia térmica del equipo.

PALABRAS CLAVE:

- **MANTENIMIENTO CORRECTIVO**
- **SUPERCALENTADOR**
- **BALANCE ENERGETICO**
- **EFICIENCIA**

ABSTRACT

This present research compiled the maintenance of a superheater from the steam plant at the fourth and fifth level and also the implementation of the data acquisition system (DAQ) in the Energy Conversion laboratory from the Armed Forces ESPE University. Firstly, we will carried out a primary analysis based on all existing documentation and information to understand the operation of the entire system using catalogs and manuals. In addition to the preliminary, we will evaluate the condition of the equipment through visual inspections, metrological measurements and operation tests of its components.

Secondly, with the use of technicals reports of the preventive and corrective maintenance of each element that constitute the superheater such as fire side, body and the burner. Then, we will evaluate the conditions of its components and we will propose a design and implementation of the power control systems, all this is translate into tests the operation system and start-up of the superheater.

Finally we will present an economic analysis and perform an energy balance of the entire system making use the different thermodynamics laws. So, we will calculate the thermal efficiency of the system.

KEY WORDS:

- **CORRECTIVE MAINTENANCE**
- **SUPERHEATER**
- **ENERGY BALANCE**
- **EFFICIENCY**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES.

1.1. Antecedentes.

La Escuela Politécnica del Ejército hoy llamada Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, adquirió en el año 1981 una planta de transformación energética que cumple con el ciclo rankine, que incluía un caldero pirotubular marca Fulton de procedencia Inglesa con capacidad de 15 BHP, un supercalentador marca Tecequipment (Figura 1), una torre de enfriamiento de tiro forzado y una turbina tipo radial de generación de un solo paso con capacidad máxima de 5 Kw DC a 3000 rpm marca Coppus, debido a los requerimientos operativos posteriormente en el año 2007 adquirió un nuevo caldero marca York Shipley Global Serie 300 VTB con capacidad de 30 BHP mismo que se acoplo al sistema anteriormente descrito.



Figura 1 Supercalentador Tecequipment

La planta de vapor del laboratorio de conversión de la energía es utilizada para poder impartir clases prácticas correspondientes a las asignaturas de: Termodinámica, Termodinámica Aplicada y Diseño Térmico, cátedras de las cuales forman parte alrededor de 90 alumnos en cada semestre, es importante recalcar que años anteriores también prestaba servicios a alumnos de otras Universidades del país.

El supercalentador recibe anualmente mantenimiento preventivo, que incluye actividades de mantenimiento eléctrico, mantenimiento mecánico y mantenimiento general por parte de los responsables del laboratorio, pero tomando en cuenta que el equipo fue comprado en el año 1981 sus componentes se han ido deteriorando hasta dejarlo en una condición de operación que no garantiza la seguridad del personal docente y estudiantes debido a las altas temperaturas y altas presiones con las que trabaja.

En el ámbito internacional en la tesis “Stress analysis of the LHA-1 class Superheater header by finite elements method”, (Kaufman, 2018) se analizan los diferentes esfuerzos a los que está sometido un supercalentador en un barco de asalto el cual sufrió fallas a lo largo de los años de servicio y buscan dar una explicación a las posibles causas que originaron dichos fallos.

Por otra parte tenemos la tesis “Diseño Térmico y Mecánico de un Sobrecalentador” (Cavazos, 2018) en el cual se muestra a detalle los parámetros a tomar en cuenta al momento de diseñar una máquina térmica, demostrando así que la eficiencia de la misma dependerá directamente de sus elementos constitutivos y por consecuencia se puede aseverar que también del mantenimiento que reciban a lo largo del tiempo.

Se puede mencionar además el trabajo de titulación “Automatización y Mantenimiento de la Turbina de la Planta de Vapor del Laboratorio de Termodinámica perteneciente al DECEM” desarrollada por los ingenieros Alexander Mosquera y Pablo Soria en el año 2010 (Soria, 2010),

donde se muestra la necesidad y la importancia de realizar un mantenimiento correctivo y de dotar de un sistema automatización al sistema de turbina debido al nivel tecnológico que presentaba el equipo en ese momento.

Como se puede observar este tipo de trabajos van encaminados a restablecer la operatividad de los equipos, así como también a realizar un análisis del modo de falla para establecer planes de mantenimientos preventivos y poder mitigar daños futuros.

Nota: En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE no se ha desarrollado ninguna tesis en relación directa al mantenimiento del Supercalentador de la planta de vapor del laboratorio de Conversión de la Energía.

1.2. Definición del problema.

La Universidad de las Fuerzas Armadas posee dentro del laboratorio de conversión de la energía un supercalentador, el cual es un componente del sistema de la planta de vapor y es utilizado a fin de que el vapor obtenido a la salida del caldero alcance un cierto grado de sobrecalentamiento antes de que entre a la turbina, pero debido a sus años de funcionamiento y daños mecánicos en los componentes del sistema no puede cumplir con este requerimiento e implica un riesgo para los alumnos y personal docente debido a las altas temperaturas y altas presiones bajo las cuales opera.

Por otro lado, es importante recalcar que el supercalentador no cuenta con un sistema de adquisición de datos digital para el censo de temperatura y presión tanto al ingreso como a la salida del vapor, lo que dificulta el registro de los datos incurriendo en errores metrológicos durante la realización de las prácticas de laboratorio de conversión de la energía.

1.3. Justificación.

Justificación Técnica.

El supercalentador es un dispositivo anexo de gran importancia dentro del laboratorio de conversión de la energía, especialmente en la planta vapor, ya que en ésta funciona un ciclo cerrado Rankine, ciclo en el que se pueden realizar análisis de fenómenos de transporte, balances energéticos y exegéticos dentro de las prácticas de laboratorio de las asignaturas de: Termodinámica , Termodinámica Aplicada y Diseño Térmico, cátedras de las cuales forman parte alrededor de 90 alumnos en cada semestre tiempo en el cual se llevan aproximadamente 18 prácticas con una suma cercana a las 60 horas operativas del equipo.

Justificación Académica.

Para que la turbina funcione adecuadamente evitando el desgaste de sus componentes debido al fenómeno de cavitación requiere como fuente de energía vapor sobrecalentado y la manera de garantizar este particular es que el supercalentador se encuentre operativo.

En la actualidad el equipo se encuentra fuera de funcionamiento, ya que por diferentes factores se ha ido deteriorando, y la adquisición de una nueva máquina que cumpla con las necesidades del laboratorio representa una gran inversión para la Universidad, es por este motivo que se justifica la implementación de este proyecto en el cual se realizará el mantenimiento de cuarto y quinto escalón y además se dotará de un sistema de adquisición de datos.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo general.

- Desarrollar el mantenimiento de cuarto y quinto escalón e implementar un sistema de adquisición de datos para el supercalentador de la planta de vapor.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Establecer el estado o condición de los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos del supercalentador.
- Establecer los parámetros necesarios para poder llevar a cabo el mantenimiento de cuarto y quinto escalón.
- Diseñar el sistema de potencia y control.

Alcance del proyecto.

El proyecto consta de varias etapas de desarrollo las cuales se detallan a continuación:

Estudio del supercalentador de la planta de vapor.

- Estudio de la información preliminar del supercalentador de la planta de vapor en base de toda la documentación que se tenga del equipo, como manuales del fabricante para tener conocimiento de su funcionamiento.
- Evaluación del estado actual del supercalentador mediante inspecciones visuales mediciones metrológicas y pruebas de operación de sus componentes.

Mantenimiento correctivo del equipo.

- Desmontaje del Sistema de Recalentamiento.
- Desarmar y limpiar las piezas o elementos del supercalentador.
- Realizar la defectación de cada uno de sus elementos.
- Realizar la restauración de piezas mantenibles.
- Adquirir las piezas requeridas.
- Puesta a punto.

Mantenimiento de Cuarto Escalón

Lado de fuego

- Apertura del lado de fuego.
- Baqueteo del sistema.
- Cambio de empaquetaduras.
- Limpieza exterior de la chapa metálica.
- Cambio de aislante térmico.
- Cierre y montaje del lado de fuego.

Cuerpo del Supercalentador

- Implementación de 2 transductores de presión.
- Cambio de termocuplas tipo K.
- Limpieza y calibración de la válvula de seguridad.

Quemador

- Limpieza del motor y Ventilador.
- Cambio de Tobera de Atomización.
- Cambio de Empaquetadura.
- Cambio de electrodos de ignición.
- Limpieza de la bomba de combustible.
- Limpieza del transformador de ignición.
- Cambio de Fococelda.

Mantenimiento de Quinto Escalón.

- Implementación del sistema electrónico del control del quemador.

Diseño e implementación del sistema de Adquisición de Datos.

Se implementará un sistema de instrumentación y adquisición de datos debido a que el supercalentador no cuenta con este sistema.

- Diseño del sistema de adquisición de datos principal.
- Implementación del sistema adquisición de datos.
- Pruebas de funcionamiento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO.

2.1. Análisis bibliográfico.

2.1.1. Ciclo Rankine.

El ciclo rankine es un ciclo potencia, utilizado para modelar el comportamiento termodinámico de centrales térmicas de vapor, este tipo de instalaciones generan electricidad a partir del uso de combustibles fósiles mismos que son utilizados para llevar a cabo el cambio de estado del fluido de trabajo. (Yanus A, Termodinámica, 1996)

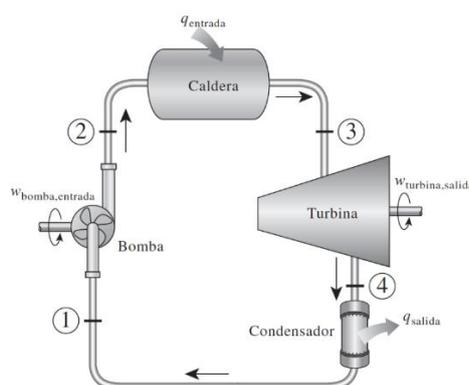


Figura 2 Ciclo Rankine

Fuente: (Yanus A, Termodinámica, 1996)

Cuando el ciclo rankine utiliza una caldera pirotubular se requiere adicionar un supercalentador mismo que se coloca en la salida de la caldera debido a que por concepto un caldero pirotubular genera vapor saturado con cierto grado de calidad y el sistema de turbina para operar bajo condiciones normales requiere de vapor sobrecalentado, es por este motivo que se hace indispensable utilizar sistemas de sobrecalentamiento cuyo propósito es que el vapor obtenido en el caldero alcance un cierto grado de sobrecalentamiento antes de que entre a la turbina logrando minimizar la probabilidad de ocurrencia del fenómeno de cavitación.

La cavitación se produce por un descenso local de la presión por debajo de la de saturación del líquido que se traduce en la formación de vapor o gas y en la condensación brusca subsiguiente, es por este motivo que este fenómeno puede dañar casi cualquier material debido a que las picaduras causadas por el colapso de las cavidades producen un enorme desgaste en los diferentes componentes y pueden acortar enormemente la vida de las turbinas u otros componentes.

El control de vapor es importante en la vida de un equipo de alta temperatura y en la economía de la generación de potencia. Operando por debajo de las temperaturas de diseño, se reduce la eficiencia termodinámica del ciclo y se incrementa el costo del combustible, operando a temperaturas superiores a las de diseño, se reducen los márgenes de resistencia de las tuberías, calentadores, válvulas y demás elementos de la turbina (Mendoza, 2009).

Ciclo Rankine ideal.

El ciclo rankine ideal (Figura 5) presenta cuatro procesos termodinámicos internamente reversibles los mismos que se describen a continuación:

1-2 Compresión isentrópica en una bomba.

2-3 Adición de calor a presión constante en una caldera.

3-4 Expansión isentrópica en una turbina.

4-1 Rechazo de calor a presión constante en un condensador (Yanus A, Termodinámica, 1996).

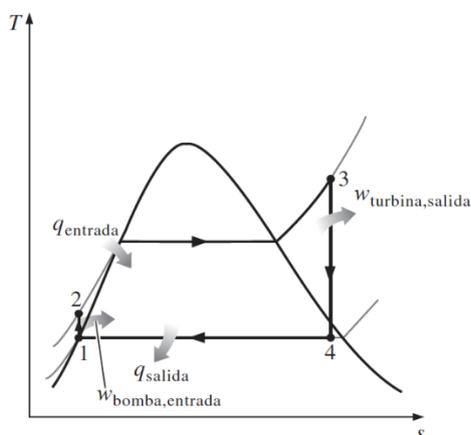


Figura 3 Ciclo Rankine Ideal.

Fuente: (Yanus A, Termodinámica, 1996)

Durante el proceso 1 -2 la bomba se encarga de que el fluido de trabajo que se encuentra en estado de líquido saturado se comprima hasta el punto de que su presión sea igual a la presión de operación de la caldera, sin que este proceso involucre un cambio de la entropía, pero como consecuencia se generaran pequeñas variaciones como son aumento en la temperatura y disminución del volumen específico.

Para el proceso 2 – 3 el agua que se encuentra en estado de líquido comprimido se transforma en primera instancia a líquido saturado y posteriormente a vapor sobrecalentado, este cambio de estado sucede debido a que en la caldera los gases de la combustión transfieren su calor al fluido de trabajo de tal manera que la presión no varía, es decir se considera un proceso isobárico.

En el proceso 3 – 4 el vapor sobrecalentado proveniente de la caldera ingresa a la turbina de generación donde el vapor se expande isentrópicamente como consecuencia de producir trabajo, durante este proceso la temperatura y presión disminuyen considerablemente es decir al final tendremos vapor húmedo con alta calidad.

Finalmente, durante el proceso 4 – 1 el vapor húmedo ingresa a un condensador que no es más que es un intercambiador de calor donde el vapor se condensa manteniendo su presión constante y cambiando su estado a líquido saturado.

Ciclo Rankine real.

“El ciclo real de potencia de vapor difiere del ciclo Rankine ideal, como se ilustra en la Figura 6, como resultado de las irreversibilidades en diversos componentes.” (Yanus A, Termodinámica, 1996).

“Se dice que un proceso es irreversible si, una vez que el proceso ha tenido lugar, resulta imposible devolver al sistema y a todas las partes del entorno a sus respectivos estados iniciales.” (Shapiro, 1987)

“La fricción del fluido ocasiona caídas de presión en la caldera, el condensador y las tuberías entre diversos componentes. Como resultado, el vapor sale de la caldera a una presión un poco menor. Además, la presión en la entrada de la turbina es un poco más baja que la de la salida de la caldera, debido a la caída de presión en los tubos conectores. La caída de presión en el condensador por lo general es muy pequeña. Para compensar todas estas caídas de presión, el agua debe bombearse a una presión más alta que la que tiene el ciclo ideal. Esto requiere una bomba más grande y una mayor entrada de trabajo a la bomba.

Otra fuente importante de irreversibilidad es la pérdida de calor del vapor hacia los alrededores cuando este fluido circula por varios componentes. Para mantener el mismo nivel de salida neta de trabajo, es necesario transferir más calor hacia el vapor en la caldera para compensar estas pérdidas de calor indeseables.

Como consecuencia, la eficiencia del ciclo disminuye.” (Yanus A, Termodinámica, 1996)

Ciclo Rankine con recalentamiento a altas temperaturas.

Existe varias formas de aumentar la eficiencia de un ciclo rankine, “la idea básica detrás de todas las modificaciones para incrementar la eficiencia térmica de un ciclo de potencia es la misma: incrementar la temperatura promedio a la que el calor se transfiere al fluido de trabajo en la caldera o disminuir la temperatura promedio a la que el calor se rechaza del fluido de trabajo en el condensador. “ (Yanus A, Termodinámica., 1996)

Una de las formas más utilizadas consiste en colocar un supercalentador luego de la caldera para elevar la temperatura del vapor previo a su ingreso hacia la turbina es decir lograr un aumento de la temperatura sin tener que incrementar la presión en la caldera, lo que básicamente se traduce en un incremento en el trabajo neto y por otra para lograr disminuir el contenido de humedad a la salida de la turbina evitando la probabilidad de ocurrencia del fenómeno de cavitación lo que generaría mayores costos en el mantenimiento de la turbina.

Este cambio es representado en el diagrama T-s en la figura

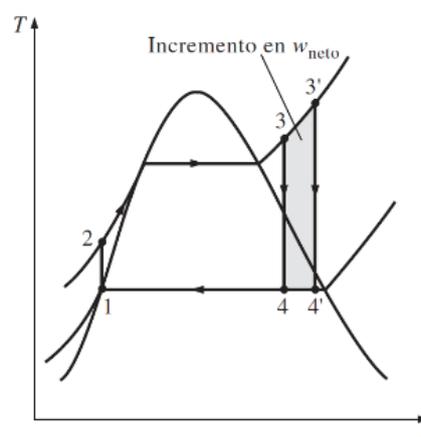


Figura 4 Diagrama T-S.

Fuente: (Yanus A, Termodinámica, 1996)

2.1.2. Propiedades intensivas termodinámicas que intervienen en el proceso.

2.1.2.1. Propiedad intensiva.

Son aquellas propiedades las cuales no dependen de la masa de un cuerpo, ni la cantidad de sustancia presente, por este motivo no son propiedades aditivas, como ejemplo de propiedades intensivas tenemos, presión, temperatura, velocidad, volumen específico. (Mejia, 2010)

2.1.2.2. Temperatura.

La temperatura se relaciona con el movimiento de las partículas del sistema (Figura 5), o también conocida como energía cinética, entre mayor sea esta energía la temperatura será mayor. (Valenzuela, 2015)

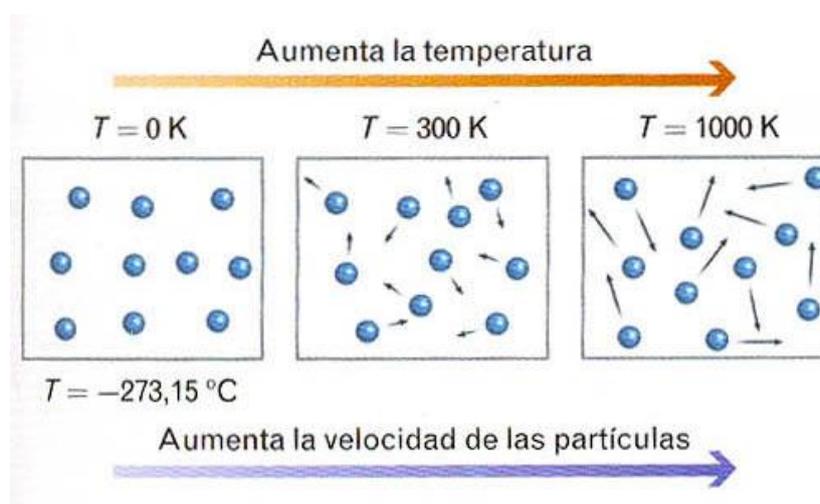


Figura 5 Energía cinética en partículas.

Fuente: (Yanus A, Termodinámica, 1996)

Es una magnitud estadística, esto quiere decir que no se la puede medir directamente, para esto se usan magnitudes termométricas. (Fernández, 2016)

Se tienen diferentes unidades de medida, unos ejemplos de estas son, grados Centígrados, grados Fahrenheit, grados Kelvin, etc.

2.1.2.3. Presión.

La presión es una magnitud relacionada con la fuerza ejercida en una superficie por unidad de área. (Khanacademy, 2015)

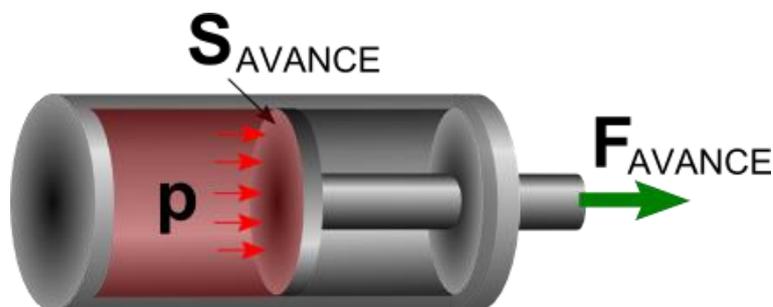


Figura 6 Presión.

Fuente: (Khanacademy, 2015)

Se mide principalmente por el equilibrio de otra presión ya establecida, por ejemplo, un resorte, un diafragma, etc, generalmente elementos que puedan sufrir una deformación.

Se tienen diferentes unidades de medida de presión, por ejemplo, Pascal, Bar, Atmosfera, etc.

2.1.3. Supercalentador.

Un supercalentador es uno de los equipos más importantes para la caldera debido a que mejora su eficiencia térmica, obteniendo calor de los productos de combustión para agregar calor adicional al vapor que pasa a través de los tubos, transformando de esta forma al vapor saturado en vapor sobrecalentado.

2.1.3.1. Ventajas y desventajas de un supercalentador.

a) Ventajas.

- Reducción del consumo de combustible.
- Reducción del consumo de agua.

b) Desventajas.

- Sin un mantenimiento adecuado puede existir una explosión en los tubos que conforman el supercalentador.

2.1.3.2. Tipos de supercalentadores.

Existen 2 tipos de supercalentadores, de radiación y convección, los cuales se caracterizan por la forma en la que se realiza la transferencia de calor desde los gases.

a) Supercalentador de convección.

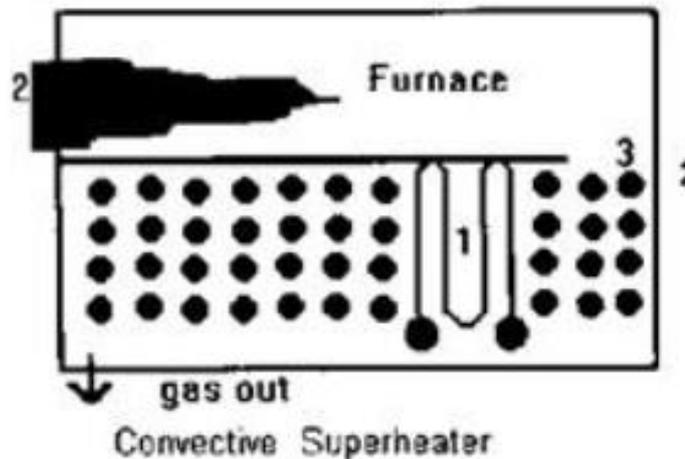


Figura 7 Supercalentador de convección.

Fuente: (Ammourah, 2016)

Este tipo de supercalentador se ocupa principalmente cuando la temperatura de los gases es medianamente baja, la transferencia de calor depende principalmente de las características del flujo (velocidad y cantidad).

En un sistema que utilice este tipo de supercalentador, la temperatura del vapor a la salida del mismo aumenta con la producción de la caldera, dando una absorción total más alta por kilo de vapor.

Debido a que opera con temperatura de gases menor, la vida útil es mucho mayor, teniendo una desventaja la cual es que requiere una mayor área superficial debido a la menor diferencia de temperaturas.

b) Supercalentador de radiación.

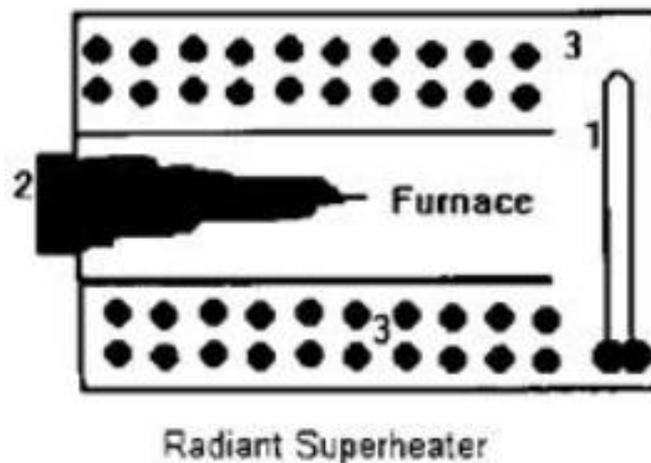


Figura 8 Supercalentador de radiación.

Fuente: (Ammourah, 2016)

En el supercalentador de radiación, la transferencia de calor depende principalmente de la alta temperatura de los gases producidos por la caldera.

La temperatura del vapor que sale del equipo es más baja a una mayor producción de la caldera por las siguientes razones:

- La absorción por radiación no aumenta tan rápido como la salida del vapor de la caldera.
- Con cargas más altas existe una mayor cantidad de vapor, como se puede observar en la figura 9.

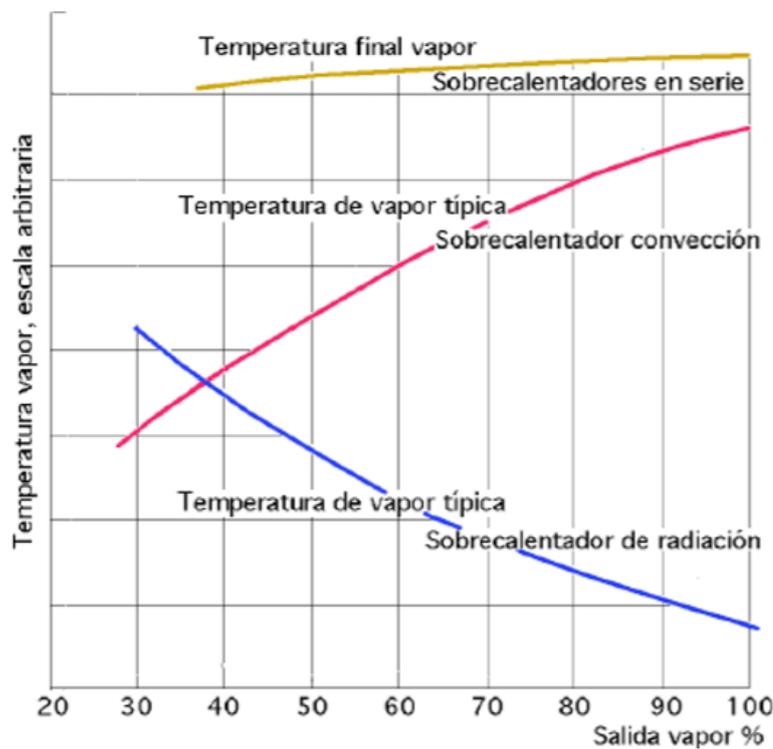


Figura 9 Temperatura final del vapor con varias cargas.

Fuente: (Ammourah, 2016)

2.1.3.3. Principales partes de un supercalentador.

1. Cámara de combustión.

La cámara de combustión es la parte del supercalentador donde se quema el combustible, la temperatura que en esta zona alcanzan las llamas y gases de combustión depende de varios parámetros, principalmente de la relación aire-combustible.

2. Intercambiador de calor.

Permite realizar la transferencia de calor entre el calor producido por la combustión y el vapor proveniente de la caldera, permitiendo así aumentar la temperatura del fluido.

3. Chimenea para gases de combustión.

Es un conducto el cual permite la evacuación de gases hacia el exterior generados en la cámara de combustión.

2.2. Mantenimiento.

2.2.1. Definición.

Mantenimiento son todas las acciones que permiten mantener un equipo o restaurarlo a un estado en el cual se pueda llevar a cabo una función requerida, obteniendo de esta forma confiabilidad, seguridad y competitividad (QAEC, 2016).

2.2.2. Objetivos del mantenimiento.

En la industria para el departamento de mantenimiento se tiene 4 principales objetivos (García, 2016):

- Cumplir con un valor de disponibilidad.
- Cumplir con un valor de fiabilidad.
- Asegurar la vida útil de la instalación en conjunto.
- Ajustarse a un presupuesto de mantenimiento para la instalación.

2.2.3. Tipos de mantenimiento.

En la industrial se encuentran tres tipos de mantenimiento:

- Mantenimiento correctivo.
- Mantenimiento predictivo.
- Mantenimiento preventivo.

2.2.3.1. Mantenimiento correctivo.

El fin de este mantenimiento es corregir un defecto que presente la maquinaria o equipo, existen dos tipologías (Aldakin, 2017):

Mantenimiento correctivo no planificado: es un mantenimiento de emergencia, en el cual se deben tomar decisiones para que la maquinaria vuelva a estar en funcionamiento lo antes posible.

Mantenimiento correctivo planificado: es un mantenimiento del cual se tiene una planificación previa, lo que permite preparar al personal, repuestos y equipos necesarios para realizarlo.

2.2.3.2. Mantenimiento predictivo.

Este mantenimiento se basa en la inspección periódica para determinar la operatividad de los equipos, mediante el conocimiento de las diferentes variables que podrían llegar a provocar un fallo, por ejemplo, vibración, presión, temperatura. Es el mantenimiento más avanzado, ya que se requiere conocimientos técnicos, analíticos y el uso de equipos especializados (Aldakin, 2017).

Ventajas del mantenimiento predictivo.

- La operatividad de la maquinaria es continua.
- Es fiable, ya que se usan equipos y personal especializado.
- Las fallas se detectan en etapas iniciales.

Desventajas del mantenimiento predictivo.

- El costo de los equipos de alta tecnología es alto.
- El personal debe conocer a profundidad los equipos de las instalaciones.

2.2.3.3. Mantenimiento preventivo.

Este mantenimiento está destinado a la conservación de los equipos mediante la revisión y reparación que garanticen el buen funcionamiento de los mismos, con este método se busca que las actividades estén controladas para que el funcionamiento sea fiable y eficiente (Aldakin, 2017).

Ventajas del mantenimiento preventivo.

- El coste es menos elevado con respecto a los otros mantenimientos.
- Se reducen los paros imprevistos.
- Se aumenta la productividad de las instalaciones.

Desventajas del mantenimiento preventivo.

- El gasto de materiales y repuestos aumenta.

2.2.4. Escalones de mantenimiento.

En el mantenimiento de un sistema o equipo, dependiendo del requerimiento se realizan diferentes acciones, así como el personal que interviene en el mismo tiene un grado de especialización diferente, por este motivo se tienen criterios de clasificación por cinco escalones. (IMES, 2018)

2.2.4.1. Primer escalón de mantenimiento.

En este escalón se realizan actividades simples como por ejemplo la limpieza diaria de los equipos y área de trabajo, lubricación y ajustes menores, cabe destacar que son realizadas por los operadores de la maquinaria, ya que no requiere un alto nivel de especialización o conocimiento.

A pesar de ser actividades simples, si no se las realizan a largo plazo pueden causar desperfectos mayores en la maquinaria.

2.2.4.2. Segundo escalón de mantenimiento.

Se realizan actividades de reemplazo o reparación de partes que no se encuentran en funcionamiento, además de ajuste de componentes de conjuntos, son realizadas por el personal especialista de cada línea de operaciones o de unidad.

2.2.4.3. Tercer escalón de mantenimiento.

Se incluyen acciones que requieren un conjunto de operaciones y acciones más complejas, se incluyen reemplazo de partes o reparación de componentes, estas actividades son realizadas por la unidad de mantenimiento de apoyo directo.

2.2.4.4. Cuarto escalón de mantenimiento.

Se realizan acciones de reemplazo o reacondicionamiento de los subconjuntos y componentes, reparaciones especializadas, estas son realizadas por técnicos especialistas de la unidad de apoyo general de mantenimiento.

2.2.4.5. Quinto escalón de mantenimiento.

Se realizan actividades especializadas las cuales implican un amplio conocimiento sobre el tema, se incluyen acciones de renovación, reconstrucción, modificaciones y son realizadas por empresas especialistas en el tema.

2.3. Sistema de adquisición de datos.

2.3.1. Fundamentos teóricos.

“La adquisición de datos o adquisición de señales consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador u otros dispositivos electrónicos (sistema digital).

Consiste en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan ser procesadas por una computadora o PAC. Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que hace dicha transformación es el módulo de digitalización o tarjeta de adquisición de datos (DAQ).” (Loveday, 2016)

2.3.1.1. Proceso de adquisición de datos.

La adquisición de datos es un proceso el consta con 3 diferentes etapas (RUA, Universidad de Alicante, 2015).

- 1) Conversión del fenómeno físico a una señal eléctrica.
- 2) Adaptación de la señal eléctrica para la lectura digital.
- 3) Hardware de adquisición de datos, a través de un computador

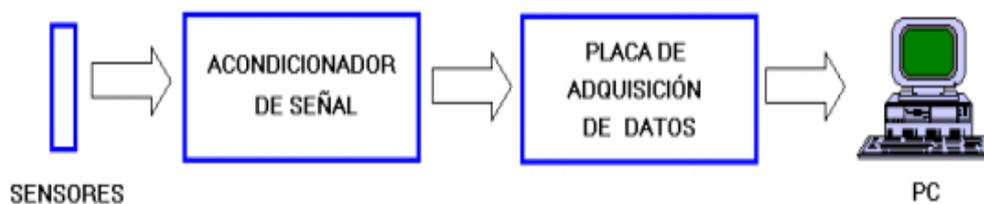


Figura 10 Proceso de adquisición de datos.

Fuente: (RUA, Universidad de Alicante, 2016)

2.3.1.2. Acondicionamiento de señal.

El objetivo del acondicionamiento es general una señal aceptable por las tarjetas de adquisición de datos a partir de los datos obtenidos por un sensor (RUA, Universidad de Alicante, 2016).

Por ejemplo, una señal puede ser pequeña y necesita ser amplificada, tener interferencias a eliminar, o ser linealizada, para el acondicionamiento de señal tenemos dos clases de sistemas, analógicos y digitales

Señales analógicas.

Las señales analógicas (Figura 11) convierte una onda física en una señal eléctrica, transportan la información codificada en modo de voltajes, frecuencias e intensidades.

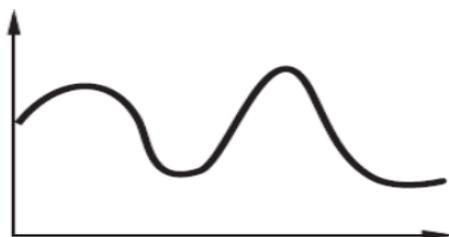


Figura 11 Señal analógica.

Fuente: (Sosa, 2015)

Señales digitales.

En un sistema digital la información se transfiere con trenes de pulsos representados por números binarios, estos dígitos convertidos en corriente de pulsos electrónicos se pueden almacenar o transmitir.



Figura 12 Señal digital.

Fuente: (Sosa, 2015)

Los principales procesos en el acondicionamiento de señal son:

- Transformación:
- Amplificación.
- Filtrado.
- Excitación.
- Linealización.

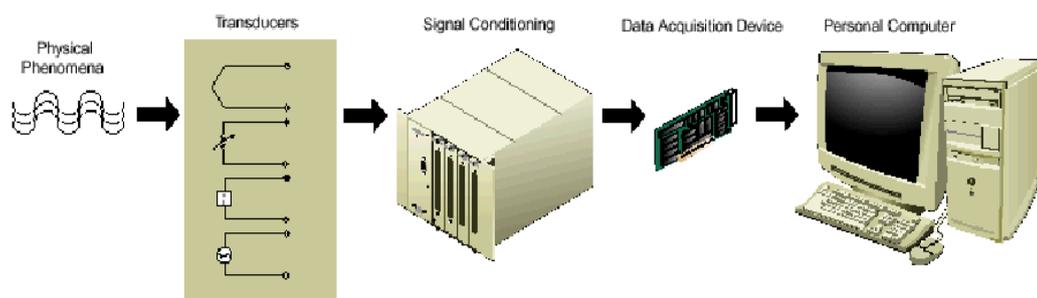


Figura 13 Acondicionamiento de señal.

Fuente: (Introducción a la mecatrónica, 2018)

2.3.2. Instrumentación.

La instrumentación es fundamental ya que nos permite medir, convertir, transmitir, controlar o registrar variables de un proceso, para que de esta forma podamos optimizar los recursos.

Con una adecuada instrumentación podemos medir las siguientes variables:

Variables físicas:

- Caudal.
- Presión.
- Temperatura.

- Nivel.
- Velocidad.
- Peso.
- Humedad.
- Punto de rocío, etc.

2.3.2.1. Sensores de presión.



Figura 14 Sensor de presión.

Fuente: (Sensing, 2016)

Los sensores de presión también conocidos como transductores de presión, son habituales en los procesos industriales. El objetivo de estos sensores es transformar una magnitud física en una eléctrica, para que el valor pueda ser registrado análogo o digitalmente.

Existen varios tipos de sensores, pero destacan por la robustez de los mismos ya que en los procesos industriales se encuentran sometidos a todo tipo de líquidos y condiciones de operación, los rangos de medición y precisión varían dependiendo de la aplicación en los que se requiera. (Sensing, 2016)

2.3.2.2. Sensores de temperatura.



Figura 15 Sensor de temperatura.

Fuente: (Sensing, 2016)

Estos sensores transforman la temperatura en señal eléctrica la cual es procesada posteriormente por un equipo electrónico.

Existen 3 tipos de sensores de temperatura:

- a. Termistores.
 - b. RTD.
 - c. Termopares
- a) Termistor.

El funcionamiento de un termistor está basado en la variación de la resistencia de los semiconductores dependiendo de la temperatura (Figura 16), existen dos tipos de termistores (Mecafenix, 2017):

- NTC: En este tipo de termistores, al aumentar la temperatura disminuye la resistencia.
- PTC: En este tipo de termistores al aumentar la temperatura, aumenta la resistencia.

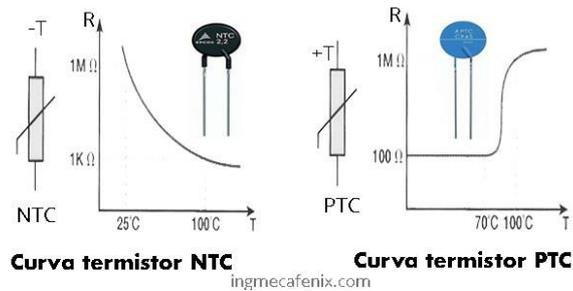


Figura 16 Curvas de Termistor NTC y PTC

Fuente: (Mecafenix, 2017)

b) RTD (Resistance temperature detector).

Su funcionamiento está basado en la variación de la resistencia de un conductor de temperatura, los materiales comúnmente usados son cobre, níquel, platino y molibdeno.

Los que se usan mayormente son los de platino ya que tienen una mejor linealidad, más rapidez y un mayor margen de temperatura (Omega, 2015).



Figura 17 RTD

Fuente: (IndianMart, 2018)

c) Termopar.

También llamado termocupla, recibe su nombre porque está formado por dos metales, y el funcionamiento se basa en el efecto termoeléctrico.

Un material termoeléctrico transforma directamente el calor en electricidad, el termopar genera una tensión la cual está en función de la temperatura que se está aplicando al sensor.

La principal desventaja de una termocupla es la precisión, ya que es pequeña en comparación con los RTDs o termistores (Anatychuk , 2017).

Tipos de termopares.

Tabla 1

Tipos de Termopares

Tipo	Aleación	Rango
K	Cromel/Alumel	-200 °C a +1372 °C
E	Cromel/Constantan	-200 °C a +900 °C
J	Hierro/Constantan	-270/+1200 °C
T	Cobre/Constantan	-200 y 260 °C
N	Niquel/Cromo/Silicio	-270 °C a +1300 °C
B	Platino 30%/Rodio	0 °C a +1820 °C
R	Platino 13%/Rodio	-50 °C a +1768 °C
S	Platino 10%/Rodio	0 °C a +1300 °C

Fuente: (Omega, 2017)

CAPÍTULO III

MANTENIMIENTO DE IV ESCALÓN

3.1. Análisis primario y determinación del estado del supercalentador.

El análisis primario del estado del supercalentador se lo realizó en base a la toda la documentación existente en los laboratorios de conversión de la energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE para poder comprender el funcionamiento de todo el sistema, en base a catálogos y manuales.

El supercalentador recibe anualmente mantenimiento preventivo, que incluye actividades de mantenimiento eléctrico, mantenimiento mecánico y mantenimiento general pero debido a los años de uso requiere de un análisis exhaustivo de todo el sistema. Luego de haber realizado una revisión visual preliminar del equipo se pudo establecer que:

- La chapa metálica externa presenta corrosión.
- Los sistemas de medición de temperatura y presión se encuentran obsoletos.
- El quemador no posee un control de llama adecuado debido a que este sistema depende directamente de los sistemas de medición de temperatura y presión.
- El sistema de control de llama en el quemador se encuentra obsoleto.
- Existe deterioro en la lana de roca (Aislante Térmico).
- El ladrillo refractario de la cámara de combustión no presenta agrietamientos profundos, desprendimiento de sus partes ni desgaste excesivo.
- El quemador posee una fotocelda misma que fue adaptada y que no está instalada de manera adecuada por lo cual no censa correctamente la llama lo cual en ocasiones produce contra explosiones.

- El sistema de extracción de gases de combustión presenta agrietamientos y el diseño actual no permite una evacuación adecuada de los mismos.

3.2. Mantenimiento y defectación de componentes.

Esta sección se desarrollará mediante reportes técnicos de mantenimiento en los cuales se detalla la defectación de las piezas, el proceso de mantenimiento o en su defecto el cambio de los componentes del supercalentador.

REPORTE TÉCNICO DE MANTENIMIENTO No.01-00

Elemento Principal – Características Técnicas

Nombre: Chapa metálica del supercalentador.

Tabla 2

Características Generales de la Chapa Metálica del Supercalentador BOLTONS.

Característica	Descripción
Marca	BOLTONS SUPERHEATER & PIPEWORKS LTD.
Modelo	6591
Serie	SK3-8LF
Material	Acero al Carbono
Procedencia	Inglaterra

Elemento Secundario – Características Técnicas

Nombre: Aislante Térmico (Lana de Roca)

Tabla 3

Características Generales del Aislante Térmico (Lana de Roca)

Característica	Descripción
Marca	Sin Identificación
Coefficiente Térmico	$k = 0,038 - 0,042 \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right]$

Función Desempeñada del Elemento Principal

Contener los gases producto de la combustión provenientes del quemador.

Función Desempeñada del Elemento Secundario

Establecer una barrera térmica al paso del calor entre la chapa metálica del supercalentador y el ambiente.

Descripción Física del Elemento Primario

La chapa metálica es de hierro fundido con un espesor de 5 [mm].

Descripción Física del Elemento Secundario

La lana de roca es un tipo de aislante térmico que proviene de las rocas basálticas y el coque ambos de origen mineral.

Proceso Tecnológico de la Defectación

1. Realizar una inspección visual del estado de la lana de roca.
2. Retirar el alambre galvanizado utilizado para la sujeción de la lana de roca.
3. Retirar la lana de roca.



Figura 18 Chapa metálica del supercalentador

4. Realizar una inspección visual de la chapa metálica del supercalentador.

Defectación

Luego del análisis correspondiente se pudo establecer que:

- La lana de roca presenta desprendimiento de su estructura y de partículas debido al apolillamiento presente en las lanas minerales, ocasionando irritaciones en los ojos, en la piel y vías respiratorias del personal que se encuentre en las inmediaciones.
- El alambre galvanizado utilizado para la sujeción de la lana de roca presenta rupturas a lo largo de su extensión debido a la fatiga térmica a la que se encuentra sometido durante la operación del supercalentador.
- La chapa metálica presenta corrosión en toda la superficie debido a que carece de un recubrimiento que la proteja del contacto directo con el oxígeno presente en el ambiente.

Clasificación acorde a la defectación

- El Aislante Térmico requiere ser reemplazado.
- La chapa metálica requiere un proceso de restauración.

Tipo de Mantenimiento Requerido

- Mantenimiento Correctivo.

Proceso Tecnológico del Mantenimiento Correctivo.

1. Limpiar toda la superficie con ácido clorhídrico (Muriatol) haciendo uso de lija abrasiva de grano No. 100.

Tabla 4*Características del Ácido Muriático (Muriatol)*

Característica	Descripción
Denominación del Bien	Ácido Muriático al 28% (Quita Sarro)
Denominación Técnica	Ácido Clorhídrico
Grupo / Familia / Clase	Suministros y equipo de Limpieza / Suministros de limpieza y mantenimiento / Soluciones de limpieza y desinfección
Catálogo del SEACE	Ácido Muriático al 28% (Quita Sarro)
Unidad de Medida	Litros / Galones.
Código	X471318 310001
Descripción General	Es una disolución acuosa del gas cloruro de hidrógeno (HCl). Es muy corrosivo y ácido

Fuente: (Zonasegura, 2016)

**Figura 19** Limpieza de Chapa Metálica

2. Repetir el proceso hasta que el óxido sea retirado por completo.
3. Lavar toda la superficie con agua jabonosa a fin de neutralizar la acción del ácido clorhídrico (Figura 20).



Figura 20 Chapa Metálica libre de Óxido

4. Secar toda la superficie haciendo uso de una franela limpia.
5. Pintar toda la superficie (Figura 21) con SUMATERM 3951 “Sherwin William” (Revestimiento para brindar protección catódica a superficies expuestas a altas temperaturas, recomendada para aplicaciones como: chimeneas, calderas y tuberías expuestas al calor). (sherwin-industria, 2017)
6. Repetir el proceso hasta lograr una capa uniforme en todo el recipiente.

7. Dejar secar 12 horas.



Figura 21 Pintura exterior

8. Limpiar las mallas de soporte de la lana de roca haciendo uso de lija abrasiva de grano No. 100.



Figura 22 Malla de soporte.

9. Repetir el proceso hasta que todo el óxido haya sido removido
10. Pintar las mallas de soporte con SUMATERM 3951 “Sherwin William”
11. Repetir el proceso hasta lograr una capa uniforme en toda la superficie.
12. Dejar secar 12 horas.

Luego de realizar un análisis en el mercado nacional se determinó que los aislantes térmicos disponibles, que cumplen con las características técnicas requeridas y que cuentan con un costo accesible son:

- Lana de Roca
- Lana de Vidrio

razón por la cual mediante el uso de una matriz de selección se escogerá la opción más adecuada, cabe destacar que se utilizará la escala indicada en la tabla 5.

Tabla 5

Escala de ponderación

Escala	Clasificación
1 – 2	Mala
3 – 4	Regular
5 – 6	Buena
7 – 8	Muy Buena
9 – 10	Excelente

Tabla 6

Matriz de Selección para el Aislante Térmico

Factores	Ponderación	Lana de Roca	Lana de Vidrio
Características Técnicas	50 %	10.0	9.0
Disponibilidad en el mercado	30%	8.0	10
Costo	20%	8.0	9.0
Puntuación Total	100%	9.0	9.3

13. Instalar el nuevo aislante térmico, se seleccionó la lana de vidrio marca: Frescasa Eco debido a que ofrece las siguientes ventajas:

- Es el aislante térmico de mayor uso en el mercado
- Es relativamente económico frente a la lana de roca
- Facilidad de Instalación.

- No es inflamable.
- Cuenta con certificación EUCEB

Tabla 7*Características de la lana de vidrio Frescasa Eco*

Característica	Descripción
Marca	Frescasa Eco
Desempeño térmico	0.042 – 0.044 W/m.°C Valor típico a 24°C.
Absorción de Vapor de Agua	<3% peso 120°F (49°C), 95% R.H
Características de Combustión de la Superficie	Índice de propagación de llama <25 Índice de generación de humo <50
Espesor	2,5 [in]

Fuente: (Isover, 2015)

Nota: El espesor de aislante térmico seleccionado se sustenta en los cálculos realizados en el capítulo V del presente documento.

**Figura 23** Lana de Vidrio Frescasa Eco

REPORTE TÉCNICO DE MANTENIMIENTO No.02-00

Elemento Principal – Características Técnicas

Nombre: Serpentin del Supercalentador.

Tabla 8

Características Generales del Serpentin del Supercalentador BOLTONS

Característica	Descripción
Marca	BOLTONS SUPERHEATER & PIPEWORKS LTD.
Material	Cobre
Diámetro Nominal	1 [in]
Longitud Aproximada	2,52 [m]

Elemento Secundario – Características Técnicas

Nombre: Bridas de conexión.

Tabla 9

Características Generales de las bridas de conexión del serpiente

Característica	Descripción
Marca	BOLTONS SUPERHEATER & PIPEWORKS LTD.
Material	Acero al Carbono
Diámetro Nominal de la tubería de conexión	1.5 [in]

Función Desempeñada del Elemento Principal

Transferir el calor de los gases de combustión hacia el vapor saturado proveniente del caldero.

Función Desempeñada del Elemento Secundario

Conectar el serpiente a la tubería de entrada y salida del vapor del supercalentador.

Descripción Física del Elemento Primario

El serpentín de cobre es un tubo generalmente en espiral utilizado en varias aplicaciones industriales de transferencia de calor debido al alto coeficiente de conducción que posee

$$k = 372,1 - 385,2 \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right]$$

Fuente: (Wikipedia, 2017)

Descripción Física del Elemento Secundario

El sistema se compone de 4 bridas de conexión que permiten el desmontaje sin operaciones destructivas del sistema, entre las bridas se coloca un empaque generalmente de asbesto o de fibra aramida y grafito a fin de conseguir una unión completamente hermética que no permita fugas.

Proceso Tecnológico de la Defectación

1. Verificar que el serpentín se encuentre con una presión interna igual a 0 [Psi], abriendo la válvula de paso de desfogue.
2. Desmontar las bridas de conexión tanto a la entrada y salida del serpentín.



Figura 24 Bridas.

3. Instalar bridas o flanges ciegos que interrumpan todas las conexiones del cuerpo de presión y que resistan la presión hidrostática de prueba.
4. Colocar los accesorios necesarios a fin de poder ubicar el manómetro para la lectura de la presión.
5. Colocar el manómetro de prueba, mismo que posee las siguientes especificaciones:

Tabla 10*Características Generales del Manómetro ASHCROFT*

Característica	Descripción
Marca	ASHCROFT
Modelo	45-1379-P-S-02-B-600#-XSD
Procedencia	Estados Unidos
Exactitud	± 0.25% del rango (ASME B40.100 Grado 3A)
Rango	0 - 600 [PSI]
Tamaño del Dial	$4\frac{1}{2}$ [in]

**Figura 25** Certificado de calibración.



Figura 26 Manómetro ASHCROFT.

6. Llenar completamente con agua el serpentín.
7. Colocar la línea de aire comprimido
8. Presurizar paulatinamente la línea hasta alcanzar la presión de prueba, para el cálculo de la presión de prueba hidrostática se utilizaron las fórmulas establecidas por la norma ASME SECCIÓN VIII, DIV I.

Donde:

P_H = Presión Hidrostática

P_O = Presión de Operación

$$P_H = 1.2 P_O$$

$$P_O = 90 [Psi]$$

$$P_H = 108 [Psi]$$

9. Retirar la línea de aire comprimido.
10. Dejar transcurrir 48 horas y registrar la lectura del manómetro.

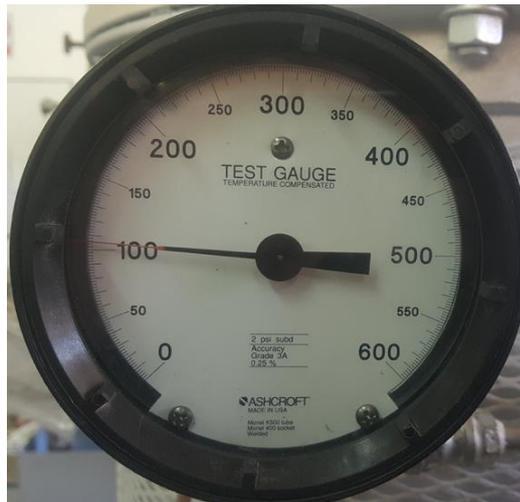


Figura 27 Presión de prueba.

11. Liberar la presión y el agua de la línea, abriendo paulatinamente la válvula de paso instalada debajo del manómetro.
12. Retirar el manómetro y los acoples utilizados.
13. Retirar las bridas ciegas.

Defectación

Se comprobó el estado de hermeticidad del serpentín mediante la prueba hidrostática con una presión de prueba de 110 [Psi] durante un lapso de 48 hrs, posterior a este tiempo la medición del manómetro registró 106 [Psi] es decir, la pérdida de presión fue de 3,6 % valor que es aceptable debido a que estas pérdidas pueden ocasionarse a la falta de hermeticidad que presentan los accesorios como acoples, llaves de paso, uniones roscadas, etc que fueron utilizadas durante la prueba.

Clasificación acorde a la defectación

- El serpentín está apto para su funcionamiento

Tipo de Mantenimiento Requerido

- Mantenimiento Preventivo

Proceso Tecnológico del Mantenimiento Preventivo

Luego de realizar un análisis en el mercado nacional se determinó que los materiales disponibles, que cumplen con las características técnicas requeridas y que cuentan con un costo accesible son:

- Empaques de Asbesto
- Empaques de Fibra Aramida y Grafito.

razón por la cual mediante el uso de una matriz de selección se escogerá la opción más adecuada, cabe destacar que se utilizará la escala indicada en la tabla 5.

Tabla 11

Matriz de Selección para los empaques de las bridas de conexión.

Factores	Ponderación	Asbesto	Fibra aramida y grafito
Características Técnicas	50 %	8.0	10.0
Disponibilidad en el mercado	30%	10	10.0
Costo	20%	8.0	7.0
Puntuación Total	100%	8.6	9.4

1. Reemplazar los empaques de las bridas de conexión.



Figura 28 *Empaque de las bridas de conexión.*

Tabla 12

Características Generales de los Empaques KLINGERSIL

Característica	Descripción
Marca	KLINGERSIL
Modelo	K-1000S GF
Composición	Fibra aramida y grafito aglutinado con caucho NBR, refuerzo de malla de acero y superficies con antiadherente a bases de grafito incorporado
Aplicaciones	Vapor, aceite térmico y gases a altas temperaturas.
Sellabilidad DIN 3535/4	1,7 $\left[\frac{mm}{min} \right]$

Fuente: (Tecnoval, 2016)

2. Montar las bridas de conexión.
3. Abrir la válvula de paso que permite la evacuación del fluido a la salida del serpentín.
4. Enviar aire a presión a través del serpentín con el objetivo de remover cualquier residuo de agua, realizando así una parada en seco del equipo.

REPORTE TÉCNICO DE MANTENIMIENTO No.03-00

Elemento Principal – Características Técnicas

Nombre: Chimenea del Supercalentador

Tabla 13

Características Generales de la Chimenea del Supercalentador

Característica	Descripción
Marca	BOLTONS SUPERHEATER & PIPEWORKS LTD.
Material	Acero Galvanizado
Diámetro Nominal	6 [in]

Función Desempeñada del Elemento Principal

Direccionar los gases producto de la combustión hacia el medio ambiente.

Descripción Física del Elemento Primario

El ducto de escape o chimenea es una estructura generalmente circular o cuadrada que permite la circulación de los gases producto de la combustión hacia un medio externo, principalmente se los fabrica de acero inoxidable debido a las propiedades mecánicas de este material, pero debido a los altos costos que representa su fabricación se opta por alternativas como el acero galvanizado.

Proceso Tecnológico de la Defectación

1. Desmontar los pernos de sujeción de la brida que conecta la chimenea al cuerpo del supercalentador.
2. Retirar el ducto.
3. Realizar la limpieza de la chimenea.
4. Realizar una inspección visual.

Defectación

Luego del análisis correspondiente se pudo establecer que:

- El ducto presenta rupturas y agrietamientos a lo largo de su estructura, principalmente en las uniones y el codo.



Figura 29 Ducto para gases de combustión

- La empaquetadura de la brida requiere ser reemplazada

Clasificación acorde a la defectación

- La chimenea requiere ser restaurada.

Tipo de Mantenimiento Requerido

- Mantenimiento Correctivo

Proceso Tecnológico del Mantenimiento Correctivo.

1. Realizar una limpieza profunda utilizando agua y lija abrasiva No.400 con el fin de retirar cualquier residuo de hollín.
2. Secar completamente toda la superficie.
3. Soldar con estaño todas las rupturas.



Figura 30 Soldadura del ducto

4. Pintar la chimenea



Figura 31 Pintura del ducto.

5. Reemplazar la empaquetadura (Las características de la empaquetadura se muestran en la tabla 12)



Figura 32 Empaque del ducto.

REPORTE TÉCNICO DE MANTENIMIENTO No.04-00

Elemento Principal – Características Técnica

Nombre: Quemador de Pulverización Mecánica por Presión Directa.

Tabla 14

Características Generales del Quemador DUNPHY

Característica	Descripción
Marca	DUNPHY
Tipo	SB-2
Serie	7929
Combustible	Diésel
Fecha de Fabricación	Marzo de 1980

Función Desempeñada por el Quemador

El quemador tiene como función principal llevar a cabo la combustión, es decir deben contener los tres elementos necesarios para que este proceso pueda suceder por lo tanto deben lograr la mezcla aire-combustible y además proporcionar la energía de activación.

Descripción Física del Quemador

El quemador DUNPHY SB-2 funciona bajo el principio de pulverización mecánica por presión, a continuación, en la figura 33 se presenta un esquema donde se detallan cada uno de sus componentes principales.

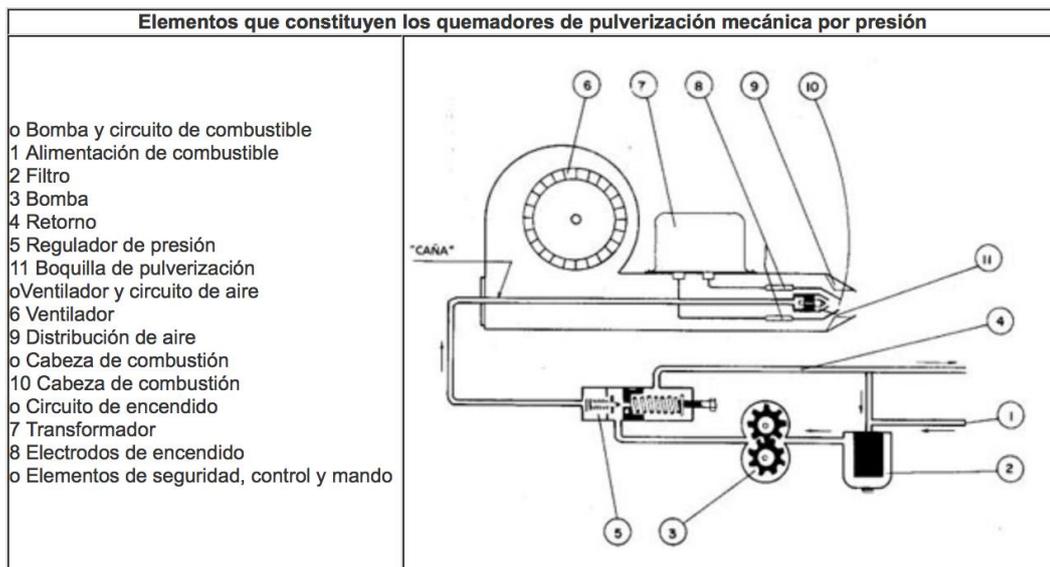


Figura 33 Elementos de un quemador de Pulverización Mecánica por Presión.
Fuente: (Dirind, 2015)

REPORTE TÉCNICO DE MANTENIMIENTO No.04-01

Elemento – Características Técnicas

Nombre: Fotocelda de detección de llama.

Tabla 15

Características Generales de la fotocelda Beckett 7006U

Característica	Descripción
Marca	Beckett
Modelo	7006U
Serie	C554A1687
Procedencia	Estados Unidos

Función Desempeñada del Elemento

La celda de sulfuro de cadmio forma parte del sistema de encendido del quemador y su función es detectar la presencia o ausencia de la llama en el quemador.

Descripción Física del Elemento

La celda de cad en la oscuridad tiene una resistencia muy alta al flujo de corriente eléctrica. Sin embargo, en presencia de luz visible, tiene una resistencia muy baja. Para un quemador correctamente ajustado, durante la operación, la resistencia de la celda cad debe ser de aproximadamente 300-1000 ohmios, pero no más de 1600 ohmios.

Proceso Tecnológico de la Defectación

1. Desmontar el supercalentador de la estructura de la cámara de combustión
2. Realizar el desmontaje de la tapa superior del quemador.
3. Retirar la Fotocelda
4. Realizar una inspección visual

5. Realizar mediciones de resistencia eléctrica con un multímetro, el equipo utilizado durante este procedimiento posee las siguientes características.

Tabla 16

Características Generales del Multímetro Master Tools DT-9208A

Característica	Descripción
Marca	Master Tools
Modelo	DT-9208A
Procedencia	México
Exactitud	$\pm 0.8\%$ de rgd ± 2 Dígitos
Rango	200 Ω – 200 M Ω

Fuente: (Master, 2017)



Figura 34 Mediciones de resistencia.

6. Registrar los datos obtenidos

Tabla 17

Datos obtenidos de la medición de resistencia en la fotocelda Becket 7006U

Parámetro de Control	Rango Utilizado	Medición [Ω]
Presencia de Luz	0-2k Ω	0,000
Ausencia de Luz	0-2k Ω	0,000

Defectación

Luego del análisis correspondiente se pudo establecer que:

- El vidrio protector de la fotocelda se encuentra roto.
- El valor de la resistencia eléctrica no presenta variación frente a la presencia o ausencia de luz lo cual indica un daño en el circuito electrónico interno.

Clasificación acorde a la defectación

- La fotocelda requiere ser reemplazada.

Tipo de Mantenimiento Requerido

- Mantenimiento Correctivo.

Proceso Tecnológico del Mantenimiento Correctivo.

Luego de realizar un análisis en el mercado nacional se determinó que las celdas de cadmio disponibles, que cumplen con las características técnicas requeridas y que cuentan con un costo accesible son:

- Celda Cad marca Westwood
- Celda Cad marca Beckett

razón por la cual mediante el uso de una matriz de selección se escogerá la opción más adecuada, cabe destacar que se utilizará la escala indicada en la tabla 5.

Tabla 18

Matriz de Selección para la celda Cad

Factores	Ponderación	Celda Cad marca: Westwood	Celda Cad marca: Beckett
Características Técnicas	50 %	10.0	10.0
Disponibilidad en el mercado	30%	10.0	8.0
Costo	20%	9.0	10.0
Puntuación Total	100%	9.8	9.4

1. Adquirir y reemplazar la celda cad marca Westwood misma que posee características iguales o similares a la instalada originalmente por el fabricante.

Tabla 19

Características Generales de la Celda CAD Westwood.

Característica	Descripción
Marca	Westwood
Serie	E80-1
Bracket	Tipo S

2. Ubicar la celda cad sobre la tapa superior del quemador, verificando que la posición permita la correcta detección de la llama.

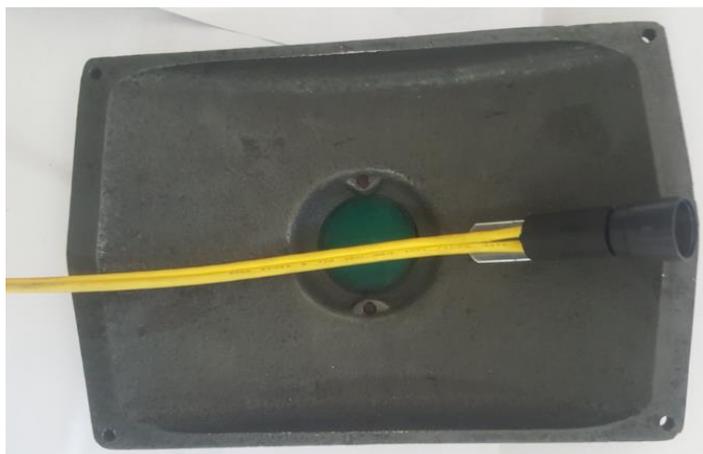


Figura 35 Ubicación de la fotocelda

REPORTE TÉCNICO DE MANTENIMIENTO No.04-02

Elemento – Características Técnicas

Nombre: Electroodos de ignición

Tabla 20

Características Generales de los Electroodos de Ignición.

Característica	Descripción
Marca	KROMSCHOEDER
Dimensiones	10" x 9/16" x 1/8"
Serie	Kantal A1

Función Desempeñada del Elemento

Recibir la corriente proveniente del transformador y generar el arco eléctrico para permitir el encendido de la mezcla de aire y combustible

Descripción Física del Elemento

Los electroodos de ignición son varillas de níquel de 2 mm de diámetro recubiertas en una envoltura de cerámica aislada.

Proceso Tecnológico de la Defectación

1. Realizar el desmontaje de la estructura de soporte de los electroodos de ignición.
2. Realizar una inspección visual.



Figura 36 Electrodo de Ignición.



Figura 37 Recubrimiento de los Electrodo

3. Realizar la defectación correspondiente.

Defectación

Luego del análisis correspondiente se pudo establecer que:

- Los electrodos de ignición presentan desgaste excesivo debido al tiempo de uso.
- La cerámica que recubre a los electrodos presenta agrietamientos profundos y hollín en su periferia.

Clasificación acorde a la defectación.

- Los electrodos requieren ser reemplazados.

Tipo de Mantenimiento Requerido

- Mantenimiento Correctivo.

Proceso Tecnológico del Mantenimiento Correctivo.

1. Reemplazar los electrodos por otros de características iguales o similares a los instalados originalmente por el fabricante.

Nota: Los electrodos fueron reemplazados por unos de las mismas características que los instalados originalmente debido a su disponibilidad en el mercado y sus características se detallan en la tabla 20.

2. Realizar la calibración de los electrodos en base a catálogos del fabricante.

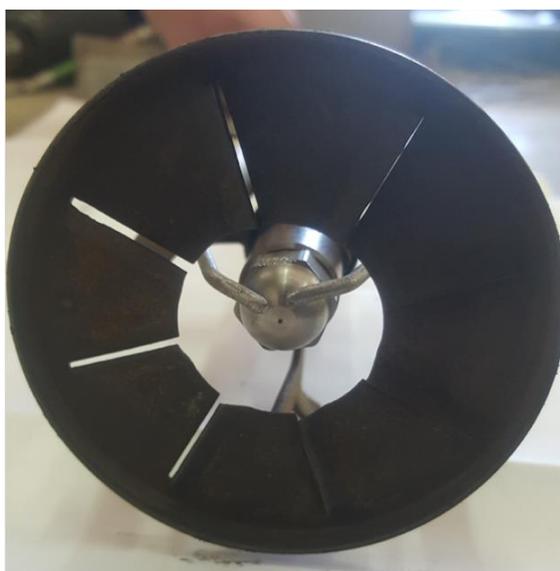


Figura 38 Electrodos reemplazados.

REPORTE TÉCNICO DE MANTENIMIENTO No.04-03

Elemento – Características Técnicas

Nombre: Bomba de Combustible

Tabla 21

Características Generales de la bomba de Combustible DANFOSS

Característica	Descripción
Marca	DANFOSS
Modelo	RSA 40
Serie	070 L 3240
Capacidad	75
Rango de Presión	5,5 – 21 [bar]
Ajuste de Fábrica	7±1 [bar]
Presión Máxima. Aspiración/Retorno	4 [bar]
Velocidad. Rev/min	1400 – 3450 [min^{-1}]
Par máximo	0,22 Nm

Fuente: (Heating danfoss, 2016)**

Función Desempeñada del Elemento.

Elevar la presión del combustible para que pueda ser pulverizado por la boquilla.

Descripción Física del Elemento.

El combustible se envía desde la entrada a través del filtro al juego de engranajes donde aumenta la presión. La presión se mantiene constante al valor ajustado con el tornillo de ajuste por medio del pistón y el muelle del regulador de presión. (Heating danfoss, 2016)

Capacidad de la boquilla

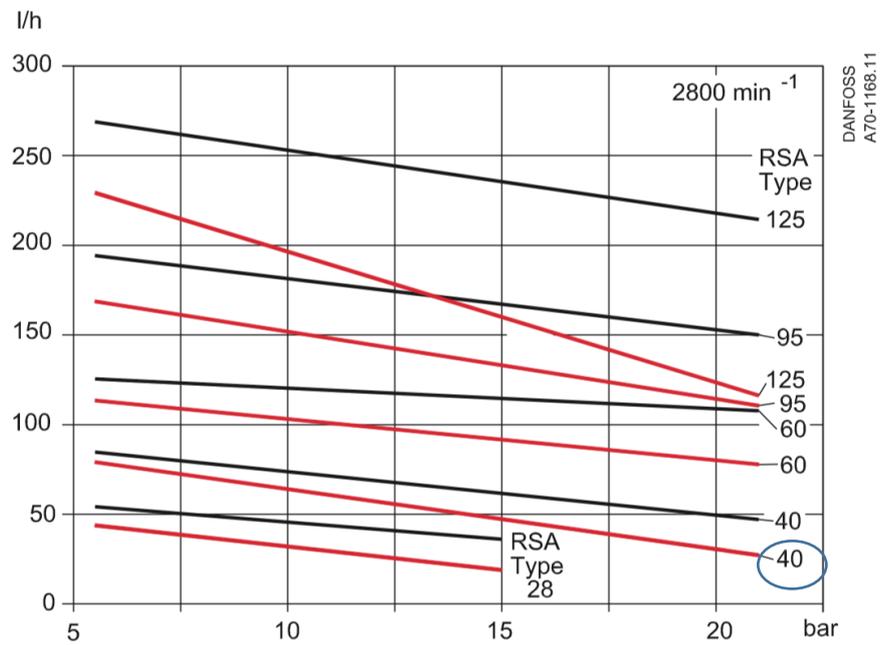


Figura 39 Capacidad de la boquilla.

Fuente: (Heating danfoss, 2016)

Proceso Tecnológico de la Defectación

1. Realizar el desmontaje de la bomba.



Figura 40 Acople de la bomba.

2. Retirar el acople bomba - ventilador
3. Abrir la tapa posterior de la carcasa.

4. Realizar el desmontaje de los componentes mecánicos.



Figura 41 Componentes de la bomba.

5. Realizar la limpieza de todo el conjunto, haciendo uso de gasolina a fin de remover cualquier rastro de suciedad y/o grasa.



Figura 42 Limpieza del conjunto.

6. Armar el sistema mecánico.
7. Colocar los accesorios necesarios (tuberías, filtro, reservorio de combustible, etc) a fin de poder llevar a cabo la prueba de presión de descarga de la bomba.

8. Colocar el manómetro de prueba, mismo que posee las siguientes especificaciones indicadas en la tabla 10.
9. Registrar los datos obtenidos.

Tabla 22*Presión de descarga de la bomba de Combustible*

Prueba [No]	Presión de Descarga [psi]
1	108
2	112
3	110
4	120
5	112

Defectación

- Posterior a la limpieza y revisión de los componentes mecánicos se pudo determinar que la bomba de engranes se encuentra en buen estado.
- El acople bomba ventilador se encuentra en buen estado.
- En la prueba de presión se determinó que la bomba entrega en promedio a la descarga 112,40 [Psi] con lo cual se encuentra dentro de los rangos de ajuste de fábrica [7 ± 1 bar] [$101,53 \pm 14,50$ Psi].

Clasificación acorde a la defectación

- La bomba de combustible se encuentra apta para su funcionamiento.

Tipo de Mantenimiento Realizado

- Preventivo.

REPORTE TÉCNICO DE MANTENIMIENTO No.04-04

Equipo – Características Técnicas

Nombre: Motor Eléctrico

Tabla 23

Características del motor eléctrico Brook Crompton.

Característica	Descripción
Marca	Brook Crompton
Modelo	ED71BD
Serie	504783R

Función Desempeñada

Convertir la energía eléctrica en energía mecánica, permitiendo de esta manera accionar elementos como: bomba de combustible y rodete del ventilador.

Descripción Física

Motor eléctrico Monofásico con voltaje de alimentación de 24 voltios, frecuencia de trabajo de 60 [Hz] y alcanza una velocidad máxima de $3400 \left[\frac{rev}{min} \right]$.

Proceso Tecnológico de la Defectación

1. Realizar el desmontaje del Motor
2. Realizar el desmontaje de los componentes mecánicos y eléctricos.



Figura 43 Elementos para limpieza.

3. Revisar el estado de los dos rodamientos localizados sobre el eje del rotor.
4. Revisar el estado del barniz de los bobinados.
5. Revisar el estado de los contactos del interruptor centrifugo.



Figura 44 Contactos del Interruptor Centrifugo.

6. Revisar el estado físico de los cables eléctricos, así como también el de sus terminales.

Defectación

Luego de haber realizado el análisis respectivo se determinó que ciertos elementos del motor necesitan ser restaurados y/o reemplazados según sea el caso, por ejemplo:

- Los rodamientos que permiten que el rotor del motor gire libremente presentan juego excesivo lo que genera vibraciones, por lo tanto, tienen que ser reemplazados.
- Los contactos del centrifugo presentan carbonilla.

Clasificación acorde a la defectación

- El equipo contiene elementos que requieren ser restaurados y/o reemplazados.

Tipo de Mantenimiento Requerido

- Mantenimiento Correctivo.

Proceso Tecnológico del Mantenimiento Correctivo.

1. Realizar una limpieza general de los elementos mecánicos del sistema.
2. Proceder a eliminar la carbonilla de los contactos utilizando una lija No. 400.
3. Extraer los rodamientos defectuosos NSK 6202.

Luego de realizar un análisis en el mercado nacional se determinó que los rodamientos 6202 disponibles, que cumplen con las características técnicas requeridas y que cuentan con un costo accesible son:

- Rodamientos marca NSK
- Rodamientos marca SKF

razón por la cual mediante el uso de una matriz de selección se escogerá la opción más adecuada, cabe destacar que se utilizará la escala indicada en la tabla 5.

Tabla 24*Matriz de Selección para los rodamientos 6202*

Factores	Ponderación	Rodamiento 6202 marca: NSK	Rodamiento 6202 marca: SKF
Características Técnicas	50 %	10.0	9.0
Disponibilidad en el mercado	30%	10.0	10.0
Costo	20%	8.0	9.0
Puntuación Total	100%	9.6	9.3

4. Adquirir y reemplazar los rodamientos 6202 marca NSK

Tabla 25*Elementos reemplazados en el motor Eléctrico.*

Ítems	Marca	No. de Referencia	Tipo
2	NSK	6202	Ranura Profunda

Tabla 26*Características Técnicas del Rodamiento NSK 6202*

Atributo	Valor
Diámetro de Entrada	15 [mm]
Diámetro de Salida	35 [mm]
Tipo de Rodamiento de Bola	Ranura Profunda
Anchura del Anillo	11 [mm]
Tipo de Extremo	Abierto
Número de Filas	1
Valor Nominal de Carga Estática	3,75
Material	Acero
Tipo de Anillo	Plano
Valor Nominal de Carga Dinámico	7,65 [kN]

Fuente: (Rs, 2017)

5. Colocar grasa sobre los rodamientos.



Figura 45 Rodamientos NSK 6202.

6. Ensamblar todos los elementos mecánicos y eléctricos del motor.



Figura 46 Motor Eléctrico

REPORTE TÉCNICO DE MANTENIMIENTO No.04-05

Luego del mantenimiento realizado a las partes más críticas del quemador, se procede a llevar a cabo un análisis menos exhaustivo de los componentes secundarios debido a su bajo grado de complejidad en los daños presentados.

En la Tabla 27 se detalla las características del elemento, su defectación y las acciones de mantenimiento realizadas

Tabla 27

Características de los elementos

Elemento	Característica	Defectación	Acciones de Mantenimiento.
Carcaza o Caracol	Aleación de Aluminio	Existencia de Suciedad	Limpieza
Ventilador	Axial de Paletas	Existencia de Suciedad.	Limpieza Ver Figura 47
Transformador de Ignición	Salida de 10000 V	Operativo	Limpieza
Difusor de Aire	Hierro Fundido	Presenta suciedad	Limpieza
Electroválvula	110 V, paso reducido	Operativa Ver Figura 48	Ninguna
Capacitor	200-250 μF	Operativa	Limpieza de Contactos
Tobera de Atomización	Monarch 1.0 Gph 30° R	Obstruida Ver Figura 50	Cambio por una nueva

CONTINUA 

Filtro de la Tobera	Mess #200	Presenta suciedad excesiva	Cambio por una nueva Ver Figura 50
Controlador del Quemador	Tecnología Obsoleta	Tecnología Obsoleta Ver Figura 51	Cambio por un controlador nuevo.
Válvula de Seguridad	Apertura Total Instantánea	Operativa	Calibración a 120 [PSI]



Figura 47 Ventilador.



Figura 48 Electroválvula.



Figura 49 Tobera de atomización.



Figura 50 Filtro de tobera.



Figura 51 Controlador del Quemador Actual.

REPORTE TÉCNICO DE MANTENIMIENTO No.05-00

Equipo – Características Técnicas

Nombre: Cañerías de succión, descarga y retorno de la bomba de combustible.

Tabla 28

Características de las cañerías de combustible.

Característica	Descripción
Marca	Sin Identificación
Material	Cobre
Temple	Flexible
Diámetro Nominal	$\frac{1}{4}$ [in]

Función Desempeñada

Permitir la circulación del combustible.

Descripción Física del Elemento Secundario

Las tuberías flexibles de cobre son los productos más utilizados para el transporte en pequeñas distancias de combustibles líquido como el diésel, debido a las propiedades mecánicas que presentan este tipo de materiales especialmente su alta resistencia a la corrosión.

Proceso Tecnológico de la Defectación

1. Realizar el desmontaje de las tuberías de succión, descarga y retorno de combustible.
2. Realizar una inspección visual de todas las cañerías.
3. Realizar una prueba de hermeticidad, introduciendo agua o combustible dentro de la tubería a fin de identificar puntos de fuga.
4. Llevar a cabo la defectación correspondiente.

Defectación

Luego del análisis correspondiente se pudo establecer que:

- Las cañerías tanto de succión, descarga y retorno presentan rupturas que ocasionan el derrame de combustible.
- Las tuberías presentan doblados pronunciados que no permiten la circulación adecuada del combustible.



Figura 52 Tubería de combustible.

Clasificación acorde a la defectación

- Las tuberías necesitan ser reemplazadas

Tipo de Mantenimiento Requerido

- Mantenimiento Correctivo

Proceso Tecnológico del Mantenimiento Correctivo.

Luego de realizar un análisis en el mercado nacional se determinó que las cañerías de succión, descarga y retorno de combustible disponibles, que cumplen con las características técnicas requeridas y que cuentan con un costo accesible son:

- Tubería de Cobre
- Tubería de Acero Inoxidable

razón por la cual mediante el uso de una matriz de selección se escogerá la opción más adecuada, cabe destacar que se utilizará la escala indicada en la tabla 5.

Tabla 29

Matriz de Selección para las cañerías de combustible.

Factores	Ponderación	Tubería de Cobre	Tubería de Acero Inoxidable
Características Técnicas	50 %	8.0	10.0
Disponibilidad en el mercado	30%	10.0	8.0
Costo	20%	10.0	6.0
Puntuación Total	100%	9.0	8.6

1. Adquirir y reemplazar las cañerías de succión, descarga y retorno de combustible

Tabla 30

Características Generales de las Tuberías de Cobre utilizadas como repuesto.

Característica	Descripción
Material	Cobre
Temple	Flexible
Diámetro Externo	0,375 [in]
Diámetro Interno	0,351 [in]
Espesor de Pared	0,030 [in]

Fuente: (Nacobre, 2016)

REPORTE TÉCNICO DE MANTENIMIENTO No.06-00

Equipo – Características Técnicas

Nombre: Ladrillo Refractario.

Tabla 31

Características del ladrillo refractario.

Característica	Descripción
Marca	Sin Identificación
Espesor	85 mm
Coefficiente Térmico	$k = 0,47 - 1,05 \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right]$

Función Desempeñada

Establecer una barrera térmica al paso del calor entre la cámara interna del supercalentador y la chapa metálica.

Descripción Física

El ladrillo refractario es un material cerámico que resiste temperaturas por encima de los 1400 °C manteniendo sus propiedades mecánicas y presenta valores aislantes excepcionales, por lo cual es bastante utilizado en aplicaciones como hornos, calderas, recipientes de refinación, entre otros.

Proceso Tecnológico de la Defectación

1. Desmontar la tapa superior del supercalentador.

2. Realizar una inspección visual del ladrillo refractario en todo el cuerpo del supercalentador.



Figura 53 Ladrillo refractario.

3. Utilizar un baroscopio para realizar un análisis más profundo en lugares de difícil acceso, como la cámara de combustión.

Tabla 32

Características Generales del Baroscopio URREA

Característica	Descripción
Marca	URREA
Resolución	720 x 480 pixeles
Enfoque de Imagen	5x
Diámetro de la sonda	5 [mm]

Fuente: (Urrea, 2017)



Figura 54 Baroscópio URREA.

4. Realizar la defectación correspondiente.

Defectación

Luego del análisis correspondiente se pudo establecer que:

- El ladrillo refractario presenta hollín en su periferia.



Figura 55 Inspección del ladrillo refractario.

- No presenta agrietamientos profundos.

Clasificación acorde a la defectación

- El ladrillo refractario se encuentra en condiciones operativas.

Tipo de Mantenimiento Requerido

- Mantenimiento Preventivo.

Proceso Tecnológico del Mantenimiento

1. Realizar la limpieza de la superficie del ladrillo refractario.

REPORTE TÉCNICO DE MANTENIMIENTO No.07-00

Equipo – Características Técnicas

Nombre: Transductor de Presión

Tabla 33

Características del Transductor de Presión Diferencial

Característica	Descripción
Marca	Cambridge
Rango de Presión	0 – 16 [Bar]
Apreciación	0,5 [Bar]
Voltaje	110 Voltios
Frecuencia	50 [Hz]

Función Desempeñada

Medir la presión del vapor a la entrada y la salida del supercalentador.

Descripción Física

El transductor de presión recibe una señal física de temperatura y la transforma a una señal eléctrica en un rango de 4-20 [mA], misma que es enviada al control PID y posteriormente al quemador permitiendo que el mismo se encienda o se apague dependiendo el caso, este sistema es utilizado como elemento de seguridad para evitar accidentes por una mala operación del equipo.

Proceso Tecnológico de la Defectación

1. Desmontar el transductor de presión del supercalentador.
2. Realizar la defectación.

Defectación

Luego del análisis correspondiente se pudo establecer que:

- El supercalentador cuenta con un solo transductor de presión, y para medir alternadamente la presión de entrada y salida se utiliza un selector cuyos contactos se encuentran desgastados.
- El transductor de presión registra datos erróneos respecto a las mediciones reales.
- El instrumento cuenta con tecnología obsoleta.



Figura 56 Transductor de Presión

Clasificación acorde a la defectación

- El transductor de presión se encuentra obsoleto.

REPORTE TÉCNICO DE MANTENIMIENTO No.08-00

Equipo – Características Técnicas

Nombre: Transductor de Temperatura

Tabla 34

Características técnicas del transductor de temperatura.

Característica	Descripción
Marca	Cambridge
Serie	FC02214
Rango de Temperatura	0 – 350 °C
Apreciación	10 °C
Voltaje	110 voltios
Frecuencia	50 [Hz]

Función Desempeñada

Medir las diferentes temperaturas en el supercalentador entre las que se encuentran:

- Temperatura de entrada y salida del vapor
- Temperatura de los gases a la salida de la cámara de combustión
- Temperatura de los gases en la chimenea
- Temperatura del serpentín.

Proceso Tecnológico de la Defectación

1. Desmontar el transductor de temperatura.
2. Realizar la defectación.

Defectación

Luego del análisis correspondiente se pudo establecer que:

- El supercalentador cuenta con un solo transductor de temperatura, y para medir alternadamente las diferentes temperaturas se utiliza un selector cuyos contactos se encuentran desgastados.
- El transductor de temperatura registra datos erróneos respecto a las mediciones reales.
- El instrumento cuenta con tecnología obsoleta.

Clasificación acorde a la defectación

- El instrumento se encuentra obsoleto.



Figura 57 Instrumento de medición de temperatura

CAPÍTULO IV

MANTENIMIENTO DE V ESCALON E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS.

4.1. Implementación del sistema electrónico del control de llama.

El sistema de control de llama es un elemento importante dentro de la seguridad de todo quemador, debido a que es el encargado de recibir las señales provenientes de la fotocelda, controladores PID de presión, temperatura u otros a fin de permitir el encendido o apagado del equipo bajo ciertas condiciones establecidas por el diseñador.

Luego de realizar un análisis en el mercado nacional se determinó que los controladores de llama disponibles, que cumplen con las características técnicas requeridas y que cuentan con un costo accesible son:

- Controlador de llama marca HONEYWELL modelo R7284
- Controlador de llama marca BECKETT GeneSys modelo 7505

razón por la cual mediante el uso de una matriz de selección se escogerá la opción más adecuada, cabe destacar que se utilizará la escala indicada en la tabla 5.

Tabla 35

Matriz de Selección para el control de llama

Factores	Ponderación	HONEYWELL modelo R7284	BECKETT GeneSys modelo 7505
Características Técnicas	50 %	10.0	10.0
Disponibilidad en el mercado	30%	10.0	9.0
Costo	20%	9.0	10.0
Puntuación Total	100%	9.8	97.0

Se seleccionó el controlador marca HONEYWELL modelo R7284 debido a que cumple con las características técnicas requeridas y debido a la disponibilidad actual en el mercado.



Figura 58 Control Honeywell R784

El controlador antes mencionado presenta las siguientes características:

Tabla 36

Características del control Honeywell R7284

Característica	Descripción
Marca	Honeywell
Serie	R7284
Voltaje	120 [V] CA nominal
Amperaje	0,5 [A]
Frecuencia	60 [Hz]
Motor	10A
Válvula	1A
Bloqueo	0.5 s

Fuente: (Honeywell, 2016)

Es imprescindible conocer el código de colores de los componentes del controlador, para realizar una correcta conexión de los elementos asociados.

- Color Blanco: Neutro.
- Negro: Línea.
- Naranja: Motor.
- Azul o azul con bandas blancas: Encendedor.
- Violeta: Electro válvula.
- Rojo: límite.



Figura 59 Código de Colores del Controlador Honeywell R784

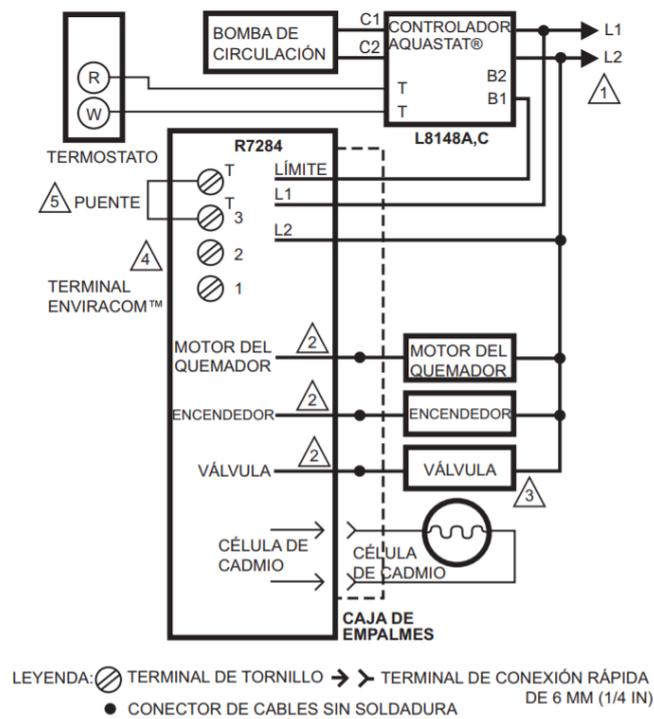


Figura 60 Esquema de conexión del control de llama.

Fuente: (Honeywell, 2016)

4.2. Diseño del sistema de adquisición de datos.

El supercalentador requiere la implementación de un sistema de adquisición de datos debido a que al ser un equipo con fines educativos se hace imprescindible la medición de los parámetros de presión y temperatura.

El supercalentador requiere el registro de 5 temperaturas y 2 presiones, variables que van a ser medidas mediante el uso de sensores.

Tabla 37
Sensores de temperatura.

Variable Susceptible de Medición	Variable Susceptible de Medición
Sensor 1	Temperatura de entrada del vapor al supercalentador
Sensor 2	Temperatura de Salida de vapor del supercalentador
Sensor 3	Temperatura de salida de gases producto de la combustión
Sensor 4	Temperatura de los gases a la salida de la cámara de combustión
Sensor 5	Temperatura de la Superficie del Intercambiador de Calor (Serpentín)

Tabla 38
Transductores de presión.

Transductores de Presión	Variable Susceptible de Medición
Sensor 6	Presión de entrada de vapor al supercalentador
Sensor 7	Presión de salida de vapor del supercalentador

4.2.1. Sensores de temperatura.

Para la selección de los sensores de temperatura debemos considerar el rango de temperaturas entre las cuales oscilan las diferentes variables.

Parámetros de temperatura:

- Temperatura de entrada del vapor al supercalentador: 172 °C
- Temperatura de salida del vapor del supercalentador: 226 °C

- Temperatura de salida de los gases producto de la combustión: 232 °C
- Temperatura de la Superficie del Intercambiador de Calor (Serpentín): 200 °C
- Temperatura de los gases a la salida de la cámara de combustión: 350 °C

Estos valores fueron obtenidos de los históricos que reposan en las hojas de datos de las prácticas de laboratorio realizadas en el periodo 2010-2011, cuando el equipo se encontraba operativo.

Para los sensores 4 y 5, los cuales soportan las temperaturas más elevadas, la mejor opción es un termopar tipo K, debido a que posee un amplio rango de medición como se muestra en la tabla 39.

Tabla 39
Clases de termopares.

Tipo	Aleación	Rango
K	Cromel/Alumel	-200 °C a +1372 °C
E	Cromel/Constantan	-200 °C a +900 °C
J	Hierro/Constantan	-270/+1200 °C
T	Cobre/Constantan	-200 y 260 °C
N	Niquel/Cromo/Silicio	-270 °C a +1300 °C
B	Platino 30%/Rodio	0 °C a +1820 °C
S	Platino 10%/Rodio	0 °C a +1300 °C

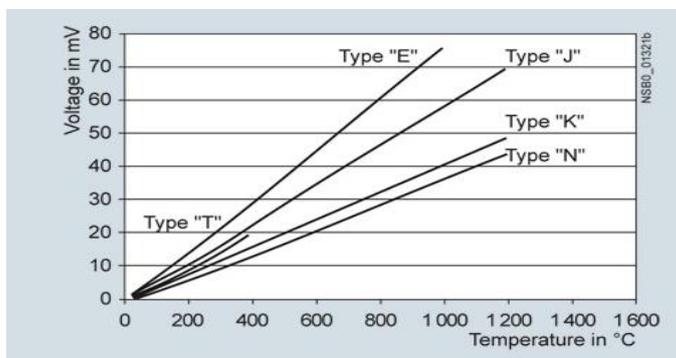


Figura 61 Curva característica de los termopares

Fuente: (Siemens, 2017)

Como se puede observar en la figura 61 el comportamiento de la termocupla tipo K, tiene una tendencia proporcional entre la temperatura y los milivoltios generados, permitiendo una medición más confiable.

Las principales características de la termocupla tipo K son:

- Buena resistencia a la oxidación.
- Disponibilidad en el mercado nacional.
- Bajo costo respecto a otros sensores de presión.
- Amplio rango de medición.

Además, presenta las siguientes características técnicas:

Tabla 40

Características técnicas del Termopar tipo K.

Característica	Descripción
Sensibilidad	41 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Límite de error	+/- 2,2 $^\circ\text{C}$ or +/- 0,75%

Fuente: (Weisz, 2015)

Para los sensores 1, 2 y 3, los cuales soportan un rango menor de temperatura, el sensor más adecuado será el PT100 marca MATLOW, debido a que presentan una mayor fiabilidad en los datos respecto a los termopares tipo K.

Cabe destacar que los sensores 1, 2 y 3 medirán las variables imprescindibles para el desarrollo de los cálculos del balance energético motivo por el cual una mayor fiabilidad de los datos obtenidos se hace imprescindible.



Figura 62 Sensor PT100

Fuente: (Siemens, 2017)

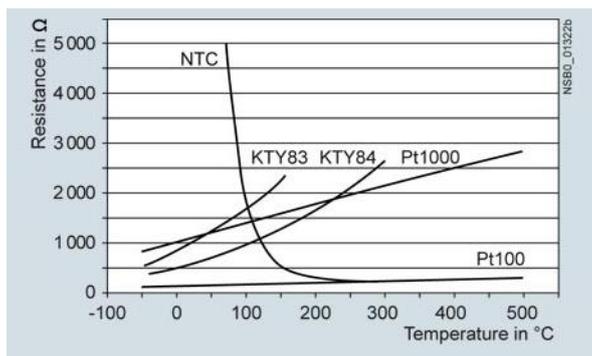


Figura 63 Curva característica del PT100

Fuente: (Siemens, 2017)

Las principales características del *PT100* son:

Tabla 41

Características del PT100

Característica	Descripción
Material	Platino
Conexión	3 Hilos
Rango	-200 a 850°C
Tolerancia de funcionamiento	+/-0,15°C

Fuente: (Siemens, 2017)

4.2.2. Sensores de presión.

El transductor de presión es un dispositivo electrónico que sensa la señal física y la convierte a una señal de corriente en el rango de 4-20 [mA], esta señal puede ser medida por diferentes tipos de controladores.

Parámetros de medición de la presión:

- Presión de entrada del vapor del supercalentador: [85 – 150] psi
- Presión de salida del vapor del supercalentador: [80 – 140] psi

Para la medición de estas variables se requiere dos sensores, los cuales se ubicarán a la entrada y a la salida del supercalentador como se lo especificó en la tabla 38.

Luego de realizar un análisis en el mercado nacional se determinó que los transductores de presión disponibles, que cumplen con las características técnicas requeridas y que cuentan con un costo accesible son:

- Transductor marca SENSYS modelo PTDH0300PEIA
- Transductor marca KAVLICO modelo P158-300A-C2A

razón por la cual mediante el uso de una matriz de selección se escogerá la opción más adecuada, cabe destacar que se utilizará la escala indicada en la tabla 5.

Tabla 42

Matriz de Selección para transductores de presión

Factores	Ponderación	SENSYS modelo PTDH0300PEIA	KAVLICO modelo P158-300A-C2A
Características Técnicas	50 %	10.0	10.0
Disponibilidad en el mercado	30%	10.0	9.0
Costo	20%	9.0	7.0
Puntuación Total	100%	9.8	9.1

Se seleccionó el transductor de presión marca SENSYS modelo PTDH0300PEIA debido a que cumple con las características técnicas requeridas y debido a la disponibilidad actual en el mercado.

Tabla 43

Características del transductor de presión Sensys.

Característica	Descripción
Marca	Sensys
Modelo	PTDH0300PEIA
Rango	0-300 PSI
Salida	4-20 mA
Precisión	±0.5%
Alimentación	11-28 VDC
Conexión	2 Hilos

Fuente: (Sensys, 2017)



Figura 64 Transductor de presión.

Fuente: (Sensys, 2017)

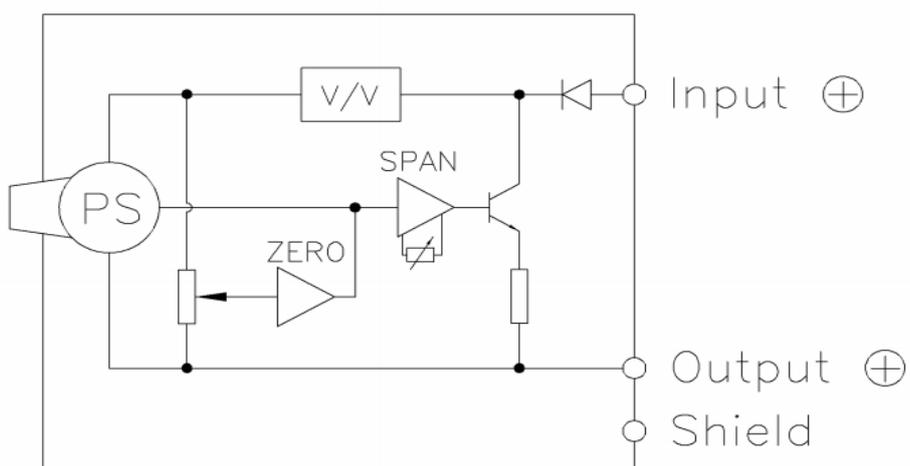


Figura 65 Esquema eléctrico del circuito del *transductor de presión Sensys*..

Fuente: (Sensys, 2017)

4.2.3. Selección del controlador de temperatura y presión.

Como parte esencial del sistema de adquisición de datos se encuentra la selección de los controladores PID de temperatura y presión, debido a que como se mencionó en el apartado 4.1 el control de llama recibe las señales provenientes de la fotocelda, controladores de presión, temperatura u otros a fin de permitir el encendido o apagado del equipo bajo ciertas condiciones establecidas por el diseñador.

4.2.3.1. Control de temperatura.

Se requieren 5 controladores de temperatura, cabe destacar que generalmente estos dispositivos permiten la visualización de los datos en tiempo real por parte del usuario, es decir traen implementado consigo una interfaz gráfica.

Por otra parte, es importante mencionar que el controlador del sensor 5 (Temperatura de la Superficie del Intercambiador de Calor (Serpentín)), será utilizado para enviar una señal que permita el apagado del quemador cuando la temperatura del mismo alcance los 180 °C y permitirá nuevamente su encendido cuando la temperatura haya descendido hasta 150 °C , a fin de evitar que el serpentín alcance temperaturas muy elevadas.

Luego de realizar un análisis en el mercado nacional se determinó que los controladores de temperatura disponibles, que cumplen con las características técnicas requeridas y que cuentan con un costo accesible son:

- Controlador PID marca TriHero modelo CH102
- Controlador PID marca MYPIN modelo TA4-SNR

razón por la cual mediante el uso de una matriz de selección se escogerá la opción más adecuada, cabe destacar que se utilizará la escala indicada en la tabla 5.

Tabla 44
Matriz de Selección para controladores de Temperatura

Factores	Ponderación	TriHero modelo CH102	MYPIN modelo TA4-SNR
Características Técnicas	50 %	10.0	10.0
Disponibilidad en el mercado	30%	10.0	10.0
Costo	20%	9.0	10.0
Puntuación Total	100%	9.8	10.0

El controlador de temperatura seleccionado es el MYPIN modelo TA4-SNR, principalmente podemos mencionar que este controlador admite la señal de entrada tanto de una termocupla como de un RTD.



Figura 66 Controlador de temperatura MYPIN.

Fuente: (Mypinchina, 2016)

El controlador de temperatura presenta las siguientes características:

Tabla 45

Características técnicas del controlador de temperatura MYPIN

Característica	Descripción
Marca	MYPIN
Modelo	TA4-SNR
Entrada	4-20 mA - 0-10 V
Salida	4-20 mA - 12 VDC
Rango	-199 a 600°C
Rango del display	-199 a 1800°C
Precisión	0.3%

Fuente: (Mypinchina, 2016)

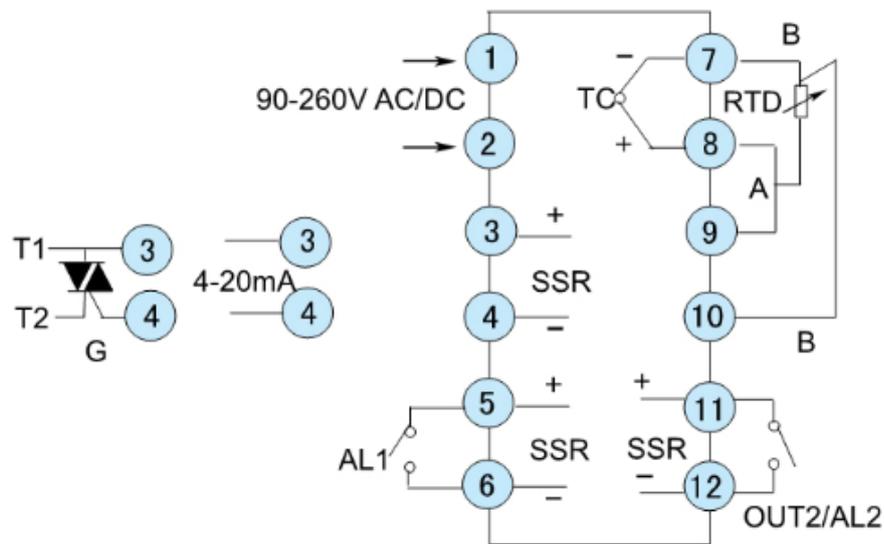


Figura 67 Diagrama de conexión del Controlador MYPIN.

Fuente: (Mypinchina, 2016)

4.2.3.2. Controlador de presión.

Se requieren 2 controladores PID, los cuales permitirán observar los datos de presión de entrada y salida en el supercalentador, y a su vez estos controladores serán conectados al control de llama.

Luego de realizar un análisis en el mercado nacional se determinó que los controladores PID disponibles, que cumplen con las características técnicas requeridas y que cuentan con un costo accesible son:

- Controlador PID marca TAIE modelo FU 72 -101
- Controlador PID marca AUTONICS modelo TZ4ST

razón por la cual mediante el uso de una matriz de selección se escogerá la opción más adecuada, cabe destacar que se utilizará la escala indicada en la tabla 5.

Tabla 46*Matriz de Selección para controladores de Presión*

Factores	Ponderación	TAIE modelo FU 72 -101	AUTONICS modelo TZ4ST
Características Técnicas	50 %	9.0	10.0
Disponibilidad en el mercado	30%	9.0	10.0
Costo	20%	9.0	6.0
Puntuación Total	100%	9.0	9.2

El control PID seleccionado es de marca AUTONICS modelo TZ4ST.

Por otra parte es importante mencionar que el controlador del sensor 6 (Presión de entrada de vapor al supercalentador), será utilizado para enviar una señal que permita el encendido del supercalentador cuando la presión del mismo sea mayor a 30 [Psi] , de esta manera se evita que el equipo opere cuando no exista flujo de vapor en la línea, mientras que el controlador del sensor 7 (Presión de salida de vapor del supercalentador) enviará una señal para que el quemador se apague cuando la presión sea igual a 110 [Psi] , garantizando el funcionamiento del supercalentador dentro de los rangos de presión previamente establecidos.



Figura 68 Controlador de presión Autonics TZ4ST.

Fuente: (Autonics, 2017)

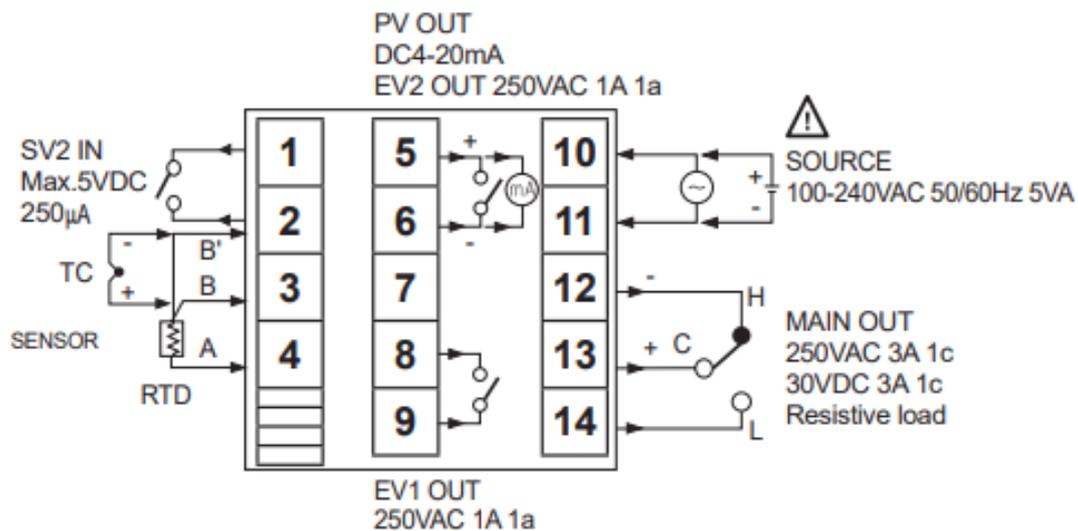


Figura 69 Diagrama de conexión del Controlador de presión Autonics TZ4ST

Fuente: (Autonics, 2017)

Tabla 47

Características del control de presión Autonics TZ4ST.

Característica	Descripción
Marca	Autonics
Modelo	TZ4ST.
Entrada	4-20 mA - 0-10 V
Salida	4-20 mA - 12 VDC
Método de control	P,PI,PD,PIDF
Precisión	0.3%

A continuación, se presenta un esquema de la ubicación de los diferentes sensores en el supercalentador.

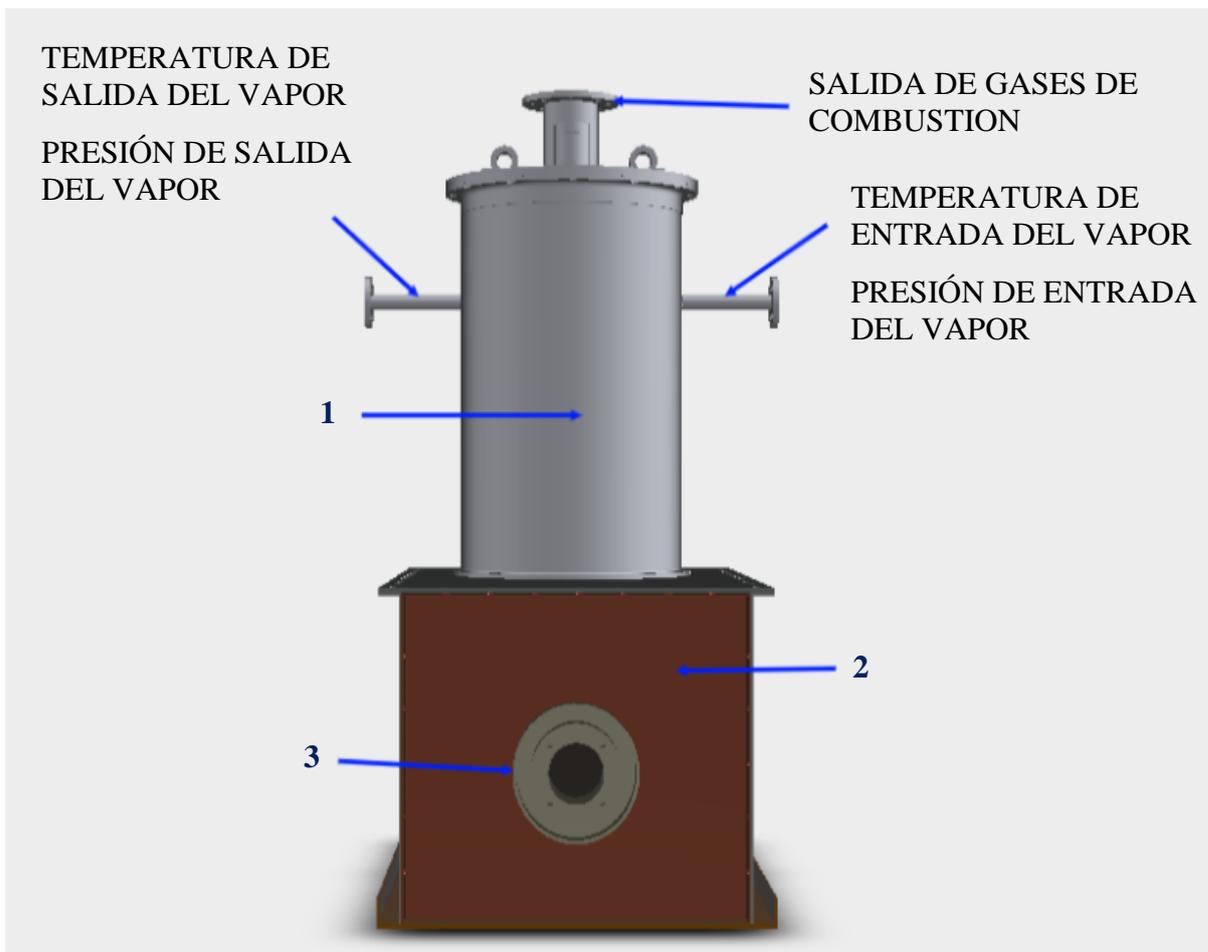


Figura 70 Ubicación de los sensores exteriores y partes del Supercalentador.

1. Cuerpo del supercalentador.
2. Entrada del quemador.
3. Cámara de combustión de diesel.

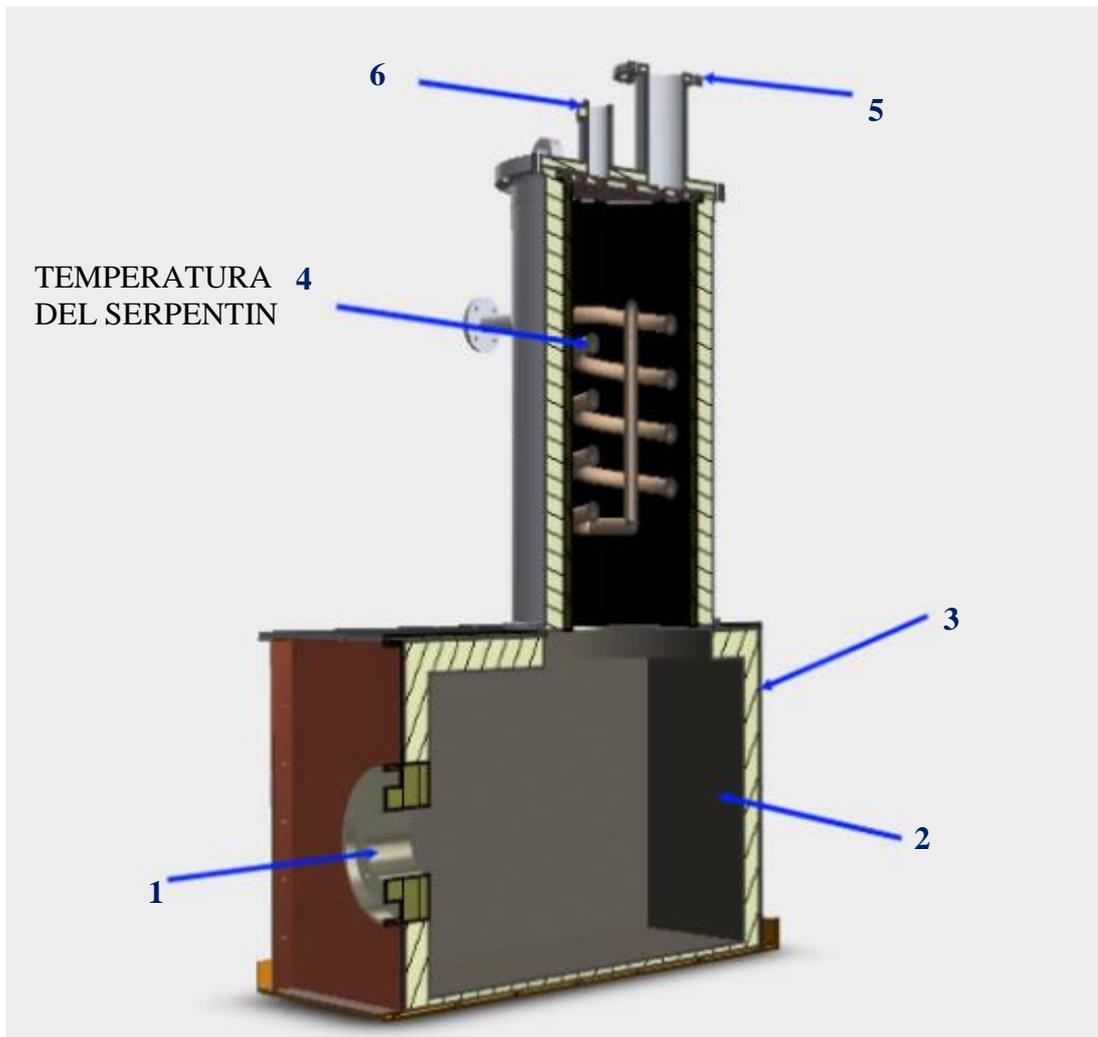


Figura 71 Ubicación de los sensores en el interiores y partes del Supercalentador.

1. Entrada del quemador.
2. Ladrillo refractario.
3. Cuerpo de la cámara de combustión.
4. Serpentín.
5. Chimenea de salida de gases.
6. Chimenea secundaria.

4.3. Diseño del sistema electrónico, de control y de adquisición de datos principal.

El diseño del sistema eléctrico, electrónico, de control y de adquisición de datos principal se lo realizó mediante el uso del software CadSym, considerando cada uno de los elementos presentes en el equipo, a continuación, se muestra el esquema de conexiones.

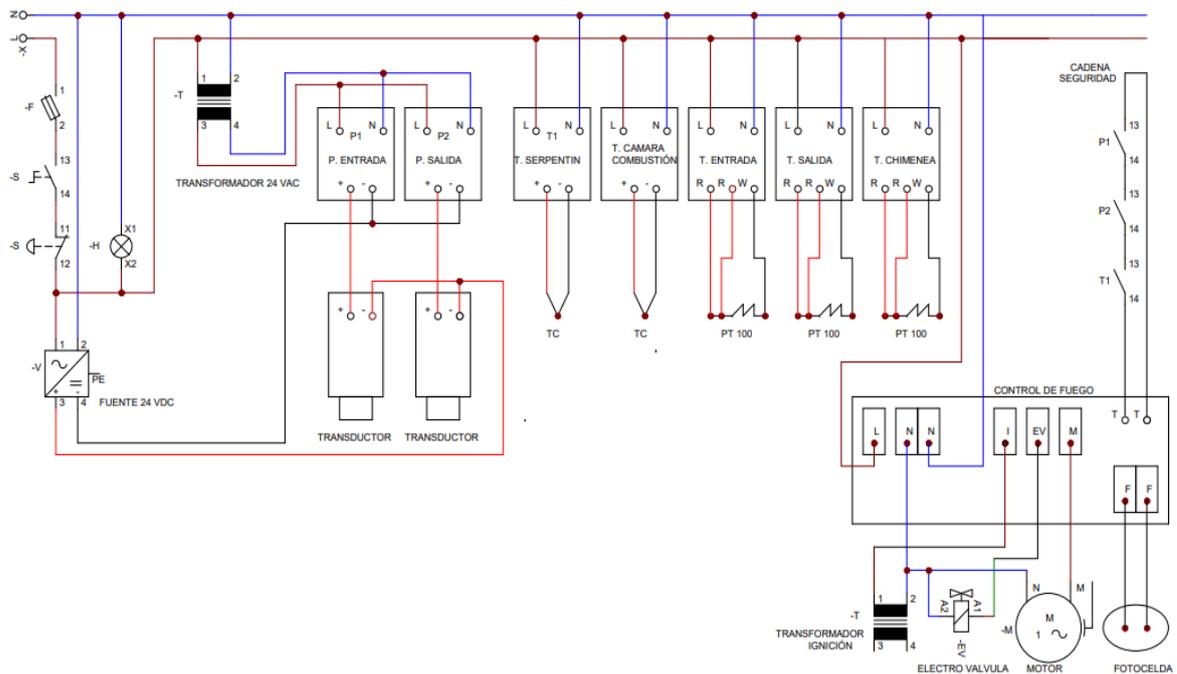


Figura 72 Esquema de Conexiones del sistema de Adquisición de Datos Principal.

Nota: El diagrama indicado en la Figura 72 se encuentra a disposición en el Anexo 1.

4.4. Implementación del sistema de adquisición de datos Secundario.

En el sistema de adquisición de datos secundario se utilizarán como recursos los softwares arduino y MatLab, los cuales nos permitirán la visualización de las gráficas en función del tiempo de:

- Temperatura de entrada del Vapor al Supercalentador

- Temperatura de Salida del Vapor del Supercalentador
- Presión de Entrada del Vapor al Supercalentador
- Presión de Salida del Vapor del Supercalentador.

Estos datos serán visualizados en un computador y de esta manera el usuario podrá analizar el comportamiento de las variables anteriormente mencionadas en función del tiempo.

Luego de realizar un análisis en el mercado nacional se determinó que los controladores disponibles, que cumplen con las características técnicas requeridas y que cuentan con un costo accesible son:

- Controlador marca Arduino modelo UNO
- Controlador marca Raspberry Pi modelo B

razón por la cual mediante el uso de una matriz de selección se escogerá la opción más adecuada, cabe destacar que se utilizará la escala indicada en la tabla 5.

Tabla 48

Matriz de Selección para el controlador (Arduino/Raspberry)

Factores	Ponderación	Arduino UNO	Raspberry Pi modelo B
Características Técnicas	50 %	9.0	10.0
Disponibilidad en el mercado	30%	10.0	9.0
Costo	20%	9.0	7.0
Puntuación Total	100%	9.3	9.1

El controlador seleccionado es el Arduino modelo "UNO" debido a que suple las necesidades requeridas.



Figura 73 Arduino UNO

Fuente: (Arduino, 2017)

Tabla 49

Características técnicas del Controlador arduino UNO.

Característica	Descripción
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de operación	5 V
Voltaje de entrada	7-12 V
Entradas Digitales	14
Entradas Análogas	6

Fuente: (Arduino, 2017)

4.4.1. Selección de los módulos para el acondicionamiento de señal.

El controlador Arduino es un dispositivo el cual recibe señales de entrada de voltaje y trabaja en un rango entre 0-5 [V], por este motivo es necesario tener módulos que permitan el acondicionamiento de señal, mismas que provienen de los sensores de presión y temperatura.

4.4.1.1. Selección del módulo para el acondicionamiento de señal del transductor de presión Sensys PTDH0300PEIA.

Como se mencionó anteriormente en la tabla 43, el transductor de presión Sensys PTDH0300PEIA tiene una señal de salida en un rango 4-20 mA, y el controlador Arduino UNO recibe solamente señal de 0 – 5 [Voltios] por este motivo se hace imprescindible la necesidad de utilizar un módulo de acondicionamiento de señal.

Luego de realizar un análisis en el mercado nacional se determinó que los módulos que cumplen con las características técnicas requeridas y que cuentan con un costo accesible son:

- Módulo LM YN compatible con controlador arduino.
- Módulo KNACRO compatible con controlador arduino.

razón por la cual mediante el uso de una matriz de selección se escogerá la opción más adecuada, cabe destacar que se utilizará la escala indicada en la tabla 5.

Tabla 50

Matriz de Selección módulos de acondicionamiento de señal [V]-[A]

Factores	Ponderación	Módulo KNACRO	Módulo LM YN
Características Técnicas	50 %	9.0	10.0
Disponibilidad en el mercado	30%	7.0	10.0
Costo	20%	9.0	7.0
Puntuación Total	100%	8.4	9.4

Se seleccionó el módulo de acondicionamiento de señal LM YN mismo que es compatible con controlador arduino.



Figura 74 Módulo de Acondicionamiento de Señal LM YN
Fuente: (Icstation, 2017)

El módulo de acondicionamiento de Señal de Corriente a Voltaje LM YN presenta las siguientes características.

Tabla 51

Características técnicas del Módulo LM YN.

Característica	Descripción
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de operación	5 V
Voltaje de entrada	7-12 V

Fuente: (Icstation, 2017)

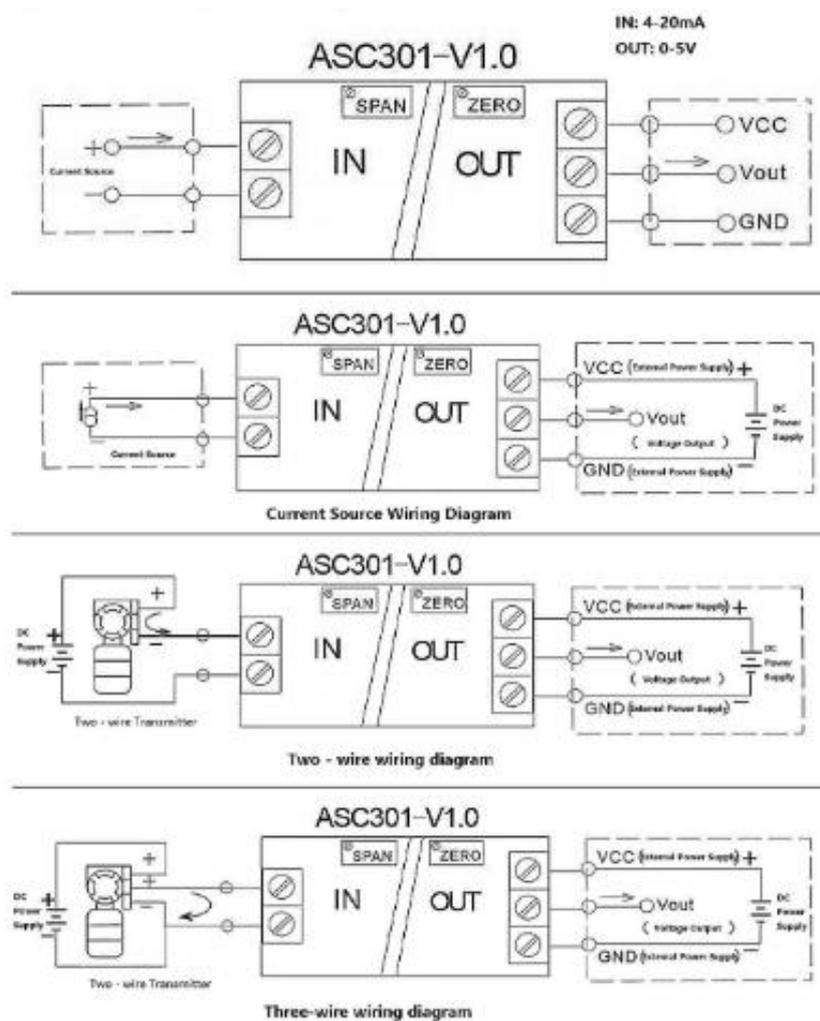


Figura 75 Esquema de conexión del módulo LM YN.

Fuente: (Icstation, 2017)

4.4.1.2. Selección del módulo para el acondicionamiento de señal de los sensores de temperatura.

Para los sensores de temperatura se necesitan 2 módulos de acondicionamiento de señal, debido a que las termocuplas generan voltajes muy pequeños por lo se requiere amplificar esta señal.

Cabe destacar que se adicionalmente a los 5 sensores de temperatura mencionados en la tabla 37 se instalaron 2 sensores de temperatura (termocuplas tipo K) con las mismas características mencionadas en la tabla 39, que cumplen las mismas funciones de los sensores 1 y 2 es decir realizar la medición de la temperatura de entrada del vapor al supercalentador y la medición de la temperatura de salida del vapor del supercalentador respectivamente.

Luego de realizar un análisis en el mercado nacional se determinó que los módulos que cumplen con las características técnicas requeridas y que cuentan con un costo accesible son:

- Módulo HiLetgo Max 6675 compatible con controlador arduino.
- Módulo SainSmart MAX6675 compatible con controlador arduino.

razón por la cual mediante el uso de una matriz de selección se escogerá la opción más adecuada, cabe destacar que se utilizará la escala indicada en la tabla 5.

Tabla 52

Matriz de Selección módulos de acondicionamiento de señal [mV] [V]

Factores	Ponderación	Módulo HiLetgo Max 6675.	Módulo SainSmart MAX6675
Características Técnicas	50 %	9.0	9.0
Disponibilidad en el mercado	30%	9.0	9.0
Costo	20%	9.0	8.0
Puntuación Total	100%	9.0	8.8

Se seleccionó el módulo de acondicionamiento de señal HILETGO Max 6675.

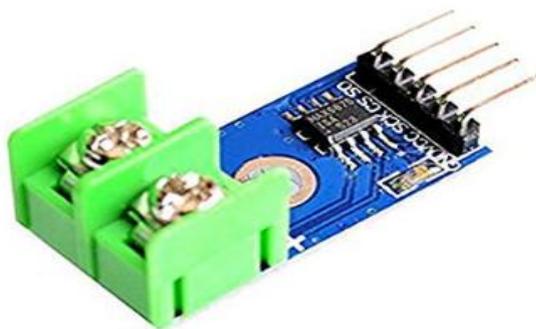


Figura 76 Módulo HiLetgo Max 6675.

Fuente: (Maximintegrated, 2017)

El módulo de acondicionamiento de señal de termocupla Tipo K presenta las siguientes características técnicas.

Tabla 53

Características técnicas del Módulo HiLetgo Max 6675.

Característica	Descripción
Rango de temperatura	0°C-1024°C
Rango de voltaje de operación	3.3- 5.5 V
Corriente de operación.	50 mA

Fuente: (Maximintegrated, 2017)

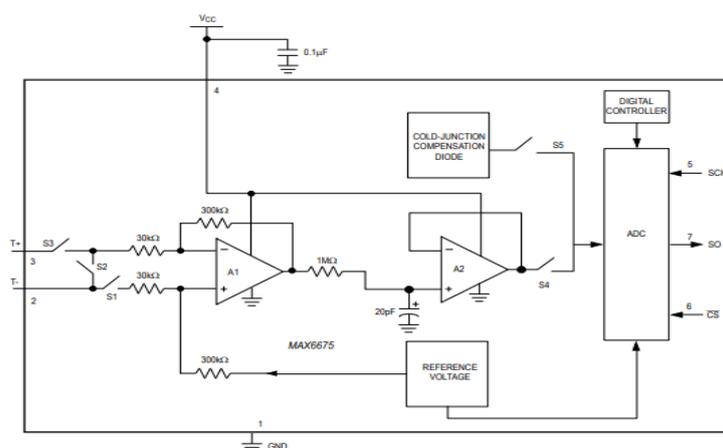


Figura 77 Esquema de Conexión Módulo HiLetgo

Fuente: (Maximintegrated, 2017)

4.4.1.3. Diseño del circuito electrónico.

Se realizó el diseño PCB de la placa debido a que nos permite conectar eléctricamente a través de las pistas conductoras, y sostener mecánicamente, por medio de la base, un conjunto de componentes electrónicos (Wikipedia, 2016).

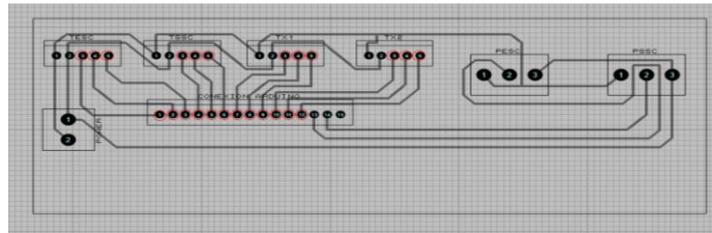


Figura 78 Diseño PCB de la placa

A continuación, se muestra el diagrama de conexiones del sistema de adquisición de datos secundario

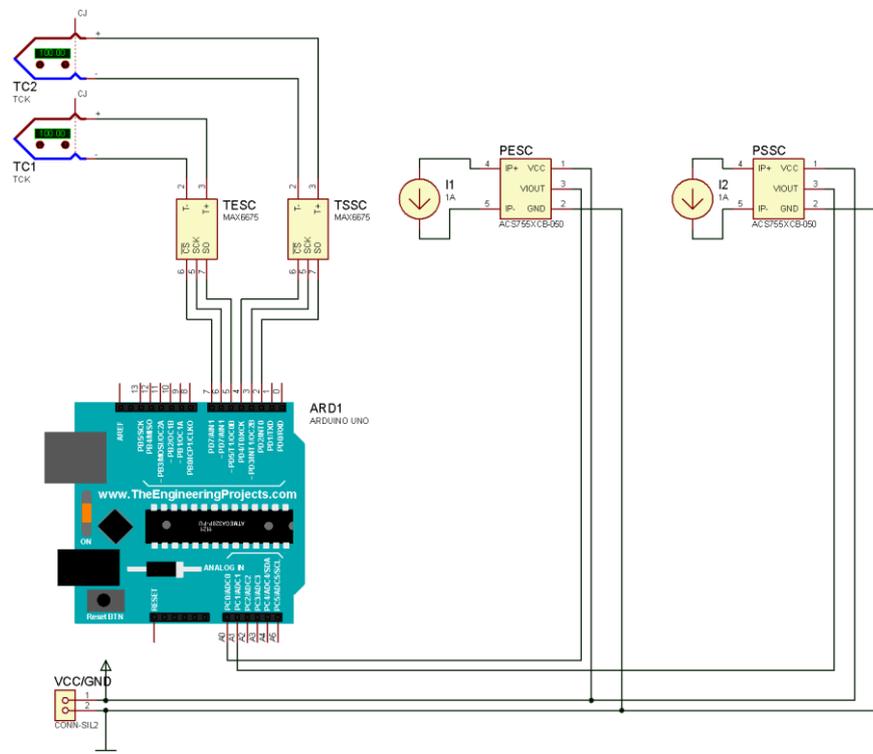


Figura 79 Diagrama de conexión sistema de adquisición de datos secundario

Nota: El diagrama indicado en la Figura 79 se encuentra a disposición en el Anexo 2.

CAPÍTULO V

MONTAJE DE LOS SISTEMAS, PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

5.1 Montaje de los sistemas.

Una vez concluido el mantenimiento de IV y V escalón, así como también el diseño del sistema de adquisición, se procede a realizar el montaje de los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos a fin de verificar la operatividad del equipo.

Sistemas Mecánicos:

- Quemador de Pulverización Mecánica por Presión Directa Dunphy.
- Sistema de evacuación de Gases (Chimenea).

Sistema Eléctrico:

- Cableado de alimentación de 110 [V] AC para energizar el quemador y el sistema de adquisición de datos principal.

Sistema Electrónico:

- Control Honeywell R784



Figura 80 Montaje del Control Honeywell R784

- Sistema de Adquisición de datos primario.



Figura 81 Conexión de controladores de presión y temperatura.



Figura 82 Panel de adquisición de datos.

- Sistema de Adquisición de datos secundario.

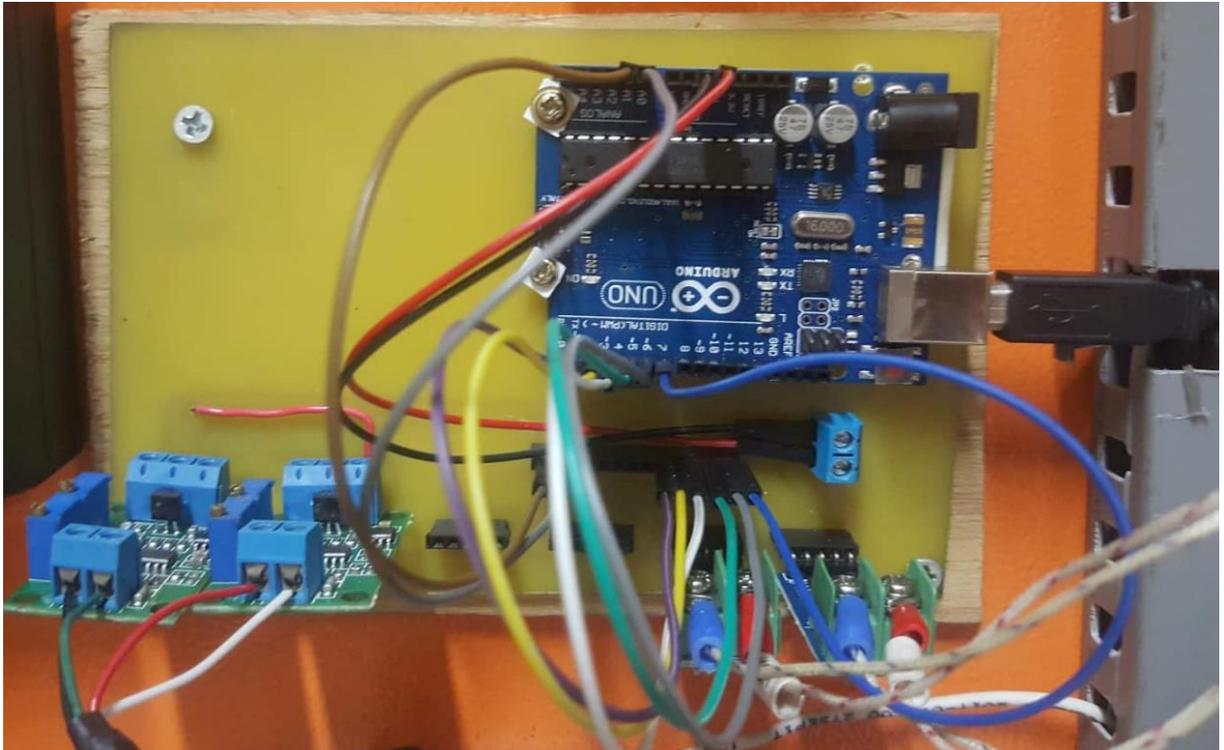


Figura 83. Sistema de adquisición de datos Secundario.

5.2 Pruebas de Funcionamiento.

En primer lugar, se verifica que todos los sistemas constitutivos del supercalentador se encuentren correctamente instalados para proceder a realizar las pruebas de funcionamiento del equipo.

Procedimiento.

1. Abrir las válvulas de paso de combustible para el quemador y el supercalentador.
2. Abrir las válvulas de paso de agua hacia el caldero York Shipley.

3. Verificar que el sistema de abastecimiento de agua del caldero York Shipley se encuentre encendido.
4. Energizar todos los sistemas eléctricos y electrónicos del caldero York Shipley y del supercalentador.
5. Verificar que el caldero York Shipley tenga un nivel de agua adecuado.
6. Cerrar todas las válvulas de paso de vapor del caldero, supercalentador y turbina se encuentre cerradas.
7. Encender el Caldero York Shipley.
8. Esperar hasta que el caldero alcance su presión de operación 90 Psi.
9. Abrir paulatinamente la válvula de paso de vapor desde el caldero al supercalentador, la misma se encuentra instalada en la parte superior del caldero York Shipley.
10. Abrir paulatinamente la válvula de paso de vapor instalada a la entrada del supercalentador.
11. Abrir paulatinamente la válvula de paso de desfogue instalada a la salida del supercalentador, esperar aproximadamente 3 minutos para eliminar cualquier residuo de condensado en la línea.
12. Cerrar paulatinamente la válvula de paso de desfogue instalada a la salida del supercalentador.
13. Abrir paulatinamente la válvula de paso de vapor hacia la turbina.
14. Encender el panel de adquisición de datos principal del supercalentador.
15. Encender el Supercalentador.
16. Conectar un computador al puerto USB disponible en el panel de adquisición de datos y ejecutar el programa Supercalentador.exe.



Figura 84 Ejecución del sistema de Adquisición de Datos Secundario

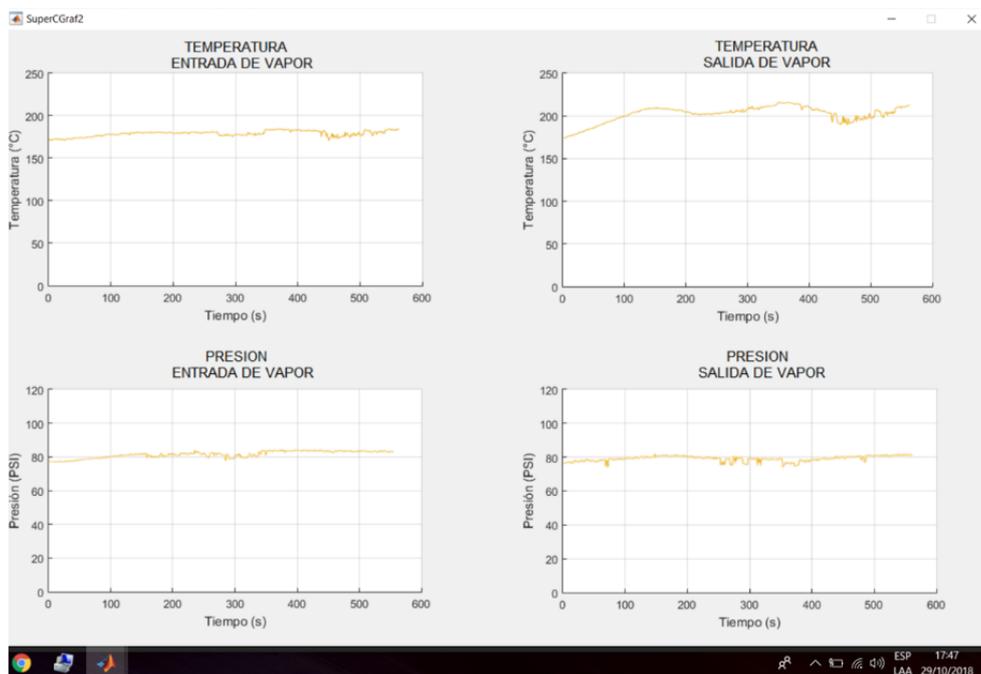


Figura 85 Interfaz Gráfica del sistema de adquisición de datos Secundario

Nota: La programación del sistema de adquisición de datos Secundario se encuentra disponible en el Anexo 3.

17. Realizar la verificación del correcto funcionamiento del supercalentador.

Tabla 54

Verificación del funcionamiento del Supercalentador.

Parámetro	Cumplimiento
Ninguna fuga de vapor en el sistema	SI
Ninguna fuga de combustible en la línea de abastecimiento	SI
Encendido del quemador bajo los parámetros de control establecidos.	SI
Apagado del quemador bajo los parámetros de control establecidos	SI
Operación del sistema de Adquisición de Datos Principal	SI
Operación del sistema de Adquisición de Datos Secundario	SI
Ninguna fuga en el sistema de extracción de gases	SI

Luego de realizar la verificación correspondiente del funcionamiento del Supercalentador se puede aseverar que el equipo se encuentra en condiciones operativas adecuadas.

18. Realizar la calibración de la mezcla aire combustible a fin de garantizar una combustión que se ajuste a los parámetros de emisión de gases contaminantes.

Para realizar la calibración de la mezcla aire combustible se utilizó un analizador de gases

Marca DELTAsmart que presenta las siguientes características:

Tabla 55

Características del Analizador de Gases DELTAsmart

Característica	Descripción
Marca	DELTAsmart
Versión	B
Voltaje	5 [V]
Amperaje	0,8 [A]
Protección	IP 30
Celdas Electro térmicas	CO_2 ; CO ; NO

Fuente: (MRU, 2015)



Figura 86. Calibración de la Mezcla Aire Combustible

Los resultados obtenidos posterior a la calibración de la mezcla aire combustible fueron:

Tabla 56

Parámetros de medición en la calibración de la mezcla aire - combustible.

Parámetro	Valor de Medición
Temperatura de gases	220.54
Temperatura ambiente	24 °C
CO	174 ppm
CO ₂	13.5%
O ₂	2.9%
Exceso de aire	16%

5.3 Análisis de Resultados.

5.3.1 Cálculo de la eficiencia de combustión del quemador.

Para realizar el análisis de la eficiencia de combustión del quemador DUNPHY, se utilizarán los datos registrados en la tabla 56.

El cálculo se lo realizará mediante el análisis de las pérdidas por combustión, las cuales son las siguientes:

- Pérdida por calor sensible en gases de combustión.
- Pérdida de calor por vapor de agua proveniente en la humedad del aire.
- Pérdidas por radiación.
- Pérdida de calor por combustión incompleta de carbono.
- Pérdida de calor en el vapor de agua proveniente del hidrogeno del combustible.

La fórmula de la eficiencia viene dada por:

$$\eta = \frac{Q_{\text{ABSORBIDO}}}{Q_{\text{TOTAL}}}$$

Pérdida por calor sensible en gases de combustión (Q_{gs}).

$$Q_{gs} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}_{\text{Diesel}}} \right] = m_{gs} \left[\frac{\text{kg}_{gs}}{\text{kg}_{\text{Diesel}}} \right] * Cp_{gs} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} \right] * (T_g - T_{ref}) [^{\circ}\text{C}]$$

Donde:

m_{gs} : Masa de los gases secos a la salida.

Cp_{gs} : Calor específico de los gases secos, teniendo en cuenta un valor aproximado de $0.24 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} \right]$.

T_g : Temperatura de los gases de combustión a la salida.

T_{ref} : Temperatura de aire a la entrada.

Para el cálculo del peso de los gases secos se utiliza la ecuación.

$$m_{gs} = C \left(\frac{4CO_2 + O_2 + 700}{3(CO_2 + CO)} \right)$$

Teniendo los siguientes datos:

$$CO: 174 \text{ ppm}$$

$$CO_2: 13.5\%$$

$$O_2: 2.9\%$$

y reemplazando estos datos tenemos:

$$m_{gs} = 0.85 \left(\frac{4 * 13.5 + 2.9 + 700}{3(13.5 + 0.174)} \right) = 15.68 \left[\frac{kg_{gs}}{kg_{Diesel}} \right]$$

$$Q_{gs} \left[\frac{kcal}{kg_{Diesel}} \right] = 15.68 \left[\frac{kg_{gs}}{kg_{Diesel}} \right] * 0.24 \left[\frac{kcal}{kg^{\circ}C} \right] * (220,54 - 24) [^{\circ}C]$$

$$Q_{gs} = 739.61 \left[\frac{kcal}{kg_{Diesel}} \right]$$

Pérdida de calor proveniente de la combustión del hidrogeno (Q_{H_2}).

$$Q_{H_2} \left[\frac{kcal}{kg_{Diesel}} \right] = 9 \left[\frac{kg_{H_2O}}{kg_{H_2}} \right] * (\%H_2) * \left(584 \left[\frac{kcal}{kg_{H_2O}} \right] + Cp_{H_2O}^{vapor} \left[\frac{kcal}{kg^{\circ}C} \right] * (T_g - T_{ref}) \right) [^{\circ}C]$$

Donde:

$\%H_2$: Contenido de hidrogeno en el combustible.

$Cp_{H_2O}^{vapor}$: Calor especifico del vapor.

$$Q_{H_2} \left[\frac{kcal}{kg_{Diesel}} \right] = 9 \left[\frac{kg_{H_2O}}{kg_{H_2}} \right] * (0.15) * \left(584 \left[\frac{kcal}{kg_{H_2O}} \right] + 0.45 \left[\frac{kcal}{kg^{°C}} \right] * (220,54 - 24) \right) [°C]$$

$$Q_{H_2} = 907,79 \left[\frac{kcal}{kg_{Diesel}} \right]$$

Pérdida de calor por combustión incompleta del carbono (Q_{CO}).

$$Q_{CO} \left[\frac{kcal}{kg_{Diesel}} \right] = C * \left(\frac{CO}{CO_2 + CO} \right) * 5.675 \left[\frac{kcal}{kg_{Carbono}} \right]$$

$$Q_{CO} \left[\frac{kcal}{kg_{Diesel}} \right] = 0.85 * \left(\frac{0.174}{13.5 + 0.174} \right) * 5689.6 \left[\frac{kcal}{kg_{Carbono}} \right]$$

$$Q_{CO} = 61.53 \left[\frac{kcal}{kg_{Diesel}} \right]$$

Pérdidas por radiación (Q_R)

$$Q_R = \alpha K_B A T^4$$

α : Coeficiente de la naturaleza del cuerpo.

K_B : Constante de Stefan-Boltzmann, la cual tiene un valor de $5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 k^4}$

A : Área de radiación. El área del supercalentador es de aproximadamente $5,61 m^2$.

T : Temperatura del cuerpo, en este caso será por normativa un máximo de $333,15 K$

$$Q_R = 0.8 \left(5.67 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 k^4} \right] \right) (5,2 m^2) (333.15 k)^4$$

$$Q_R = 2905,59 [W]$$

El consumo de combustible del quemador es de

$$C_C = 3,02 \left[\frac{kg}{h} \right] (\text{Valor obtenido en la práctica realizada.})$$

Donde

$$Q_R = 827,22 \left[\frac{Kcal}{Kgcomb} \right]$$

Pérdida de calor por vapor de agua proveniente en la humedad del aire (Q_{H2O}^{aire}).

$$Q_{H2O}^{aire} \left[\frac{kcal}{kgDiesel} \right] = m_{as} \left[\frac{kg_{aire\ seco}}{kgDiesel} \right] * H_{aire} \left[\frac{kg_{H2O}}{kg_{Aire\ seco}} \right] * Cp_{H2O}^{vapor} \left[\frac{kcal}{kg^{\circ}C} \right] * (T_g - T_{ref}) [^{\circ}C]$$

Donde:

m_{as} : Masa de aire seco.

H_{aire} : Contenido de humedad en el aire.

Para el cálculo de la masa de aire seco ocuparemos la siguiente ecuación.

Donde:

$$m_{as} \left[\frac{kg_{aire\ seco}}{kgDiesel} \right] = (A/C)st \left[\frac{kg_{aire\ seco}}{kgDiesel} \right] * (1 + e)$$

e: Exceso de aire, el cual es de 16%

Aire estequiométrico, el cual tiene un valor aproximado de $14.35 \left[\frac{kg_{aire\ seco}}{kgDiesel} \right]$.

$$m_{as} = 16.64 \left[\frac{kg_{aire\ seco}}{kgDiesel} \right]$$

El contenido de humedad en el aire se determina mediante el uso de un diagrama psicométrico del aire a una temperatura de 24 °C y una humedad relativa del 60 %.

$$H_{aire} = 0.011 \left[\frac{kg_{H2O}}{kg_{Aire\ seco}} \right]$$

$$Q_{H_2O}^{aire} \left[\frac{kcal}{kg_{Diesel}} \right] = 16.64 \left[\frac{kg_{aire\ seco}}{kg_{Diesel}} \right] * 0.011 \left[\frac{kg_{H_2O}}{kg_{Aire\ seco}} \right] * 0.45 \left[\frac{kcal}{kg^{\circ}C} \right] * (220,54 - 24)[^{\circ}C]$$

$$Q_{H_2O}^{aire} = 16,18 \left[\frac{kcal}{kg_{Diesel}} \right]$$

Cálculo de la eficiencia de combustión.

Para el cálculo de la eficiencia de combustión debemos considerar el poder calorífico del diésel el cual es $10340 \left[\frac{Kcal}{kg} \right]$, con este dato y la sumatoria total de las pérdidas la cual es $2552,33 \left[\frac{Kcal}{kg} \right]$, lo cual equivale al 24,68 %, la eficiencia de combustión será igual al 75,31 %.

$$\eta = \frac{2552.33}{10340} * 100 = 24.68\%$$

Nota: El método fue tomado de los ejemplos de cálculo de la Agencia Chilena de eficiencia energética. (Aegencia chilena de eficiencia energética, 2018)

5.3.2 Balance energético del Supercalentador.

Luego de realizar varias pruebas de funcionamiento del supercalentador se tomaron los datos de la figura 87 como referencia para los cálculos respectivos del balance energético del sistema.



Figura 87 Datos registrados durante funcionamiento.

$TS_c = \text{Temperatura de Salida del Vapor en el Caldero}$

$$TS_c = 160,15 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Con la Temperatura de salida del vapor del caldero podemos determinar las propiedades termodinámicas (Tabla A-4 Agua Saturada. libro de termodinámica de Cengel)

$PS_C = \text{Presión de Salida del Vapor del Caldero}$

$$PS_C = 90,02 \text{ [Psi]}.$$

$h_{f1} = \text{Entalpía del líquido Saturado a } PS_C$

$$h_{f1} = 684,178 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$h_{fg1} = \text{Entalpía de Evaporación a } PS_C$

$$h_{fg1} = 2075,44 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

Balance energético en la placa orificio.

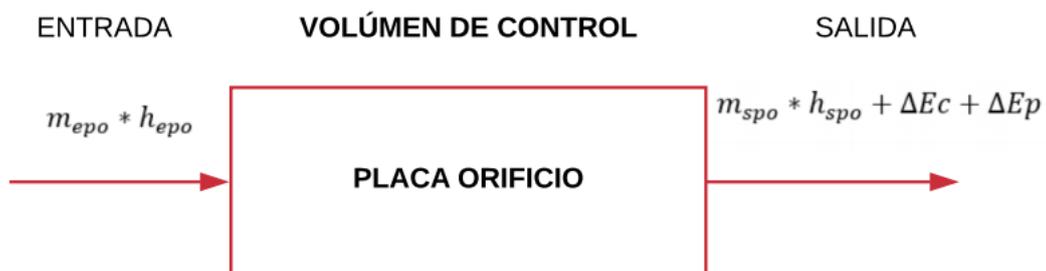


Figura 88 Diagrama de bloque para el balance energético en la placa orificio.

$m_{epo} = \text{masa de vapor a la entrada de la placa orificio}$

$m_{spo} = \text{masa de vapor a la salida de la placa orificio}$

$h_{epo} = \text{Entalpía del vapor a la entrada de la placa orificio}$

$h_{spo} = \text{Entalpía del vapor a la salida de la placa orificio}$

$\Delta Ec = \text{Variación de la energía Cinética}$

$\Delta Ep = \text{Variación de la energía Potencial}$

$\Delta Ef = \text{Variación de la energía de Flujo}$

E_{epo} = Energía que entra a la placa orificio

E_{spo} = Energía que sale de la placa orificio

$$E_{epo} = E_{spo}$$

$$m_{epo} * h_{epo} = m_{spo} * h_{spo} + \Delta Ec + \Delta Ep$$

Debido a las condiciones del volumen de control se puede aproximar los siguientes valores:

$\Delta Ec = 0$ No existe un cambio considerable de velocidad del flujo

$\Delta Ep = 0$ No existe variación de altura.

$m_{epo} = m_{spo}$ Principio de Conservación de la materia.

Por lo tanto:

$$h_{epo} = h_{spo}$$

Es decir, es un proceso isoentálpico.

Cálculo de la calidad del vapor.

Para la determinación del flujo de vapor se utilizó una placa orificio obteniendo los siguientes datos:

$$P_1 = 90 \text{ [Psi]}$$

P_2 = Presión luego de la placa orificio

$$P_2 = 89 \text{ [Psi]}$$

ΔP = Diferencia de presiones en la placa orificio

$$\Delta P = 1 \text{ [Psi]}$$

$\phi_1 =$ Diámetro de la tubería a la salida del caldero

$$\phi_1 = 2 \text{ [in]}$$

$\phi_2 =$ Diámetro de la placa orificio

$$\phi_2 = 0,83 \text{ [in]}$$

C = Coeficiente de Descarga

$$C = 0,80$$

$\dot{m}_{vt} =$ Masa de Vapor Teórica

$$\dot{m}_{vt} = 228.29 \left[\frac{kg}{h} \right] = 3.80 \left[\frac{kg}{min} \right]$$

Durante la práctica se pudo pesar la cantidad de condensado luego de cumplir el ciclo completo donde se obtuvo:

$\dot{m}_{vs} =$ Flujo de Vapor Seco

$$\dot{m}_{vs} = 3,4 \left[\frac{kg}{min} \right] = 204 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

De esta manera se puede asumir teóricamente un valor de calidad, debido a que el caldero no cuenta con calorímetros de estrangulación para poder determinar la calidad de manera práctica.

$x =$ calidad del vapor

$$x = \frac{\dot{m}_{vs}}{\dot{m}_{vt}}$$

$$x = 0.89$$

Cálculo de pérdidas de presión en tuberías de vapor.

$\phi_1 =$ *Diámetro de la tubería a la salida del caldero*

$$\phi_1 = 2 \text{ [in]}$$

$L_1 =$ *Longitud de Tubería desde el caldero hasta la bifurcación en T*

$$L_1 = 4 \text{ [m]}$$

Haciendo uso de la tabla 45 y teniendo en cuenta los accesorios existentes en este tramo de tubería podemos calcular la longitud equivalente:

$L_{e1} =$ *Longitud Equivalente 1*

La longitud equivalente para cada uno de los accesorios presentes en este tramo es:

1 válvula de Compuerta equivale a 0,3 veces L_1

1 Codo de 90° equivale a 1,5 veces L_1

1 Válvula Check equivale a 3,4 veces L_1

$$L_{e1} = 5,2 (L_1)$$

$$L_{e1} = 20,8 \text{ [m]}$$

Tabla 57

Longitud equivalente de tubería por pérdidas expresados en pies (m).

Accesorios y válvulas				
Codo a 45°	1 (0,3)	2 (0,6)	2 (0,6)	3 (0,9)
Codo normalizado a 90°	3 (0,9)	4 (1,2)	5 (1,5)	6 (1,8)
Codo de gran radio a 90°	2 (0,6)	2 (0,6)	3 (0,9)	4 (1,2)
T o cruz (corriente que gira 90°)	6 (1,8)	8 (2,4)	10 (3,1)	12 (3,7)
Válvula de compuerta	---	---	1 (0,3)	1 (0,3)
Válvula de mariposa	---	---	6 (1,8)	7 (2,1)
Válvula de retención con clapeta oscilante*	7 (2,1)	9 (2,7)	11 (3,4)	14 (4,3)

Fuente: (Red proteger, 2017)

Conociendo que:

$$m_{vs} = 3,4 \left[\frac{kg}{min} \right] = 204 \left[\frac{kg}{h} \right] = 448,8 \left[\frac{lb}{h} \right]$$

Haciendo uso del nomograma de la figura 89 podemos determinar que existe una caída de presión de 0,25 [psi] por cada 100 [ft] (30,48 [m]) de longitud de tubería, por lo tanto para $L_{e1} = 20,8 [m]$ el diferencial de presiones $\Delta P_1 = 0,17 [Psi]$.

Para el tramo desde la bifurcación en T hasta el supercalentador tenemos:

$\phi_b =$ Diámetro de la tubería desde la bifurcación hasta el Supercalentador

$$\phi_b = 1 \frac{1}{2} [in]$$

Haciendo uso de la tabla 45 y teniendo en cuenta los accesorios existentes en este tramo de tubería podemos calcular la longitud equivalente:

$L_{e2} = \text{Longitud Equivalente 2}$

La longitud equivalente para cada uno de los accesorios presentes en este tramo es:

1 Codo de 90° equivale a 1,2 veces L_{e2}

1 T o cruz (corriente que gira 90°) equivale a 2,4 veces L_{e2}

$$L_{e2} = 3,6 (L_2)$$

$$L_{e2} = 5,6 [m]$$

Conociendo que:

$$m_{vs} = 3,4 \left[\frac{kg}{min} \right] = 204 \left[\frac{kg}{h} \right] = 448,8 \left[\frac{lb}{h} \right]$$

$P_b = \text{Presión a la entrada de la bifurcación}$

$$P_b = P_{S_c} - \Delta P_1$$

$$P_b = 89,85 [Psi]$$

Haciendo uso del nomograma de la figura 89 podemos determinar que existe una caída de presión de 1 [psi] por cada 100 [ft] (30,48 [m]) de longitud de tubería, por lo tanto para $L_{e2} = 5,6 [m]$ el diferencial de presiones $\Delta P_2 = 0,18 [Psi]$

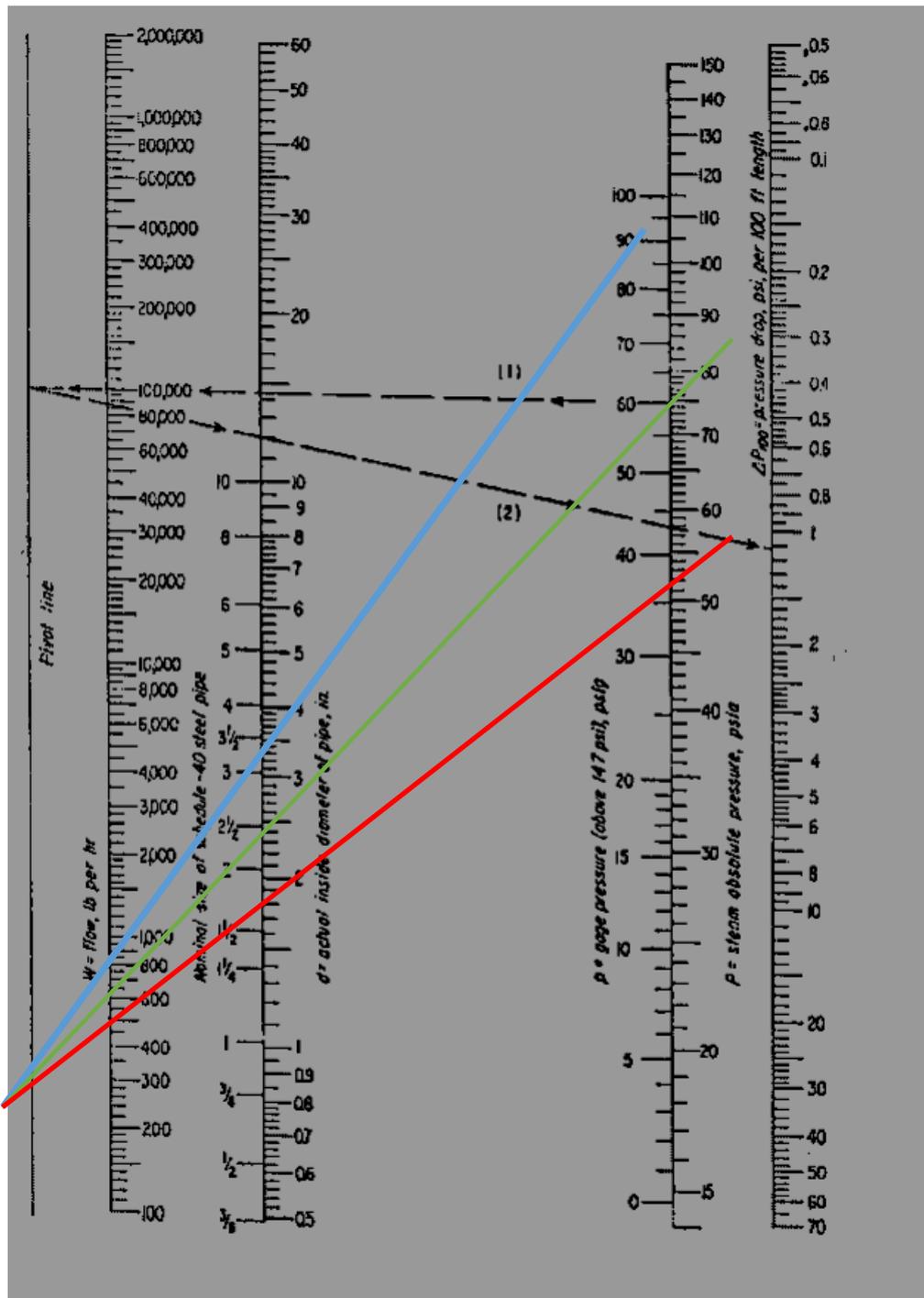


Figura 89 Nomograma para caídas de presión por cada 100 ft de tubería en vapor saturado.

Fuente: (Armstrong machine works, 2016)

Por lo tanto, la variación de presión a lo largo de toda la tubería es igual a:

$$\Delta P_t = \text{Variación de Presión a lo largo de la tubería}$$

$$\Delta P_t = \Delta P_1 + \Delta P_2$$

$$\Delta P_t = 0,35 \text{ [Psi]}$$

La presión de entrada del vapor al supercalentador debería ser igual a:

PE_{sct} = Presion Teórica de Entrada del Vapor al Supercalentador

$$PE_{sct} = PS_C - \Delta P_t$$

$$PE_{sct} = 89,67 \text{ [Psi]}$$

Considerando que los controladores de presión Autonics TZ4ST poseen una exactitud de precisión de (F. S + 0,3% rdg + 1 dígito) que equivale a +/- 1,9 Psi, y que varios de los accesorios instalados a lo largo de la tubería no presentan cierres herméticos en su condición de bloqueo debido al tiempo de uso y desgaste de los mismos, se puede inferir que el controlador de presión registrara un valor diferente al teórico por tal motivo tenemos que:

PE_{sc} = Presion real de Entrada del Vapor al Supercalentador

$$PE_{sc} = 85,7 \text{ [Psi]}$$

$$\% \text{ Error de medición} = \left(\frac{PE_{sct} - PE_{sc}}{PE_{sct}} \right) * 100$$

$$\% \text{ Error de medición} = 4,42 \%$$

Es decir, la medición real infiere de la teórica en un margen del 5%, valor que es aceptable por todas las características de los equipos y accesorios antes mencionados.

Balance Energético en el Supercalentador

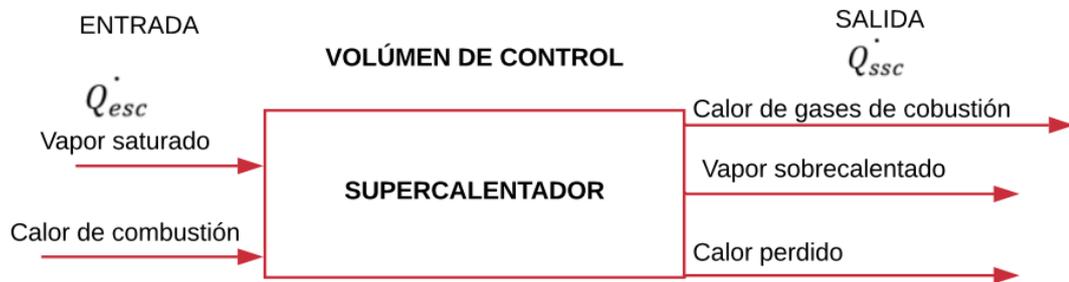


Figura 90 Diagrama de bloque para el balance energético en el supercalentador

PE_{sc} = Presion de Entrada del Vapor al Supercalentador

$$PE_{sc} = 85,7 \text{ [Psi]}$$

TE_{sc} = Temperatura de Entrada del Vapor al Supercalentador

$$TE_{sc} = 162,0 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

h_1 = Entalpía del agua Saturada a PS_C

$$h_1 = h_{f1} + x h_{fg1}$$

$$h_1 = 684,178 + 0,89 (2075,44)$$

$$h_1 = 2531,32 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

Como el proceso es isoentálpico

$$h_1 = h_2$$

PS_{sc} = Presion de Salida del Vapor al Supercalentador

$$PS_{sc} = 82,5 \text{ [Psi]}$$

TS_{sc} = Temperatura de Salida del Vapor del Supercalentador

$$TS_{sc} = 224,2 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

T_{s2} = Temperatura de Saturación del Vapor a (PS_{sc}). (Tabla A-5 Agua Saturada. Tabla de Temperaturas Cengel Pag.912)

$$T_{s2} = 156,7283 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Debido a que la temperatura de salida de vapor del Supercalentador (TS_{sc}) es mayor que la temperatura de saturación (T_{s2}) se puede concluir que el vapor obtenido ya no tiene calidad y alcanza cierto grado de sobrecalentamiento.

Propiedades del vapor sobrecalentado.

$$PS_{sc} = 82,5 \text{ [Psi]} \text{ y } TS_{sc} = 224,2 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

h_3 = Entalpía del Vapor Sobrecalentado

$$h_3 = 2899,98 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

v_{esc} = Volúmen Específico del Vapor Sobrecalentado

$$v_{esc} = 0,332455 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right]$$

C_{esc} = Calor Específico del Vapor Sobrecalentado

$$C_{esc} = 0.516508 \left[\frac{kcal}{kg \text{ } ^\circ C} \right]$$

$\dot{V}_D =$ Flujo Volumétrico del Diesel consumido por el quemador

$$\dot{V}_D = 3.63 \left[\frac{lt}{h} \right]$$

$\rho_D =$ Densidad del Diesel

$$\rho_D = 0,832 \left[\frac{g}{cm^3} \right] = 0,832 \left[\frac{kg}{lt} \right]$$

$PCI_D =$ Poder calórico inferior del diesel

$$PCI_D = 43000 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$\dot{m}_D =$ Flujo Másico del Diesel consumido por el quemador

$$\dot{m}_D = \dot{V}_D * \rho_D$$

$$\dot{m}_D = 3,02 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

Análisis de gases de combustión

Se utilizará suposiciones de aire estándar para efectos de cálculo donde:

1. El fluido de trabajo es aire y siempre se comporta como gas ideal.
2. Todos los procesos que integran el ciclo son internamente reversibles.
3. El proceso de combustión es sustituido por un proceso de adición de calor desde una fuente externa.

4. El proceso de escape es sustituido por un proceso de rechazo de calor que regresa al fluido de trabajo a su estado inicial. (Courshero, 2016)

TC_{sc} = Temperatura de salida de gases de combustión en el supercalentador

$$TC_{sc} = 262 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

h_4 = Entalpía del gas ideal aire a TC_{sc}

$$h_4 = 539,165 \left[\frac{kJ}{Kg} \right]$$

v_{aire} = Velocidad de los gases de escape en el supercalentador

$$v_{aire} = 0,341 \left[\frac{m}{s} \right]$$

ρ_{aire} = Densidad del Aire

$$\rho_{aire} = 1,225 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Φ_3 = Diámetro de la chimenea

$$\Phi_3 = 6 \text{ [in]}$$

\dot{m}_g = Flujo másico de gases de combustión en el supercalentador

$$\dot{m}_g = v_{aire} * \frac{\pi (\Phi_3)^2}{4} * \rho_{aire}$$

$$\dot{m}_g = 0,341 \left[\frac{m}{s} \right] * \frac{\pi (0,1524)^2}{4} [m^2] * 1,225 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * \frac{3600}{1} \left[\frac{s}{h} \right]$$

$$\dot{m}_g = 27,43 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

$$Q_{esc} = Q_{ssc}$$

Q_{esc} = Calor que entra al super calentador

Q_{ssc} = Calor que sale del super calentador

η = Eficiencia de Combustión

$Q_{pérdidas}$ = Perdidas de Calor por conducción, radiación y convección

$$Q_{esc} = Q_{ssc}$$

$$\dot{m}_{vs} * h_2 + \dot{m}_D * PCI_D * \eta = \dot{m}_{vs} * h_3 + \dot{m}_g * h_4 + Q_{pérdidas}$$

$$\begin{aligned} 204 \left[\frac{kg}{h} \right] * 2531,32 \left[\frac{kJ}{kg} \right] + 3,02 \left[\frac{kg}{h} \right] * 43000 \left[\frac{kJ}{kg} \right] * 0,75 \\ = 204 \left[\frac{kg}{h} \right] * 2899,98 \left[\frac{kJ}{kg} \right] + 27,43 \left[\frac{kg}{h} \right] * 539,165 \left[\frac{kJ}{kg} \right] + Q_{pérdidas} \end{aligned}$$

$$613784,28 \left[\frac{kJ}{h} \right] = 606385,21 \left[\frac{kJ}{h} \right]$$

$$Q_{pérdidas} = 7399,07 \left[\frac{kJ}{h} \right]$$

Q_{pc} = Pérdidas de Calor por Conducción

Q_{pcr} = Pérdidas de Calor por Radiación y Convección

$$Q_{pérdidas} = Q_{pc} + Q_{pcr}$$

Asumiendo un valor de 5% del para las pérdidas por radiación y convección y un 95% para las pérdidas por conducción tenemos:

$$\dot{Q}_{prc} = 0,05 * \dot{Q}_{pérdidas}$$

$$\dot{Q}_{pc} = 369,95 \left[\frac{kJ}{h} \right]$$

$$\dot{Q}_{pc} = 0,95 * \dot{Q}_{pérdidas}$$

$$\dot{Q}_{pc} = 7029,12 \left[\frac{kJ}{h} \right]$$

$$\dot{Q}_{pc} = 1952,53 \left[\frac{J}{s} \right]$$

$$\dot{Q}_{pc} = A_{sc} * U * (T_{cc} - T_{ref})$$

donde:

$U =$ *Coficiente Global de transferencia de Calor*

$R_t =$ *Resistencias Térmicas*

Por lo tanto:

$$U = \frac{1}{\Sigma R_t}$$

$$U = \frac{1}{\frac{e_{lr}}{k_{lr}} + \frac{e_{ac}}{k_{ac}} + \frac{e_{lv}}{k_{lv}}}$$

$A_{sc} =$ *Superficie de Contacto de la chapa metálica del supercalentador*

$k_{lr} =$ *Coficiente de Conducción del Ladrillo Refractario*

e_{lr} = Espesor del Ladrillo Refractario

k_{ac} = Coeficiente de Conducción de la chapa metálica del supercalentador

e_{ac} = Espesor de la chapa metálica del Supercalentador

e_{lv} = Espesor de la lana de vidrio

T_{cc} = Tempertura mas alta en la Cámara de Combustión

T_{ref} = Temperatura externa del recubrimiento del supercalentador.

Se toma la temperatura $T_{ref} = 60$ [°C] para evitar cualquier percance como quemaduras de cualquier persona que entre en contacto directo con el recubrimiento externo del supercalentador.

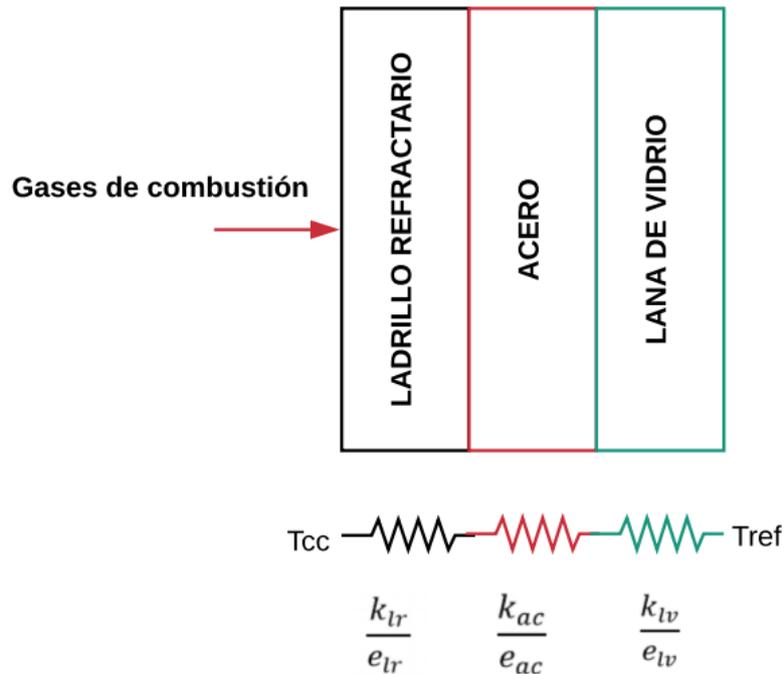


Figura 91 Esquema de pared compuesta del supercalentador.

$$A_{sc} = 5,70 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$k_{lr} = 0,085 \left[\frac{\text{W}}{\text{m } ^\circ\text{C}} \right]$$

$$e_{lr} = 0,085 \text{ [m]}$$

$$k_{ac} = 47 \left[\frac{\text{W}}{\text{m } ^\circ\text{C}} \right]$$

$$e_{ac} = 0,005 \text{ [m]}$$

$$k_{lv} = 0,03 \left[\frac{\text{W}}{\text{m } ^\circ\text{C}} \right]$$

$$T_{cc} = 850 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\dot{Q}_{pc} = A_{sc} * U * (T_{cc} - T_{ref})$$

$$\frac{\dot{Q}_{pc}}{A_{sc} * (T_{cc} - T_{ref})} = U$$

$$U = \frac{1952,53}{5,70 * (850 - 60)}$$

$$U = 0,433 \left[\frac{\text{W}}{\text{m } ^\circ\text{C}} \right]$$

$$U = \frac{1}{\frac{e_{lr}}{k_{lr}} + \frac{e_{ac}}{k_{ac}} + \frac{e_{lv}}{k_{lv}}}$$

$$e_{lv} = k_{lv} \left(\frac{1}{U} - \frac{e_{lr}}{k_{lr}} - \frac{e_{ac}}{k_{ac}} \right)$$

$$e_{lv} = 0,03 \left(\frac{1}{0,433} - \frac{0,085}{0,47} - \frac{0,005}{47} \right)$$

$$e_{lv} = 0,0637 [m]$$

$$e_{lv} = 2,50 [in]$$

Por lo tanto, se puede concluir que el espesor teórico del aislante de la lana de vidrio corresponde al espesor instalado en el supercalentador como lo muestra el Reporte Técnico de Mantenimiento No.01-03 descrito en el capítulo III del presente documento.

Cálculo de la Eficiencia Energética del Supercalentador

Eficiencia_{sc} = Eficiencia Energética del Supercalentador

$$Eficiencia_{sc} = \frac{\text{Calor aprovechado durante el proceso}}{\text{Calor que entra al Supercalentador}}$$

$$Eficiencia_{sc} = \frac{\dot{m}_{vs} * (h_3 - h_2)}{\dot{m}_D * PCI_D * \eta}$$

$$Eficiencia_{sc} = \frac{204 * (2899,98 - 2531,32)}{3,02 * 43000 * 0,75} * 100 \%$$

$$Eficiencia = 77,22 \%$$

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS ECONÓMICO.

6.1 Análisis económico.

El análisis económico requiere de un detalle pormenorizado de todos los gastos en los cuales se incurrieron durante el desarrollo del proyecto, los costos a ser considerados hacen referencia a los siguientes parámetros.:

- Materiales directos.
- Mano de obra directa.
- Mano de obra indirecta.
- Materiales indirectos.
- Costos de insumos.
- Costos de mantenimiento.

A continuación, se detallarán los diferentes costos del proyecto.

Costos indirectos.

Tabla 58
Costos indirectos

Ítem	Descripción	Valor
1	Combustible Diesel	\$100,00
2	Insumos de Oficina	\$40,00
3	Energía Eléctrica	\$20,00
4	Agua potable	\$30,00
5	Comunicación	\$20,00
6	Alquiler de equipo para medición de gases de combustión	\$200,00
	Total	\$410,00

Costos directos.**Tabla 59***Remuneración a docentes.*

Nombre	Cargo	Tiempo (Horas)	Valor hora (USD)	Costo total (USD)
Ing. Ángelo Villavicencio	Tutor de tesis.	70	\$20,00	\$1.400,00
Total				\$1.400,00

Tabla 60*Remuneración a estudiantes.*

Nombre	Cargo	Tiempos (Horas)	Valor hora (USD)	Costo total (USD)
Sr. Paul Buenaño	Responsable del Proyecto	300	\$2,38	\$714,00
Sr. Franklin Salguero	Responsable del Proyecto	300	\$2,38	\$714,00
Total				\$1.428,00

Tabla 61*Materiales y equipos.*

Ítem	Cantidad	Descripción	Valor Unitario (USD)	Valor total (USD)
1	1	Cable eléctrico AWG diferentes medidas	\$60,00	\$60,00
2	1	Breaker 110 VAC 10 Amp	\$40,00	\$40,00
3	1	Material eléctrico	\$60,00	\$60,00
4	1	Control de fuego HONEYWELL modelo R7284	\$300,00	\$300,00
5	1	Combustible (Diesel)	\$50,00	\$50,00
6	1	Combustible (Gasolina Extra)	\$5,00	\$5,00

CONTINUA 

7	1	Limpia contactos marca Cyclo	\$6,50	\$6,50
8	2	Rodamientos NSK 6202	\$10,00	\$20,00
9	4	Empaquetaduras de fibra aramida marca KLINGERSIL	\$37,00	\$7,00
10	1	Grasa de propósito general marca Orelube	\$3,00	\$3,00
11	1	Guantes de nitrilo	\$6,20	\$6,20
12	1	Mascarilla n50	\$2,00	\$2,00
13	1	Celda CAD Westwood serie E80-1	\$65,00	\$65,00
14	1	Tobera Monarch 1.0 Gph 30° R	\$35,00	\$35,00
15	4	Termocupla tipo k	\$20,00	\$80,00
16	2	Controlador de presión Autonics TZ4ST	\$200,00	\$400,00
17	1	Gabinete de fondo 60x40	\$100,00	\$100,00
18	15	Metro de manguera Bx	\$2,70	\$40,50
19	1	Conectores Bx	\$30,00	\$30,00
20	1	Transformador 110/34 VAC 1 Amp	\$30,00	\$30,00
21	1	Luz indicadora de señal color verde	\$10,00	\$10,00
22	2	Selector On Off marca Schneider	\$10,00	\$20,00
23	1	Pulsador de paro de emergencia	\$40,00	\$40,00
24	1	Fuente VDC 1 Amp	\$40,00	\$40,00
25	1	Rollo de aislante térmico lana de vidrio marca Frescasa Eco	\$27,00	\$27,00
26	2	Cañería de cobre de temple flexible diámetro 1/4 [in]	\$3,80	\$7,60
27	4	Neplo B-68 1/4x1/4	\$1,00	\$4,00
28	4	Pernos de Acero UNC 3/8 X1 1/2 GR 8	\$0,18	\$0,72
29	4	Pernos de Acero UNC 3/8 X2 1/2 GR 8	\$0,25	\$1,00
30	4	Rodelas planas PLG 3/8	\$0,04	\$0,14
31	4	Módulos de acondicionamiento de señal para termocuplas tipo K	\$17,50	\$70,00
32	1	Módulo Arduino z560	\$24,00	\$24,00
33	1	Controlador Arduino UNO	\$17,00	\$17,00

CONTINUA 

34	1	Electrodo de Ignición derecho marca KROMSCHOEDER	\$20,41	\$20,41
35	1	Electrodo de Ignición izquierdo marca KROMSCHOEDER	\$24,58	\$24,58
36	1	Acoples múltiples	\$18,56	\$18,56
37	4	Módulos de acondicionamiento de señal de presión	\$11,69	\$46,75
38	1	Galón de Ácido marca Muriatol	\$14,00	\$14,00
39	1	Placa electrónica	\$5,00	\$5,00
			Total 4	\$1.758,95

Tabla 62
Costos totales.

Descripción	Valor
Total 1	\$1.400,00
Total 2	\$410,00
Total 3	\$1.428,00
Total 4	\$1.758,96
TOTAL	\$4.996,96

Como podemos observar el costo total del Proyecto es de \$4996.958, rubro en el cual se incluyen todos los valores antes mencionados.

El financiamiento del presente proyecto se presenta a continuación en la tabla 63.

Tabla 63*Financiamiento del proyecto.*

	Rubro	Valor USD	%	Financiamiento	Observaciones
COSTOS DIRECTOS	Remuneración a profesionales de la Universidad de las Fuerzas Armadas	\$1400,00	28,02%	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE	Este rubro corresponde a las horas de tutorías por parte del docente.
	Remuneración a estudiantes	\$1428,00	28,58%	Propio	Este rubro corresponde a las horas trabajadas por los estudiantes en el laboratorio. (Mano de Obra)
	Materiales	\$1758,95	35,20%	Propio	Este rubro corresponde a la adquisición de materiales.
COSTOS INDIRECTOS	Costos Indirectos en pruebas y mantenimiento del equipo	\$410,00	8,21%	Propio	Este rubro corresponde a gastos en las pruebas del equipo
	TOTAL	\$4996,95	100,00%		

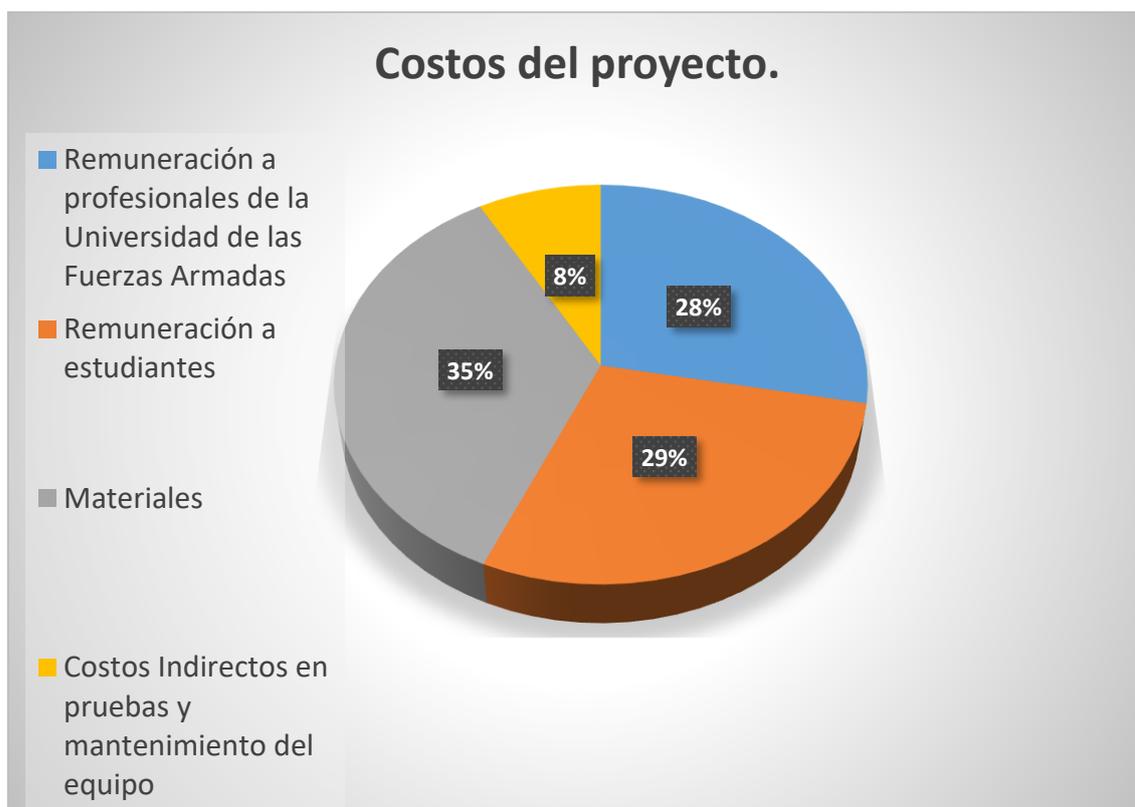


Figura 92 Costos del proyecto.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Posterior a los mantenimientos de IV y V escalón realizados se puede aseverar que el supercalentador se encuentra en condiciones operativas que garantizan el correcto desempeño de los sistemas eléctricos, electrónicos y mecánicos proporcionando de esta manera seguridad al personal docente y estudiantes que serán usuarios directos del equipo durante las prácticas correspondientes a las asignaturas de: Termodinámica, Termodinámica Aplicada, Diseño Térmico y Transferencia de Calor.
- Se logró determinar que la vida útil de todos los componentes del supercalentador, así como también su funcionamiento dependerán directamente del tipo de mantenimiento que se le proporcione.
- Se pudo establecer que el sistema de adquisición de datos electrónico facilita la lectura de datos durante la práctica, reduciendo de esta manera los errores metrológicos en los que incurren los estudiantes al utilizar equipos de medición análogos.
- Se determinó que posterior al mantenimiento del quemador Dunphy y la regulación adecuada de la mezcla aire combustible la eficiencia de combustión es igual al 75,31 %, logrando de esta manera obtener una eficiencia de transferencia de calor de los gases de combustión hacia el intercambiador igual al 77,22 %, lo que se traduce a que el supercalentador es térmicamente eficiente.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda proporcionar una dosificación de químico para el tratamiento de agua de alimentación del caldero marca York Shipley, debido a que actualmente no existe ninguna dosificación lo que generará problemas en un futuro cercano del caldero, supercalentador y turbina debido a la corrosión e incrustaciones que el agua sin tratamiento genera en los equipos.
- Se recomienda realizar una calibración y certificación del medidor de presión diferencial marca HART serie 2600T ubicado en la placa orificio debido a que con el valor entregado por este dispositivo se puede medir el flujo másico de vapor.
- Se recomienda realizar una calibración periódica de los controladores de presión y temperatura a fin de garantizar la fiabilidad de los datos medidos.
- Se recomienda realizar la reparación del equipo de análisis de gases marca TESTO modelo 350 que dispone el laboratorio de conversión de la energía, para que haciendo uso de este equipo se pueda realizar una calibración periódica de la mezcla aire combustible para mantener una alta eficiencia de combustión en el quemador.

BIBLIOGRAFÍA

Aegncia chilena de eficiencia energética. (2018). Obtenido de http://old.acee.cl/577/articles-62222_recurso_3.pdf

Aldakin. (2017). *Aldakin.* Obtenido de Aldakin: <http://www.aldakin.com/tipos-de-mantenimiento-industrial-ventajas-inconvenientes/>

Ammourah, S. (2016). *Philadelphia University.* Obtenido de Philadelphia University: <http://www.philadelphia.edu.jo/academics/sammourah/uploads/chap3%20part2.pdf>

Anatychuk . (2017). *Wikipedia.* Obtenido de Wikipedia: <https://es.wikipedia.org/wiki/Termopar>

Arduino. (2017). Obtenido de <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>

Armstrong machine works. (2016). Obtenido de www.armstrong.com

Autonics. (2017). Obtenido de <https://www.autonics.com/series/3000365>

Cavazos, J. (2018). *Universidad Autonoma de Nuevo Leon.* Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/6206/1/1020070626.PDF>

Coursehero. (2016). Obtenido de <https://www.coursehero.com/file/16044103/08-Ciclos-de-potencia-de-gas/>

Dirind. (2015). Obtenido de https://www.dirind.com/dim/monografia.php?cla_id=75

Fernández, J. (2016). *Fisicalab.* Obtenido de Fisicalab: <https://www.fisicalab.com/apartado/temperatura#contenidos>

Garcia, S. (2016). *Reportero industrial*. Obtenido de Reportero industrial:
<http://www.reporteroindustrial.com/blogs/Los-principales-objetivos-del-mantenimiento+114923>

Heating danfoss. (2016). Obtenido de
<http://heating.danfoss.com/PCMPDF/DKBDPD013A105.pdf>

Hiletgo. (2016). Obtenido de <http://www.hiletgo.com/ProductDetail/1952723.html>

Honeywell. (2016). Obtenido de
<https://customer.honeywell.com/resources/techlit/TechLitDocuments/69-0000s/69-2467EFS.pdf>

Icstation. (2017). Obtenido de <http://www.icstation.com/20ma-signal-current-voltage-converter-module-p-7711.html>

IMES. (2018). *IMES*. Obtenido de IMES:
<http://www.imes.edu.uy/new/wpcontent/uploads/2017/05/PUBLICAS/MONOGRAFI A%203907%2000.pdf>

IndianMart. (2018). Obtenido de IndianMart: <https://www.indiamart.com/proddetail/platinum-rtd-temperature-sensor-7810301148.html>

Introducción a la mecatrónica. (2018). Obtenido de Introducción a la mecatrónica:
<http://1607238.blogspot.com/2013/05/22-acondicionamiento-de-senales.html>

Isover. (2015). Obtenido de <https://www.isover.com.co/productos/frescasa-eco-r>

Kaufman. (2018). *Defense Technical Information Center*. Obtenido de
<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a184665.pdf>

Khanacademy. (2015). *Khanacademy*. Obtenido de Khanacademy:
<https://es.khanacademy.org/science/physics/fluids/density-and-pressure/a/pressure-article>

Loveday, G. (2016). *Wikipedia*. Obtenido de Wikipedia:
https://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n_de_datos

Master. (2017). Obtenido de <http://www.master.com.mx/img/manuales/mtools/DT-9208.pdf>

Maximintegrated. (2017). Obtenido de
<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX6675.pdf>

Mecafenix. (2017). *Mecafenix*. Obtenido de Mecafenix:
<http://www.ingmecafenix.com/automatizacion/termistor-sensor-temperatura/>

Mejia, F. (2010). *Mecánica de Fluidos y Recursos Hidráulicos*. Obtenido de Mecánica de Fluidos y Recursos Hidráulicos:
<http://fluidos.eia.edu.co/fluidos/cinematica/intensivas.htm>

Mendoza, A. (2009). Propuesta De Actualización Del Sistema de Control Del Sistema De Atemperación Del Sobrecalentador De Un Generador De Vapor. Instituto Politécnico Nacional,Zacatenco,México. En A. Mendoza, *Propuesta De Actualización Del Sistema de Control Del Sistema De Atemperación Del Sobrecalentador De Un Generador De Vapor. Instituto Politécnico Nacional,Zacatenco,México*.

MRU. (2015). Obtenido de <https://www.mru.eu/en/products/detail/deltasmart/>

Mypinchina. (2016). Obtenido de
<http://www.mypinchina.com/en/displayproduct.html?id=2711143135887687>

- Nacobre*. (2016). Obtenido de https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut208/manual_tecnico_cobre.pdf
- Omega. (2015). *Omega*. Obtenido de Omega: <https://www.omega.com/prodinfo/rtd.html>
- Omega. (2017). Obtenido de Omega: <https://mx.omega.com/prodinfo/termopar.html>
- QAEC. (2016). *Asociación española para la calidad*. Obtenido de Asociación española para la calidad.: <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/mantenimiento>
- Red proteger*. (2017). Obtenido de http://www.redproteger.com.ar/long_equivalente.htm
- Rs*. (2017). Obtenido de <https://es.rs-online.com/web/p/rodamientos-de-bola/4090394/>
- RUA. (2015). *Universidad de Alicante*. Obtenido de Universidad de Alicante: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/19119/1/Sistemas%20de%20adquisici%C3%B3n%20y%20Procesamiento%20de%20datos.pdf>
- RUA. (2016). *Universidad de Alicante*. Obtenido de Universidad de Alicante: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/19119/1/Sistemas%20de%20adquisición%20y%20Procesamiento%20de%20datos.pdf>
- Sensing. (2016). *Sensing*. Obtenido de Sensing: http://www.sensores-de-medida.es/sensing_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES_35/Sensores-de-presi%C3%B3n_107/Sensores-para-alta-presi%C3%B3n_111/
- Sensys*. (2017). Obtenido de <http://www.sensys.co.kr/pdf/ptd.pdf>
- Shapiro, N. (1987). Fundamento de termodinámica. En N. Shapiro, *Fundamento de termodinámica*. (pág. 207).

sherwin-industria. (2017). Obtenido de sherwin-industria: http://www.sherwin-industria.com.ar/descargas/SUMATERM_3951.pdf

Siemens. (2017). Obtenido de <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/sg/Catalog/Products/10098317>

Soria, P. (2010).), Automatización y Mantenimiento de la Turbina de la Planta de Vapor del Laboratorio de Termodinámica del DECEM. Escuela Politécnica del Ejército ESPE. Ecuador. En P. Soria,), *Automatización y Mantenimiento de la Turbina de la Planta de Vapor del Laboratorio de Termodinámica del DECEM. Escuela Politécnica del Ejército ESPE. Ecuador*. Quito.

Sosa, A. (2015). *Monografías*. Obtenido de Monografías: <https://www.monografias.com/trabajos37/comunicaciones/comunicaciones2.shtml>

Tecnoval. (2016). Obtenido de http://www.tecnoval.com/Portals/1/FichasTecnicas/lamina_klinger_k1000s.pdf

Urrea. (2017). Obtenido de Urrea: <https://www.urrea.com/urrea/listasPrecios/Urrea/17.->

Valenzuela, C. (2015). *Wikipedia*. Obtenido de Wikipedia: <https://es.wikipedia.org/wiki/Temperatura>

Weisz. (2015). Obtenido de <http://www.weisz.com/wp-content/uploads/Caracteristicas-tecnicas-de-termocuplas.pdf>

Wikipedia. (2016). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Circuito_impreso

Wikipedia. (2017). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_conductividad_t%C3%A9rmica

Yanus A, C. (1996). En C. Yanus A , *Termodinámica*. (pág. 568). Mcgraw-Hill.

Yanus A, C. (1996). En C. Yanus A, *Termodinámica* (pág. 565). Mcgraw-Hill.

Yanus A, C. (1996). En C. Yanus A, *Termodinámica*. McGraw-Hill.

Zonasegura. (2016). Obtenido de *Zonasegura*:

<https://zonasegura.seace.gob.pe/paac/documentos/.../771953180radFCCD7.doc>