



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

T E S I S

MEJORAMIENTO DE LA SEGURIDAD MEDIANTE UN
SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO PARA LA
CALDERA PIROTUBULAR DE 12 BHP DE LA
UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI, 2018

PRESENTADO POR

BACHILLER BRIAN KEVIN MARCA ARIAS

BACHILLER ALEX HUMBERTO HUMPIRI CHAMBI

ASESOR:

ING. YURY VASQUEZ CHARCAPE

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

MOQUEGUA – PERÚ

2021

CONTENIDO

	Pág.
PORTADA	
Página de jurado.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Contenido.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE APÉNDICES	10
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO I	14
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.1. Descripción de la realidad del problema.....	14
1.2. Objetivos de la investigación	15
1.2.1. Objetivo general.....	15
1.2.2. Objetivos específicos	15
CAPÍTULO II	16
MARCO TEÓRICO	16
2.1. Antecedentes de la investigación.....	16
2.2. Bases teóricas	19
2.2.1. Calderas pirotubulares.....	19
2.2.2. Clasificación de las calderas.....	22
2.2.3. Características principales de calderas pirotubulares.	25
2.2.4. Características principales de calderas acuotubulares.	27
2.2.5. Secuencia del proceso de encendido de una caldera pirotubular	29
2.2.6. Componentes para el control y monitoreo.....	32
2.2.7. Sistemas de control y monitoreo	35

2.3. Definición de términos	39
CAPÍTULO III	46
MÉTODO	46
3.1. Tipo de la investigación	46
3.2. Instrumentos tecnológicos para la recolección de datos.....	46
3.2.1. Sistemas de control y monitoreo	47
3.2.2. Mantenimiento de la caldera.....	53
3.2.3. Procedimiento para mantenimientos	58
3.2.4. Operación del sistema del quemador	67
3.2.5. Aplicando mantenimiento basado en el riesgo, para obtener un sistema de control del quemador	71
3.2.6. Sistema de alimentación de agua	75
3.2.7. Aplicando mantenimiento basado en el riesgo, para obtener un sistema de control de alimentación de agua.....	80
3.2.8. Sistema de monitoreo de gases.....	83
3.2.9. Aplicando mantenimiento basado en el riesgo, para obtener un sistema de control de monitoreo de gases	84
3.2.10. Sistema de proceso hidroneumático	86
3.2.11. Aplicando mantenimiento basado en el riesgo, para obtener un sistema de control hidroneumático.....	88
3.2.12. Sistema de vigilancia de presión y temperaturas	92
3.2.13. Aplicando mantenimiento basado en el riesgo, para obtener un sistema de control en la vigilancia de presión y temperatura	94
3.2.14. Flujograma de Caldera pirotubular.....	96
3.2.15. Sistema de circuitos de tuberías de la caldera pirotubular	98
CAPÍTULO IV.....	102
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	102
4.1. Presentación de resultados	102
4.2. Discusión de resultados.....	123
CAPÍTULO V	124
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	124

5.1. Conclusiones	124
5.2. Recomendaciones	125
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127
<i>Apéndice</i>	129
INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	162

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido de tablas	Pág.
<i>Tabla 1. Clasificación de calderas pirotubulares</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 2. Elementos del sistema de alimentación de combustible.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 3. Condiciones de la llama para operación.</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 4. Plan de Mantenimiento del módulo de combustión Honeywell.</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 5. Plan de mantenimiento de bomba de alimentación de combustible.</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 6. Plan de mantenimiento de depósito contenedor de combustible.</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 7. Plan de mantenimiento de tanque de condensado.</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 8. Plan de mantenimiento de bomba de alimentación de agua.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 9. Plan de mantenimiento del analizador de gases quemados.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 10. Plan de mantenimiento de tanque de ablandamiento de agua.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 11. Plan de mantenimiento del tanque calentador de agua.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 12. Plan de mantenimiento de sistema de vigilancia de presión y temperatura.</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 13. Resultado de encuesta del grado de entendimiento y facilidad de los procesos antes de la implementación.</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 14. Resultado de encuesta del grado de entendimiento y facilidad de los procesos después de la implementación.....</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 15. Resultado de encuesta del grado de entendimiento y facilidad del proceso de combustión.</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 16. Resultado de encuesta del grado de entendimiento y facilidad del proceso de bomba de alimentación.</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 17. Resultado de encuesta del grado de entendimiento y facilidad del proceso de alimentación hidroneumática.....</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 18. Data de encuesta del grado de entendimiento y facilidad del proceso de indicadores de nivel agua, presión y temperatura.</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 19. Data de encuesta del grado de entendimiento y facilidad del proceso de monitoreo de gases quemados.....</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 20. Data de encuesta del grado de seguridad de la caldera.....</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 21. Data de encuesta del grado de operación de la caldera.</i>	<i>117</i>
<i>Tabla 22. Data de encuesta del grado de evaluación general del laboratorio... </i>	<i>119</i>
<i>Tabla 23. Data de encuesta según el nivel administrativo antes de la implementación.....</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 24. Data de encuesta según el nivel administrativo después de la implementación.....</i>	<i>121</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido de figuras	Pág.
<i>Figura 1. Caldera Piro tubular.....</i>	27
<i>Figura 2. Caldera Acuotubular con combustión central.....</i>	29
<i>Figura 3. Control de nivel de agua.....</i>	33
<i>Figura 4. Manómetro.....</i>	33
<i>Figura 5. Válvula de seguridad.....</i>	34
<i>Figura 6. Medidor de Temperatura.....</i>	35
<i>Figura 7. Válvula de cierre.....</i>	35
<i>Figura 8. Control de nivel por flotador.....</i>	37
<i>Figura 9. Control de nivel auxiliar Warrick.....</i>	37
<i>Figura 10. Implosión de calderas.....</i>	37
<i>Figura 11. Matriz de riesgo MBR.....</i>	56
<i>Figura 12. Identificación de riesgo por color de la matriz MBR.....</i>	57
<i>Figura 13. Pasos para la aplicación de MBR.....</i>	58
<i>Figura 14. Quemador Beckett de la caldera Piro tubular.....</i>	68
<i>Figura 15. Cebado de la bomba de combustible.....</i>	69
<i>Figura 16. Módulo Honeywell.....</i>	70
<i>Figura 17. Interior de la caldera piro tubular.....</i>	70
<i>Figura 18. Liberación de vapor muy cerca a tablero eléctrico.....</i>	71
<i>Figura 19. Matriz de riesgo para módulo de equipo de combustión (B2-B4).....</i>	72
<i>Figura 20. Matriz de riesgo para bomba de combustible (B2-B4).....</i>	74
<i>Figura 21. Bomba PENTAX PM90.....</i>	76
<i>Figura 22. Tanque de condensado.....</i>	76
<i>Figura 23. Tablero eléctrico de la caldera.....</i>	77
<i>Figura 24. Nivel por boya de la caldera Piro tubular.....</i>	77
<i>Figura 25. Válvula de alivio.....</i>	78
<i>Figura 26. Manómetro mostrando cavitación de la bomba.....</i>	78
<i>Figura 27. Manómetro marcando un correcto funcionamiento.....</i>	79
<i>Figura 28. Recomendación de dos válvulas antirretorno.....</i>	79
<i>Figura 29. Válvula de cebado se encuentra muy cerca al motor de la bomba.....</i>	80
<i>Figura 30. Matriz de riesgo para Tanque de condensado (B2-B4).....</i>	81
<i>Figura 31. Matriz de riesgo para Bomba de alimentación de agua (B2-B4).....</i>	83
<i>Figura 32. Chimenea.....</i>	84
<i>Figura 33. Analizador de gases TBACHARACH.....</i>	84
<i>Figura 34. Matriz de riesgo para sistema de monitoreo de gases (C2-C3).....</i>	85
<i>Figura 35. Bomba de alimentación de agua al Tanque Hidroneumático.....</i>	86
<i>Figura 36. Tanque Hidroneumático.....</i>	86
<i>Figura 37. Tanque ablandamiento de agua.....</i>	87
<i>Figura 38. Tanque calentador.....</i>	88
<i>Figura 39. Matriz de riesgo para Tanque de Ablandamiento de agua (C2-C4).....</i>	89
<i>Figura 40. Matriz Tanque calentador de agua (C2-C4).....</i>	91
<i>Figura 41. Presión de generación de vapor.....</i>	92
<i>Figura 42. Presión de alimentación de agua a la caldera.....</i>	92
<i>Figura 43. Presión de vapor en el manifold.....</i>	93

<i>Figura 44. Presión en el tanque de ablandamiento.</i>	93
<i>Figura 45. Pirómetro tanque calentador.</i>	94
<i>Figura 46. Indicadores de temperatura del tablero.</i>	94
<i>Figura 47. Matriz de riesgo de sistema de control de parámetros (B3-B4).</i>	96
<i>Figura 48. Flujograma de caldera pirotubular</i>	97
<i>Figura 49. Sistema de circuito de tuberías.</i>	98
<i>Figura 50. Circuito de operación.</i>	99
<i>Figura 51. Circuito de retrolavado</i>	100
<i>Figura 52. Circuito de ablandamiento</i>	101
<i>Figura 53. Grado de entendimiento y facilidad de procesos.</i>	104
<i>Figura 54. Entendimiento y facilidad del proceso de combustión.</i>	106
<i>Figura 55. Entendimiento y facilidad del proceso de bomba de alimentación.</i>	107
<i>Figura 56. Entendimiento y facilidad del proceso hidroneumático.</i>	109
<i>Figura 57. Entendimiento y facilidad del proceso de niveles de agua, presión y temperatura.</i>	111
<i>Figura 58. Entendimiento y facilidad del proceso de monitoreo de gases quemados.</i>	113
<i>Figura 59. Grado de seguridad.</i>	115
<i>Figura 60. Grado de operación.</i>	117
<i>Figura 61. Evaluación general del laboratorio.</i>	119
<i>Figura 62. Administrativos.</i>	122

ÍNDICE DE APÉNDICES

Contenido de apéndice	Pág.
<i>Apéndice A</i> <i>Proceso de carburación</i>	127
<i>Apéndice B</i> - <i>Proceso de calibración de electrodos</i>	128
<i>Apéndice C</i> - <i>Proceso de Mantenimiento del Fogón</i>	129
<i>Apéndice D</i> - <i>Proceso de cambio de tubo de nivel de agua</i>	130
<i>Apéndice E</i> – <i>Mantenimiento controles eléctricos</i>	131
<i>Apéndice F</i> - <i>Proceso de revisión de la seguridad de la flama</i>	132
<i>Apéndice G</i> - <i>Proceso de Mantenimiento de válvula de alivio</i>	133
<i>Apéndice H</i> - <i>Proceso de Mantenimiento según tiempo</i>	134
<i>Apéndice I</i> - <i>Proceso de mantenimiento según tiempo</i>	135
<i>Apéndice J</i> – <i>Plan de mantenimiento equipo de combustión</i>	136
<i>Apéndice K</i> – <i>Plan de mantenimiento bomba de alimentación de combustible</i>	137
<i>Apéndice L</i> – <i>Plan de mantenimiento tanque de condensado</i>	138
<i>Apéndice M</i> – <i>Plan de mantenimiento Bomba de alimentación PENTAX</i>	139
<i>Apéndice N</i> – <i>Plan de mantenimiento Equipo Bacharach</i>	140
<i>Apéndice O</i> – <i>Plan de mantenimiento Tanque ablandamiento de agua</i>	141
<i>Apéndice P</i> – <i>Plan de mantenimiento Tanque calentador de agua</i>	142
<i>Apéndice Q</i> – <i>Plan de mantenimiento niveles de presión y temperatura</i>	143
<i>Apéndice R</i> – <i>Bitácora de operación y mantenimiento</i>	144
<i>Apéndice S</i> – <i>Registro de parámetros de operación</i>	145
<i>Apéndice T</i> – <i>Registro de actividades de mantenimiento</i>	146
<i>Apéndice U</i> – <i>Registro monitoreo de gases</i>	147
<i>Apéndice V</i> – <i>Sistema de tuberías</i>	148
<i>Apéndice W</i> – <i>Sistema de tuberías, circuito de operación</i>	149
<i>Apéndice X</i> – <i>Sistema de tubería, circuito de retrolavado</i>	150
<i>Apéndice Y</i> – <i>Sistema de tuberías, circuito de ablandamiento</i>	151
<i>Apéndice Z</i> – <i>Matriz de validación - Experto 1</i>	152
<i>Apéndice A1</i> – <i>Matriz de validación - Experto 2</i>	153
<i>Apéndice A2</i> – <i>Matriz de validación - Experto 3</i>	154
<i>Apéndice A3</i> – <i>Ficha de validación – Experto 1</i>	155
<i>Apéndice A4</i> – <i>Ficha de validación – Experto 2</i>	156
<i>Apéndice A5</i> – <i>Ficha de validación – Experto 3</i>	157
<i>Apéndice A6</i> – <i>Ficha técnica del instrumento</i>	158

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consiste en la propuesta de una guía de procedimientos para evaluar la seguridad mediante un sistema de control y monitoreo de la caldera pirotubular de la Universidad José Carlos Mariátegui, con el propósito de facilitar un material básico que brinde la secuencia correcta para realizar un procedimiento seguro. Dentro de la problemática, la caldera pirotubular no cuenta con una guía de monitoreo ni sistema de control que evalúe la seguridad de la caldera pirotubular, lo cual posibilita la presencia de fallas que originen alguna interrupción inesperada, algún incidente o accidente, además se carece de instrumentos que puedan ejercer el monitoreo y control de operación del equipo. El estudio posee un enfoque cualitativo, siendo el tipo de investigación tipo tecnológica aplicada, de diseño cuasi experimental y de corte transversal habiéndose elaborado en el periodo de noviembre del 2018 a agosto del 2019. La metodología utilizada para la investigación fue inicialmente documental para la recolección de información en textos, foros, etc. Para así poder elaborar el marco teórico y orientar la instrumentación necesaria que permita evaluar posteriormente el grado de monitoreo como control y su incidencia en la seguridad al operar la caldera. La importancia de este trabajo radica en poder medir la influencia de variables sencillas que acompañan a una mejor implementación en la caldera intervenida la cual posteriormente va a servir para propósitos educativos como para realizar otros trabajos de investigación de mayor envergadura.

Palabras clave: caldera, pirotubular, monitoreo, control, eficiencia, procedimientos, incidente, accidente.

ABSTRACT

The present research work consists in the proposal of a procedure guide to evaluate the safety through a control and monitoring system of the pirotubular boiler of the José Carlos Mariátegui University, with the purpose of providing a basic material that provides the sequence Correct to perform a safety procedure. Within the problem, the pirotubular boiler does not have a monitoring guide or control system that evaluates the safety of the pirotubular boiler, which allows the presence of failures that cause some unexpected interruption, an incident or accident, in addition there are no instruments that can exercise monitoring and control of equipment operation. The study has a qualitative approach, being the type of applied technological research, quasi-experimental design and transversal design that was prepared in the period between November 2018 and August 2019. The methodology used for the research was initially documentary for the collection of information in texts, forums, etc., to develop the theoretical framework and guide the necessary instrumentation that allows to evaluate the degree of monitoring as a control and its impact on safety when operating the boiler. The importance of this work lies in being able to measure the influence of simple variables that accompany a better implementation in the intervened boiler that will later be used for educational purposes, as well as to carry out other larger research projects.

Keywords: Boiler, pirotubular, monitoring, control, safety, efficiency, system, procedures, incident, accident.

INTRODUCCIÓN

La Universidad José Carlos Mariátegui cuenta con una caldera de 12 BHP, perteneciente al laboratorio de Máquinas Térmicas de la carrera profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, ubicada en el Campus San Antonio, Moquegua. Ésta se ha verificado y desde hace unos años solo se ha alcanzado a prender la llama por un periodo corto de tiempo, además al inspeccionar se tiene que dicha caldera no cuenta con lo necesario en instrumentación y control para la producción de vapor, pudiendo así ocasionar daños al equipo, a los operadores, la infraestructura y medio ambiente, es por ello que se planteó realizar este proyecto de mejoramiento e implementación, de tal forma se tiene previsto un aumento de seguridad y confiabilidad en la operación del equipo.

El propósito de este proyecto es mejorar el nivel de seguridad de la caldera de 12 BHP del laboratorio de máquinas térmicas de la Universidad José Carlos Mariátegui, a través de la implementación de un sistema de control y monitoreo, así mismo garantizar una operación segura a los docentes y/o alumnos de dicha institución, pudiendo llegar a implementar protocolos de operación como: arranque y apagado de la caldera, maniobras para el lavado con salmuera, retrolavado, y otras que podrían ser de gran importancia para garantizar que la producción de vapor sea segura.

Este proyecto experimental es de gran importancia tanto para los investigadores como para la escuela profesional, debido a que al desarrollarlo, podremos darle un uso productivo, ya sea académico para su estudio profesional, para su mejora y aplicación práctica para los estudiantes, también podría tener un alcance de uso comercial y aprovechado por la misma universidad para las diferentes escuelas profesionales, ya sea en la escuela profesional de ingeniería ambiental y afines para sus laboratorios o para la aplicación en la clínica odontológica. Es importante recalcar que para su operación es fundamental que cuente con las medidas de seguridad mínimas.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema

En la actualidad, en el laboratorio de Máquinas Térmicas de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad José Carlos Mariátegui, se evidencia que la caldera pirotubular de 12 BHP presenta deficiencias de seguridad, en cuanto al control y monitoreo de la presión, temperatura y nivel de agua, no permitiendo desarrollar adecuadamente las labores académicas a las cuales está destinado, por cuanto al momento de realizar pruebas en este equipo se presentan inconvenientes en la operación de la caldera a la hora de producir vapor, no pudiendo alcanzar la temperatura adecuada, un nivel de presión segura, y problemas para contar con un caudal continuo, causando así un deterioro considerable de los equipos, pudiendo afectar el sistema y poniendo en riesgo la seguridad de los usuarios.

Se debe resaltar que la caldera no cuenta con un control automatizado que apague la caldera al tener un nivel bajo de agua o que, al detectar la falta de agua, se active el ingreso del fluido hasta un nivel adecuado.

Así mismo no se cuenta con un suministro confiable y medible de agua, careciéndose de una bomba de agua para el suministro adecuado del tanque de presión, con la finalidad de garantizar un abastecimiento constante de agua, cuando se requiera.

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

Determinar si con la implementación del sistema de control y monitoreo para la caldera pirotubular de 12 BHP del laboratorio de máquinas térmicas de la carrera profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, campus San Antonio, Universidad José Carlos Mariátegui 2018, se logrará un mayor nivel de seguridad.

1.2.2. Objetivos específicos

- Implementar un sistema de control y monitoreo para la caldera pirotubular de 12 BHP del laboratorio de la carrera profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, de la Universidad José Carlos Mariátegui.
- Verificar el nivel de mejoramiento de la seguridad mediante un sistema de control y monitoreo para la caldera pirotubular de 12 BHP del laboratorio de la carrera profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, de la Universidad José Carlos Mariátegui, después de implementado el sistema de control y monitoreo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Se buscó, investigó y se encontró repositorios institucionales gratuitos y costosos y en todas las diversas fuentes bibliográficos se obtuvieron posibles resultados negativos en la similitud de esta investigación con otras del pasado, también se indagó en archivos históricos y bibliotecas virtuales, encontrando muy poca información sobre temas similares al expuesto en esta tesis, también se buscó periódicos, libros y revistas, se indagó en planes de tesis y tesis de pregrado, maestrías y doctorados, y en ningún momento se visualizó o encontró información que guarde relación con las dos variables en estudio para esta tesis de titulación, se presume que debe haber información en contextos similares a este, pero no se pudo tener acceso a pesar de las horas invertidas en la búsqueda de ella, finalmente se logró encontrar algunas tesis que hablan o se relacionan de alguna manera a las dos variables que se estudia en contextos diferentes, siendo un indicador de la originalidad de esta misma tesis para su estudio, a continuación se explican o dan a conocer las descripciones de diferentes autores ya sean internacionales y nacionales, nombre de las investigación y una breve conclusión de cada una y cómo influye en nuestro proyecto.

2.1.1. Investigaciones del plan de tesis a nivel internacional

Se ha leído y se analizó las siguientes tesis internacionales de los siguientes investigadores Moreno y Negrete (2002), Curguàn (2004), Lima (2012).

La tesis de Moreno y Negrete (2002) explica la modernización del Sistema de Control y Monitoreo de Alimentación de agua de las Calderas FRAPAL-

FM01 Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador. Realizaron el sistema de monitoreo y el control de temperatura en los gases de combustión en los tubos de la caldera con el objetivo de preservar el tiempo de vida los tubos de las calderas, con la ayuda de sensores, de igual manera en la selección de la instrumentación, para poder cumplir con la protección necesaria.

Se tiene que, al mejorar los sistemas de monitoreo y control, se logrará proteger los equipos instalados, en consecuencia, el aumento de la vida útil de la caldera.

La tesis de Curguàn (2004) da a conocer la modernización sistema de Seguridad Calderas Planta Cullen, basado en PLC y Software de programación concepto Universidad de Magallanes, Chile. Concluye que esta investigación incorpora un sistema de respaldo de seguridad y además de un mecanismo que se conoce por los operadores y personal cercano a la planta.

En nuestro sistema se tendrán nuevos protocolos de seguridad y operación, tanto como el encendido y de los mantenimientos más importantes, los cuales beneficiarán a los docentes, como al alumnado de la escuela profesional.

La tesis de Lima (2012) explica el diseño de Control Automatizado para caldera pirotubular y Scada implementado a través de Labview. Universidad de San Carlos, Guatemala. Concluye en la adquisición de variables de procesos, controlando el nivel de agua y de combustión con la ayuda de sensores.

En nuestra investigación se planea la incorporación de una columna de nivel de agua, la controlará el encendido del quemador. Teniendo la incorporación de la columna se obtendrá una mayor seguridad en la caldera.

2.1.2. Investigaciones del plan de tesis a nivel nacional

Se leyeron las siguientes investigaciones de origen peruano de los siguientes tesis Cornejo (2005), Rodríguez (2006), Cosanatan (2017).

La tesis de Cornejo (2005). Explica la apreciación y control de las pérdidas en energía de la caldera denominada “Ilo 21” y la relación con el carbón empleado. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú. Menciona sobre la importancia de las características del combustible, así mismo sobre la precisión en los lazos de control y sobre la regulación del aire en el quemador para una mejora sobre la eficiencia de la caldera.

La tesis de Rodríguez (2006). Da a conocer el desarrollo de un Sistema de Control Avanzado de la Presión del Vapor en una Caldera de Tubos de Fuego. Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú. Analizó el sistema de control efectivo y fundamenta que la presión generada por el vapor de agua en el interior de la caldera es una de las variables críticas, esto se debe a que el gobernador de combustión en el interior del quemador tiene relación directa sobre el control de la presión de vapor.

Para la mejora de la caldera, tenemos una implementación de monitoreo a la salida de la caldera la cual se encarga de revisar la presión del vapor generado, así mismo la regulación del presostato sobre la misma, para garantizar la seguridad del equipo, las instalaciones y el personal en el área.

La tesis de Cosanatan (2017). Da a conocer el plan de mantenimiento de la sala de calderas del hospital de apoyo Chepen. Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Concluye en que se debe tener los datos técnicos del equipo, debido a que es de gran importancia al tener cualquier duda o incidente, así mismo llevar a cabo un programa preventivo de mantenimiento para evitar el mayor número de fallas y reparaciones.

Así mismo, en nuestro proyecto se tiene que los componentes de monitoreo, funcionamiento y control deben estar en óptimas condiciones para obtener un nivel de seguridad confiable, por lo cual deben contar con un plan de mantenimiento e inspección.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Calderas pirotubulares

Según Panana (2015) las calderas están consideradas como parte de los equipos de mayor uso en la industria, del mismo modo son considerados como los consumidores de combustible de mayor porcentaje del sector, una buena eficiencia de estos equipos cuando operan traerá consigo beneficios para la empresa.

Toda caldera es conocida como un equipo industrial utilizado para producir vapor de agua, para el funcionamiento de turbinas, calentadores, como fluidos y calentamiento en los reactores químicos, para secar materiales y otros usos industriales.

Toda caldera generalmente ha sido diseñada para transferir calor debido a la quema de un combustible sea en los tres estados, a otro fluido que generalmente es agua líquida que se encuentra en el interior de la

caldera, para un correcto y seguro funcionamiento esta caldera deber cumplir ciertas normas de seguridad.

El vapor debe ser producido cumpliendo ciertas condiciones deseadas, es variables como la presión, la calidad y la temperatura. Por razones económicas, el mínimo de pérdidas de calor. El vapor que se utiliza en los equipos de plantas industriales se puede condensar y reutilizar

Según Ubillús (2006) en las calderas pirotubulares, los gases a altas temperaturas provenientes de la cámara de combustión atraviesan lo largo del interior de tubos ubicados en la caldera y están en contacto directo con el agua. Las presiones operativas son próximas a los 150 PSI y las potencias se encuentran entre los 10 y 800 BHP. Este tipo de calderos es el más comercial y de mayor uso en pequeñas plantas industriales. Las ventajas de este tipo de calderas son las siguientes, tienen un costo pequeño de inversión. tienen una eficiencia mayor del 80%, debido al volumen considerable de agua son capaces de absorber grandes y súbitas fluctuaciones de carga variando los niveles de presión. Pueden ser puestas en operación después de ser montadas.

Según Jave (2009) las calderas pirotubulares son aquellos aparatos adaptados a una fuente de calor donde los gases a altas temperaturas salientes del quemador viajan en el interior de tubos, estos van instalados dentro de un casco.

En este tipo de calderas los gases de combustión viajan a lo largo del interior de la caldera, su aplicación es de presiones y capacidades bajas, teniendo una presión de trabajo de hasta 250 PSI.

Son utilizadas mayormente en plantas o edificaciones que requieren cantidades de vapor relativamente reducida, su construcción tiene que cumplir con el código ASME.

2.2.1.1. Funcionamiento

Según Panana (2015) en las calderas pirotubulares, su funcionamiento se debe a la transferencia de calor que es generado por la quema de un combustible al estar en contacto con agua que se encuentra contenida dentro del casco. se reconocen dos regiones claves: la región de escape de energía y la región de tuberías.

Región de escape de energía

Según Panana (2015) llamada también hogar, la cámara de combustión, es el área donde el combustible es quemado. Este espacio puede formar parte de la caldera en su interior o también cercano a esta. Cuando se ubica en el interior, la cámara de combustión está ubicada en el interior del casco.

En el exterior, la cámara de combustión u hogar es construida fuera del casco. La transferencia de calor es de tipo radiación por las llamas de la combustión y el agua.

Región de tuberías

Según Panana (2015) en esta zona los gases calientes transfieren generalmente su calor por convección al agua, se pueden identificar tubos por donde se encuentran los gases calientes o el agua.

2.2.2. Clasificación de las calderas

Se pueden clasificar de diferentes formas, tal como se describe a continuación:

Según Panana (2015) su clasificación se da según criterios diversos, por la distribución de los fluidos y su desplazamiento, el modo en que se transmite calor dominante, la estructura, la manera que el sistema intercambia calor, la forma que es quemado el combustible, la alimentación del agua.

Se pueden clasificar según los siguientes puntos:

Según su movilidad

Según Panana (2015) fija o estacionario, móvil o portátil.

Por la disposición de los fluidos

Según Panana (2015) las Acuotubulares, con tubos de agua, y los Pirotubulares de tubos de humo.

Por la posición del tambor o hervidor

- Horizontales
- Verticales

Por la posición de los tubos

- Verticales
- Inclínados
- Horizontales

Por el número de pasos

- Un paso
- Dos pasos
- Tres o más pasos

Por la circulación del agua

- Por circulación del agua
- Por circulación forzada
- Por circulación asistida

Por el mecanismo de transmisión de calor dominante

- Por convección
- Por radiación y convección
- Por radiación

Por el tiro

- De tiro natural
- De hogar presurizado
- De hogar equilibrado

Por presión de trabajo

Según Panana (2015) de presión baja, de 0 a 2,5 bar, de presión media de 2,5 a 10 bar, y de presión alta entre 10 a 220 bar, calderas supercríticas más de 220 bar.

Por el tipo de construcción

- Por montaje en el campo
- Por montaje en la fábrica

Por el modo de gobernar la operación

- De operación manual
- Modo Semiautomáticos
- Modo Automáticos

Clasificación por los materiales

- Calderas de materiales fundición
- Calderas de material de acero
- Calderas de materiales murales

Según la generación.

- De agua caliente
- De vapor saturado (húmedo o seco), vapor recalentado.

Según la circulación del agua y de los gases calientes

- **Calderas Pirotubulares**

Según Panana (2015) en estas calderas los fluidos compresibles calientes (gases) fluyen por los tubos transfiriendo calor al agua que se encuentra en contacto con los tubos.

- **Calderas Acuotubulares**

Según Panana (2015) en este tipo de calderas, el fluido no compresible (Agua) se desplaza por el interior de las tuberías, al cual es transferido el calor captado de los gases calientes que fluyen en contacto con los tubos. Las calderas Acuotubulares permiten gran generación de vapor sobrecalentado, estas calderas son vitales para generar potencia mediante turbinas, en las plantas térmicas.

Existen calderas mixtas, para capacidades bajas, calderas con principios acuotubulares

Según el tipo de combustible

Según Panana (2015) puede ser sólido, de carbón, biomasa, etc.

También líquido, fuel oíl, querosene, etc. o Gaseoso, calderas de GLP y gas natural.

2.2.3. Características principales de calderas pirotubulares

Según Panana (2015) generalmente es un recipiente metálico, son fabricados principalmente de acero. Las formas más utilizadas son cilíndrica o semicilíndrica, y son interceptados por las tuberías.

En el interior de estas tuberías fluyen los gases calientes. Debido a motivos de resistencia de materiales, son de limitado tamaños alcanzando dimensiones de 2.5 metros de radio y 10 metros de largo. Generalmente son construidos para flujos de 20 000 kg/h de vapor y la presión no debe exceder los 18 bar.

Para la generación de agua caliente se les adhiere un estanque de expansión que absorbe las dilataciones del agua. Y para el vapor saturado poseen un nivel de agua de 10 o 20 cm.

Sus principales características son:

- Nivel de sencillez de construcción.
- Nivel de facilidad de inspección, reparación y limpieza.
- Son de peso considerable.
- Su puesta en operación es lenta.
- Presentan un gran peligro por explosión debido a la gran presión que tienen su interior al calentar el agua, en el siguiente Tabla 1, se presenta una clasificación de las calderas piro tubular.

Según Panana (2015) para la caldera de vapor pirotubular, en éstas los gases a altas temperaturas recorren el interior de los tubos, y el agua se encuentra en el exterior, los gases calientes que salen del quemador fluyen a través de tuberías embebidos en el agua contenida en el cuerpo de la caldera, hasta el fin de una chimenea que va al exterior.

Al pasar por las tuberías estos entregan el calor al agua, haciéndola hervir, y generando el vapor de agua, una válvula de seguridad impide que la caldera llegue a presiones peligrosas para la caldera.

Tabla 1

Clasificación de calderas pirotubulares

Clasificación de caldera pirotubulares			
Clasificación	Movilidad	Tipo	Pasos
Horizontales	Estacionarias	Hogar exterior	1 paso
		Hogar interior	2 pasos
	Móviles	Loco móviles	4 pasos
		Locomotoras	
Verticales	Tubulares		
	De tambores		

Fuente: Panana (2014)

En el caso de calderas mixtas se instalan un banco de tubos recalentadores de vapor, que se encuentran en la cámara de combustión.

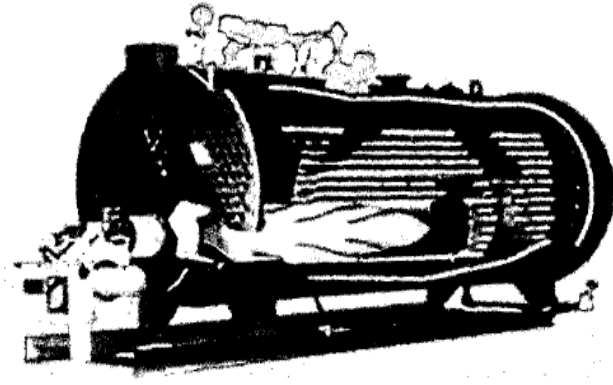


Figura 1. Caldera Piro tubular.

Fuente: L.A Molina y J.M Alonso: "Calderas de Vapor en la Industria", Ed. Cadem- Eve, B

2.2.4. Características principales de calderas acuotubulares

Según Panana (2015) estas calderas están constituidos por uno o más cilindros que contienen el agua unidos por tubos de diámetros pequeños que por su interior fluye el agua. Este tipo de calderas son usados, para vapores en gran cantidad y calidad son elevados. Las calderas acuotubulares, son diseñadas para capacidades mayores de 5 Ton/h (5000 kg/h de vapor), se pueden obtener vapor a temperaturas de 550°C y presiones de 200 bar aproximadamente. Las calderas acuotubulares, ya que utilizan diámetros menores se tiene lo siguiente:

- Puede Aceptar presiones de trabajo mayores, las dilataciones son mejor aceptadas con una mayor seguridad, son las calderas más eficientes, necesitan poco tiempo para su puesta en operación.
- Son de construcción compleja y las hacen más costosas con respecto a las calderas piro tubulares, por este motivo solo son diseñadas para calderas de gran capacidad.

- Las calderas acuotubulares se clasifican en: Calderas de tubos rectos, De tubos curvados con uno o más colectores, Calderas acuso tubulares con circulación forzada.

Según Panana (2015) las calderas acuotubulares, el agua fluye por el interior de las tuberías, teniendo contacto por el exterior con los gases de combustión, consiguiendo con diámetros menores una presión de trabajo superior.

El proceso de ignición del combustible se da en la cámara de combustión, esta es atravesada por tuberías que contienen agua, que se calientan y transforman el agua de estado líquido a estado gaseoso, en forma de vapor. Los tubos son montados de manera longitudinal ya el área de contacto por calefacción es mayor y son colocados inclinados para que el vapor de agua ascienda y se consiga de manera natural la entrada de fluido por la parte inferior de la tubería.

Son utilizadas cuando se requieren vapor a alta presión y son capaces de generar diferentes potencias que ayudaron en la industrialización de inicios del siglo XX en su mayoría en centrales eléctricas y otras industrias.

El vapor producido es de naturaleza seca, son ideales para los sistemas de transmisión de calor. Se caracterizan por uso de combustible sólidos, como el carbón y de dimensiones reducidas, en la actualidad se utilizan combustibles como el Diesel o gas.

La generación del vapor de agua depende de dos de las características de los gases y son la temperatura y la presión

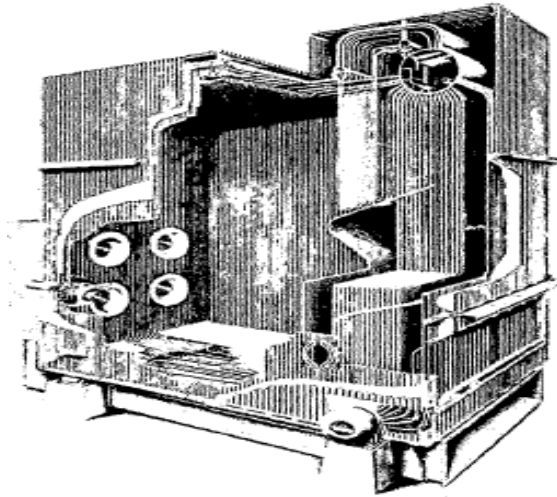


Figura 2. Caldera Acuotubular con combustión central.

Fuente: L.A Molina y J.M Alonso, Calderas de Vapor en la Industria, Ediciones Cadem - Eve B

2.2.5. Secuencia del proceso de encendido de una caldera pirotubular

Se inicia con el encendido del quemado, generalmente se realiza con un programa de manera automática, la secuencia es la siguiente:

Según Jave (2009) inicia accionando los instrumentos que se encargan de controlar las purgas, como las de aire, del mismo de controlar el ventilador sobre los gases de combustión, del sistema de combustible y como último del sistema de agua. Siguiendo la secuencia, primero se acciona el sistema de ventilación y el de compresor de aire al igual que la bomba de petróleo, toma un total de unos diez minutos teniendo en consideración las dimensiones del caldero y del programador. Se accionará la bomba de agua debido a que el caldero debe tener un mínimo de nivel de agua, para su operación, caso contrario el quemador no iniciará, motivo por el cual el programador se bloqueará para evitar recalentamiento del caldero. Es peligroso cuando el caldero se encuentre sin agua e ingrese agua fría, debido que puede ocasionar rajaduras en el caldero o que los tubos se

aflojen, la formación de cristales en las zonas que presenten recalentamiento determinando pérdida de resistencia y de las propiedades originales del caldero. Estas fallas se suelen presentar cuando existen cortes del suministro de energía y el caldero sigue en operación, generando vapor hasta agotar toda el agua del interior.

Según Jave (2009) como segundo paso es encender el sistema de ignición primario, accionando el solenoide que permite el paso del combustible para iniciar el encendido, en su mayoría de casos este combustible es petróleo o gas, por ser muy inflamables. Es puesta en marcha una bomba de combustible del sistema de encendido primario o piloto. Simultáneamente con el ingreso de combustible, se genera una chispa entre dos electrodos, y el pirómetro óptico con el sistema de foto celda y circuito amplificador de voltaje, estos se encuentran activados durante todas las secuencias de encendido, para la detección de la llama en el encendido primario. El tiempo de este periodo es de 10 a 15 segundos. Si la fotocelda no detecta aparición de la llama, la válvula solenoide se desactiva, y la caldera volverá a purgar si así está configurado el programador, después de este acto puede volver a encender, o de caso contrario sonara una alarma, para calderas más modernas, están se auto diagnostican y realizan la autocorrección necesaria para su puesta en marcha.

Según Jave (2009) Si la fotocelda reconoce la llama, se acciona la válvula solenoide encargada del paso del combustible de operación, los petróleos pesados por su bajo costo son los combustibles de operación. En el caso que sea el programador automático y moderno, no permitirá la inyección del combustible principal si no se alcanzó la temperatura de

operación, este factor está controlado por un sistema de termostato y termómetro que censan la temperatura del combustible precalentado gracias a una resistencia.

El tiempo de accionamiento simultáneo de los dos sistemas sea de sistema de ignición primario y el de operación dura aproximadamente a lo máximo medio minuto, todo según el volumen del caldero en todo este proceso están activados el sistema de fotocelda y pirómetro juntamente con la bomba principal de combustible que por motivos de economía trabajan con petróleo pesado.

Cuando el pirómetro detecta la presencia de la llama, el sistema de ingreso de combustible del sistema primario de ignición se apagará, para dar inicio al calentamiento de la caldera de forma normal. Desde este punto el control automático de la caldera dependerá de los controladores de presión de vapor y el nivel de agua.

Si el interior de la caldera el fluido se encuentra a temperaturas bajas y recién empieza a calentar la estructura metálica, se recomienda hacer la operación de manera mecánica o manual y llevar a la caldera al calentamiento lentamente a su presión nominal con una llama baja lo menor que sea posible, recordando que, si la caldera es de grandes dimensiones, el calentamiento debe ser lento.

Se recomienda utilizar por los menos de dos horas de llama baja para calderas menores a 200 HP. Para calderas grandes, el proceso de calentamiento del hogar debe de ser por lo mínimo de seis horas (Calderas de 500 HP). Este modo de funcionamiento mínimo es activado al colocar el

interruptor en su modo manual, forzando al motor modutrol que trabaje con lo mínimo de combustible.

Ya con la caldera caliente, el quemador operara con llama alta, hasta que el presostato, alcance la presión de trabajo, luego de manera automática el motor modutrol se activara llevándolo a su posición de operación mínima, el presostato de control apagará el motor cuando se haya alcanzado la presión límite, cuando la presión baje al límite inferior el presostato volverá a activar secuencia de encendido nuevamente.

2.2.6. Componentes para el control y monitoreo

2.2.6.1. Instalación del control de nivel de agua

Las calderas deben estar provistas, de elementos que permitan conocer el nivel de agua de la cámara, llamado (McDonnell) provisto de tubo de cristal o visor el cual nos permite divisar una columna de agua que enseña el nivel de agua el interior de la cámara de la caldera. Este elemento se lo ubica en posición vertical a una distancia de 10 cm de la camisa en la parte lateral en donde están ubicados los niples de salidas, a una altura de entre el nivel mínimo y el nivel máximo de funcionamiento, en el interior del cilindro de este elemento se ubican tres electrodos de cobre de longitudes diferentes, con salida de conexión a una placa de control y esta emite una señal para encendido y apagado de la bomba de agua.



Figura 3. Control de nivel de agua.

Fuente: Instrumentos de medición – caldera

2.2.6.2. Instalación de Manómetro

Es un instrumento que está previsto de dos rangos de control, los mismos que nos sirven para controlar el encendido y apagado del quemador, este instrumento se lo calibra por debajo de los niveles de cálculo de diseño de trabajo de la caldera, como son: presión mínima y presión máxima de trabajo que requiera en su uso. El presostato instalado tiene un rango de 0 - 100 PSI.

El manómetro se instalará para la medición de presión y la identificación de niveles de presión



Figura 4. Manómetro.

Fuente: Instrumentos de medición – caldera

2.2.6.3. Instalación de la válvula de seguridad

Este dispositivo tiene la misión de evitar la sobrepresión de la caldera, es decir en el caso de un desperfecto en el presostato, esta válvula se activa dejando pasar el exceso de vapor, evitando así una posible explosión de la caldera, en conclusión, este elemento protege a la caldera de presiones excesivas. Se recomienda que toda caldera fija deba estar equipada con una válvula de seguridad y debe ser comprobada y calibrada antes de su instalación en la caldera.



Figura 5. Válvula de seguridad.

Fuente: Instrumentos de medición – caldera

2.2.6.4. Instalación del medidor de temperatura

Este elemento llamado termómetro analógico, está previsto de un indicador o medidor y una vulva de mercurio, que nos permite observar a que temperatura están los cuerpos en el interior de la caldera (agua – vapor), en el caso de nuestra caldera se instaló dos medidores de temperatura, los mismos que están ubicados en las cámaras de agua y de vapor. Los termómetros instalados tienen un rango de medición de 10-150 °C.



Figura 6. Medidor de Temperatura.

Fuente: Instrumentos de medición – caldera

2.2.6.5. Instalación de válvula de cierre

Estos accesorios permiten el pase o cierre desde la red de alimentación de agua hacia la caldera.



Figura 7. Válvula de cierre.

Fuente: Instrumentos de medición – caldera

2.2.7. Sistemas de control y monitoreo

Las responsabilidades de una caldera con operación de confianza se pueden aceptar, pero debido a la seguridad, eficiencia de la caldera, y confiabilidad, se pueden conservar mediante un sistema de control y monitoreo para la caldera pirotubular.

Todo recipiente que tenga presión en su interior representa un riesgo para las personas que están en contacto con ese ambiente, el motivo por el cual su construcción está basado en normas, del mismo modo para su instalación operación y mantenimiento.

La persona con el mayor grado de responsabilidad es el operador de la caldera, y debe tener siempre en cuenta los cuidados para mantener en las mejores condiciones la seguridad del equipo, de los compañeros de trabajo, como ambiente laboral. Teniendo en consideración que el fabricante se libra de toda responsabilidad de operación al entregar las piezas de la caldera bajo las normas ya establecidas según ASME.

El montaje de los equipos como de la caldera adecuada, muestra un grado alto de responsabilidad, pero mediante un sistema de control y monitoreo mejorara la seguridad de la caldera pirotubular, inspeccionando los accesorios que tal vez sean inadecuados o se encuentren descompensados.

Este es el motivo por lo que el presente trabajo, recolecta información bibliográfica, experiencia de operadores, o personal que tienen contacto directo con el funcionamiento de calderas, con la finalidad que brinde soporte para el mejoramiento de la seguridad mediante el monitoreo y sistema de control.

Se realizará de manera individual las actividades de la caldera, ya que con un adecuado plan de monitoreo se obtendrá una mejor seguridad y así mismo la mayor eficiencia del equipo.

2.2.7.1. Sistema de control y monitoreo del agua

Para evitar la falta de agua, en el interior de la caldera en funcionamiento, se utiliza un flotador de control de nivel, el cual le da pase al contactor de la bomba y de este modo no tener implosiones provocadas cuando el flujo de agua de ingreso a la caldera esta obstruido o no tiene caudal,

provocando que el sobrecalentamiento de la caldera y su posterior colapso por temperatura.

También se observa en otros equipos que existe un control de nivel auxiliar Warrick, cuando el primer control falla, este auxiliar, cuando censa un bajo nivel de agua inhabilita el quemador.

Es necesario recordar que, si se detecta el nivel de fluido el interior de la caldera a la mitad del volumen de su capacidad, no realizar el ingreso de agua fría debido al, choque térmico en el interior de la caldera, colapsándola.



Figura 8. Control de nivel por flotador.

Fuente: Sanchis julio, Calderas industriales (2006)



Figura 9. Control de nivel auxiliar Warrick.

Fuente: Instrumentos de medición – caldera (2006)



Figura 10. Implosión de calderas.

Fuente: Instrumentos de medición – caldera (2006)

2.2.7.2. Sistemas de control, seguridad y monitoreo

En la tabla 2 puede identificarse los elementos de seguridad y monitoreo:

Tabla 2

Elementos del sistema de alimentación de combustible.

Dispositivo	Función
Filtro	Protege de cuerpos extraños presente en el combustible.
Bomba	Encargada del movimiento del combustible.
Válvula deaeradora	Extracción del aire presente en el recalentador eléctrico.
Válvula Termostática	Mantener la temperatura del combustible constante, se encuentra localizada en el calentador de vapor.
Válvula reductora	Encargada de reducir la presión de vapor en la línea del precalentador según se requiera.
Válvula modulante	Una de las válvulas principales, encargada de regular la presión y cantidad de combustible en el quemador.
Válvula solenoides	Controlan el flujo de combustible.
Trampa de vapor	Extraen condensados de vapor de agua.
Manómetro	Muestran presión del sistema, instalada después de filtros.
Termómetro	Muestran temperatura del sistema, debe ser instalada después de filtros

2.3. Definición de términos

- a) **Manómetros**, Según Pinedo y Ruiz (2017) todas las calderas deben, tener un manómetro, estos son conectados preferentemente a la cámara de vapor de la caldera, mediante un tubo sifón en R, que protege al mecanismo del dial de las altas temperaturas, este instrumento es el indicador del estado de demandas del vapor que el técnico operador tiene, este debe tener, un diámetro de 150 mm y ser de tipo tubería bourbon. Estos manómetros mostraran la presión actual de trabajo y la presión máxima que la caldera puede operar.

- b) **Indicador de nivel de agua**, Según Pinedo y Ruiz (2017) tener un buen nivel de agua en el interior de la caldera permitirá cumplir con la necesidad de vapor de agua que requiera una planta, con los variados consumos de vapor de agua en las calderas actuales, será necesaria la eficiente respuesta para estos cambios en el nivel de agua.

Para percibir el nivel real de agua en el interior de la caldera, se cuenta al menos un mínimo de un indicador de nivel de agua, conformado por un tubo de cristal, que debe mostrar lecturas bajas del nivel a 5 centímetros del lugar donde se dará el sobrecalentamiento, estos instrumentos están en ambientes de corrosión por los químicos en el agua de la caldera, se recomienda tener estas tuberías de cristal en stock, para su cambio inmediato si es que estos sufren algún daño, se debe asegurar que exista siempre un nivel adecuado para realizar el mantenimiento antes de cerrar el indicador de nivel.

c) **Hogar**

Según Pinedo y Ruiz (2017) conocida como la cámara de combustión, es el lugar donde se presenta la mayor concentración de calor y altas temperaturas, es donde se realiza la quema de los combustibles, generalmente es un área corrugada de modo que compense los esfuerzos generados por la temperatura.

d) **Cilindro o tambor**

Es la carcasa de forma cilíndrica del exterior que da forma al caldero, tiene las siguientes partes:

Cámara de agua

Según Pinedo y Ruiz (2017) es el volumen que llena el agua en la caldera y debe tener un nivel mínimo del cual no se puede operar si está por debajo de este, por motivos de operación y seguridad.

Cámara de vapor

Según Pinedo y Ruiz (2017) es el que ocupa y donde se almacena el vapor de agua de agua generado por la caldera. Si el requerimiento del vapor de agua es variable, se requiere de un mayor volumen de esta cámara. En este espacio, el vapor de agua generado por el calentamiento del fluido debe separarse de las partículas de agua que lleva en suspensión. Por este motivo, algunas calderas tienen un domo, que es un pequeño cilindro en la parte superior de esta cámara, mejorando la calidad del vapor.

e) **Cámaras de humo**

Según Pinedo y Ruiz (2017) es el espacio de la caldera donde los gases y humos del proceso de quema de combustible se encuentran posterior del recorrido alrededor de las tuberías de agua cediendo su energía en forma de calor para posteriormente salir por la chimenea.

f) **Chimenea**

Según Pinedo y Ruiz (2017) los gases generados por la combustión salen a la atmosfera, mediante un conducto (chimenea), para evitar perjuicios los gases deben ser evacuados a una determinada, para las calderas que utilizan combustibles sólidos, se necesita pasar el aire para obtener una adecuada combustión, convirtiendo la chimenea, como parte fundamental de la caldera.

g) **Quemador**

Según Pinedo y Ruiz (2017) se encarga de la mezcla de combustible y aire para la obtención de calor mediante la combustión, y así generar vapor de agua, convirtiéndolo en una de las partes claves de toda la caldera.

h) **Ventiladores de aire**

Según Pinedo y Ruiz (2017) en su mayoría son de tipo centrífugo, estos impulsan aire en el interior de la caldera es el encargado de brindar el aire de combustión.

i) **Caldera**

Según Jave (2009) tienen el principio de un intercambiador de calor, transfieren la energía térmica almacenada en los químicos de los combustibles utilizados ya sean petróleo, gas natural, carbón etc. al fluido (agua) convirtiéndola en vapor para diferentes procesos industriales.

Es un contenedor hermético de metal, que en su interior mediante combustión se genera vapor a presiones mayores que la atmosférica.

j) **Transferencia de Calor**

Según Cengel y Ghajar (2011) es una ciencia básica que estudia la rapidez con la que la energía térmica se transfiere, sus aplicaciones van desde la biología hasta artefactos domésticos de uso diario, también se pueden observar en los edificios residenciales y comerciales, y al igual que en los procesos industriales.

Existen tres vías para conducir el calor que es generado al quemarse el combustible: radiación, convección y conducción. Pueden darse por un solo tipo o la combinación de los tres.

Y según Holman (1996) es la ciencia que estudia la predicción del fenómeno del intercambio de energía entre cuerpos, provocado por la diferencia de temperatura de estos. La termodinámica explica lo que se define como calor a la transferencia de energía. La ciencia de la transferencia predice la rapidez con la que, bajo ciertas pautas, tendrá lugar esa transferencia. El hecho de que el objetivo deseado del análisis sea la rapidez de la transferencia del calor, señala la diferencia entre la transferencia de calor y la termodinámica.

Los sistemas que se mantienen en equilibrio, pueden entenderse con la termodinámica; se puede predecir la cantidad de energía requerida para llevar un sistema desde un estado de equilibrio a otro; Por el contrario, para la predicción de la rapidez del cambio en el sistema debido a que no se encuentra en equilibrio durante el proceso, se requiere de la ciencia de transferencia de calor para complementar los bases de la termodinámica, al brindar leyes experimentales adicionales usadas para indicar la rapidez con que se da la transferencia.

Como un ejemplo claro y sencillo para entender estas diferencias, imagine el enfriamiento de una pieza de acero a una temperatura elevada que es sumergido en el interior de cierto recipiente con un volumen de fluido. La termodinámica nos ayudará a estimar la temperatura final de equilibrio del cuerpo en el interior del recipiente con agua, pero no nos da cual es el tiempo que demora en llegar al equilibrio térmico.

Mientras que la transferencia de calor predice la temperatura del sistema como función del tiempo.

k) **Radiación**

Según Holman (1996) indica que la radiación térmica es un fenómeno provocado por la diferencia de temperaturas, en la zona donde exista un vacío perfecto, de este modo transfiriéndose calor.

Entonces, se puede indicar que es una transferencia directa de calor en forma de energía radiante, provocado de la quema de un combustible o de las llamas radiantes, al cuerpo de la caldera o a los tubos. La extensión de la superficie que se encuentra expuesta a los efectos de las flamas es una función de la absorción por radiación de una caldera.

1) **Convección**

Según Cengel y Ghajar (2011) la convección es la manera que se transfiere calor entre un área y un fluido, este tipo de intercambio de calor comprende los efectos combinados del cambio de un movimiento de fluidos y la conducción. La relación es proporcionalmente directa, si el fluido se mueve más rápido, la transferencia de calor será mayor por convección.

El movimiento del fluido incrementa la transferencia de calor entre el área sólida y el anterior ya mencionado, este movimiento también aumenta la dificultad de aproximación de resultados, si no se tiene este movimiento masivo del fluido, se conoce a esta transferencia como conducción pura.

Entonces podemos indicar que la convección es la transferencia de calor entre un fluido compresible o no compresible, originado por el flujo, que obliga a las partículas de menor temperatura ser reemplazadas continuamente por las más calientes al contacto con la superficie que absorbe calor. A diferencia, la convección natural o libre, es originada únicamente por la diferencia de densidad de los involucrados, que varían de la diferencia de temperatura. La convección forzada, es provocada por medio de una fuerza mecánica, adicional al sistema para darle al fluido movimiento.

m) **Conducción**

Según Cengel y Ghajar (2011) la transferencia de calor por conducción ocurre cuando las partes con más energía de una sustancia se dirigen hacia las de menor energía más cercana, provocado por la interacción de las partículas ya mencionadas. La conducción se presenta en los tres estados. Para los estados de gases y líquidos se da mediante la interacción de las moléculas en su movimiento libre. A diferencia de los sólidos, se dan por vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres.

Según Cengel y Ghajar (2011) la rapidez de la conducir calor por medio un medio dependerá del tipo geometría configurada que este tenga, su grosor y material haya sido fabricado, del mismo modo del diferencial de temperatura existente en este objeto. Se conoce que, al envolver un reservorio de algún fluido caliente con un material con bajo coeficiente de conductividad térmica, la razón de la pérdida de calor de ese reservorio se reducirá. Del mismo modo mientras mayor sea el espesor del aislamiento, disminuirá la pérdida o ganancia de calor, dependiendo la ubicación del foco.

n) **Polvo del humo**

Son pequeñas partículas sólidas que han sido abrasadas por el gas y fueron empujadas por los productos de la ignición, también se tienen partículas de ceniza, al igual que residuos de combustible levemente quemado, y cenizas con condición pegajosa las cuales tienen una incipiente deformación.

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de la investigación

Nuestra investigación es de tipo tecnológica aplicada, ya que busca la aplicación del conocimiento técnico a la solución de un determinado problema. Este tipo de investigación se basa en la consecuencia de la indagación básica, la cual a su vez está condicionada a una necesidad por resolver, generando nuevos procedimientos que serán aplicados.

3.2. Instrumentos tecnológicos para la recolección de datos

Se usarán los siguientes procedimientos para la recolección de datos:

- Entrevista a operadores y usuarios para definir los procesos de operación del equipo y aplicación de encuesta.
- Establecer los protocolos de los equipos y procesos seleccionados (Quemador, Bomba de alimentación de agua, Sistema de alimentación hidroneumática, vigilancia de los niveles de presión y temperatura del vapor de agua, monitoreo de los gases quemados)
- Asignar niveles de prioridad y seguridad mediante MBR (Mantenimiento Basado en el Riesgo) y comparación de operación y entendimiento del equipo antes y después de las mejoras realizadas mediante una encuesta tipo Likert.
- Implementación de los siguientes instrumentos:
 - Equipo de bombeo (1 hp, 115 PSI, 90°C monofásico).
 - Válvula check de 1pulg para vapor de 200 PSI.
 - Presostato para tanque hidroneumático.

- Termostato HoneyWell, con, con bulbo para equipo calentador.
- Válvula solenoide de ¾ pulg. para vapor de 125 PSI.
- Manómetro para agua de entrada.
- Termómetro digital para agua de entrada.
- Manómetro para vapor de salida.
- Termómetro digital para vapor de salida.
- Pirómetro para gases de chimenea.
- Válvula de control de nivel.

3.2.1. **Sistemas de control y monitoreo**

Las responsabilidades de una caldera con operación de confianza se pueden aceptar, pero debido a la seguridad, eficiencia de la caldera, y confiabilidad, se pueden conservar mediante un sistema de control y monitoreo para la caldera pirotubular.

Todo recipiente que tenga presión en su interior representa un riesgo para las personas que están en contacto con ese ambiente, el motivo por el cual su construcción está basado en normas, del mismo modo para su instalación operación y mantenimiento.

La persona con el mayor grado de responsabilidad es el operador de la caldera, y debe tener siempre en cuenta los cuidados para mantener en las mejores condiciones la seguridad del equipo, de los compañeros de trabajo, como ambiente laboral. Teniendo en consideración que el fabricante se libra de toda responsabilidad de operación al entregar las piezas de la caldera bajo las normas ya establecidas según ASME.

El montaje de los equipos como de la caldera adecuada, muestra un grado alto de responsabilidad, pero mediante un sistema de control y monitoreo mejorara la seguridad de la caldera pirotubular, inspeccionando los accesorios que tal vez sean inadecuados o se encuentren descompensados.

Este es el motivo por lo que el presente trabajo, recolecta información bibliográfica, experiencia de operadores, o personal que tienen contacto directo con el funcionamiento de calderas, con la finalidad que brinde soporte para el mejoramiento de la seguridad mediante el monitoreo y sistema de control.

Se realizará de manera individual las actividades de la caldera, ya que con un adecuado plan de monitoreo se obtendrá una mejor seguridad y así mismo la mayor eficiencia del equipo.

3.2.1.1. Sistema de control y monitoreo del agua

Para evitar la falta de agua, en el interior de la caldera en funcionamiento, se utiliza un flotador de control de nivel, el cual le da pase al contactor de la bomba y de este modo no tener implosiones provocadas cuando el flujo de agua de ingreso a la caldera esta obstruido o no tiene caudal, provocando que el sobrecalentamiento de la caldera y su posterior colapso por temperatura.

También se observa en otros equipos que existe un control de nivel auxiliar Warrick, cuando el primer control falla, este auxiliar, cuando censa un bajo nivel de agua inhabilita el quemador.

Es necesario recordar que, si se detecta el nivel de fluido el interior de la caldera a la mitad del volumen de su capacidad, no realizar el ingreso de agua fría debido al, choque térmico en el interior de la caldera, colapsándola.

3.2.1.2. Sistema de control y monitoreo del regulador de tiro forzado (Damper)

El motor modulador garantiza que la caldera encienda en la posición bajo fuego. Evitando de este modo explosiones por exceso de aire y, o combustible.

3.2.1.3. Sistema de control y monitoreo de la llama

El buen control de combustión asegura que se produzca y permanezca la presencia de llama, el sistema tiene un procedimiento de encendido y operación de la caldera, bien para encender o apagar el sistema de combustión mediante el constante censo de variables

3.2.1.4. Sistema de control y monitoreo de condensados

El uso de válvulas flotador, para el control de nivel de fluidos, se recomienda a la vez de este tipo de control, utilizar el nivel Warrick, electrodos y válvulas solenoides, para incrementar la seguridad.

3.2.1.5. Sistemas de control y monitoreo del tanque combustible

Existen tanques de combustible utilizados como recipientes de calentamiento, para su fácil transporte por la bomba, y ayudar con el incremento de temperatura en el precalentador.

Estos recipientes deben tener las siguientes condiciones, control de nivel, control de temperatura, bomba de trasiego, termómetro, resistencia eléctrica, venteo, drenaje, entrada y salida de combustible.

Se recomendaría que para un futuro proyecto o trabajo de investigación se implemente este tipo de tanques con este aspecto, el actual está sujeto a mejora.

3.2.1.6. Sistema de control y monitoreo de vapor

Inhabilita el control de combustión cuando se alcanza la presión de trabajo en el interior del tanque de almacenamiento de vapor, mediante presostato de mercurio (45 PSI).

3.2.1.7. Sistema de control y monitoreo en las válvulas de seguridad

Para evitar que las calderas produzcan sobrepresiones que puedan deteriorar el interior de esta, se utilizan estas válvulas, que se abren a determinada presión de trabajo, estas solo deben ser accionadas por personas autorizadas, estas válvulas son de vital importancia debido a la criticidad, una sobrepresión en el interior de la caldera podría mandar alguna pieza despedida con gran presión impactando contra una persona o equipo cercano.

Se distinguen dos tipos los cuales son los siguientes:

Las válvulas de alivio se abren directamente proporcional según el incremento de presión que se, se utilizan para fluido no compresibles (líquidos).

Las válvulas de seguridad se abren de manera rápida, empleadas para líquidos comprensibles, como vapor o aire.

La calibración, de estos componentes se debe realizar con mucho cuidado, debido a que una presión de ajuste por encima de lo requerido hará que la caldera trabaje a una mayor presión que la que se necesite, y un ajuste inferior a la que necesite, provocara que las válvulas actúen frecuentemente.

3.2.1.8. Sistema de control y monitoreo en purgas

Existen sedimentos y material particulado, que deben ser extraídos, para evitar que se formen cuerpos extraños en el interior de la caldera, de este modo se evita también la toma de mediciones de presión y temperatura erróneos.

Se puede distinguir las siguientes purgas; columnas de agua, purga de fondo y purga de continua.

Las columnas de agua res realizan por lo menos cada turno, se debe evitar la presencia de lodos, el flotador se podría quedar atascado, mandando la señal que el caldero tiene agua en su interior, siendo muy peligroso.

Las purgas de fondo se realizan para extraer todo el lodo que se ubica en el inferior de la caldera, se generan puntos calientes por la sedimentación que atentan con la estructura de la caldera.

La purga continua, se encarga de extraer lodos que acompañan al agua, espumas y grasas, se le llama continúa debido a que la válvula se mantiene en una fracción abierta.

3.2.1.9. Sistema de control y monitoreo en termostatos

Los termostatos de funcionamiento tienen como fin apagar los quemadores cuando alcancen la temperatura deseada, cumpliendo las necesidades de producción y consumo, esta misión de los termostatos de funcionamiento también puede ser tomada por los equipos de regulación externos al quemador. En el caso la caldera cuente con un quemador modulante los termostatos son sustituidos por la regulación proporcional.

Los termostatos de seguridad actúan cuando los de funcionamiento han fallado, y el quemador no para su operación cuando incluso ya se haya alcanzado la temperatura límite, llegando a temperaturas muy peligrosas, por esta razón debe ser de rearme manual, para indicar al operador que hay un mal funcionamiento para que puedan ser inspeccionadas y levantar esos errores.

Los termostatos de humo controlan el conjunto de caldera- quemador, debido que, si la temperatura de humos se incrementa, las pérdidas por la chimenea son elevadas. Del mismo modo están deben ser de rearme manual, para dejar en evidencia este exceso de temperatura, y tomar acciones para solucionar esta condición, cumpliendo del mismo modo una función de seguridad, ya que por exceso de temperatura puede llegar a provocar incendios.

3.2.1.10. **Sistema de control y monitoreo en termómetros**

El objetivo de los termómetros en el sistema es la obtención de datos, sobre el funcionamiento, se tienen los siguientes termómetros: un termómetro de impulsión, termómetro de retorno, termómetro en el conducto de humos.

3.2.1.11. **Sistema de control y monitoreo en manómetros**

El objetivo de los manómetros es tomar mediciones de la presión del interior de la caldera, es necesario como mínimo tener un manómetro en la cámara de vapor, en un lugar de fácil visibilidad para el operador.

3.2.2. **Mantenimiento de la caldera**

La prevención de accidente y lesiones de los alumnos al operar la caldera piro-tubular de 12 BHP, está relacionada a la prevención y en mantener en buenas condiciones el equipo de generación de vapor, aumentando la seguridad y evitando riesgos y mejorando los procesos.

Los objetivos de mantenimiento la caldera son los siguientes:

- Aumento de la disponibilidad de equipo productor de vapor.
- Disminución en los costos de mantenimientos
- Optimización de los recursos humanos
- Aumento de la vida útil de la caldera

3.2.2.1. **Mantenimiento predictivo**

Inspeccionar los equipos a intervalos regulares y tomar acción para prevenir fallas, está compuesta con inspecciones objetivas como instrumentos (pirómetro Laser, enfocados en zonas críticas de temperatura, en el caso de la caldera, y subjetivas como el uso de los sentidos, sonidos, emisiones de

gases, ruidos o vibraciones presentes en el ambiente donde se encuentre el generador de vapor.

3.2.2.2. Mantenimiento preventivo

En intervalos regulares, intervenir el equipo y observar las condiciones en las que se encuentra trabajando, sin poner trabas al proceso en el que se encuentra el equipo, a través de la muestra de cierta información como por ejemplo análisis de aceite, o temperatura de los equipos. Y predecir o estimar la falla en base a su comportamiento en el tiempo.

3.2.2.3. Mantenimiento detectivo

Consiste en la inspección de funciones ocultas, intervalos regulares para ver si han fallado y reacondicionarlas en caso de fallas.

3.2.2.4. Mantenimiento correctivo

Solución a un problema que impide el objetivo general de la máquina, en este caso producción de vapor, o impide una pérdida seria de producción, riesgo de lesiones personales, o daño al medio ambiente. Reacondicionamiento o sustitución de partes en un equipo que han fallado.

3.2.2.5. Mantenimiento Basado en el Riesgo

Es aquel que permite usar cierta información de riesgo, como una herramienta para escoger y dar criticidad a los programas de inspección y mantenimiento.

Reduciendo la probabilidad de una falla inesperada basado en el riesgo general de fallas catastróficas, la utilización de este sistema garantiza un alto nivel de integridad mecánica, reduciendo las posibles fallas de mecanismos, aumentando la seguridad de las instalaciones y reduciendo costos.

Se evalúan los riesgos involucrados a los equipos, originando planes de inspección y mantenimiento, este riesgo es calculado al multiplicar la frecuencia de falla de cada equipo y el cálculo de daño que puedan ocasionar en daños al operador o personas cercanas, medio ambiente.

El resultado es jerarquizado y de esta manera se reconoce las áreas de mejora, la inspección consta de la evaluación de la probabilidad de falla y consecuencia de falla.

- Probabilidad de falla: Se obtiene de analizar todas las formas de degradación que podrían ocurrir y afectan en su desenvolvimiento o servicio particular.
- Consecuencia de falla: Potenciales incidentes que pueden ocurrir como resultado de pérdidas de fluido, explosiones, fuego, impacto ambiental y efectos en la salud que implica la falla de un equipo.

La determinación del índice de riesgo de forma cualitativa es utilizada para predecir el nivel de riesgo que podría tener los componentes en estudio, para luego cuantitativo de los riesgos a los que se encuentren expuestos. En la determinación del análisis de riesgos cualitativos se utiliza un instrumento que requiere el uso de información seleccionada y experiencia del proceso. Esta determinación se divide en tres partes:

- PARTE A: Determinación de la probabilidad.
- PARTE B: Determinación de las consecuencias de daños.
- PARTE C: Determinación de las consecuencias a la salud.

Entre los resultados obtenidos en la parte B y C, se deberá seleccionar la mayor consecuencia y junto a la probabilidad se podrá hallar el nivel de riesgo que existe.

Para nuestra evaluación de riesgo se utilizará como secuencia los pasos ya mencionados, y se dará una apreciación cuantitativa según las categorías establecidas en la escala de Likert que van a hacer valoradas por usuarios calificados. Haciendo una valoración de manera colegiada, con ayuda del personal que tiene mayor contacto con la caldera, jefe de laboratorio, docente del curso y tesista, para sacar un promedio que ayude a la evaluación para la obtención de la probabilidad y de la criticidad de los equipos de la caldera.

Luego se ubica el resultado en una matriz de 5x5, conocida como matriz de nivel de riesgo, la cual indica el nivel de riesgo del componente analizado. La matriz se encuentra dividida en zonas identificadas con colores que indican si el nivel de riesgo es bajo, con color blanco, medio con color amarillo, y aquellos que tenga un riesgo alto estarán de color Anaranjado y Rojo.

Consecuencia		Probabilidad				
		5 Muy Improbable < 0.1 %	4 Improbable 0.1 – 1 %	3 Posible 1 -10 %	2 Probable 10 – 80 %	1 Muy Probable > 80 %
Alta A		Yellow	Orange	Red	Red	Red
B		Yellow	Yellow	Orange	Orange	Red
C		White	Yellow	Yellow	Orange	Orange
D		White	White	White	Yellow	Orange
Baja E		White	White	White	White	Yellow

Figura 11. Matriz de riesgo MBR.

COLOR	RIESGO
	No aceptable
	No aceptable
	Aceptable (Disminuir si es posible)
	Aceptable

Figura 12. Identificación de riesgo por color de la matriz MBR.

Los propósitos de un programa de inspección que está basada al riesgo son los siguientes:

- Analizar la operación de cada unidad de dentro de un sistema, facilitando el reconocimiento y énfasis en áreas de alto riesgo.
- Estimar un valor de riesgo de operación de cada equipo basado en un método consistente que puede ser aplicado no solo a un equipo o a parte del sistema, sino a todos sus equipos.
- La facilidad del diseño de un apropiado programa de inspección y mantenimiento. Del mismo modo que la jerarquización de equipos críticos que pueden ser dispuestos de menor a mayor riesgo.

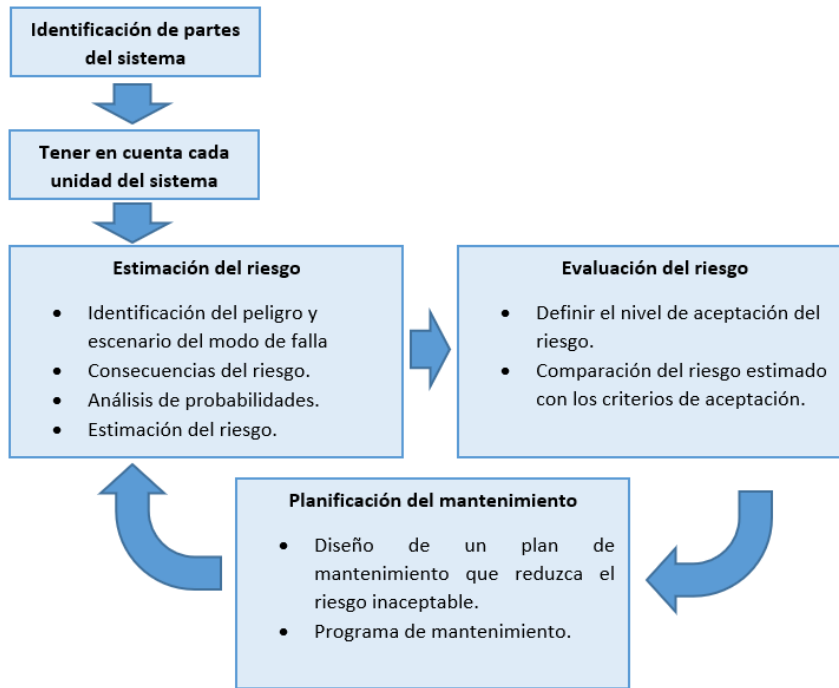


Figura 13. Pasos para la aplicación de MBR.

3.2.3. Procedimiento para mantenimientos

3.2.3.1. Procedimiento de seguridad

Se debe realizar el siguiente procedimiento para llevar a cabo cualquier mantenimiento:

- 1) Desconectar suministro de energía: Desconectar el interruptor principal del tablero de control, colocando un candado de bloqueo y tarjeta de identificación.
- 2) Restricción de válvulas: Cerrar el flujo de agua, combustible y tuberías de vapor, con el uso de válvulas.

Para mejorar las condiciones del uso de la caldera, y consiguiendo mantener la eficiencia de las calderas se puede atender las siguientes actividades

3.2.3.2. Proceso de carburación

Se debe realizar el siguiente procedimiento para llevar a cabo el mantenimiento:

- 1) Desmontar el filtro de combustible extrayendo las impurezas que estas puedan contener, enjuagando el filtro y armándolo nuevamente.
- 2) Desmonte el quemador por la parte trasera, marcando las conexiones eléctricas para evitar malos conexiones en el montaje.
- 3) Desconectar los electrodos de la ignición, eliminando el carbón de las puntas de los electrodos, realizar lo mismo para la otra punta del electrodo.
- 4) Desarmar las espreas (Boqueras y vías de combustible) para su limpieza, tomar en cuenta su estado para un posible cambio y volver a armar según las herramientas como alicate y llaves necesarias para su montaje.
- 5) Colocar las espreas en su ubicación inicial.
- 6) Realice una limpieza si fuera el caso, la fotocelda o varilla detectora.
- 7) Haga el montaje de los electrodos de ignición en la posición correcta, dándole sujeción con un alicate, verificando que no hayan sido movidos de su posición.
- 8) Coloque la base de los electrodos y espreas en el bloque del quemador, sin girar o desajustar los electrodos de su posición.
- 9) Conectar las vías de combustible en el quemador, y monte los electrodos en las conexiones que fueron ya distinguidas al inicio, del desmontaje.

- 10) Aseguro todo el sistema del quemador con los tornillos.
- 11) Abra la llave de combustible, para que el filtro se llene.
- 12) De paso al interruptor de energía, habilite los flujos de agua, combustible y electricidad.
- 13) Operar la caldera y contrastar lo siguiente.

En la tabla 3 se puede verificar la flama y observar las siguientes condiciones:

Tabla 3.

Condiciones de la llama para operación.

Color de la flama	Color de gases	Estado	Procedimiento
Blanca	y Translucido	Combustión completa	Operar
Amarilla			
Naranja	Opaco gris	Leve flujo de combustible en la mezcla.	Disminuir la entrada de aire que ingresa al quemador
Roja	Negro	Elevado flujo de combustible en la llama.	Aumentar el flujo de aire, al quemador.

3.2.3.3. Proceso de calibración de electrodos

Los electrodos montados de esta manera traerán como consecuencia la falla de encendido del quemador.

- 1) Si se observa los electrodos demasiado lejos, no formaran el arco eléctrico.
- 2) Caso contrario si los electrodos se encuentran juntos, el arco será muy pequeño.
- 3) Los electrodos serán carbonizados si estos están montados muy abajo (Bañados por el combustible).
- 4) Si se encuentran elevados más de lo usual, el arco no tendrá contacto con el combustible.

3.2.3.4. Proceso de limpieza del fogón

Los periodos de limpieza de los tubos dependen directamente del combustible utilizado y el tipo de quemador implementando en la caldera

Se debe realizar la limpieza de estos materiales en intervalos frecuentes y regulares dependiendo de las de condiciones del combustible, se puede tener una idea de las acumulaciones de depósitos de hollín, según la temperatura del cañón de la chimenea.

Los pasos para la realización de la tarea son los siguientes:

- 1) Esperar que la caldera este a una temperatura ambiente, no hacerlo después de su operación, esta acción podría provocar deformaciones de su interior o roturas.
- 2) Antes de cerrar se debe asegurar que todos los empaques y superficies selladoras, cumplan correctamente su función.

- 3) Si se observa, que el empaque se encuentra en mal estado, reemplazarlo, retirando el que se encuentra, limpiando los residuos de la lata, y colocar el nuevo empaque cortado con las medidas correctas para un perfecto sellado.
- 4) El deflector debe ser revisado anualmente, y limpiarse si es necesario.
- 5) Cerrar las puertas de la cara de la caldera, y fijarse si no hay fugas

3.2.3.5. Tubo de vidrio indicador de nivel de agua

Por las condiciones del agua, en el interior de los tubos de nivel de agua, se puede apreciar manchas o formas descoloridas pegadas a la pared, para el reemplazo de estos tubos, se debe realizar lo siguiente:

- 1) Cerrar las válvulas de agua.
- 2) Colocar tuercas de empaque.
- 3) Colocar una arandela.
- 4) Colocar un anillo empaquetador en los extremos del tubo.
- 5) Insertar el extremo del tubo de vidrio en el cuerpo de la caldera, y realizar el mismo procedimiento para el otro extremo.
- 6) Ajustar las tuercas del empaque dentro de cada válvula y apriete.

Si en el cambio se realizó con la caldera en funcionamiento, se recomienda abrir las válvulas lentamente, para que el vidrio no tenga un choque térmico y se fisure. Revisar las llaves de prueba y nivel para verificar su correcta operación.

3.2.3.6. Controles eléctricos

Se debe realizar el siguiente procedimiento para llevar a cabo el mantenimiento:

- 1) Medir la tensión de las conexiones eléctricas y mantenga con un cableado y ordenado, mantener una buena limpieza.
- 2) Quitar los contaminantes existentes en el interior del tablero,
- 3) Verifique el funcionamiento de los interruptores.
- 4) Utilizar las herramientas correctas para realizar la revisión, desarmadores dieléctricos.

Se observa en el apéndice, el protocolo de mantenimiento eléctrico el plano eléctrico del tablero de la caldera pirotubular de 12 BHP, el cual fue levantado en la ausencia de este.

3.2.3.7. Seguridad De La Flama

Esta revisión se recomienda que se haga una vez al mes, estas pruebas son importantes ya que deben verificar el correcto funcionamiento de los instrumentos que detendrán el proceso y existen fallas en el sistema de generación de flama.

Prueba de falla en la flama del piloto

- 1) Cerrar el suministro principal de combustible.
- 2) Encender el interruptor del quemador.
- 3) Se encenderá después de analizar la pre-purga.
- 4) No habrá flama hasta después de la chispa de ignición.

Prueba de encendido de la llama principal

- 1) Cerrar el suministro de combustible al quemador.
- 2) Encienda el quemador.
- 3) Se encenderá después de realizar la pre-purga.
- 4) EL flujo de la línea de combustible se activará, pero no habrá presencia de llama principal.
- 5) Después de finalizar la prueba de ignición del quemador, la válvula principal se desactivará después de un tiempo.

Prueba de pérdida de la flama

- 1) En operación del quemador, cerrar la válvula de combustible para limitar el suministro a la llama.
- 2) Después de que termine la prueba de ignición del quemador, el flujo del combustible se desactivara después unos segundos.
- 3) Se detendrá el sistema por seguridad, el motor del soplado y barrido se activará y el motor se detendrá.

3.2.3.8. Válvula de alivio

Cuando el empaque este desgastado se debe realizar el siguiente procedimiento:

- 1) Cerrar la válvula de combustible, y asegúrese de que el indicador de presión no indique algún valor, para evitar accidentes por energía remanente en el sistema.
- 2) Mantener el vástago medidor hacia abajo.

- 3) Desajuste las tuercas de fijación en el cubo de la leva y gire o mueva la leva a para realizar el desmontaje del vástago.
- 4) Retire el vástago y el resorte de la válvula y compruebe que el pasador que sostiene la parte medidora no se salga de su lugar y retire el porta empaque.
- 5) Retire los tornillos que fijan la ménsula de soporte del contra eje para mover la ménsula.
- 6) Saque los aros empaquetadores y las guías.
- 7) Lubrique el vástago del componente.
- 8) Coloque en el vástago el nuevo empaque, ellos y guías para su posterior montaje.
- 9) Utilizando el vástago como guía, coloque el empaque ensamblado en su orificio correspondiente.
- 10) Coloque nuevamente el empaque, ponga el resorte en su lugar, y asegure los fijadores. Posteriormente instale el porta empaque.
- 11) Desde este punto, se realizará el montaje del equipo.
- 12) Teniendo en cuenta que el vástago debe desplazarse con libertad con la fuerza aplicada por el resorte, se debe ajustar el porta empaque y verificar que tenga un limpio movimiento
- 13) Monte el vástago y coloque la leva y fije las tuercas, tenga confirmado que la leva este bien colocada al medio del rodillo.

3.2.3.9. Mantenimiento diario

Revisar el nivel de combustible, y los flujos de agua como combustible al proceso.

Se debe purgar la caldera recomendable después de la suma 8 horas de operación, esta acción se debe realizar llenando todo el tanque con agua hasta su máximo nivel y luego purgándolo hasta que vuelva a arrancar por la bomba de alimentación en modo automático el panel de control.

Haga una limpieza de los filtros de combustible en la línea de combustible al quemador.

3.2.3.10. Mantenimiento semanal

Realice una inspección para verificar que no hay fugas alrededor de la caldera, en las juntas de las tapas

Realizar un lavado en los filtros de las líneas de agua, ingreso a las bombas como del tanque de condensados,

3.2.3.11. Mantenimiento quincenal

Realizar la inspección de todos los filtros y condición

Compruebe que la operación es correcta y revise si existe complicaciones con la llama.

Analice cuales son las condiciones del quemador, presión, temperatura de los instrumentos de medición.

Inspeccionar los niveles de entrada y paro de la bomba, haciendo uso de las válvulas de purga de fondo de la caldera.

3.2.3.12. **Mantenimiento mensual**

Compruebe los niveles de agua, viendo término límite superior, inferior, y un nivel medio entre estos, compruebe el bajo nivel, y el encendido de la bomba de la alimentación de agua al caldero para evitar una sobrepresión y explosión.

3.2.3.13. **Mantenimiento Trimestral**

Se aconseja del mismo modo, revisar la condición del material refractario y si es necesario cambiar los elementos que estén más desgastados.

Se debe realizar la limpieza de las válvulas de seguridad de vapor, para que estas no se queden pegadas en su posición habitual, el vapor limpiara las válvulas en su interior.

En el desmontaje de la caldera, no se recomienda que se desarme en seguidamente después de su operación, si no que enfríe por si sola durante tres días. de anticipación, para no causar un choque térmico brusco en las partes metálicas de la caldera.

3.2.4. **Operación del sistema del quemador**

Está compuesto principalmente por:

- Un ventilador
- Un motor eléctrico
- La tubería de alimentación de combustible
- Electrodo en forma de pinzas que origina el arco voltaico.

La primera etapa de operación inicia desde la línea del combustible al filtro, ingresa al interior del quemador gracias a la bomba, realizando la succión y la descarga.

En una primera etapa funciona el ventilador, realizando el proceso de barrido o también llamado trio forzado, debido a que cuando opera de manera continua la caldera, quedan gases retenidos en su interior que origina un contraflujo o posibles explosiones por presencia de gases inflamables.

El segundo proceso, es el de succión de combustible y la ignición en el quemador, en la mayoría de casos al realizar el proceso de encendido de la caldera y no tener la alimentación de flujo de combustible, el quemador se apaga, debido a que en su interior hay una fotocelda que varía según la presencia de luz, durante el proceso al transcurrir el tiempo (45 segundos), que está previsto la quema del combustible y no censar luminosidad, el funcionamiento de la bomba es detenido para prevenir que esta cavite.



Figura 14. Quemador Beckett de la caldera Pirotubular.

En el caso, de no tener una válvula antirretorno, se tiene que realizar el purgado de la bomba de combustible, para esto es necesario aflojar la tuerca que se encuentra en la parte izquierda de la bomba como se indica la figura, la cual permite al aire salir en forma de chorro combinado con la

parte líquida (proceso de cebado), detenerse cuando se observe el flujo de solo combustible, y volver a ajustar la tuerca.



Figura 15. Cebado de la bomba de combustible.

La caldera puede ser apagada por una señal enviada desde el tablero, esto provocara que el botón reset en el módulo salte, algunas de las condiciones de paro son:

- Por presión excesiva en el interior de la caldera, (45PSI).
- Ausencia de llama, detectada por la fotocelda, dada la falta de flujo de combustible en el quemador.
- Censado de nivel de agua en el interior de la caldera.

Se observó que una determinada altura del tanque de combustible se encuentra por debajo de la bomba provocando que no tenga un flujo continuo de combustible directo al quemador, se recomienda aumentar el nivel de altura del tanque, o tener fijo un nivel de combustible en el interior del tanque.

Después de realizar la acción correctiva se debe presionar el botón del módulo para darle paso al encendido y operación de toda la caldera.

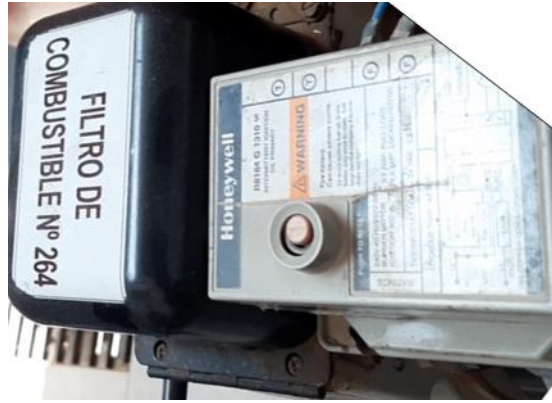


Figura 16. Módulo Honeywell.

Si es necesario, se debe esperar a que baje la presión interna de todo el sistema, y dejar enfriar la caldera, o liberar la presión de vapor mediante la válvula.



Figura 17. Interior de la caldera pirotubular.

Observaciones: La válvula de liberación de vapor se encuentra muy cerca de un tablero eléctrico, como oportunidad de mejora se recomienda extender esta tubería de vapor hacia un lugar controlado y libre de componentes eléctricos.



Figura 18. Liberación de vapor muy cerca a tablero eléctrico.

3.2.5. Aplicando mantenimiento basado en el riesgo, para obtener un sistema de control del quemador

3.2.5.1. Módulo De Equipo De Combustión Honeywell

Este equipo de la caldera es uno de los más importantes, si esta falla es imposible hablar de generación de calor, por lo tanto, es nulo el vapor, es por esto por lo que este equipo es crítico y se le asignara una criticidad B, la probabilidad de la falla es Probable si no se tiene un adecuado plan estratégico de mantenimiento.

Al ingresar a la matriz lo ubicamos en B2, que es un riesgo no aceptable y debe ser disminuido, mediante el siguiente plan se reducirá esta probabilidad a improbable siendo B4 su nuevo riesgo.

Tabla 4

Plan de Mantenimiento del módulo de combustión Honeywell

Módulo de combustión Honeywell		
Tipo de	Tarea	Frecuencia
mantenimiento		
Detectivo	Inspección de condiciones de trabajo (ruido, temperatura, olor)	Diario
	Inspección del nivel de combustible en el tanque	

3.2.5.2. Módulo de bomba de alimentación de combustible

El módulo de alimentación de combustible es el responsable del bombeo desde el depósito hasta el quemador ubicado en el interior de la caldera. Según la información mencionada en la cual se establecen las causas y modos de fallo para este equipo.

Se observó un gran número de modos de fallo que llevan a detener la generación de vapor, la criticidad de este equipo se asignó a “B”, si no se adecuada un buen plan de mantenimiento sea predictivo o preventivo, para este equipo, se considera que probabilidad da fallo sea probable.

Al ubicar su cuadrante en la matriz de riesgo, con las bases de consecuencia y probabilidad este corresponde a B2, siendo un riesgo no aceptable, el cual debe ser disminuido mediante una estrategia de mantenimiento.

Tabla 5

Plan de mantenimiento de bomba de alimentación de combustible.

Bomba de alimentación de combustible		
Tipo de mantenimiento	Tarea	Frecuencia
Detectivo	Detección de fugas de combustible en las líneas.	3 días
	Detección de ruidos extraños.	

Preventivo Limpieza de filtro de Semanal
combustible.

Según este cronograma de mantenimiento, se disminuiría a B4, llevando el riesgo a un cuadro aceptable.

Consecuencia					
Alta A					
B		X		X	
C					
D					
Baja E					
	5	4	3	2	1
	Muy Improbable	Improbable	Posible	Probable	Muy Probable
	< 0.1 %	0.1 – 1 %	1 -10 %	10 – 80 %	> 80 %
	Probabilidad				

Figura 20. Matriz de riesgo para bomba de combustible (B2-B4).

3.2.5.3. Depósito de combustible

El cilindro contenedor de combustible tiene una capacidad de 60 litros, es necesario una revisión periódica, cada 6 meses, siendo requerida la limpieza semanal y cambio de filtros cuando sea necesario.

Tabla 6

Plan de mantenimiento de depósito contenedor de combustible

Deposito contenedor de combustible		
Tipo de mantenimiento	Tarea	Frecuencia
Preventivo	Limpieza de filtro de combustible	Semanal
	Inspección visual de carcasa de cilindro, uniones soldadas	6 meses

3.2.6. Sistema de alimentación de agua

Es el sistema encargado de que en el interior la caldera, siempre tenga agua para poder generar vapor y no pare por sobrepresión en su interior, consta el sistema de:

- Válvula antirretorno, en el laboratorio se consta de dos válvulas antirretorno, una en respaldo de la otra.
- Un manómetro para realizar mediciones.
- Una bomba PENTAX PM90, que puede trabajar hasta con una temperatura de 90°C.
- Tubería de alimentación.
- Tanque de condensado.

Se debe asegurar que el nivel de agua en el tanque de condensado debe ser considerable, para que cuando succione la bomba tenga la garantía de aspirar agua, y no aire.



Figura 21. Bomba PENTAX PM90.



Figura 22. Tanque de condensado.

El tablero eléctrico de caldera y bomba de agua tienen dos partes, la de encendido del quemador y la bomba de agua II, la bomba de agua tiene tres posiciones, manual automático, y apagado.



Figura 23. Tablero eléctrico de la caldera.

Si en el visor de vidrio se observa el nivel de agua superior, entonces la bomba no arrancará, caso contrario que, si está por debajo, la bomba trabajará hasta que el nivel de agua llega al set superior ya establecido debido al control de nivel por boya que va conectado al tablero y ese a la bomba.



Figura 24. Nivel por boya de la caldera Pirotubular.

Si se encuentra en operación manual y el operador no se da cuenta que el nivel de agua a llegado al mínimo, habrá una condición peligrosa que aumentará la presión en el caldero y un incremento de consumo de combustible, es esta la razón que el caldero tiene una válvula de liberación de presión, la cual debe ser forzada su uso quincenalmente, para que el mismo vapor haga una limpieza de la válvula.



Figura 25. Válvula de alivio.

En equipos industriales de gran producción de vapor se tienen alarmas sonoras, que identificarán que el nivel de agua a llegado el mínimo, que la presión en el interior de la caldera es muy elevada y que debe ser aliviado de la manera más rápido y segura posible.

Se puede verificar si la bomba de agua está cavitando por un sonido particular (como succión de aire provocando vacío en las tuberías), y porque el manómetro no marcara alguna presión en la descarga de la bomba.



Figura 26. Manómetro mostrando cavitación de la bomba.

Si la bomba está cavitando se realiza un proceso muy parecido a la purga de la bomba de combustible y es el siguiente:

Se inicia liberando la traba de la válvula de palanca para poder hacer la purga de aire.

se cierra la válvula de ingreso de agua al caldero, y se abre la válvula de palanca, el aire saldrá en forma de chorro combinada con el agua que viene de la bomba, luego se cerrará la válvula y se dará paso al interior de la caldera, con este proceso se asegura que la bomba se encuentra cebada y listo para su correcto funcionamiento, nos daremos cuenta que la bomba dejó cavitar cuando el manómetro de presión este marcando un valor distinto a cero.



Figura 27. Manómetro marcando un correcto funcionamiento.

Recomendación: Se recomienda colocar dos válvulas antirretornos enseriadas para evitar que el flujo de agua caliente dañe equipos aguas abajo.



Figura 28. Recomendación de dos válvulas antirretorno.

Observaciones: La válvula de cebado de la bomba de agua se encuentra muy cerca al motor de la bomba, si no es aislada correctamente en el proceso podría realizarse un corte circuito y quemar el equipo de alimentación de agua, aun con la traba de la válvula, se recomienda hacer una retroalimentación al tanque de condensado o una extensión de tubería, que lo lleve al drenaje.



Figura 29. Válvula de cebado se encuentra muy cerca al motor de la bomba.

3.2.7. Aplicando mantenimiento basado en el riesgo, para obtener un sistema de control de alimentación de agua.

3.2.7.1. Módulo de alimentación de agua y tanque de condensado

El depósito de tanque de condensado es el encargado de brindar el fluido a la caldera para su posterior calentamiento y generación de vapor según sus modos de fallo para este equipo es no cerciorarse un nivel mínimo que sea considerable, para evitar la bomba cavite, y del mimo brindar agua a la caldera. La consecuencia será ubicada en B para este equipo, y una probabilidad de fallo de este equipo probable en el caso de no proponer una estrategia de mantenimiento sea predictivo o preventivo.

Se observa que el riesgo en la matriz nos ubica en B2, siendo no aceptable, mediante el siguiente plan estratégico de mantenimiento se reducirá a B4 siendo un riesgo aceptable.

Tabla 7

Plan de mantenimiento de tanque de condensado

Tanque de condensado		
Tipo de mantenimiento	Tarea	Frecuencia
Detectivo	verificación del agua de alimentación	3 días
	Inspección de condiciones inusuales (ruido, olor, vibración)	Semanal
	Comprobación de pase libre en la tubería por donde pasa el fluido.	Mensual
Preventivo	Limpieza y llenado con agua de instrumentos de medición	3 meses
	inspección de operación de válvulas	3 meses
	revisión interna del tanque, carcasa y conductos	3 años

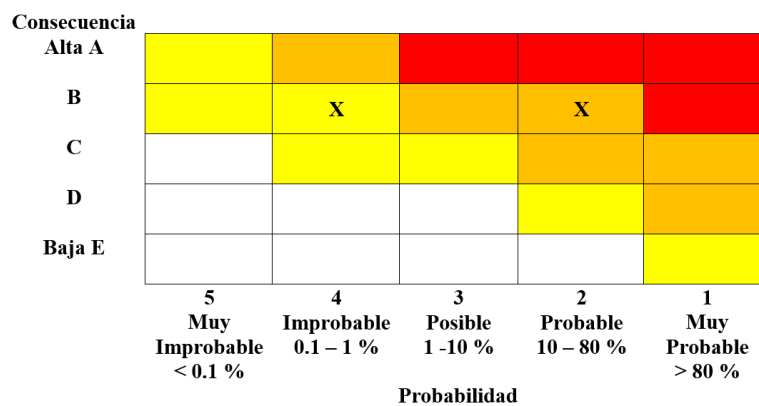


Figura 30. Matriz de riesgo para Tanque de condensado (B2-B4).

3.2.7.2. Bomba de alimentación de agua

Este sistema se encuentra formado por una bomba PENTAX PM90, es la única del sistema no tiene una bomba auxiliar convirtiendo a esta bomba en un equipo crítico, debido que si falla no se podrá generar vapor de agua en la caldera, que llevaría al paro total de la misma, Este equipo tiene una criticidad de B, siendo considerable, y al no tener un plan de mantenimiento es muy probable a que este falle ubicándola en la matriz de riesgo en B2 .

Una estrategia de mantenimiento para este equipo reducirá la probabilidad de fallo a B4, siendo necesario un plan el cual es el siguiente:

Tabla 8

Plan de mantenimiento de bomba de alimentación de agua.

Bomba de alimentación de agua a la caldera pirotubular		
Tipo de	Tarea	Frecuencia
mantenimiento		
Detectivo	Inspección de fugas en tuberías	Semanal
	Inspección de ruidos en el funcionamiento	Semanal

Consecuencia					
Alta A					
B		X		X	
C					
D					
Baja E					
	5	4	3	2	1
	Muy	Improbable	Posible	Probable	Muy
	Improbable	0.1 – 1 %	1 -10 %	10 – 80 %	Probable
	< 0.1 %				> 80 %
	Probabilidad				

Figura 31. Matriz de riesgo para Bomba de alimentación de agua (B2-B4).

3.2.8. Sistema de monitoreo de gases

El sistema consta de un equipo BACHARACH model:120 fyrite pro, que cuenta con una sonda, que es acoplado a una tubería de salida de los gases del quemador, la sonda tiene una varilla en el extremo donde hay un sensor de temperatura en una guía cónica, esta se queda fija en la posición de trabajo, el sensor va directamente con los gases quemados, realizando la medición de:

- Temperatura Gases.
- Concentración de dióxido de carbono.
- Concentración monóxido de carbono.
- Eficiencia de la combustión.
- Ppm de los componentes del gas.
- Porcentaje de oxígeno libre.



Figura 32. Chimenea



Figura 33. Analizador de gases

TBACHARACH

3.2.9. Aplicando mantenimiento basado en el riesgo, para obtener un sistema de control de monitoreo de gases

Este sistema permite la medición de temperatura de gases quemados, la concentración de carbono, la eficiencia de combustión, ppm de los componentes de los gases y porcentaje del oxígeno libre, este sistema no actúa en sí directamente sobre el proceso, siendo un equipo adicional al conjunto de la caldera pirotubular, en el caso de falla no influye sobre la generación de vapor de gases teniendo una criticidad de D.

Al no tener un plan estratégico de mantenimiento propio del laboratorio para este equipo, por ser un equipo que necesita certificación, se tiene que enviar al fabricante para su reparación y homologación anual del equipo para su uso, se considera probable bajo supervisión de uso, asignando un riesgo de D2.

Para reducir más este riesgo que es aceptable tomaremos el siguiente plan de mantenimiento para el equipo analizador de gases.

Tabla 9

Plan de mantenimiento del analizador de gases quemados.

Analizador de gases quemados TBACHARACH		
Tipo de mantenimiento	Tarea	Frecuencia
Detectivo	Inspección de condición de cono por operación	
	Inspección de condición de manguera y sonda	2 semanas
Preventivo	Limpieza de polvo y grasa de manguera del equipo.	3 meses
	Mantener en un armario limpio, fresco y sin contacto directo del sol.	3 meses
	Revisión y calibración de los instrumentos de medición de gases.	Anual
	Cambio de filtro del analizador	

Consecuencia	Probabilidad				
	5 Muy Improbable < 0.1 %	4 Improbable 0.1 – 1 %	3 Posible 1 -10 %	2 Probable 10 – 80 %	1 Muy Probable > 80 %
Alta A					
B					
C					
D			X	X	
Baja E					

Figura 34. Matriz de riesgo para sistema de monitoreo de gases (C2-C3).

3.2.10. Sistema de proceso hidroneumático

Se encarga de Alimentar de agua el tanque de condensado, pasando el agua por un proceso de ablandamiento que evita la formación de calicha en el interior de las tuberías de agua de la caldera, originado por llevar a punto de ebullición agua sin tratar, garantiza la presencia de agua en el condensado.

El proceso inicia cuando la bomba alimenta al tanque pasando por una válvula antirretorno de ingreso solo al tanque, cuando la presión llega 30 PSI corta el funcionamiento de la bomba, el agua es presurizada con la presencia de aire, este posee un control visual y propio tablero, dando su propia presión para alimentar el tanque de condensado.



Figura 35. Bomba de alimentación de agua al Tanque Hidroneumático.



Figura 36. Tanque Hidroneumático.

El tanque hidroneumático alimenta el tanque de ablandador y tanque de salmuera, el tanque de salmuera es utilizado para lavar las resinas del

tanque ablandador y poder regenerarlo. El agua presurizada ingresa al tanque de ablandamiento realiza el proceso de vencer las resinas, y el agua es ablandada, quitándole las sales, para evitar la calicha en el interior de la caldera.

El uso de la válvula mediante ciertas secuencias cambia el funcionamiento para lo que se requiera ser empleado:

- Proceso de ablandamiento de agua
- Proceso de regeneración de la resina del tanque ablandador
- Proceso de retrolavado del tanque

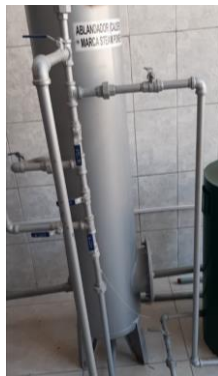


Figura 37. Tanque ablandamiento de agua.

El calentador de agua es un tanque de uso, un accesorio usado con el vapor, para elevar la temperatura del agua, utilizado como un intercambiador, llevando el fluido que gana temperatura al tanque de condensado, siendo agua precalentada antes que ingrese al caldero reduciendo el consumo de combustible para generar vapor, tiene trampas de vapor que permite pasar solo condensado.



Figura 38. Tanque calentador.

3.2.11. Aplicando mantenimiento basado en el riesgo, para obtener un sistema de control hidroneumático

3.2.11.1. Sistema de tanque ablandamiento de agua y proceso hidroneumático

Este sistema permite un intercambio de calor continuo, protección contra la corrosión y producción de vapor de alta calidad, reduciendo la dureza, alcalinidad sílice, al igual que la eliminación de sólidos suspendidos, los modos de falla de este equipo reducen la eficiencia del vapor, deteriorando levemente la caldera, sin llegar a parar la generación de vapor, por lo cual la criticidad de este equipo es C.

Al no tener un plan estratégico de mantenimiento, evaluamos que la probabilidad de falla es probable ubicando al equipo en la matriz de riesgo en C2, el cual disminuirá a C4 con el siguiente plan de mantenimiento.

Tabla 10

Plan de mantenimiento de tanque de ablandamiento de agua.

Tanque de ablandamiento de agua		
Tipo de mantenimiento	Tarea	Frecuencia
Detectivo	Inspección de carcasa y uniones de tubería del tanque de ablandamiento	Semanal
	Inspección de fugas en el sistema de tuberías del tanque de ablandamiento	
Preventivo	Limpieza y llenado de Presión neumática en el interior del tanque	3 meses
	Inspección de operación de válvulas	
	Revisión y calibración de los instrumentos de medición del tanque.	Anual

Consecuencia	Probabilidad				
	5 Muy Improbable < 0.1 %	4 Improbable 0.1 – 1 %	3 Posible 1 -10 %	2 Probable 10 – 80 %	1 Muy Probable > 80 %
Alta A					
B					
C		X		X	
D					
Baja E					

Figura 39. Matriz de riesgo para Tanque de Ablandamiento de agua (C2-C4).

3.2.11.2. Sistema de tanque calentador de agua

El calentador de agua es un equipo, utilizado para elevar la temperatura del agua, utilizado como un intercambiador, lleva el fluido que gana temperatura al tanque de condensado, reduciendo el consumo de combustible para generar vapor.

En el caso de falla de este equipo no tendría una parada de generación de vapor viendo los temas de falla ya mencionados este equipo tiene una criticidad C, en el caso de no tener un plan de mantenimiento es probable que falle, asignando un riesgo de C2, siendo un riesgo inaceptable

Para disminuir este riesgo se propone el siguiente plan estratégico de mantenimiento, que disminuirá a C4 el riesgo:

Tabla 11

Plan de mantenimiento del tanque calentador de agua.

Tanque calentador de agua		
Tipo de mantenimiento	Tarea	Frecuencia
Detectivo	Inspección de carcasa y uniones de tubería del tanque calentador de agua	Semanal
	Inspección de fugas en el sistema de tuberías del tanque calentador de agua	Semanal
Preventivo	Limpieza interna, llenado de agua y purga para extracción de sedimentos	Mensual
	Inspección de operación de válvulas	
	Revisión y calibración de los instrumentos de medición del tanque.	3 meses
	Inspección de trampas de vapor	

Consecuencia					
Alta A					
B					
C		X		X	
D					
Baja E					
	5	4	3	2	1
	Muy Improbable < 0.1 %	Improbable 0.1 – 1 %	Posible 1 -10 %	Probable 10 – 80 %	Muy Probable > 80 %
	Probabilidad				

Figura 40. Matriz Tanque calentador de agua (C2-C4).

3.2.12. Sistema de vigilancia de presión y temperaturas

Estos instrumentos de vigilancia de presión son utilizados para medir y controlar la fuerza originada ya sea por algún fluido compresible o no compresible en una determinada área, siendo estos instrumentos de gran importancia y ayuda visual al operador, se tienen en los siguientes sistemas los instrumentos de medición de vapor:

- Generación de vapor.
- Alimentación de agua a la caldera.
- Presión de tanque hidroneumático.
- Sistema ablandamiento.
- Presión en el manifold.



Figura 41. Presión de generación de vapor.



Figura 42. Presión de alimentación de agua a la caldera.



Figura 43. Presión de vapor en el manifold.



Figura 44. Presión en el tanque de ablandamiento.

Son instrumentos de vigilancia de temperatura utilizados para medir la temperatura de los fluidos ya sea agua o vapor de agua, que se tienen a lo largo del proceso de generación de vapor que serán de utilidad y ayuda para el operador.

En los siguientes sistemas se tiene la presencia de instrumentos de medición de temperatura:

- Tanque de condensado.
- Tanque calentador.
- Salida del vapor.
- Agua de alimentación a la caldera.
- De salida de gases.



Figura 45. Pirómetro tanque *Figura 46. Indicadores de temperatura del tablero.*

3.2.13. Aplicando mantenimiento basado en el riesgo, para obtener un sistema de control en la vigilancia de presión y temperatura

El sistema de control y vigilancia de presión y temperatura es utilizado para medición de parámetros de los diferentes procesos ya sea en su caso respectivo a pascales o grados Celsius, que se necesitan para la generación de vapor.

En el caso de falla de este sistema no tendría una parada de generación de vapor, pero si una generación de vapor sin parámetros en sus procesos que es de igual de crítica que la nula producción del mismo, sumado de lo peligroso que puede resultar si es que ocurre un accidente, es el motivo por el cual tiene una criticidad de B, en el caso de no tener un plan de mantenimiento es probable es posible que ocurra, asignando que ocurra un riesgo de B3, siendo un riesgo inaceptable.

Para disminuir este riesgo se propone el siguiente plan estratégico de mantenimiento, el cual es el siguiente:

Tabla 12

Plan de mantenimiento de sistema de vigilancia de presión y temperatura.

Sistema de vigilancia de nivel agua, presión y temperatura		
Tipo de mantenimiento	Tarea	Frecuencia
Detectivo	<p>Inspección externa de los manómetros y termómetros de los equipos, fugas de aceite interno, fisuras o rajaduras del vidrio de los visores.</p> <p>Inspección de fugas en las uniones de los instrumentos de medición que estén provocando falsas lecturas en los parámetros del proceso.</p>	Semanal
Preventivo	<p>Ver el comportamiento de los manómetros al realizar el proceso de cebado de la bomba, y verificar si este varia o si se queda quieto al abrir o cerrar la válvula de purga de aire.</p> <p>Realizar una inspección general de los parámetros en el funcionamiento de la caldera al generar vapor y verificar sus mediciones.</p> <p>Verificar si la doble check después de la bomba de alimentación de agua cumple su función al no permitir el retorno de flujo caliente que altere el funcionamiento de los instrumentos de medición aguas abajo.</p>	Mensual

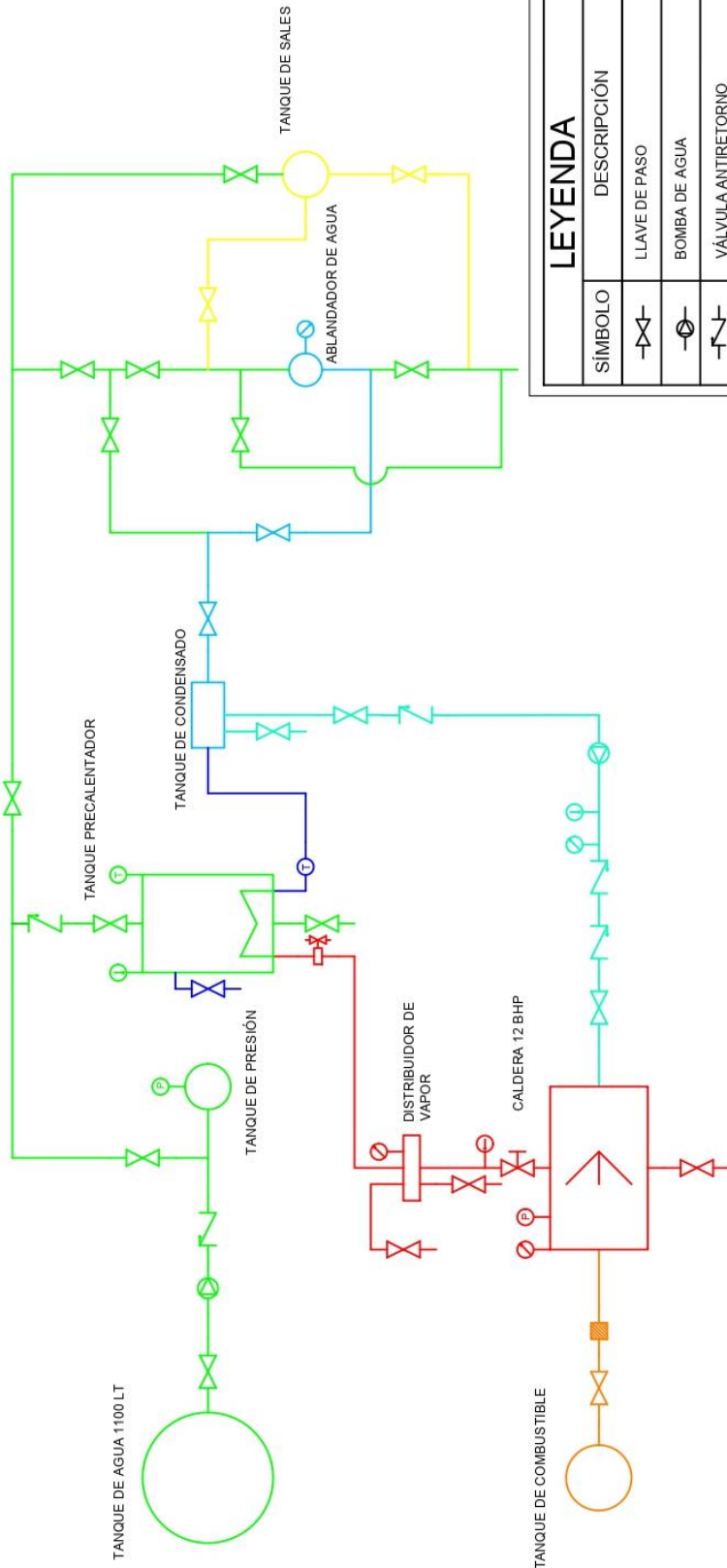
Consecuencia					
Alta A					
B		X	X		
C					
D					
Baja E					
	5	4	3	2	1
	Muy Improbable	Improbable	Posible	Probable	Muy Probable
	< 0.1 %	0.1 – 1 %	1 -10 %	10 – 80 %	> 80 %
	Probabilidad				

Figura 47. Matriz de riesgo de sistema de control de parámetros (B3-B4).

3.2.14. Flujograma de la Caldera pirotubular

Se puede ver en la figura 48 el flujograma de la caldera pirotubular de 12 BHP del laboratorio de máquinas térmicas, el cual indica el sistema de monitoreo y control y ayuda al entendimiento de todo el proceso.

**DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DE LA CALDERA DE 12 BHP
TALLER DE MÁQUINAS TÉRMICAS - UJCM**



LEYENDA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	LLAVE DE PASO
	BOMBA DE AGUA
	VÁLVULA ANTIRETORNO
	LLAVE DE COMPUERTA
	MANÓMETRO
	TERMÓMETRO
	CALDERA DE COMBUSTIBLE
	TANQUE INERCAMBIADOR
	FILTRO DE COMBUSTIBLE
	TRAMPA DE VAPOR
	TERMOSTATO
	PRESOSTATO
	SELENOIDE

LEYENDA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	AGUA BLANDA FRÍA
	AGUA BLANDA TIBIA
	AGUA CALIENTE
	AGUA DURA
	COMBUSTIBLE
	SALMUERA
	VAPOR

Figura 48. Flujo de caldera pirotubular

3.2.15. Sistema de circuitos de tuberías de la caldera pirotubular

La caldera cuenta con un sistema de circuitos de tubería con los cuales pueden darse diferentes usos, los cuales son operación, ablandamiento y retrolavado, el circuito une principalmente los tanques de presurizado, ablandamiento, salmuera y condensado, la idea de este sistema es convertir el agua dura (agua del sistema) en agua blanda (agua lista para su calentamiento) que asegura que al evaporarse no generara incrustaciones en las tuberías de la caldera, por la extracción de Calcio Magnesio y Sílice, las cuales son las sales comunes disueltas en el agua dura.

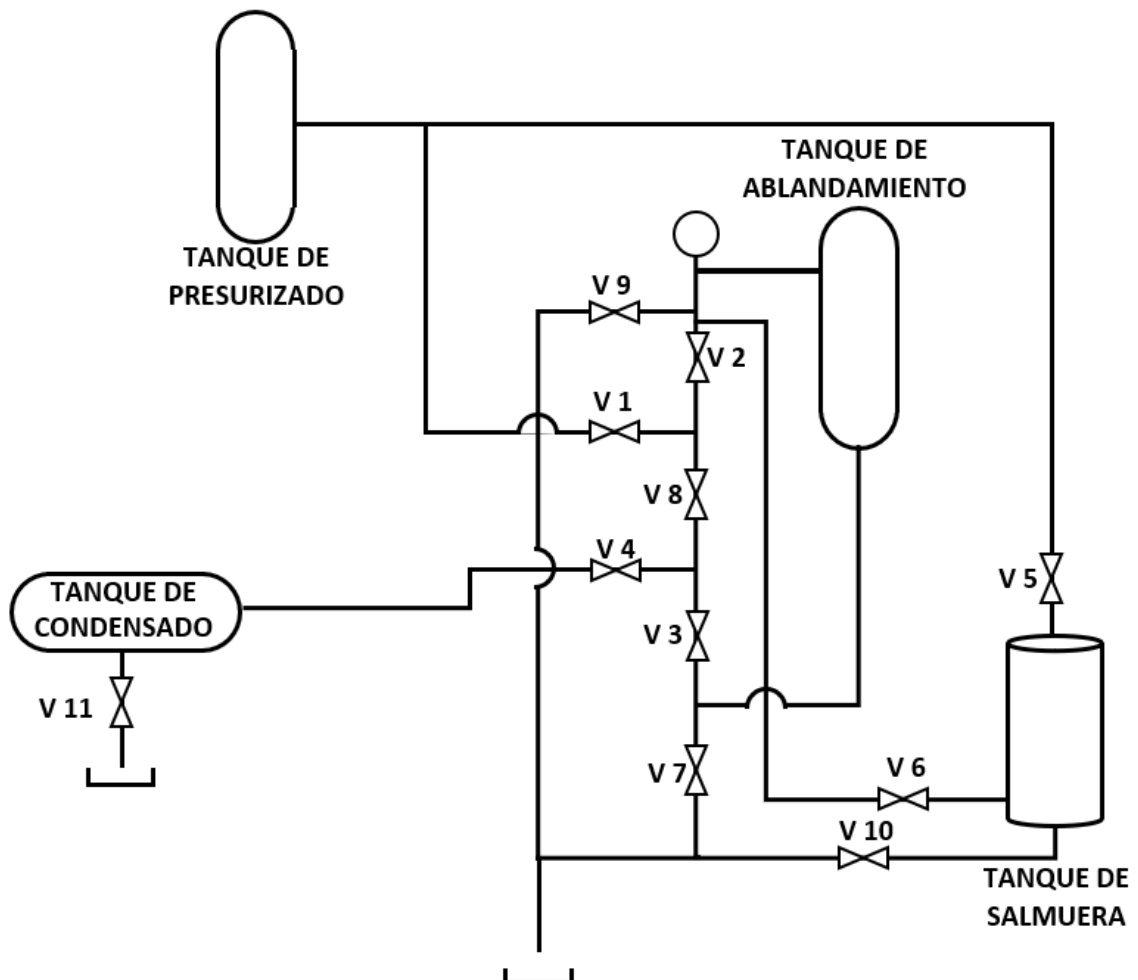


Figura 49. Sistema de circuito de tuberías

3.2.15.1. Circuito de operación

Para el proceso de operación se deben abrir solo las válvulas V1, V2, V3 Y V4.

El agua ingresará del tanque presurizado al tanque de ablandamiento luego ingresará al tanque de condensado y posteriormente se calentará en la caldera para generar vapor.

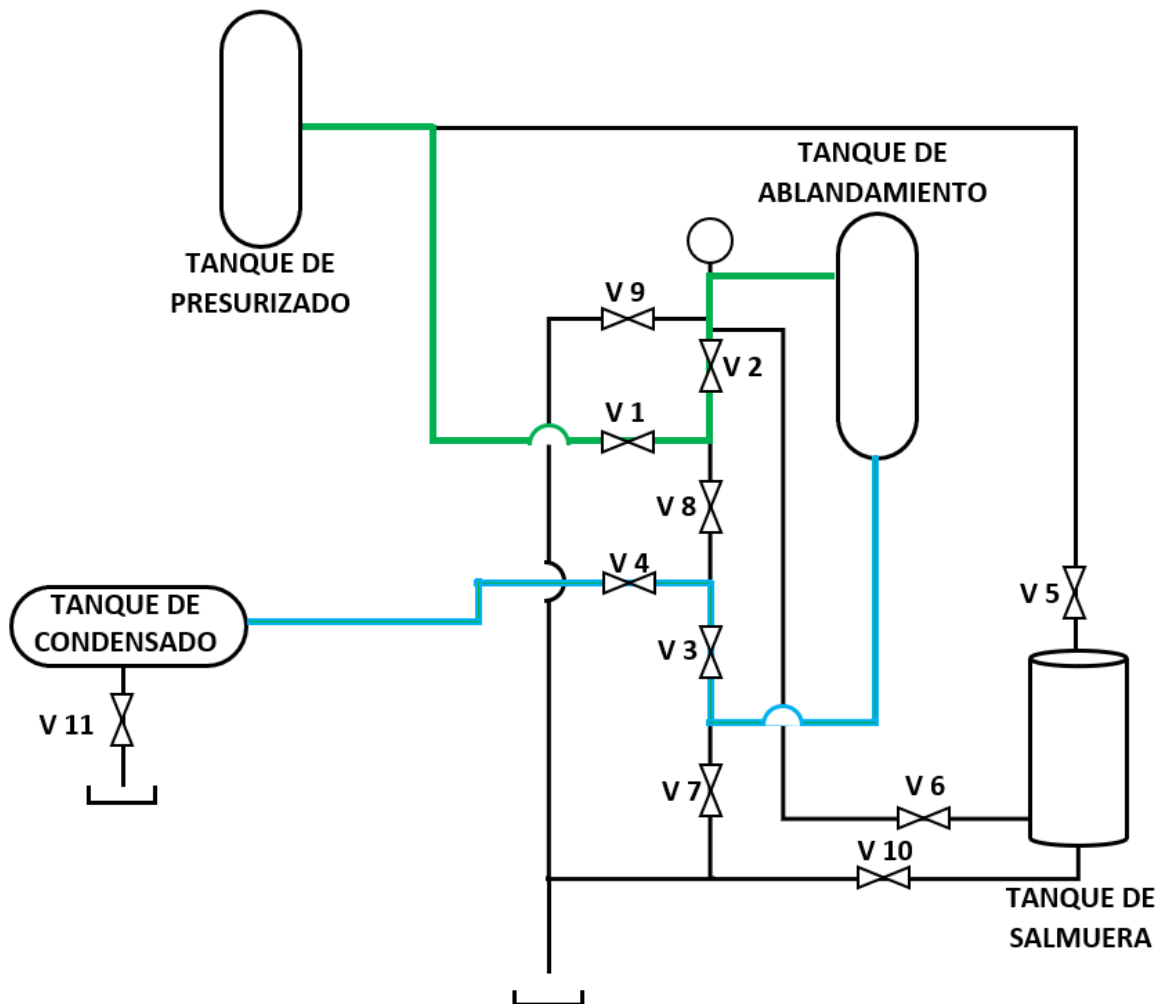


Figura 50. Circuito de operación

3.2.15.2. Circuito de retrolavado

Para el proceso de retrolavado se deben abrir solo las válvulas V8, V3 y V9.

El agua ingresará del tanque presurizado al tanque de ablandamiento limpiando su interior luego se arrojará a la alcantarilla.

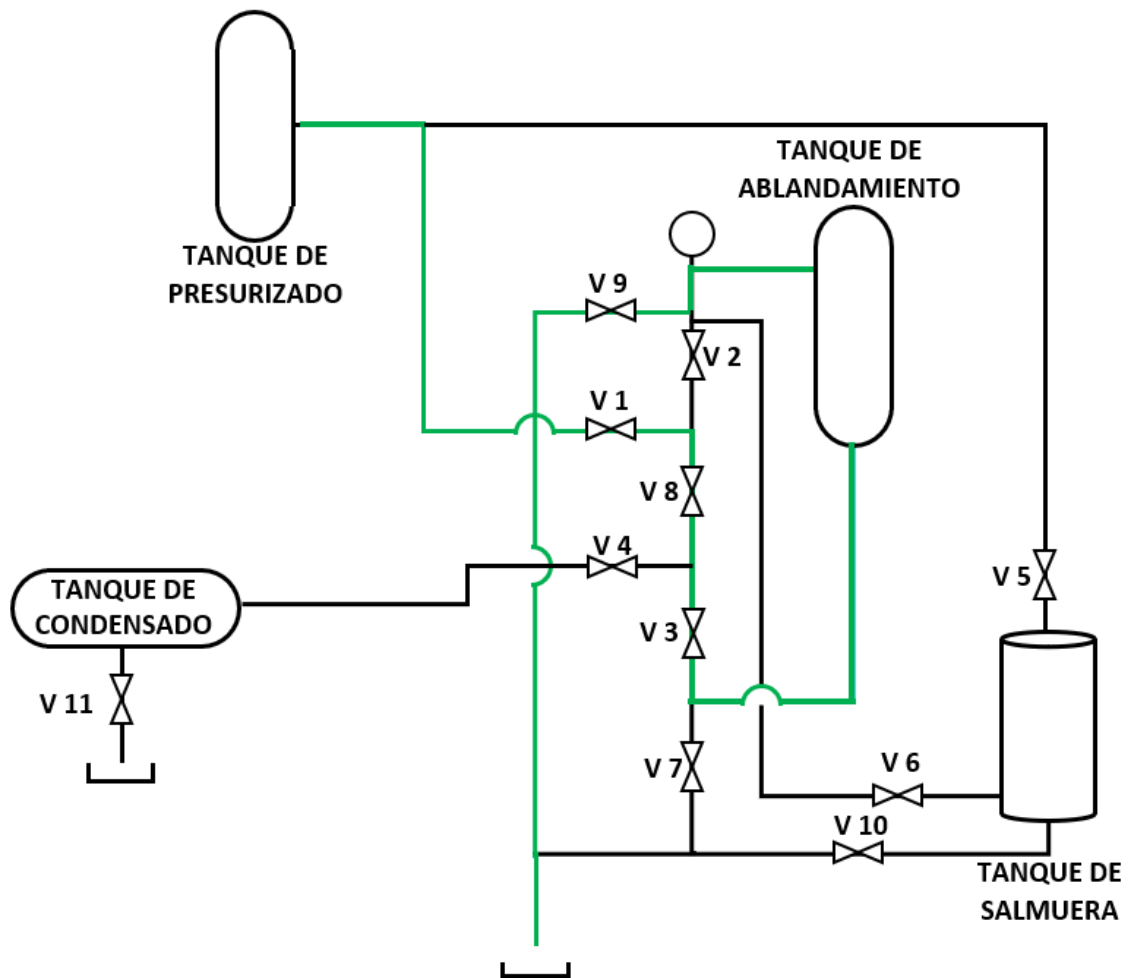


Figura 51. Circuito de retrolavado

3.2.15.3. Circuito de ablandamiento

Para el proceso de ablandamiento se deben abrir solo las válvulas V5, V6 y V7.

El agua ingresará del tanque presurizado al tanque de salmuera luego ingresará al tanque de ablandamiento y posteriormente se arrojará a la alcantarilla.

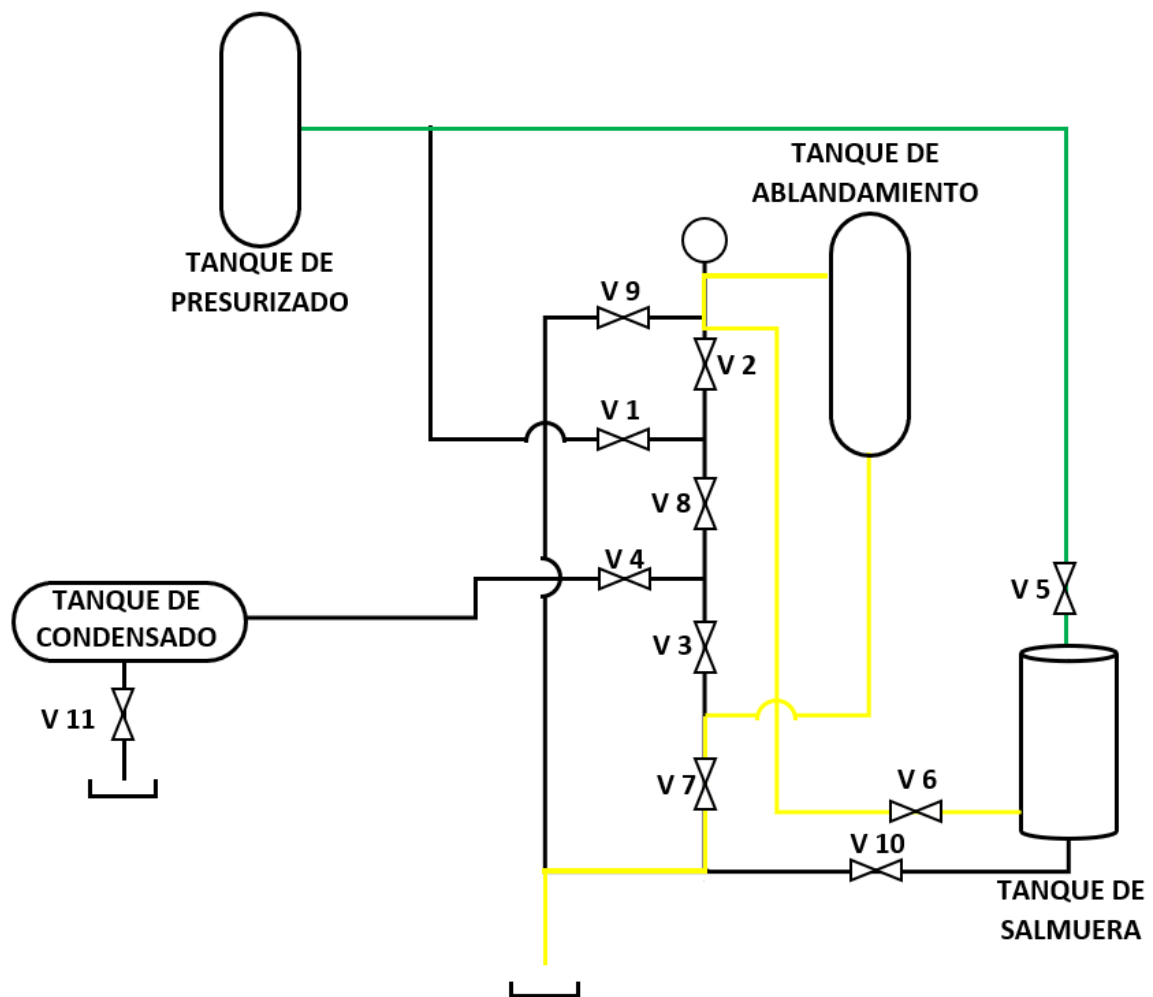


Figura 52. Circuito de ablandamiento

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

Después de la realización de las encuestas al personal que tiene contacto con la operación se ha efectuado el comparativo de la caldera antes y después de la implementación de los instrumentos y procedimientos de seguridad, se obtuvieron los siguientes resultados:

Los datos que se obtuvieron son: El entendimiento y facilidad de cada proceso, el grado de seguridad, el grado de operación, evaluación general de la caldera y temas administrativos mediante una escala Likert, hasta el mes de diciembre del año 2019, los cuales se muestran en la tabla 13, seguida de sus respectivos gráficos y resultados:

Tabla 13

Resultado de encuesta del grado de entendimiento y facilidad de los procesos antes de la implementación.

Grado de entendimiento y facilidad de los siguientes procesos antes de la implementación de los instrumentos y procedimientos:	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
1. Combustión del quemador de la caldera pirotubular.	3	5	11	1	0
2. De alimentación de la caldera pirotubular.	1	5	14	0	0
3. Alimentación hidroneumática de la caldera.	1	8	11	0	0
4. Nivel de agua, presión y temperatura de la caldera.	0	4	7	9	0
5. Monitoreo gases quemados de la caldera pirotubular.	0	9	9	2	0

Tabla 14

Resultado de encuesta del grado de entendimiento y facilidad de los procesos después de la implementación.

Grado de entendimiento y facilidad de los siguientes procesos después de la implementación de los instrumentos y procedimientos:	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
1. Combustión del quemador de la caldera pirotubular.	0	0	3	14	3
2. De alimentación de la caldera pirotubular.	0	0	1	17	2
3. Alimentación hidroneumática de la caldera pirotubular.	0	0	4	14	2
4. Nivel de agua, presión y temperatura de la caldera	0	0	0	11	9
5. Monitoreo gases quemados de la caldera pirotubular.	0	0	0	14	6

En la tabla 14 se puede calificar el entendimiento de los procesos según el siguiente criterio, Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto, Muy Alto, se evaluaron los siguientes procesos antes y después de la implementación:

1. Proceso de combustión del quemador de la caldera pirotubular.
2. Proceso de alimentación de agua de la calera pirotubular.
3. Proceso de Alimentación hidroneumática de la caldera pirotubular.
4. Sistema de observación de parámetros de operación de la caldera pirotubular, indicadores de nivel de agua, presión y temperatura.
5. Proceso de monitoreo de gases.

En base a la información mencionada anteriormente se puede extraer los siguientes datos y representarlos en un diagrama de barras que nos ilustren la data obtenida de una manera general de los procesos:

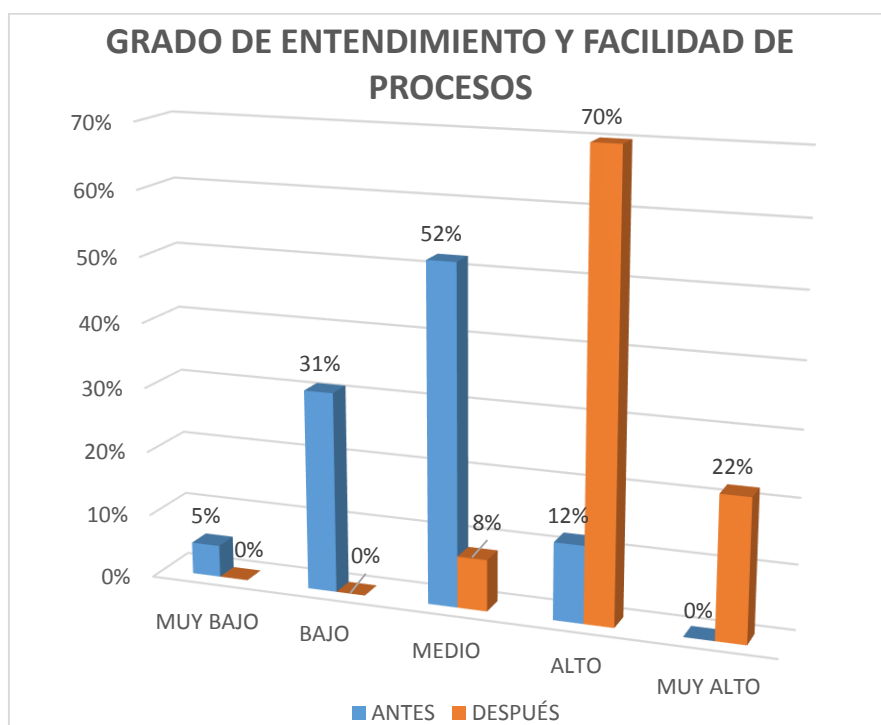


Figura 53. Grado de entendimiento y facilidad de procesos.

En la figura 53, inicialmente el entendimiento de todos los procesos antes de la implementación de los instrumentos y facilidad de procesos tanto de operación como de mantenimiento destaca en un nivel Medio marcando un valor estadístico de 52%, seguido de un entendimiento Bajo de 31%, después de un entendimiento Alto de 12% y finalmente un entendimiento Muy Bajo del 5%. Resaltando como moda el nivel Medio que es muy cercano a la mitad del personal encuestado que tiene contacto con la caldera Piro tubular de la UJCM.

Después de la implementación se observa que la data se inclina hacia valores superiores indicando que hubo un entendimiento y asimilación positiva por parte del personal que tiene contacto con la caldera, reduciendo al mínimo de esto modo los niveles, Muy Bajo, y Bajo, y concentrados en un nivel Alto, Muy Alto, y Medio con sus respectivas estadísticas del 70%, 22% y 8%.

Tabla 15

Resultado de encuesta del grado de entendimiento y facilidad del proceso de combustión.

Implementación de instrumentos y procesos	Proceso de combustión de la caldera piro tubular				
	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Nivel					
Antes	15%	25%	55%	5%	0%
Después	0%	0%	15%	70%	15%

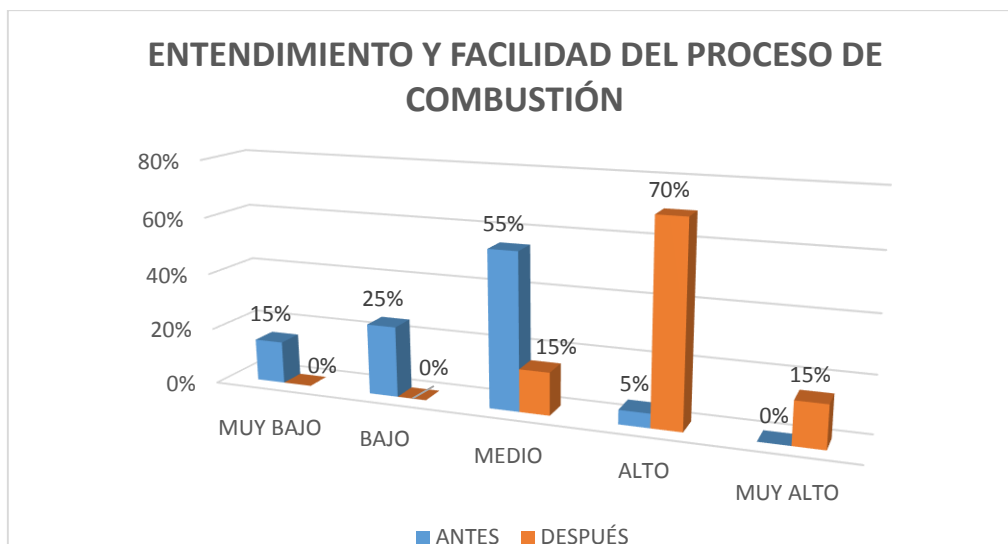


Figura 54. Entendimiento y facilidad del proceso de combustión.

De la figura 54 se puede observar el entendimiento y facilidad del proceso de combustión antes y después de la implementación de los instrumentos de medición y procesos, en el cual se rescata que inicialmente el proceso tenía un entendimiento Medio del 55% como data mayor seguido de Bajo con 25% y Muy Bajo del 15%, también se observa un nivel de entendimiento Alto del 5 % resaltando que no hay ningún valor de Muy Alto.

Posterior de la implementación se observa que los niveles: Muy Bajo, y Bajo, son reducidos al 0%, el nivel Medio es reducido al 15%, elevando la data del nivel Alto a un 70% el dato de mayor repetición de esta gráfica, y se observa que el nivel Muy Alto aumentó al 15%.

Podemos por tanto afirmar que la implementación realizada a la caldera pirotubular en la UJCM, ha suministrado valores favorables pasando de un valor Medio (55%) de mayor concentración antes de la implementación a uno Alto (70%) superior al dato mencionado anteriormente después de la implementación.

Tabla 16

Resultado de encuesta del grado de entendimiento y facilidad del proceso de bomba de alimentación.

Implementación de instrumentos y procesos	Proceso de alimentación de gua de la caldera				
Nivel	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Antes	5%	25%	70%	0%	0%
Después	0%	0%	5%	85%	10%

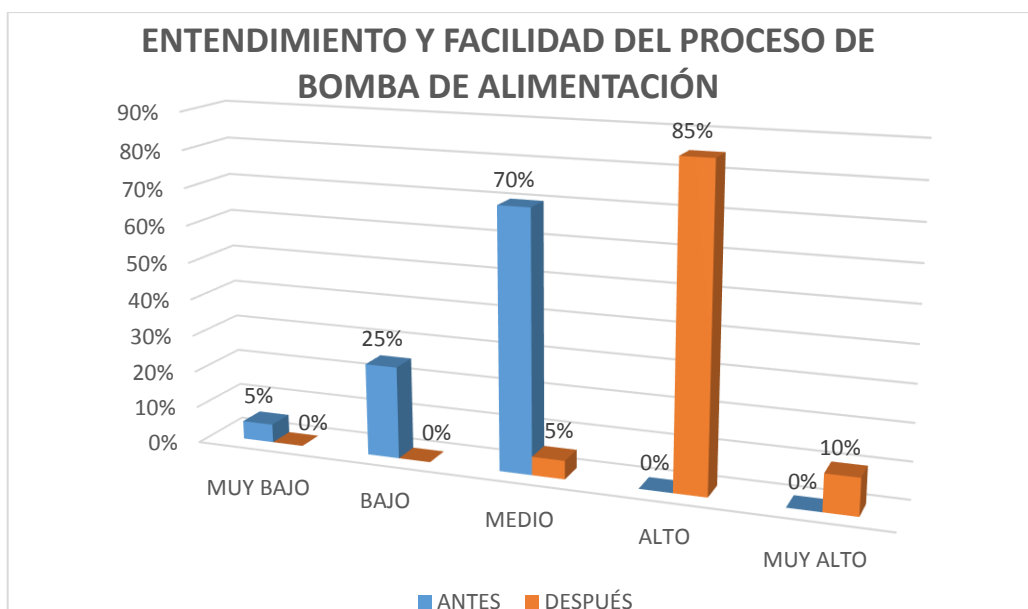


Figura 55. Entendimiento y facilidad del proceso de bomba de alimentación.

En la figura 55 se puede observar el entendimiento y facilidad del proceso de bomba de alimentación antes y después de la implementación de los instrumentos de medición y procesos, en el cual se rescata que inicialmente el proceso tenía un entendimiento Medio del 70% como data mayor seguido de Bajo con 25% y Muy Bajo del 5%, resaltando que los niveles Alto y Muy Alto no existen ningún valor (0%).

Posterior de la implementación se observa que los niveles: Muy Bajo, y Bajo, son reducidos al 0%, el nivel Medio es reducido al 5%, elevando la data del nivel Alto a un 85% el dato de mayor repetición de esta gráfica, y se observa que el nivel Muy Alto aumentó al 10%.

Podemos por tanto afirmar que la implementación realizada a la caldera piro-tubular en la UJCM, ha suministrado valores favorables pasando de un valor Medio (70%) de mayor concentración antes de la implementación a uno Alto de 85% superior al dato mencionado anteriormente, después de la implementación.

Tabla 17

Resultado de encuesta del grado de entendimiento y facilidad del proceso de alimentación hidroneumática.

Implementación de instrumentos y procesos					
Proceso de alimentación hidroneumática					
Nivel	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Antes	5%	40%	55%	0%	0%
Después	0%	0%	20%	70%	10%

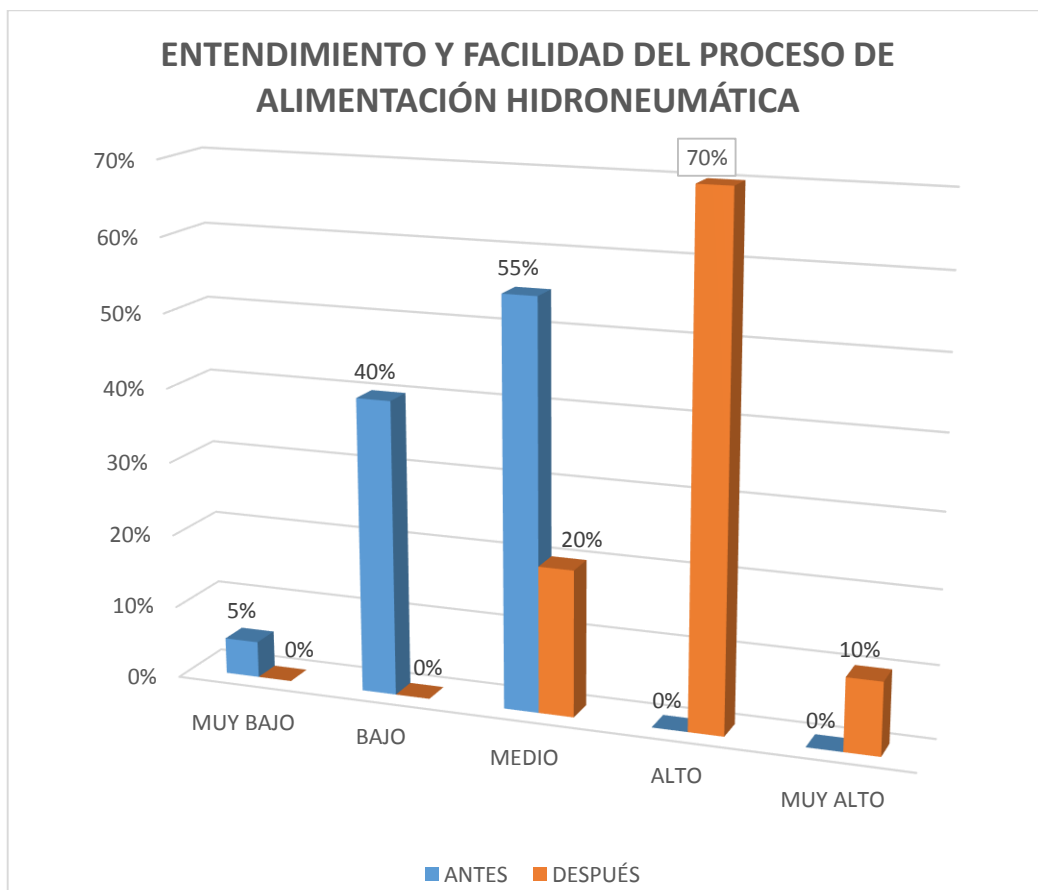


Figura 56. Entendimiento y facilidad del proceso hidroneumático.

En la figura 56 se puede observar el entendimiento y facilidad del proceso de alimentación hidroneumática antes y después de la implementación de los instrumentos de medición y procesos, en el cual se rescata que inicialmente el proceso tenía un entendimiento Medio del 55% como data mayor seguido de Bajo con 40% y Muy Bajo del 5%, resaltando que los niveles Alto y Muy Alto no existen ningún valor (0%).

Posterior de la implementación se observa que los niveles: Muy Bajo, y Bajo, son reducidos al 0%, el nivel Medio es reducido al 20%, elevando la data del nivel Alto a un 70% el dato de mayor repetición de esta gráfica, y se observa que el nivel Muy Alto aumentó al 10%.

Podemos por tanto afirmar que la implementación realizada a la caldera pirotubular en la UJCM, ha suministrado valores favorables pasando de un valor Medio (55%) de mayor concentración antes de la implementación a uno Alto de 70% superior al dato mencionado anteriormente, después de la implementación.

Tabla 18

Data de encuesta del grado de entendimiento y facilidad del proceso de indicadores de nivel agua, presión y temperatura.

Implementación de instrumentos y procesos de Proceso de indicadores de nivel de agua, presión y temperatura					
Nivel	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Antes	0%	20%	35%	45%	0%
Después	0%	0%	0%	55%	45%

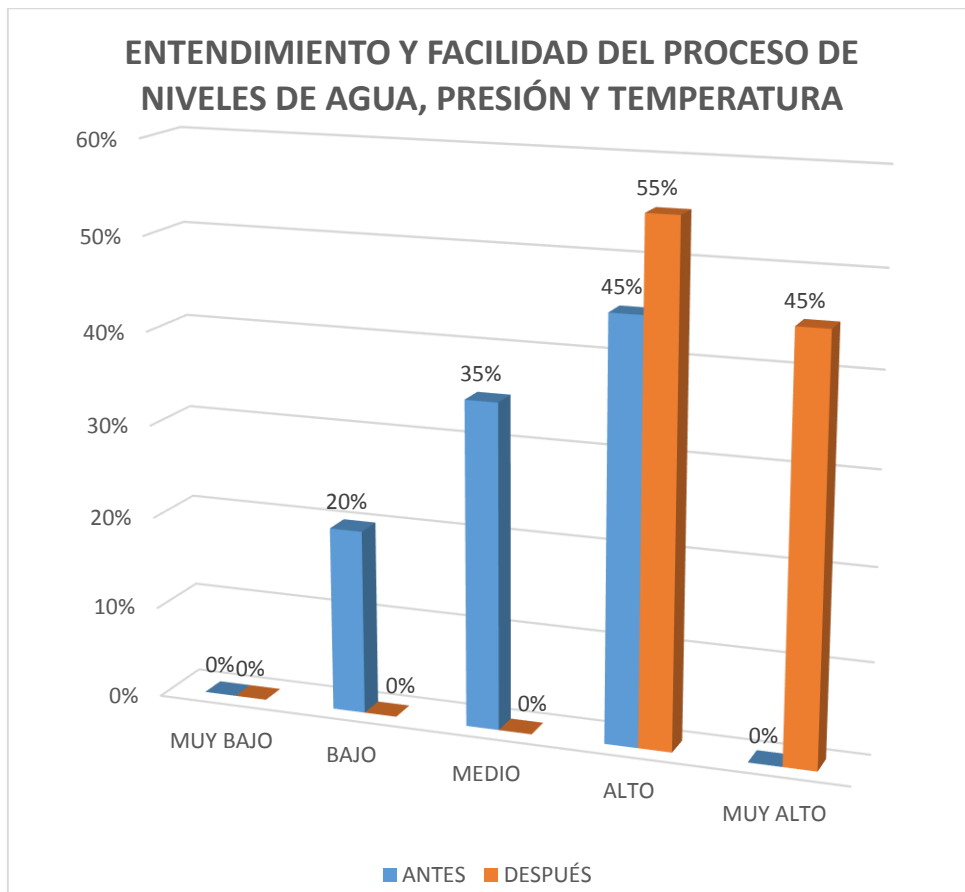


Figura 57. Entendimiento y facilidad del proceso de niveles de agua, presión y temperatura.

En la figura 57 se puede observar el entendimiento y facilidad del proceso de indicadores de nivel presión y temperatura antes y después de la implementación de los instrumentos de medición y procesos, en el cual se rescata que inicialmente el proceso tenía un entendimiento Alto del 45% como data mayor seguido de Medio con 35%, de Bajo con 20% y Muy Bajo del 0%, resaltando que el nivel Muy Alto no existe ningún valor (0%).

Posterior de la implementación se observa que los niveles: Muy Bajo, Bajo y Medio son reducidos al 0%, el nivel Alto aumentó al 55%, el dato de mayor repetición de esta gráfica, y se observa que el nivel Muy Alto aumentó al 45%.

Podemos por tanto afirmar que la implementación realizada a la caldera piro-tubular en la UJCM, ha suministrado valores favorables pasando de un valor Alto de 45% a 55% manteniéndose en el dato de mayor concentración, resaltando que el nivel Muy alto ascendió al 45% del 0% después de la implementación de los instrumentos y procesos.

Tabla 19

Data de encuesta del grado de entendimiento y facilidad del proceso de monitoreo de gases quemados.

Implementación de instrumentos y procesos		Proceso de monitoreo de gases quemados				
Nivel		Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Antes		0%	45%	45%	10%	0%
Después		0%	0%	0%	70%	30%

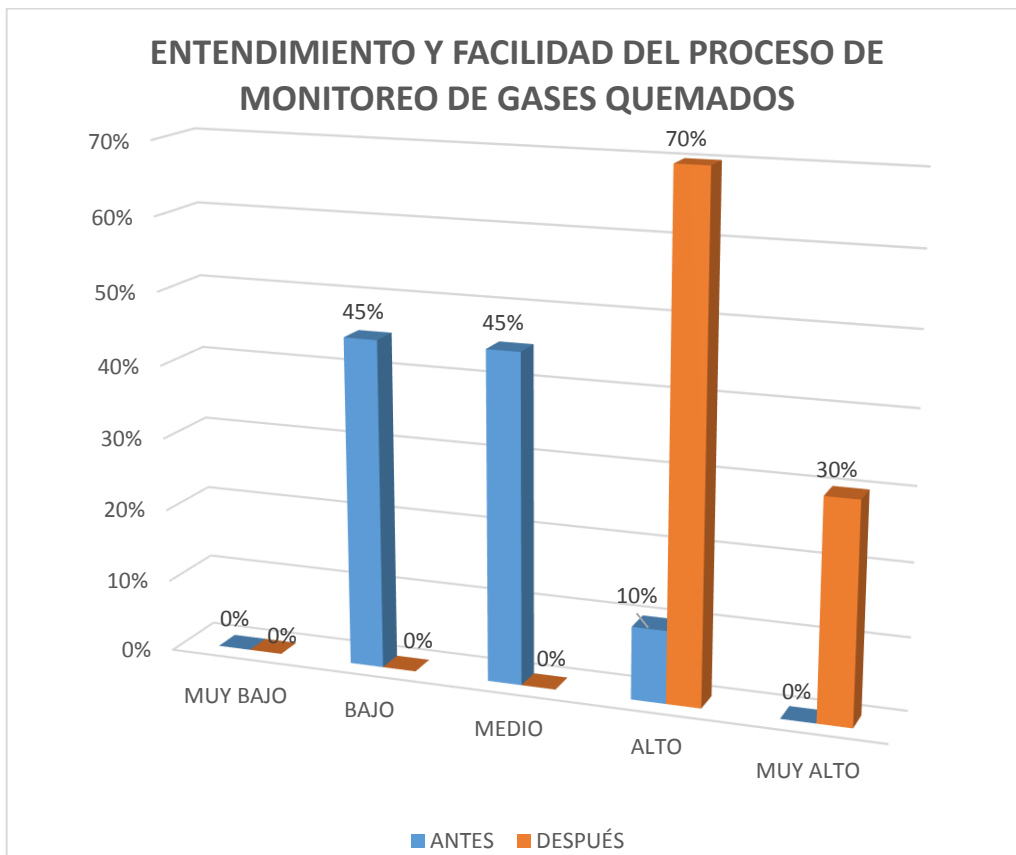


Figura 58. Entendimiento y facilidad del proceso de monitoreo de gases quemados.

En la figura 58 se puede observar el entendimiento y facilidad del proceso de monitoreo de gases antes y después de la implementación de los instrumentos de medición y procesos, en el cual se rescata que inicialmente el proceso tenía un entendimiento Medio y Bajo del 45% como doble data mayor seguido de Alto con 10%, resaltando que el nivel Muy bajo como Muy Alto no existen ningún valor (0%).

Posterior de la implementación se observa que los niveles: Muy Bajo, Bajo, y Medio, son reducidos al 0%, elevando la data del nivel Alto a un 70% el dato de mayor repetición de esta gráfica, y se observa que el nivel Muy Alto aumentó al 30%.

Podemos por tanto afirmar que la implementación realizada a la caldera piro-tubular en la UJCM, ha suministrado valores favorables pasando de un valor Medio y Bajo de 45% de mayor concentración antes de la implementación a uno Alto de 70% y Muy Alto de 30% superior a los datos mencionados anteriormente, después de la implementación.

Tabla 20

Data de encuesta del grado de seguridad de la caldera

Evalúe el grado de seguridad:	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
De la caldera pirotubular antes de la implementación de los instrumentos y procedimientos de los sistemas de la caldera pirotubular.	2	12	6	0	0
De la caldera pirotubular después de la implementación de los instrumentos y procedimientos de los sistemas de la caldera pirotubular	0	0	2	15	3

En la tabla 20 se puede observar cómo se calificó el grado de seguridad según el siguiente criterio: Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto, Muy Alto. En base a la información mencionada anteriormente se puede extraer los siguientes datos y representarlos en un diagrama de barras que nos ilustren la data obtenida:

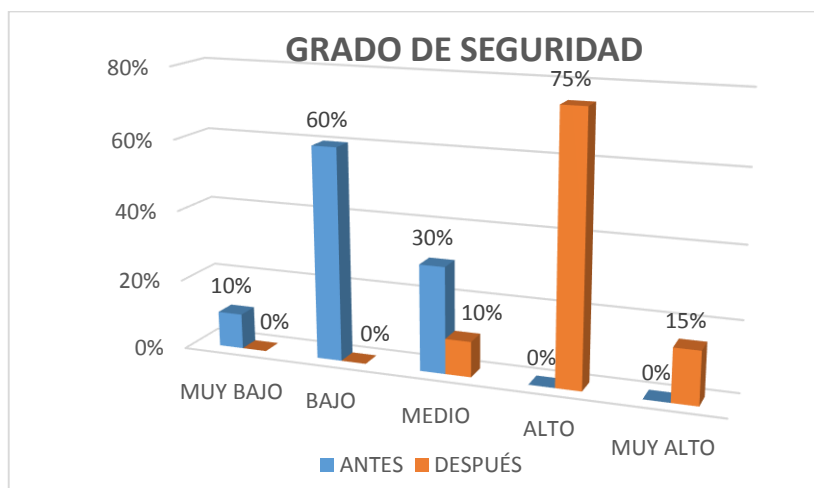


Figura 59. Grado de seguridad.

En la figura 59 se puede observar, inicialmente el grado de seguridad antes de la implementación de los instrumentos y facilidad de procesos tanto de operación como de mantenimiento destaca en un nivel Bajo con un valor estadístico de 60%, seguido del nivel Medio de 30%, después de un Grado de seguridad Muy Bajo de 10% resaltando que los niveles de Alto y Muy alto están en 0%.

Se debe priorizar que el nivel de seguridad Bajo tiene el mayor estadístico (60%) perteneciente a más de la mitad del personal encuestado que tiene contacto con la caldera Piro tubular de la UJCM.

Después de la implementación se observa que la data se inclina hacia valores de nivel superior. Podemos por tanto afirmar que aumentó el grado de seguridad y el entendimiento y asimilación positiva por parte del personal que tiene contacto con la caldera, reduciendo de esto modo los niveles, Muy Bajo, y Bajo, y concentrados en un nivel Alto, Muy Alto, y Medio con sus respectivas estadísticas del 75%, 15% y 10%.

Tabla 21

Data de encuesta del grado de operación de la caldera

Evalúe el grado de operación:	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
1. De la caldera pirotubular antes de la implementación de los instrumentos y procedimientos de los sistemas de la caldera pirotubular	3	13	4	0	0
2. De la caldera pirotubular después de la implementación de los instrumentos y procedimientos de los sistemas de la caldera pirotubular	0	0	2	14	4

En la tabla 21 se puede observar cómo se calificó el grado de operación según el siguiente criterio: Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto, Muy Alto. En base a la información mencionada anteriormente se puede extraer los siguientes datos y representarlos en un diagrama de barras que nos ilustren la data obtenida:

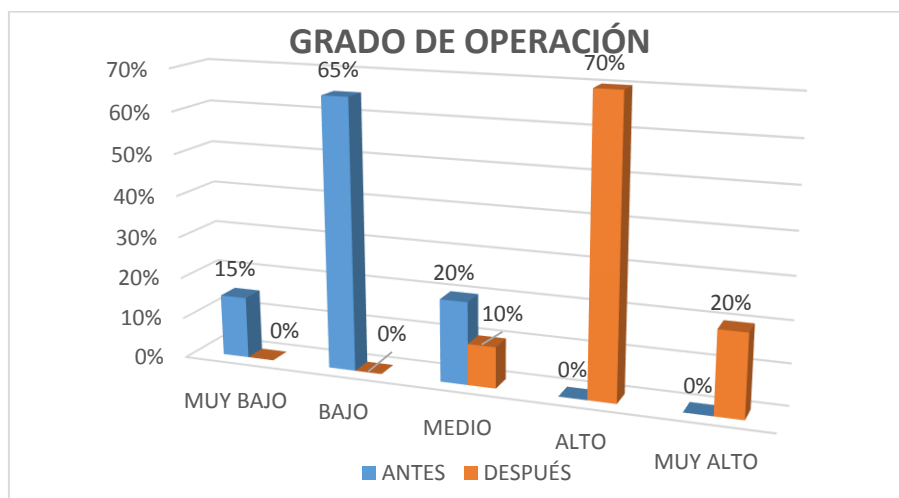


Figura 60. Grado de operación.

Como se observa, inicialmente el grado de operación antes de la implementación de los instrumentos y facilidad de procesos tanto de operación como de mantenimiento destaca en un nivel Bajo con un valor estadístico de 65%, seguido del nivel Medio de 20%, después de un Grado de seguridad Muy Bajo de 15% resaltando que los niveles de Alto y Muy alto están en 0%.

Se debe priorizar que el grado de operación Bajo tiene el mayor estadístico (65%) perteneciente a más de la mitad del personal encuestado que tiene contacto con la caldera Piro-tubular de la UJCM.

Después de la implementación se observa que la data se inclina hacia valores de nivel superior. Podemos por tanto afirmar que aumentó el grado de operación y el entendimiento y asimilación positiva por parte del personal que tiene contacto con la caldera, reduciendo de este modo los niveles, Muy Bajo, y Bajo, y concentrados en un nivel Alto, Muy Alto, y Medio con sus respectivas estadísticas del 70%, 20% y 10%.

Tabla 22

Data de encuesta del grado de evaluación general del laboratorio.

Evaluación general del laboratorio	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
1. Antes de la implementación de los instrumentos y procedimientos.	3	13	3	1	0
2. Después de la implementación de los instrumentos y procedimientos.	0	0	10	8	2

En la tabla 22 se puede observar cómo se calificó el laboratorio de manera general según el siguiente criterio: Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto. En base a la información mencionada anteriormente se puede extraer los siguientes datos y representarlos en un diagrama de barras que nos ilustren la data obtenida:

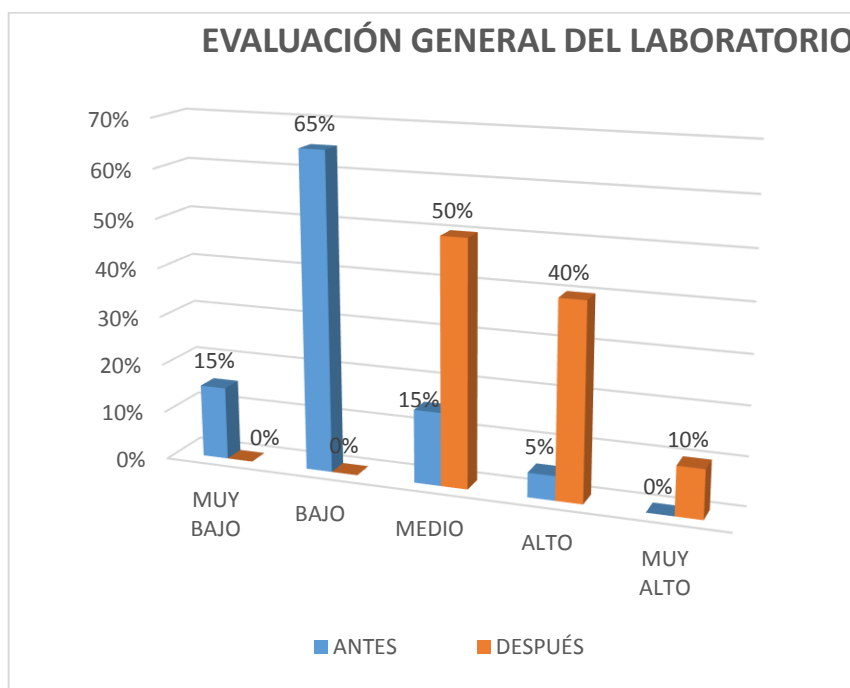


Figura 61. Evaluación general del laboratorio.

Como se observa, inicialmente la evaluación general del laboratorio antes de la implementación de los instrumentos y facilidad de procesos tanto de operación como de mantenimiento destaca en un nivel Bajo con un valor estadístico de 65%, seguido de un nivel Muy bajo y Medio de 15%, resaltando que el nivel Muy alto se encuentra en 0%.

Se debe Resaltar que la evaluación general del laboratorio tiene el mayor estadístico (80%) en el Bajo perteneciente a mucho más de la mitad del personal encuestado que tiene contacto con la caldera Pirotubular de la UJCM.

Después de la implementación se observa que la data se inclina hacia valores de nivel superior. Podemos por tanto afirmar que la evaluación general del laboratorio aumentó por parte del personal que tiene contacto con la caldera, reduciendo de esto modo el nivel, Muy Bajo (0%), y aumentado de gran manera los niveles Medio, Alto y Muy Alto, contrastados con las estadísticas respectiva del 50%, 40% y 10%.

Tabla 23

Data de encuesta según el nivel administrativo antes de la implementación

Administrativos antes de la implementación	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
1. Distribución	2	9	9	0	0
2. Equipos	0	13	7	0	0
3. Materiales	1	12	6	1	0
4. Infraestructura	1	11	7	1	0

Tabla 24

Data de encuesta según el nivel administrativo después de la implementación.

Administrativos después de la implementación	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
1. Distribución	0	0	4	15	1
2. Equipos	0	0	3	12	5
3. Materiales	0	0	1	15	4
4. Infraestructura	0	0	10	6	4

En las tablas 23 y 24 se puede observar cómo se calificó el nivel administrativo del laboratorio según el siguiente criterio: Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto, Muy Alto. En base a la información mencionada anteriormente se puede extraer los siguientes datos y representarlos en un diagrama de barras que nos ilustren la data obtenida:

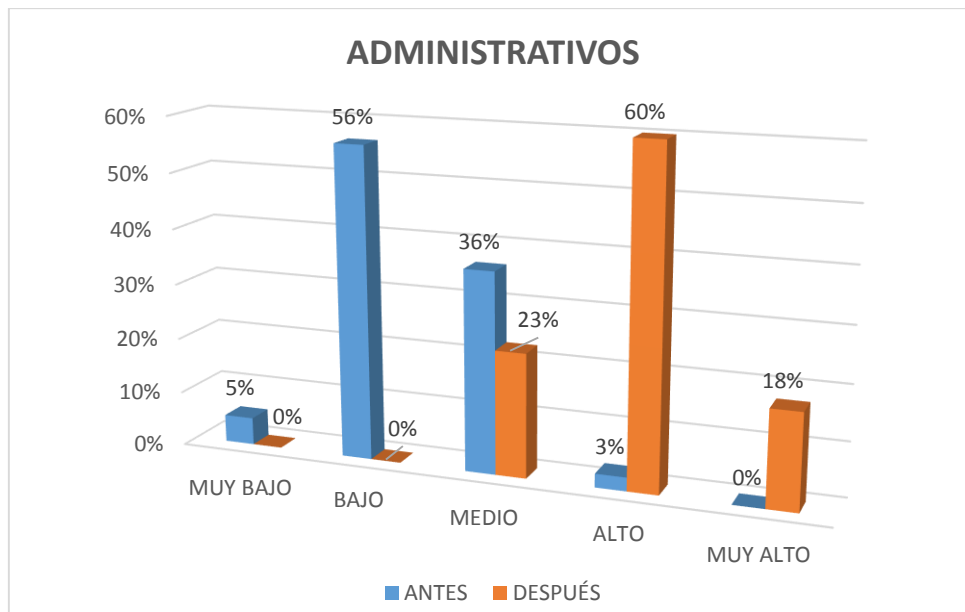


Figura 62. Administrativos.

Como se observa, inicialmente el nivel administrativo antes de la implementación de los instrumentos y facilidad de procesos destaca en un nivel Bajo con un valor estadístico de 56%, seguido del nivel Medio de 36%, después de un Grado de seguridad Muy Bajo de 5%, y resaltando que los niveles de Alto y Muy alto son los más bajos con una estadística respectiva de 3% y 0%.

Se debe priorizar que el grado de operación Bajo tiene el mayor estadístico (56%) perteneciente a más de la mitad del personal encuestado que tiene contacto con la caldera Pirocubular de la UJCM.

Después de la implementación se observa que la data se inclina hacia valores de nivel superior. Podemos por tanto afirmar que aumentó el nivel percibido por parte del personal que tiene contacto con la caldera, reduciendo de esto modo a un nivel mínimo los niveles, Muy Bajo, y Bajo, y concentrados en un nivel Alto, Muy Alto, y Medio con sus respectivas estadísticas del 60%, 23% y 18%, estos valores reflejan las mejoras de distribución, infraestructura, y sobre todo la implementación y mejora de los equipos y materiales del laboratorio de la UJCM.

4.2. Discusión de resultados

En esta tesis se deja implementado el sistema de control y monitoreo para la caldera pirotubular de 12 BHP del laboratorio de máquinas térmicas de la carrera profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, campus San Antonio, Universidad José Carlos Mariátegui 2018, aumentando el nivel de seguridad, superándose el cumplimiento del objetivo general.

La implementación del sistema de control y monitoreo en la caldera pirotubular de 12 BHP, del laboratorio de máquinas térmicas, consta de los equipos, instrumentos, protocolos, formatos de operación y mantenimiento ubicados en el apéndice, planos y flujogramas que facilita el trabajo de la operación y mantenimiento, el cual fue encuestado y arrojó un valor antes de la implementación de 65% de un nivel bajo y ascendió a un 70% de un nivel de operación alto posterior.

El grado de nivel de seguridad se vio mejorado en promedio hasta un 70% de un nivel alto, como resultado de la implementación del sistema de control y monitoreo de la caldera pirotubular de 12 BHP, del laboratorio de máquinas térmicas, que se evaluó mediante una matriz, según el mantenimiento basado en el riesgo, al igual que la implementación de sistemas de control y monitoreo acompañados de los formatos de operación y mantenimiento.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Primera. Mediante las encuestas aplicadas y el uso de la matriz de riesgo se identificaron que los equipos críticos son el quemador de la caldera y la bomba de alimentación. Se precisaron mediante su consecuencia y probabilidad de falla, se contrasto del mismo modo en el resultado de las encuestas que aumentaron a un nivel alto con valores 70% y 85% respectivamente el mejoramiento de su entendimiento y facilidad de proceso.

Segunda. Se implemento un sistema de control y monitoreo para la caldera pirotubular de 12 BHP del laboratorio de máquinas térmicas de la carrera profesional de ingeniería mecánica eléctrica, basada en la matriz de riesgos diseñando un plan estratégico de mantenimiento aumentando su nivel de seguridad.

Tercera. Se implemento los indicadores de nivel de agua, presión y temperatura que ayudan con el monitoreo y operación de la caldera pirotubular de 12 BHP del laboratorio de máquinas térmicas, del mismo modo se implementó el monitoreo de gases de la caldera midiendo la concentración de gases de carbono, eficiencia de la combustión, ppm de los componentes del gas y porcentaje de oxígeno libre.

Cuarta. La implementación de un sistema de control y monitoreo, plan de mantenimiento, secuencia de funcionamiento y asignación de criticidad de equipos, aumentaron el entendimiento de operación de la caldera pirotubular que según la encuesta nos indica que paso de un nivel bajo 65% a un nivel alto de 70%, la documentación de una bitácora de operación reforzará estos valores a lo largo de su operación. Estos documentos son implementados en el laboratorio de Máquinas Térmicas enmicados en un lugar visible para el personal.

5.2.Recomendaciones

Para la carrera de ingeniería mecánica eléctrica u otros trabajos de investigación se recomienda:

Primera. Debe hacerse el llenado de la bitácora de la caldera al igual que implementación de reporte de fallas, documentación de reportes de mantenimiento, historiales de mantenimiento que aumentaría con el incremento de la disponibilidad de la caldera pirotubular.

Segunda. Se recomienda cambiar la ubicación de la tubería de liberación de vapor ya que se encuentra muy cercana a un tablero eléctrico pudiendo realizar un corte circuito en su interior y deterioro de este.

Tercera. Se recomienda la aplicación de un software que rotule los equipos y su criticidad para realizar un plan estratégico de mantenimiento por cada equipo y llevar su control más exacto y específico.

Cuarta. Se recomienda cambiar la ubicación de la tubería de la válvula de cebado de la bomba de alimentación de agua, debido a que se encuentra muy cercana al motor de esta, la cual podría provocar un corte circuito del

motor, se recomienda llevar una tubería al drenaje o a una tubería que lleve al tanque de condensados.

Quinta. Se recomienda implementar un sistema de alarma sonoras de presión baja y sobrepresión, según los parámetros de funcionamiento de la caldera, para identificar que el equipo este trabajando en los valores deseados.

Sexta. Se recomienda implementar una parada de emergencia ubicada estratégicamente, que ayude a detener el equipo instantáneamente en el caso de una emergencia.

Séptima. Se recomienda diseñar una cámara de aislamiento y reconducción de la válvula de seguridad, debido a que en el caso que esta válvula se active, la liberación de vapor se encuentra a una distancia muy cercana al operador, pudiendo provocar daños físicos y otras molestias.

Octava. Se recomienda la instalación de un extintor de polvo seco ABC, para poder actuar frente a un amago de incendio de forma inmediata, el cual debe estar ubicado en un lugar estratégico como en la entrada y debe contar con un plan de inspección.

Novena. La distancia mínima de seguridad con el equipo ya se encuentra marcada por los responsables del taller con una franja amarilla en el suelo ubicada una distancia de 0.5 m al perímetro del caldero, la cual es aceptable para la seguridad en relación con el personal, respetando del mismo modo las normas indicadas en el portafolio suministrado al laboratorio de máquinas térmicas de la universidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abner Raúl Lima López (2012). *Diseño de Control Automatizado para caldera pirotubular y Scada implementado a través de Labview*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/140731319/08-0181-ME-Diseno-de-control-automatizado-para-caldera-pirotubular-y-Scada-implementado-a-traves-de-Labview>

Adolfo Enrique Cosanatan Flores (2017). *Plan de mantenimiento de la sala de calderas del hospital de apoyo Chepen*. Recuperado de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9274>

Alberto Emilio Panana Girio. (2015). *Balance térmico en una caldera pirotubular*. Recuperado de repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/1002/209.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Catholic University of the Holy Conception. (2019). *Generadores de calor*. Recuperado de <https://www.coursehero.com/file/26868885/4-Generadores-de-calor-pdf/>

Cesar Alberto Cornejo Gómez (2005). *Evaluación y control de las pérdidas energéticas de la caldera Ilo21 y la Influencia del carbón utilizado*. Recuperado de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3149>

Ervin Lenin Pinedo Alvarrán y Ever Eduardo Ruiz Custodio. (2017). *Análisis del diseño, construcción y evaluación de un caldero pirotubular con fines académicos en la escuela académica profesional de ingeniería en energía*. Recuperado de <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2981/46316.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Jack. P. Holman. (1996). *Transferencia de calor*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/almuprofe1/transferencia-de-calor-holman-8-ed>
- José Renato Rodríguez Vázquez (2006). *Desarrollo de un Sistema de Control Avanzado de la Presión del Vapor en una Caldera de Tubos de Fuego*. Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/84>
- Marco Antonio Jave Diaz. (2009). *Supervisión y control de generación de vapor en calderas pirotubulares*. Recuperado de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/8491/1/jave_dm.pdf.
- Pedro Pablo Ubillùs Puruzaca. (2006). *Sustitución del residual 6 por gas natural en un caldero pirotubular*. Recuperado de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/8722/1/ubillus_pp.pdf
- Raúl Ignacio Moreno Ortega y Gustavo Fabrizio Negrete Izurieta. (2002). *Modernización del Sistema de Control y Monitoreo de Alimentación de agua de las Calderas FRAPAL-FM01*. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/44092>
- Thermal engineering ltda. (2000). *Valores referenciales de exceso de aire de acuerdo al tipo De combustible y quemador*. Recuperado de http://www.thermal.cl/docs/articulos_tecnicos/articulo___eficiencia_en_calderas.pdf
- Victor Alejandro Curguán Cárcamo (2004). *Modernización sistema de Seguridad Calderas Planta Cullen, basado en PLC y Software de programación*. Recuperado de http://www.umag.cl/biblioteca/tesis/curguan_carcamo_2004.pdf
- Yunus A. Cengel y Afshin J. Ghajar. (2011). *Transferencia de calor y masa, fundamentos y aplicaciones*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/stardust8227/transferencia-de-calorymasa4taedyunuscengel-48283307>