



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD EN CIENCIAS DE LAS INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

TÍTULO: “ANÁLISIS DE EFICIENCIA TÉRMICA DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE VAPOR EN LA QUESERA BRAYAN DEL CANTÓN SALCEDO”

Autor:

Saca Plasencia Jofre Israel

Tutor:

PhD. Torres Tamayo Enrique

Latacunga – Ecuador

Marzo-2021



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **Saca Plasencia Jofre Israel**, con cédula de ciudadanía N° **050326868-2**, estudiante de la Carrera de **Ingeniería Electromecánica** declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **“ANÁLISIS DE EFICIENCIA TÉRMICA DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE VAPOR EN LA QUESERA BRAYAN DEL CANTON SALCEDO”**, siendo el **PhD. Enrique Torres Tamayo**, tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad

Saca Plasencia Jofre Israel

C.I.: 050326868-2



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“ANÁLISIS DE EFICIENCIA TÉRMICA DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE VAPOR EN LA QUESERA BRAYAN DEL CANTÓN SALCEDO”, de **Saca Plasencia Jofre Israel**, con cédula de ciudadanía N° **050326868-2**, estudiante de la carrera **Ingeniería Electromecánica**, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la **Facultad en Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas** de la **Universidad Técnica de Cotopaxi** designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, marzo, 2021

El Tutor

Dr.C. Enrique Torres Tamayo

C.I.:175712194-0



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad en Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la carrera de Ingeniería Electromecánica; por lo cual, el postulante: **Saca Plasencia Jofre Israel**, con cédula de ciudadanía N° **050326868-2**, con el título de Proyecto de titulación: **“ANÁLISIS DE EFICIENCIA TÉRMICA DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE VAPOR EN LA QUESERA BRAYAN DEL CANTÓN SALCEDO”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, marzo 2021

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente).

Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; PhD

CC:175836725-2

Lector 2

Ing. Luis Rolando Cruz Panchi: M. Sc

CC:050259517-6

Lector 3 (Secretario)

Ing. Edwin Homero Moreano Martínez; M. Sc

CC: 0502607500-0

AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

En calidad de gerente general “**LA QUESERA BRAYAN DEL CANTÓN SALCEDO**”, con número de **Ruc: 0501467344001** en legal y debida forma **CERTIFICO**: Que el **Sr. Saca Plasencia Jofre Israel**, Estudiante de la carrera De **Ingeniería Electromecánica** de la **Universidad Técnica de Cotopaxi** conjuntamente con el direccionamiento como tutor de tesis el **Dr. C Enrique Torres Tamayo**, realizaron la propuesta tecnológica sobre el tema:

“ANÁLISIS DE EFICIENCIA TÉRMICA DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE VAPOR EN LA QUESERA BRAYAN DEL CANTÓN SALCEDO”,

Una vez verificado el trabajo, considero que dicha propuesta tecnológica cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científicos técnicos, en el análisis de la eficiencia térmica del proceso de generación del vapor, dando por recibidos dichos estudios.

Este aval lo otorgo, en razón del tiempo que ha trabajado el estudiante en el desarrollo de su proyecto de investigación, por lo tanto, puede dar el presente documento el uso que se estime conveniente.

Latacunga febrero, 2021

Atentamente,



Segundo Elifonsio Saca Guamany

Propietario

C.I.: 0501467344001



AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a dios quien me ha dado la oportunidad de lograr mis sueños; a mi madre que con su apoyo incondicional me ayudo a culminar mis estudios, a la Universidad Técnica de Cotopaxi, a sus docentes, que con su sabiduría me guiaron por el camino del saber y en especial a mi tutor el PhD Enrique Torres Tamayo, quien me supo guiarme en el presente trabajo de investigación.

Jofre



DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis padres María Plasencia y Segundo Saca, a mi esposa por ánimo y motivación que me genero para estudiar, a mis hermanos por los ánimos morales donde no importa la edad y para toda mi familia gracias por sus concejos

Jofre

INDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	i
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iii
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA.....	vi
INDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xviii
1 INFORMACIÓN BÁSICA	1
2 DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	3
2.1 Título de la propuesta tecnológica	3
2.2 Tipo de propuesta y alcance.....	3
2.3 Área del conocimiento	3
2.4 Sinopsis de la propuesta tecnológica	3
2.5 Objeto de estudio y campo de acción	4
2.5.1 Objeto de estudio.....	4
2.5.2 Campo de acción	4
2.6 Situación problémica y problema	4

2.6.1	Situación problemática:	4
2.6.2	Problema.....	5
2.7	Objetivo(s)	5
2.7.1	Objetivo general	5
2.8	Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos	6
3	MARCO TEÓRICO	7
3.1	Introducción	7
3.2	Generación de vapor	7
3.3	Conceptos fundamentales	8
3.4	Descripción del proceso de generación de vapor.....	9
3.4.1	Componentes de un sistema de vapor.....	10
3.4.2	Tipos de Calderas	10
3.4.3	Calderas pirotubulares	10
3.4.4	Calderas acuatubulares.	12
3.5	Combustión.....	13
3.6	Tipos de combustión.....	13
3.6.1	Combustión completa.....	13
3.6.2	Combustión incompleta.....	13
3.6.3	Combustión con exceso de aire	13
3.6.4	Combustión con defecto de aire	14
3.7	Control de contaminantes de combustión	14
3.8	Optimización de combustión de caldera	14
3.9	Quemador.....	16
3.10	Definición de leche.....	16
3.11	Densidad específica.....	17
3.12	Viscosidad	17
3.13	Aspectos generales sobre el queso	17

3.14	Pasteurización.....	18
3.15	Tipos de pasteurización.....	18
3.15.1	Proceso BATCH.....	18
3.15.2	Proceso HTSH.....	18
3.15.3	Proceso UHT.....	18
3.16	Proceso de pasteurización en la quesera Brayán.....	19
3.17	Sistemas de medición en generadores de vapor.....	20
3.17.1	Parámetro Proporcional (P).....	20
3.17.2	Parámetro Integral (I).....	20
3.17.3	Parámetro Derivatorio (D).....	20
3.18	Principales accesorios de medición y control de una caldera de vapor.....	20
3.19	Conclusiones de marco teórico.....	25
4	METODOLOGIA.....	26
4.1	Cálculo de la eficiencia térmica de la caldera pirotubular.....	26
4.2	Balance térmico de generadores de vapor.....	27
4.3	Método directo.....	28
4.4	Método indirecto.....	28
4.5	Calculo del calor disponible y útil.....	29
4.5.1	Calor disponible, (Q_d).....	29
4.5.2	Calor útil, Q_1	31
4.6	Perdidas térmicas, Q_p	32
4.6.1	Perdidas de calor sensible con los gases de salida, q_2	32
4.6.2	Perdidas de calor por combustión en el quemador, q_3	33
4.6.3	Perdidas por combustible no quemado, q_4	33
4.6.4	Perdidas de calor por convección y radiación, q_5	33
4.6.5	Transferencia de calor por convección.....	34
4.6.6	Transferencia de calor por radiación.....	35

1.1.1	Pérdidas con el calor físico de los residuos del horno, q_6	36
4.6.7	Pérdidas por purgas, q_7	36
4.7	Procedimiento para el cálculo de la demanda de vapor en la quesera Brayan	36
4.8	Sistema de bombeo de agua.....	37
4.9	Conclusiones del capítulo 4	40
5	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	41
5.1	Método	41
5.1.1	Calculo de la eficiencia térmica del sistema de generación y transporte de vapor de la “Quesera Brayan” antes del mejoramiento técnico de la misma	41
5.1.2	Cálculo de la eficiencia térmica del sistema de generación y conducción de vapor de la “Quesera Brayan” después del mejoramiento del estado técnico de la misma.....	50
6	PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTO	59
6.1	Costos directos	59
6.1.1	Materiales	59
6.2	Mano de obra directa.	60
6.3	Costos indirectos.....	61
	Materiales fungibles	62
6.4	Imprevistos.....	62
6.5	Costo total del proyecto	63
6.6	Cálculo del tiempo de recuperación de la inversión	63
6.7	Análisis de impactos	64
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
7.1	Conclusiones.....	65
7.2	Recomendaciones	65
8	Referencias	67
9	ANEXOS.....	69
I.	Anexo	69

II. Anexo	73
III. Anexo	74
IV. Anexo	75
V. Anexo	77
VI. Anexo	78
VII. Anexo	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Tabla Objetivos a realizar	6
Tabla 3-1 Ventajas y desventajas de Calderas Piro tubulares	13
Tabla 3-2 Tabla de control de gases de combustión.....	15
Tabla 3-3 Tabla de análisis	16
Tabla 3-4 Propiedades físicas de la leche	17
Tabla 4-1 Tabla de datos de la caldera	26
Tabla 4-2 Tabla de datos del quemador.....	26
Tabla 4-3 Poder calorífico inferior	29
Tabla 4-4 Constante Emisividad.....	36
Tabla 4-5 Perdidas de accesorios en el sistema de conducción.....	38
Tabla 5-1 Tabla de datos del combustible empleado.	41
Tabla 5-2 Tabla de resultados del calor disponible	41
Tabla 5-3 Tabla de datos de la caldera “Quesera Brayán”	42
Tabla 5-4 Tablas de resultados del calor útil	42
Tabla 5-5 Tablas de datos perdidas de gases de salida.....	42
Tabla 5-6 Tabla de resultados de pérdidas de calor sensible con los gases de salida.....	43
Tabla 5-7 Tabla de datos de Perdida de calor en paredes de la caldera.	43
Tabla 5-8 Tabla de resultado de las perdida de calor en paredes de la caldera	43
Tabla 5-9 Tabla de datos de perdida de calor en paredes de la tubería	44
Tabla 5-10 Tabla de resultado de Perdida de calor en paredes de la tubería.....	44
Tabla 5-11 Tabla de datos perdida de calor por radiación en la caldera	44
Tabla 5-12 Tabla de resultado de perdida de calor por radiación en la caldera	45
Tabla 5-13 Tabla de datos Perdida de calor por radiación en la tubería.....	45

Tabla 5-14	Tabla de resultados de perdida de calor por radiación en la tubería.	45
Tabla 5-15	Tabla de datos de materia prima (leche)	46
Tabla 5-16	Tabla de resultados de Demanda de vapor en la quesera Brayan	46
Tabla 5-17	Tabla de datos pérdidas térmicas generadas para la pasteurización de leche	47
Tabla 5-18	Tabla de datos general.....	48
Tabla 5-19	Tabla de datos del combustible empleado.....	50
Tabla 5-20	Tabla de resultados del calor disponible	50
Tabla 5-21	Tabla de datos de la caldera “Quesera Brayan”	50
Tabla 5-22	Tablas de resultados del calor útil	51
Tabla 5-23	Tablas de datos perdidas de gases de salida.....	51
Tabla 5-24	Tabla de resultados de pérdidas de calor sensible con los gases de salida.....	51
Tabla 5-25	Tabla de datos de Perdida de calor en paredes de la caldera.....	52
Tabla 5-26	Tabla de resultado de las perdida de calor en paredes de la caldera	52
Tabla 5-27	Tabla de datos de perdida de calor en paredes de la tubería	52
Tabla 5-28	Tabla de resultado de Perdida de calor en paredes de la tubería.....	53
Tabla 5-29	Tabla de datos perdida de calor por radiación en la caldera	53
Tabla 5-30	Tabla de resultado de perdida de calor por radiación en la caldera	53
Tabla 5-31	Tabla de datos Perdida de calor por radiación en la tubería.....	53
Tabla 5-32	Resultados de perdida de calor por radiación en la tubería.....	54
Tabla 5-33	Tabla de pérdidas térmicas generadas en el sistema para la pasteurización de leche	54
Tabla 5-34	Tabla de datos general.....	55
Tabla 5-35	Tabla estadística de distribución de perdidas térmicas.	57
Tabla 5-36	Tabla estadística de la eficiencia.....	57
Tabla 6-1	Elementos Mecánicos - Hidráulicos.....	59
Tabla 6-2	Elementos Eléctricos y Electrónicos	60
Tabla 6-3	Costo total de los materiales empleados.	60
Tabla 6-4	Costo de mano de obra directa.	61
Tabla 6-5	Costos de materiales y accesorios indirectos utilizados en la valoración del proyecto.	61
Tabla 6-6	Costo de materiales fungibles.	62
Tabla 6-7	Costo de Imprevistos.....	62
Tabla 6-8	Costo total.	63

Tabla 6-9 Tabla TIR - VAN	63
Tabla I-1 Tabla de Cengel 7ma edición.	69
Tabla I-2 Tabla de Cengel 7ma edición	70
Tabla I-3 Tabla de cenger 3era edicion.	71
Tabla I-4 Tabla de cenger 3era edicion	72
Tabla II-1 Tabla eficiencia del quemador, flujo y velocidad de vapor antes del mejoramiento tecnico.....	73
Tabla IV-1 Tabla eficiencia de quemador de la caldera despues del mejoramiento	76
Tabla VI-1 Tabla ficha técnica Caldera Pirotubular.	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1 Caldera Pirotubular	11
Figura 3-2 Caldera Acuatubulares.....	12
Figura 3-3 Planta de procesamiento	19
Figura 3-4 Tablero de control PID	21
Figura 3-5 Fococelda	21
Figura 3-6 Presostato.....	21
Figura 3-7 Prestostato de parada	22
Figura 3-8 Manómetro.....	22
Figura 3-9 Termómetro	23
Figura 3-10 Pirómetro.	23
Figura 3-11 Válvula.....	24
Figura 3-12 Electroválvula.....	25
Figura 4-1 Transferencia de Calor.....	27
Figura I-1 Tabla poder calorífico inferior del diésel.	69
Figura III-1 Imagen térmica de la pared de la caldera.....	74
Figura III-2 Imagen térmica de la tubería.....	74
Figura III-3 Imagen térmica de la chimenea.....	74
Figura III-4 Temperatura del vapor de salida de la caldera.....	74
Figura IV-1 Imagen térmica de la tubería	75
Figura IV-2 Imagen térmica de la pared de la caldera	75
Figura IV-3 Imagen térmica de la chimenea.....	75

Figura IV-4 Temperatura del vapor de salida de la caldera	75
Figura V-1 Velocidad del viento en la tubería.	77
Figura V-2 Velocidad del viento en la tubería.	77
Figura VI-1 Placa característica	78
Figura VI-2 Placa característica	78
Figura VII-1 Instrumento de Medicion.....	79
Figura VII-2 Mediaciones, análisis al sistema de generación de vapor.....	79
Figura VII-3 Sistema de sensores de caudal apertura y cierre de bomba de agua.....	79
Figura VII-4 Mantenimiento correctivo de la caldera	80
Figura VII-5 Mantenimiento sistema de control eléctrico	80

ÍNDICE DE ECUACIONES

(Ecuación 4-1)	27
(Ecuación 4-2)	28
(Ecuación 4-3)	28
(Ecuación 4-4)	28
(Ecuación 4-5)	29
(Ecuación 4-6)	29
(Ecuación 4-7)	30
(Ecuación 4-8)	30
(Ecuación 4-9)	30
(Ecuación 4-10)	31
(Ecuación 4-11)	31
(Ecuación 4-12)	31
(Ecuación 4-13)	32
(Ecuación 4-14)	33
(Ecuación 4-15)	34
(Ecuación 4-16)	34
(Ecuación 4-17)	34
(Ecuación 4-18)	34
(Ecuación 4-19)	35
(Ecuación 4-20)	35

(Ecuación 4-21)	36
(Ecuación 4-22)	37
(Ecuación 4-23)	38
(Ecuación 4-24)	38
(Ecuación 4-25)	39
(Ecuación 4-26)	39
(Ecuación 4-27)	39
(Ecuación 4-28)	39
(Ecuación 4-29)	39
(Ecuación 4-30)	39
(Ecuación 4-31)	40
(Ecuación 4-32)	40
(Ecuación 4-33)	40



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Facultad En Ciencias De La Ingeniería y Aplicadas

TITULO: “ANÁLISIS DE EFICIENCIA TÉRMICA DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE VAPOR EN LA QUESERA BRAYAN DEL CANTÓN SALCEDO”

Autor:

Saca Plasencia Jofre Israel

RESUMEN

La necesidad de reducir el excesivo consumo de combustible, las pérdidas térmicas y el mal estado técnico de los equipos que intervienen en la generación y distribución de vapor de la quesera Brayan del cantón Salcedo, va de la mano con el desempeño del estado financiero de la empresa, tales como en generación, transporte y la cantidad de vapor que se emplea en una línea de producción, fueron los requerimientos teóricos suficientes para realizar un análisis térmico al sistema y poder verificar con mayor precisión el lugar donde se tiene un mayor porcentaje de pérdidas donde se constató que está localizado en el quemador con un 33%, y la tubería con un 21,25% de pérdidas por lo cual se realizó el mejoramiento del estado técnico de los maquinarias dando un mantenimiento correctivo, en su totalidad como, cambiado piezas estructurales del generador de vapor, tubería interna, aislamiento, soldadura bajo normativa, partes en su totalidad del sistema de transporte del vapor, regulación del quemador entre aire y combustible, hasta llegar a una reducción de pérdidas y el incremento de la eficiencia, esto se fue evidenciado, del antes y el después del mejoramiento técnico, contando con una eficiencia térmica de generación y transporte de vapor de la “**Quesera Brayan del Cantón Salcedo**” antes del mejoramiento técnico del 51% que esto generaba un gasto anual en combustible de \$5079,60. Y después del mejoramiento del estado técnico de dicho sistema se evidencio un notable incremento en la eficiencia que es del 68%, y un decremento en los egresos económicos anual en combustible de \$3382.20, después del mejoramiento técnico, es evidente el incremento del 17% en su eficiencia total, y un ahorro económico del 33,41% anual que representa \$ 1697.40 menos en gastos por combustible.

Palabras clave: Generador, Vapor, Sistema, Caldera, Quemador, Térmico, Pérdidas.



TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

Engineering and Applied Sciences Academic Unit

TITLE: "THERMAL EFFICIENCY ANALYSIS OF THE STEAM GENERATION
PROCESS AT 'QUESERA
BRAYAN' IN SALCEDO CANTON"

Author: Saca Plasencia Jofre Israel

ABSTRACT

The necessity to reduce excessive fuel consumption, thermal losses and the poor technical condition of the equipment involved in the generation and distribution of steam at 'Quesera Brayán' in Salcedo Canton, is consistent with the performance of financial statement of the factory, such as generation, transport and amount of steam used in a production line. The theoretical requirements were sufficient to carry out a thermal analysis of the system and to be able to verify with greater precision the place where there is a higher losses percentage. Therefore, it was found that it is located in the burner with 33%, and the pipe with 21.25% of losses, as a result the improvement of the technical state of the machinery was carried out, giving a complete corrective maintenance such as, changed structural parts of the steam generator, internal piping, insulation, welding under regulations, parts in its entirety of the steam transport system, regulation of the burner between air and fuel, until reaching a reduction in losses and an increase in efficiency. The before and after technical improvement was evident, counting on a thermal efficiency of steam generation and transport of the 'Quesera Brayán del Canton Salcedo'. Before the technical improvement of 51% an annual fuel expense of \$ 5,079.60 was generated and after the improvement of the technical state of this system, a notable increase in efficiency of 68% was evidenced, and a decrease in the annual economic expenses in fuel of \$ 3382.20, after the technical improvement, the increase of 17% in its total efficiency was evident, and an annual economic saving of 33.41%, that represents \$ 1,697.40 less in fuel expenses.

Keywords: Generator, Steam, System, Boiler, Burner, Thermal, Losses.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por el Egresado de la Carrera de **INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS: SACA PLACENCIA JOFRE ISRAEL**, cuyo título versa “**ANÁLISIS DE EFICIENCIA TÉRMICA DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE VAPOR EN LA QUESERA BRAYAN DEL CANTÓN SALCEDO**”, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga marzo, del 2021

Atentamente,

Mg. Patricia Marcela Chacón Porras
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 0502211196

TITULACIÓN II

1 INFORMACIÓN BÁSICA

PROPUESTO POR:

Saca Plasencia Jofre Israel

TEMA APROBADO:

Análisis de eficiencia térmica del proceso de generación de vapor en la quesera Brayan del cantón Salcedo

CARRERA:

Ingeniería Electromecánica

DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:

Dr.C. Laurencio Alfonso Héctor Luis

EQUIPO DE TRABAJO:

Tutor: PhD. Torres Tamayo Enrique

Lector 1: Dr.C. Laurencio Alfonso Héctor Luis

Lector 2: Ing. Cruz Panchi Luis Rolando; M.Sc.

Lector 3: Ing. Edwin Homero Moreano Martínez; M. Sc

LUGAR DE EJECUCIÓN:

El proyecto de propuesta tecnológica se realizó en la quesera Brayan ubicada:

Región: Centro Sierra

Provincia: Cotopaxi

Cantón: Salcedo

Parroquia: Mulliquindil

Barrio: Santa Ana

TIEMPO DE DURACIÓN DE LA PROPUESTA:

12 meses

FECHA DE ENTREGA:

Febrero 2021

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Esta línea de investigación abarca tres grandes ejes para su accionar investigativo, que están en correspondencia con los objetivos nacionales e internacionales de investigación, desarrollo tecnológico e innovación en esta área. Se integran todas aquellas investigaciones que busquen promover el aprovechamiento de las energías alternativas y renovables, fomentar y promocionar el uso eficiente de la energía (Eficiencia Energética) en los diferentes sectores (Industrial, Residencial, Público, Transporte y Agrícola), y reducir el impacto medioambiental derivado de la utilización de los recursos energéticos.

Mediante, investigaciones se busca promover la mejora de la eficiencia de funcionamiento en la generación de vapor de la caldera de la quesera Brayan.

Las investigaciones que se desarrollen en esta línea estarán enfocadas a promover el desarrollo de tecnologías y procesos que permitan mejorar el rendimiento productivo y la transformación de materias primas en productos de alto valor añadido, fomentando la producción industrial más limpia y el diseño de nuevos sistemas de producción industrial.

SUB LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Eficiencia energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía.

Desarrollar investigaciones relacionadas con el uso eficiente de la energía convencional en procesos y la implementación de propuestas de cogeneración que permitan mayor aprovechamiento y reducción de los consumos energéticos.

Energía térmica: Esta energía utilizan el calor para calentar un fluido, producir vapor para mover generadores o usar el calor del fluido para calefacción.

TIPO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA:

El presente proyecto tiene como objetivo responder a las necesidades específicas de la quesera Brayan, proponiendo alternativas de solución basadas en el estudio de análisis térmico, y sustituyendo, las piezas defectuosas que generan pérdidas térmicas en los diferentes procesos productivos.

2 DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1 Título de la propuesta tecnológica

Análisis de eficiencia térmica de proceso de generación de vapor en la quesera Brayan del Cantón Salcedo.

2.2 Tipo de propuesta y alcance

Productivo: Se pretende mejorar la eficiencia térmica del proceso de generación de vapor, realizando un análisis del mismo para la reducción de los consumos energéticos.

2.3 Área del conocimiento

07 Ingeniería, industria y construcción

071 Ingeniería y Profesiones Afines

0715 Mecánica y metalurgia

2.4 Sinopsis de la propuesta tecnológica

La presente investigación, parte de la problemática que surge en la quesera Brayan por el bajo rendimiento que se origina en su caldera de vapor debido a su antigüedad y el mantenimiento inadecuado, buscando dar soluciones eficientes y confiables a la microempresa, mediante un análisis térmico y el mantenimiento correctivo a los implementos relacionados con la generación de vapor; los cuales, como un sistema común de producción de vapor van a ser un aporte actual y confiable. El objetivo de este trabajo es determinar la eficiencia térmica del proceso de generación de vapor para la pasteurización de la leche en la quesera Brayan, que permita el conocimiento de los factores que inciden al bajo rendimiento como, el

mantenimiento, antigüedad de la instalación y falta de instrumentación para el control de los diferentes parámetros de trabajo.

La metodología para realizar el análisis de eficiencia térmica se basó en el balance energético de la caldera, con los datos obtenidos mediante los instrumentos de medición que respaldan los resultados en esta investigación, ya que en la quesera Brayan el área de generación de vapor, se puede verificar los deterioros del equipo, para lo cual se ve en la necesidad de realizar un análisis en el sistema de generación y distribución de vapor que permita mejorar la eficiencia y reducir costos de producción.

El desarrollo e implementación de la propuesta tecnológica se basa en un estudio minucioso de los sistemas automatizados en calderas, la selectividad de los componentes adecuados, y las metodologías respaldadas por datos técnicos para mejoramiento de la eficiencia térmica de la caldera.

Con la aplicación de este proyecto mejoraremos la eficiencia térmica y el funcionamiento de la caldera, reduciendo pérdidas térmicas y económicas en la empresa.

2.5 Objeto de estudio y campo de acción

2.5.1 Objeto de estudio

Proceso de generación de vapor en la caldera.

2.5.2 Campo de acción

Eficiencia térmica del proceso de generación de vapor en calderas para reducir los costos en la pasteurización de la leche mediante el uso de instrumentos de medición adecuados y el control de los principales parámetros de trabajo.

2.6 Situación problemática y problema

2.6.1 Situación problemática:

Las pérdidas de energía térmica en la caldera de vapor de la quesera Brayan se hacen evidentes por el incremento en el tiempo que se demora en pasteurizar la leche, el consumo de combustible y el deterioro de los materiales del sistema de generación de vapor, lo que da consecuencia a un bajo rendimiento térmico y el incremento de costos para la micro empresa.

Este problema fue fomentándose por la antigüedad del equipo y su deterioro en aislamientos, quemadores, bombas de agua, tuberías de transporte de vapor, válvulas de paso, falla en el sistema de control eléctrico, y así generando grandes cantidades de pérdidas, gracias a la falta de mantenimiento de la misma, llegando a causar daños en todo el sistema de funcionamiento, y con el fin de disminuir las pérdidas de energía térmica se planificó un análisis térmico de la caldera de vapor, para así poder ganar mayor eficiencia y reducir las pérdidas económicas que generan a la empresa.

2.6.2 Problema

El excesivo consumo de combustible, las pérdidas térmicas y el mal estado técnico de los equipos que intervienen en la generación y distribución de vapor, genera un incremento de costos de producción en la quesera Brayan del cantón Salcedo, y su influencia en el sistema térmico.

Hipótesis o formulación de pregunta científica

Mediante el análisis de las pérdidas térmicas es posible el incremento de la eficiencia térmica y la reducción del consumo de combustible en el proceso de generación de vapor para la pasteurización de la leche en la quesera Brayan, tomando en consideración el mejoramiento del estado técnico de los equipos que intervienen en el sistema.

2.7 Objetivo(s)

2.7.1 Objetivo general

Determinar la eficiencia térmica del sistema de generación de vapor en la pasteurización de la leche de la quesera Brayan, mediante el análisis y su mejoramiento del estado técnico de los equipos que intervienen en el sistema, para la reducción del consumo de combustible y el incremento de la eficiencia térmica del proceso

2.7.2 Objetivos específicos

- ✓ Establecer la fundamentación teórica relacionada con el proceso de generación de vapor y el sistema de pasteurización de la leche para la producción de queso.
- ✓ Instaurar el procedimiento de cálculo para el análisis de la eficiencia térmica del proceso de generación de vapor.
- ✓ Realizar el análisis de los resultados mediante la recopilación de datos que permita la

obtención del comportamiento de la eficiencia térmica antes y después del mejoramiento.

- ✓ Comparar los costos de producción antes y después del mejoramiento, en el sistema de generación de vapor.

2.8 Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos

Tabla 2-1 Tabla Objetivos a realizar

Objetivos específicos	Tareas en función de los objetivos específicos
Establecer la fundamentación teórica relacionada con el proceso de generación de vapor y el sistema de pasteurización de la leche para la producción de queso.	Búsqueda de información relacionada con el proceso de generación de vapor. Principio de funcionamiento del sistema de pasteurización de la leche para la producción de queso. Teorías relacionadas con los sistemas de medición en generadores de vapor y pasteurización de la leche.
Instaurar el procedimiento de cálculo para el análisis de la eficiencia térmica del proceso de generación de vapor.	Procedimiento de cálculo para el análisis de la eficiencia térmica en generadores de vapor. Instalación de instrumentos de medición que permitan el análisis y control de los parámetros de trabajo de la caldera. Diseño de experimentos para la toma de datos en el sistema.
Realizar el análisis de los resultados mediante la recopilación de datos que permita la obtención del comportamiento de la eficiencia térmica antes y después del mejoramiento	Recopilación de datos que permitan el análisis de comportamiento de la eficiencia en función de los parámetros de trabajo. Análisis de los resultados para la reducción del consumo de combustible en el proceso de generación de vapor. Evaluación económica e impacto ambiental de la propuesta.
Comparar los costos de producción antes y después del mejoramiento, en el sistema de generación de vapor.	Comparación de resultados entre la eficiencia final e inicial. Análisis de los resultados de optimización de tiempo y costos de producción.

Fuente: [1]

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Introducción

Una caldera de vapor puede definirse como un equipo que genera y entrega vapor en la calidad y cantidad requerida por el usuario final, en forma continua y en operación económica y segura.

Los sistemas de generación de vapor tienen un uso muy extenso en diversas aplicaciones, tales como generación de energía mecánica y eléctrica, agente calefactor en servicios comerciales e industriales, y como materia prima en determinados procesos.

El elemento central en un sistema de vapor lo constituye la caldera de vapor, tiene la función de transformar agua, en vapor producto de la combustión del combustible. El generador de vapor está constituido por un conjunto de superficies de calentamiento y equipos, integrados en un esquema tecnológico para generar y entregar vapor en la cantidad y calidad en forma continua según los requerimientos del proceso, con el menor consumo de combustible, con el menor gasto y el mínimo impacto ambiental.

3.2 Generación de vapor

En instalaciones industriales el vapor se utiliza en tres servicios básicos, los que en muchos casos se presentan simultáneamente:

- ✓ Como fuente de energía térmica.
- ✓ Para producir potencia mecánica que se utiliza directamente o para su conversión posterior en electricidad.
- ✓ Como materia prima para el proceso.

Se menciona a continuación algunos trabajos realizados para el uso de nuevas tecnologías y mejoras en los ámbitos de generación de vapor.

En la siguiente tesis de graduación titulada: “Evaluación de pérdidas térmicas en el sistema de generación y distribución de vapor del hospital “Dr. Julio Enrique Paredes” unidad oncológica Solca Tungurahua, año 2014. Se genera la propuesta para la optimización del aprovechamiento energético en el cual se propuso reducir las pérdidas térmicas en el sistema de generación y distribución de vapor con lo cual se podrá obtener un gran ahorro energético. Se determinó que las mayores pérdidas térmicas en el sistema se producen debido al escape de gases por chimenea y a las pérdidas por combustión en el quemador, mientras que las menores pérdidas son aquellas

que ocurren por convección y radiación a través de las paredes de las calderas, así como por convección desde las superficies expuestas del tanque para retorno de condensados. [2]

En la Guía Básica de Calderas Industriales Eficientes, el quemador es uno de los componentes más ineficiente de la caldera industrial, ya que generan emisiones de gases contaminantes [3]. Quiere decir que seleccionando un quemador adecuado se puede reducir las emisiones de óxidos nitrosos hasta lo mínimo, en base a los siguientes principios:

- ✓ Recirculación internamente de los gases producto de la combustión.
- ✓ Reducción de la concentración parcial de O₂.
- ✓ Reducción de la temperatura de la llama.
- ✓ Reparto de combustible con distintos inyectores (primario y secundarios).
- ✓ Vaporización del combustible líquido finamente pulverizado.

En la siguiente tesis desarrollada de tema: “Auditoria energética del sistema de vapor del hospital de niños Baca Ortiz” se plantea alternativas como mejorar el sistema de condensación de vapor y su retorno con el cambio de elementos que se encuentren en malas condiciones, para disminuir los gastos de combustibles y así generar mayor beneficio al hospital. [4]

En la tesis titulada: “Análisis de la eficiencia energética aplicado al mantenimiento del sistema de generación y distribución de vapor para la empresa La Ibérica”. Se dio a conocer que la caldera está operando con una combustión no adecuada ya que los resultados obtenidos de los análisis de gases y residuos en la combustión existen exceso de oxígeno que aporta a la combustión y se genera pérdida térmica al ambiente, también ay que analizar el sistema de inyección del combustible por lo cual se realizó un programa de mantenimiento centrado en la eficiencia energética. [5]

En la tesis de grado titulado “Selección e instalación de vapor para una fábrica de yogurt y de crema de leche” en la parte de distribución de tuberías nos dice que depende directamente de las máquinas que usan vapor para poder distribuir con mejor facilidad considerando que no produzca caídas de presión y evite pérdidas por radiación y convección. [6]

3.3 Conceptos fundamentales

Las Calderas son instalaciones industriales que, aplicando el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan el agua para aplicaciones en la industria. Esta caldera consta de 2 partes básicas.

1. **Cámara de agua:** Es el espacio que ocupa el agua en el interior de la caldera.
2. **Cámara de vapor:** Es el espacio o volumen que ocupa sobre el nivel superior máximo de agua y en el cual se almacena el vapor generado por la caldera.

Energía: La energía se puede considerar como la capacidad para causar cambios. Una de las más importantes y fundamentales leyes de la naturaleza es el principio de conservación de la energía. Éste expresa que, durante una interacción, la energía puede cambiar de una forma a otra, pero su cantidad total permanece constante. “Es decir, la energía no se crea ni se destruye solo se transforma”. [7]

Energía térmica: La energía térmica es la energía contenida dentro de un sistema y que es responsable de su temperatura. La energía térmica siempre se ha relacionado con el calor ya que es el flujo de esa energía térmica, este generalmente se asocia con un cambio de fase entre los estados líquido y vapor del fluido.

El calor: Es energía en movimiento, es decir energía térmica transferida de un sistema que está a mayor temperatura, a otro que está a menor.

La temperatura: Es la magnitud física que mide la cantidad de energía térmica que tiene un cuerpo o un sistema.

Transferencia de calor: “La Transferencia de calor es la energía que circula debido a una diferencia de temperaturas en un cuerpo o entre cuerpos diferentes”. [8]

Siempre que exista una diferencia de temperatura, la energía se transfiere de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura por el resultado de diferencias de temperatura.

Bombas: Una bomba es una turbo máquina generadora para líquidos la bomba se usa para transformar la energía mecánica en energía hidráulica. Un sistema de bombeo puede definirse como la adición de energía a un fluido para moverse o trasladarse de un punto a otro

Las bombas se emplean para bombear toda clase de líquidos: agua, aceites de lubricación, combustibles ácidos, cerveza, leche, entre otros elementos.

3.4 Descripción del proceso de generación de vapor

Una caldera es un equipo el cual aporta calor por medio de la combustión, el cual transmite a un fluido que generalmente es agua, que se vaporiza según la temperatura y presión de diseño y se transporta a un equipo o sistema consumidor en el que se transfiere esa energía.

3.4.1 Componentes de un sistema de vapor

- 1) Generador de vapor (caldera)
- 2) Tuberías de vapor
- 3) Válvulas de regulación
- 4) Equipos consumidores
 - ✓ Motores Primarios: máquinas de vapor, turbinas
 - ✓ Equipos de proceso: intercambiadores, evaporadores, secadores, reactores
- 5) trampas de vapor, sellos barométricos, controles de nivel.
- 6) Sistema de condensado: tuberías, tanques, bombas
- 7) Sistema de agua de alimentación: tanques, bomba, calentadores
- 8) Sistema de tratamiento de agua
- 9) Instrumentación y sistemas de control.

3.4.2 Tipos de Calderas

Las normas como la UNE9002 Y UNE9003, indican la clasificación de las calderas vapor según la disposición de los fluidos:

- ✓ Calderas de tubos de humo (pirotubulares).
- ✓ Calderas de tubos de agua (acuatubulares).

Según la disposición de los tubos de las calderas:

- ✓ Calderas de tubos horizontales.
- ✓ Calderas de tubos inclinados.
- ✓ Calderas de tubos verticales.

Según la disposición del hogar con respecto a la caldera:

- ✓ Calderas de hogar interior.
- ✓ Calderas de hogar exterior.
- ✓ Según la implantación de la caldera:
 - ✓ Calderas estacionarias o terrestres.
 - ✓ Calderas móviles (locomotoras, marinas).

Fundamentalmente son dos los tipos de calderas de vapor que normalmente suelen utilizarse: caldera de tubos de humo o pirotubulares y calderas de tubos de agua o acuatubulares.

3.4.3 Calderas pirotubulares

“Las calderas de tubos de humo o pirotubulares se pueden explicar como un cilindro compacto de agua, atravesado longitudinalmente por un haz de tubos por los que circulan la llama y los

humos. Lógicamente, los humos y la llama pasarán por el interior de los tubos de acero, los cuales estarán rodeados de agua”. [9]

El gran volumen de agua de estos equipos actúa como un almacén de energía proporcionando una respuesta adecuada para demandas puntuales y una mayor calidad del vapor.

Las calderas pirotubulares, es un recipiente de acero cilíndrico o semicilíndrico, donde el combustible que se quema da lugar a la transmisión de calor por radiación y los gases resultantes se les hace circular a través de los tubos los que constituyen un haz tubular en la caldera, cuyo exterior esta bañado por el agua de la caldera. Según sea una o varias las veces que los gases pasan a través del haz tubular, se tienen de uno o de varios pasos; una vez realizado el intercambio térmico, los humos son expulsados al exterior a través de la chimenea.

Estas calderas son de bajo costo, mantenimiento económico y capacidad para soportar fluctuaciones bruscas de carga. Este tipo de calderas generan vapor de baja hasta 10,5 kg/cm² y alta hasta 20 kg/cm².

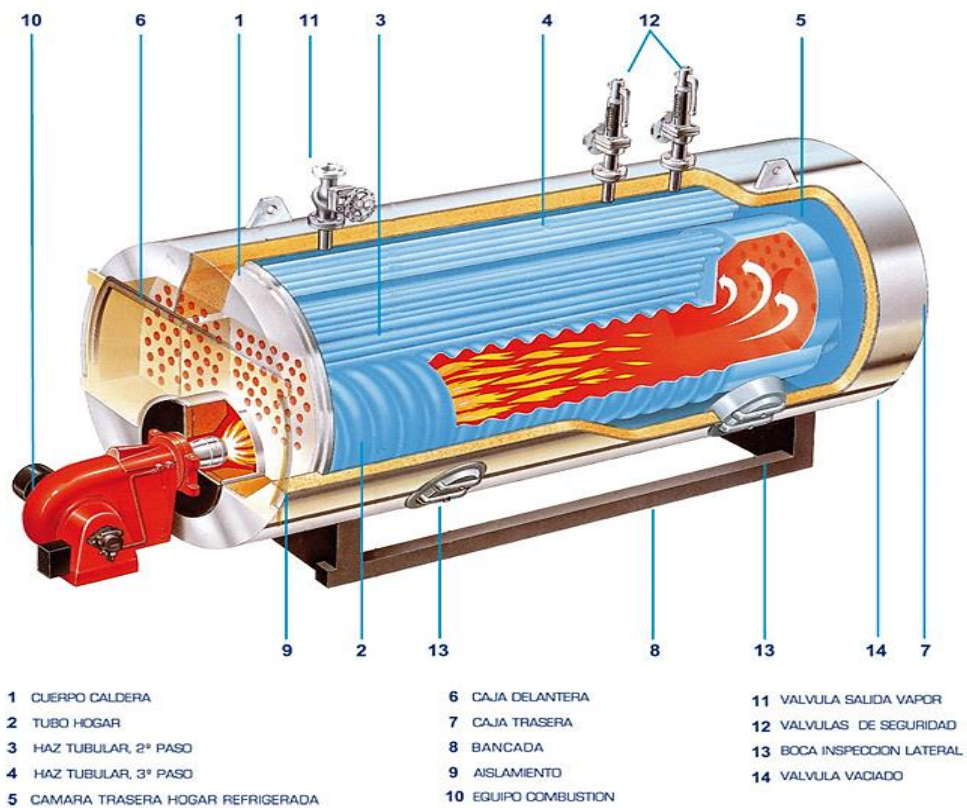


Figura 3-1 Caldera Pirotubular

Fuente: [10]

3.4.4 Calderas acuatubulares.

En las calderas acuatubulares los gases de combustión circulan por la parte externa de los tubos, mientras que el agua pasa por el interior de los tubos el cual se convierte en vapor.

Las calderas acuatubulares poseen un amplio rango de producción de vapor, los cuales varían desde un pequeño modelo compacto hasta uno grande como son las calderas de centrales termoeléctricas.

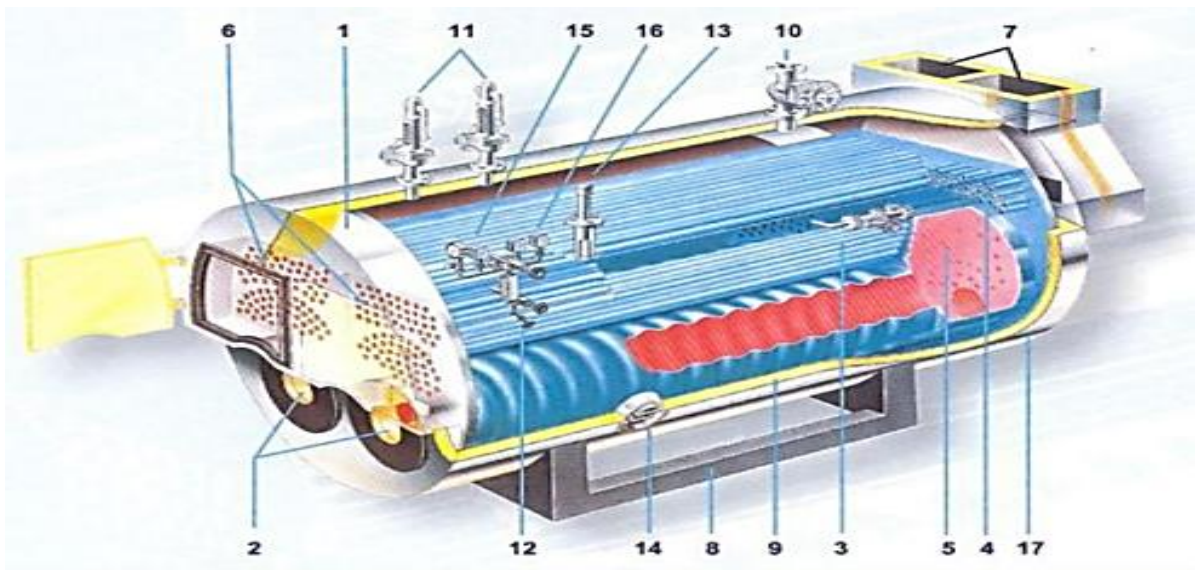


Figura 3-2 Caldera Acuatubulares

Fuente: [11]

- | | |
|-------------------------------|--------------------------------|
| 1. Cuerpo de caldera | 10. Válvula de salida de vapor |
| 2. Tubo hogar | 11. Válvula de seguridad |
| 3. Haz tubular | 12. Indicadores de nivel |
| 4. Haz tubular | 13. Regulador de nivel |
| 5. Cámara trasera refrigerada | 14. Boca de inspección lateral |
| 6. Doble caja delantera | 15. Manómetro |
| 7. Doble caja trasera | 16. Presostato |
| 8. Bancada | 17. Válvula de vaciado |
| 9. Aislamiento | |

Tabla 3-1 Ventajas y desventajas de Calderas Piro tubulares

Ventajas	Desventajas
Son más económicas que la acuotubulares. No requieren tanto tratamiento para el agua de alimentación. Ocupan poco o menos espacio. Facilidad para su mantenimiento. Sencillez de construcción	Menor eficiencia de funcionamiento en comparación con las acuotubulares. No son adecuadas para presiones elevadas. Gran peso. Lenta puesta en marcha Gran peligro de explosión o ruptura debido al gran volumen de agua

Fuente: [9]

3.5 Combustión

En el proceso donde se producen varias reacciones químicas, dependiendo del tipo de combustible y de los equipos que intervienen, como combustión, aire, calor/combustión, productos.

3.6 Tipos de combustión.

Los diferentes tipos de combustión dependen del nivel de combustible y el flujo del oxígeno que ayudan a una buena combustión, existen diferentes tipos de combustión que se detallara en breve.

3.6.1 Combustión completa

“Es cuando todo el carbono en el combustible se transforma en CO₂ y todo el hidrogeno en H₂O, en algunos casos cuando el combustible tiene en su composición azufre este se transforma en SO₂ y en consecuencia no habrá combustible en los humos” [12].

3.6.2 Combustión incompleta

“Es cuando el combustible no quema completamente en la cual habrá presencia de sustancias, que es un producto que puede seguir quemando” [13].

3.6.3 Combustión con exceso de aire

Es aquella reacción donde el combustible se quema completamente con una cantidad elevada de aire, en la cual habrá presencia de oxígeno en los gases de la chimenea y perdidas de calor

en el vapor producido, debido a la reducción de la temperatura de combustión y a la longitud de la llama, lo cual conlleva a un mejor rendimiento.

3.6.4 Combustión con defecto de aire

En este tipo de combustión el combustible no se oxida completamente, debido a la insuficiencia de aire aportado, lo cual no cubre lo necesario para la combustión, en lo que existen residuos de inquemados en la chimenea.

3.7 Control de contaminantes de combustión

Los óxidos nitrosos, dióxido de carbono, partículas y la opacidad se ven influidas considerablemente por el diseño de la caldera, como su funcionamiento y su control, sin embargo, la reducción de estos contaminantes debe llevarse a cabo entre la caldera y la chimenea.

Estrategias que existen para la reducción de contaminantes.

1. Reducción de dióxido de azufre y sus partículas. Se realiza por medio de un sistema de desulfuración de gases de combustión por medio de depuradores húmedos y secos.
2. Reducción de óxido de nitrógeno y sus partículas. Los óxidos de nitrógeno se forman a temperaturas mayores a los 1600 °C, donde las moléculas de oxígeno y nitrógeno se separan y se forman átomos libres que reaccionan entre sí.
3. Para minimizar la formación de óxido de nitrógeno, se hace reduciendo la temperatura de llama, el exceso de oxígeno, o quemar el combustible que contiene bajo nitrógeno.
4. Procesamiento de pre-combustión. - Sustitución de combustibles.
5. Modificaciones de combustión. - Modificación del sistema de quemador, quemadores de bajos óxidos de nitrógeno, inyección diluyente, reducción de potencia.

3.8 Optimización de combustión de caldera

El objetivo de mantener la máxima eficiencia de la caldera de vapor, provocando variaciones en las condiciones de carga, combustible, ambiente y condiciones de la caldera. Los objetivos de la optimización incluyen:

- ✓ Minimizar los accesos de aire y la temperatura de los gases de combustión.
- ✓ Reducir al mínimo las presiones de vapor.

- ✓ Reducir las presiones de descarga de la bomba de alimentación.
- ✓ Reducir las pérdidas de calor a través de las paredes de la tubería de instalación.
- ✓ Minimizar la purga.
- ✓ Medir la eficiencia.
- ✓ Monitorear perdidas.
- ✓ Recuperar el calor condensado.
- ✓ Exceso de aire

Está directamente relacionado con la cantidad de aire necesaria para su combustión, que debe ser un valor superior a la estequiometría. Existen algunos factores que dependen para su exceso que son:

- ✓ Tipo de combustible.
- ✓ Especificaciones del quemador.
- ✓ Características mezclas y preparación
- ✓ Porcentaje de carga.

Existen parámetros que controlan la emisión de las calderas que se detalla a continuación.

Tabla 3-2 Tabla de control de gases de combustión.

Tabla de control de gases de combustión.		
combustible	Oxígeno O ₂ (%)	Exceso de aire (%)
Gas natural	0,6 a 3	3 a 15
Fuel -oíl 2 (diésel)	1,5 a 3	7 a 15

Fuente: [13]

Si existe un incremento de aire la temperatura en la llama se reduce, la velocidad de transferencia de calor en los tubos y hogar de la caldera disminuye, por lo tanto, la temperatura de los gases a la salida aumenta.

Como el exceso de aire tiene su influencia en la temperatura de la llama, se tiene que cuanto más exceso de aire en la cámara de combustión menor será la temperatura de la llama que sale del quemador de la caldera.

Para optimizar la combustión en la caldera se debe tomar en cuenta ciertas pautas que ayuden a su solución conociendo sus causas.

Tabla 3-3 Tabla de análisis

Valores del análisis	Causas	Solución
Monóxido de carbono alto y Oxígeno bajo	Cantidad insuficiente de aire para la combustión	Ampliar la apertura de la compuerta del dámper para el paso del aire al quemador
Monóxido de carbono bajo y Oxígeno alto	Exceso de aire	Disminuir la apertura de la compuerta del dámper para el paso del aire al quemador
Monóxido de carbono alto y Oxígeno alto	Mezcla de aire y combustible inadecuada	Desmontar inyectores para limpieza o sustituir y regular la apertura del aire dámper
Temperatura del cuerpo mayor que la temperatura del ambiente	Desperfecto en los aislamientos	Cambio de aislamientos
Temperatura de gases mayor a los 230 °C.	Intercambio de calor inadecuado	Limpieza interna de la caldera o instalar un economizador de calor.

Fuente: [1]

3.9 Quemador.

El quemador es uno de los componentes principales de una caldera de vapor y se encuentra ubicado en el interior de la cámara de combustión, este elemento es encargado de mezclar el combustible con el aire para que se genere la llama que inicia la combustión.

La salida de la mezcla gas y aire se realiza a través de los orificios situados en la cabeza del quemador. El quemador sirve también para regular la llama según las necesidades de la caldera mediante un control electrónico de válvulas y bombas de impulsión.

Los quemadores que se utilizan en calderas de última generación, son quemadores de pre mezcla, que disponen de una serie de dispositivos de regulación, control y seguridad, y que garantizan una mezcla de combustible y aire comburente casi perfecta alcanzando máximos rendimientos.

3.10 Definición de leche

Leche es un líquido opaco, blanquecino o amarillento, segregado por las glándulas mamarias de las hembras de los mamíferos para la alimentación de sus crías. La leche está formada por glóbulos de grasa suspendidos en una solución que contiene el azúcar de la leche o lactosa,

proteínas que contienen fundamentalmente caseína y sales de calcio, fósforo, cloro, sodio, potasio y azufre. No obstante, es deficiente en hierro y es inadecuada como fuente de vitamina C. La leche entera está compuesta en un 80 a un 90% de agua. La leche fresca tiene un olor agradable y sabor dulce su composición está formada por 7/8 de agua y 1/8 de sólidos, que constituyen su parte nutritiva.

Tabla 3-4 Propiedades físicas de la leche

PROPIEDADES FISICAS DE LA LECHE	
Densidad de la leche a 15 °C	1032 (kg/ m ³)
Calor específico (Cp.)	0.93 (cal/g*°C)
Densidad de leche descremada	1,036 (gr/cm ³)

Fuente: [14]

3.11 Densidad específica

La densidad específica del agua es 1, es decir que un centímetro cúbico de agua a 4° C pesa 1 g. La densidad específica media de la leche es 1.032, lo que quiere decir que en un cm³ de leche a 4° C pesa 1.032 g. En otras palabras, la leche es 0.032 veces más pesada que el agua. Ahora bien, la grasa tiene una densidad específica de 0.93; y los sólidos no grasos, una densidad de 1.616. La mayor presencia de sólidos grasos hace que la leche sea más pesada que el agua.

3.12 Viscosidad

La leche es más viscosa que el agua a causa de los sólidos contenidos, la leche contiene una viscosidad aproximadamente de 2 veces la del agua, mientras que la leche pasteurizada tiene una viscosidad de 1.3 veces la del agua.

3.13 Aspectos generales sobre el queso

El queso es una conserva obtenida por la coagulación de la leche y por la acidificación y deshidratación de la cuajada. Es una concentración de los sólidos de la leche con la adición de:

- ✓ Cuajo para obtener la coagulación de la leche
- ✓ Fermentos bacterianos para la acidificación de la cuajada
- ✓ Sal de comida al gusto del consumidor.
- ✓ Cloruro de calcio para mejorar la disposición a la coagulación.

3.14 Pasteurización.

La pasteurización consiste en someter un alimento, generalmente líquido, a una temperatura adecuada durante un corto período de tiempo enfriándolo después rápidamente, generando un choque térmico con el fin de destruir los microorganismos sin alterar la composición y cualidades del líquido.

El objetivo fundamental de la pasteurización, es la destrucción de los microorganismos patógenos que puedan estar presentes en la leche cruda, evitando así cualquier riesgo de transmisión de enfermedades al consumidor.

3.15 Tipos de pasteurización.

3.15.1 Proceso BATCH

Este proceso consiste en calentar grandes cantidades de leche en un recipiente estancado de doble fondo a 68 °C durante 30 minutos, para luego dejar enfriar lentamente. Debe pasar mucho tiempo para continuar con el envasado del producto. [15]

3.15.2 Proceso HTSH.

La unidad HTSH es un equipo diseñado para el tratamiento térmico de la leche y sus derivados u otros productos alimenticios, que permiten eliminar los microorganismos patógenos, mediante la aplicación de alta temperatura durante un corto periodo de tiempo.

3.15.3 Proceso UHT

En el calentamiento a temperatura UHT el producto no entra en contacto directo con la fuente de calor, sino que se calienta mediante intercambiadores de calor.

El alimento debe permanecer durante un tiempo de 2 segundos a una temperatura de 135 y 150 °C, enfriando hasta los 70 °C, con llenado de envases a esta temperatura, para así minimizar su contaminación y mejorar su calidad. [16]

3.16 Proceso de pasteurización en la quesera Brayán

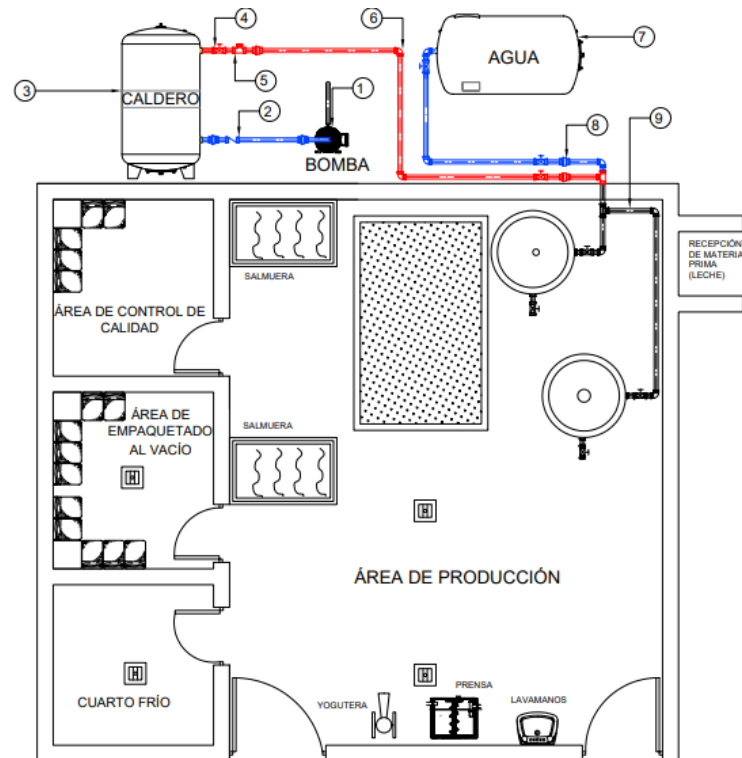


Figura 3-3 Planta de procesamiento
Fuente: [1]

En la quesera Brayán el proceso de pasteurización de la leche para productos derivados de la misma se da por el método de pasteurización BATCH o LENTA. El calentamiento de la leche dentro de un recipiente de acero inoxidable de doble fondo con recirculación de vapor y transferencia térmica por convección, este consiste en una cámara de calentamiento conocida como chaqueta de vapor, que rodea el recipiente donde se coloca el material que se desea calentar. El calentamiento se realiza haciendo circular el vapor a cierta presión por la cámara de calefacción, en este caso el vapor que es suministrado por la caldera, y mediante tubos de 1 pulgada llegan a los pasteurizadores o tinas de doble fondo que están equipados con agitadores anclados a velocidades bajas, para que no se pegue la leche en la tina, esta debe estar en constante movimiento y así poder llegar a los 80 °C que es la temperatura de pasteurización de la leche, y luego por el mismo método debe circular agua fría para poder disminuir la temperatura a 60 °C que es la temperatura adecuada para su cuajado y elaboración de queso media vida, es el método más efectivo para obtener un producto lácteo libre de micro organismos dañinos para la salud, de mayor durabilidad de producto y en una mejor calidad.

3.17 Sistemas de medición en generadores de vapor

Las calderas pirotubulares se utiliza en procesos que no necesita un elevado consumo de vapor y es necesario de un control automático ya que presentan un comportamiento dinámico complicado, con múltiples entradas y salidas entre estas variables, en la mayor parte de caderas pirotubulares el proceso de variación de presión de vapor se controla mediante controladores PID.

El control PID es un mecanismo de control que a través de un lazo de retroalimentación permite regular la velocidad, temperatura, presión y flujo entre otras variables de un proceso en general. El controlador PID calcula la diferencia entre nuestras variables real contra la variable deseada, en el sistema de bombeo realmente nos interesa mantener la presión o flujo constante, por lo tanto, el control PID, mide la diferencia entre la presión en la tubería y la presión requerida y actúa variando la velocidad del motor para que podamos tener nuestra presión o flujo constante.

3.17.1 Parámetro Proporcional (P)

Este parámetro mide la diferencia entre el valor actual y el set-point y aplica el cambio.

3.17.2 Parámetro Integral (I)

Se refiere al tiempo que se toma para llevar a cabo la acción correctiva, mientras el valor es más pequeño, el ajuste es más rápido, pero puede causar inestabilidad en el sistema de producción, ya sea por oscilaciones, vibración de motor y de bomba.

3.17.3 Parámetro Derivatorio (D)

Este parámetro emite una acción predictiva, es decir, prevé el error e inicia una acción oportuna antes que la magnitud del error se vuelva demasiado grande.

La correcta programación de estos parámetros nos ayuda a controlar de manera efectiva nuestra presión o flujo deseado, el control PID, es una excelente herramienta para lograr el ahorro de energía en sistemas de bombeo para así lograr mantener una presión casi constante.

3.18 Principales accesorios de medición y control de una caldera de vapor.

Programador

Es el encargado de dar la orden de operación para su encendido y establecer las secuencias y los tiempos de trabajo.



Figura 3-4 Tablero de control PID
Fuente: [17]

Fotocelda

Es la encargada de ver que la llama este presente, si detecta alguna falla desconecta la caldera, indicando mediante una señal de alarma lo ocurrido.



Figura 3-5 Fococelda
Fuente: [18]

Prestostato de seguridad

La presión llega a lo que ha sido ajustado la caldera.

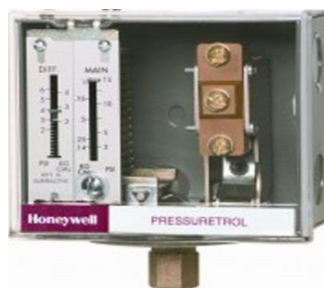


Figura 3-6 Presostato
Fuente: [1]

Prestostato de parada

Se fija los valores de presión mínimo y máximo de trabajo de la caldera para su funcionamiento.



Figura 3-7 Prestostato de parada
Fuente: [1]

Manómetro

Indica la presión de entrada y la salida de la calera.



Figura 3-8 Manómetro
Fuente: [19]

Termómetro

Se puede observar la temperatura de los gases mediante el termómetro que debe conectarse a la chimenea, esta ayuda a ver la eficiencia de la caldera, cuando la temperatura de los gases es muy alta es una manifestación de que la caldera está sucia o incrustada.



Figura 3-9 Termómetro
Fuente: [1]

Pirómetro

Es un dispositivo capaz de medir la temperatura de una sustancia sin la necesidad de estar en contacto con ella.



Figura 3-10 Pirómetro.
Fuente: [20]

Cámara termografía

Una cámara térmica es un dispositivo que mide la temperatura y ofrece una imagen térmica de los objetos, sin necesidad de contacto, a partir de las emisiones de radiación infrarroja.



Figura 3-11 Pirómetro.
Fuente: [1]

Válvula

Se caracteriza por no tener una apertura muy rápida y completa la cual ayuda a regular la presión, generalmente se trata de válvulas de resorte y tiene un mecanismo de apertura manual con el fin de realizar pruebas de pasos si no ay demanda de combustible.



Figura 3-11 Válvula
Fuente: [1]

Sensor de flujo

Se coloca en la tubería de media pulgada por la cual fluye agua no corrosivos para realizar mediciones de caudal o volumen



Figura 3-12 Electroválvula
Fuente: [21]

3.19 Conclusiones de marco teórico

Los aspectos teóricos y metodológicos que se pudo consultar, relacionados con los generadores de vapor nos permitieron establecer un procedimiento de cálculo adecuado para el diagnóstico térmico que nos garantice una confiabilidad en los resultados.

El principio de funcionamiento de la pasteurización de leche en la quesera Brayan se pudo identificar que se realiza por el método de BATCH o LENTA, en tinas de doble fondo con recirculación de vapor hasta alcanzar las temperaturas adecuadas.

Se identificó distintitos tipos de instrumentos de medición que ayuden para el análisis y la toma de datos reales, cuando la caldera esté en funcionamiento y nos ayude en la verificación de la eficiencia térmica.

4 METODOLOGIA

Se establece datos generales de la caldera de vapor utilizada en la quesera Brayán es una pirotubular 746 kW (10 hp).

Esta caldera pirotubular se encuentra instalada en la quesera Brayán desde el año 2010, sus propósitos principales son el calentamiento de la leche para su pasteurización por el método de bacheo para llegar a una temperatura de 80 °C en las tinajas de doble fondo, también se usa para la limpieza de tuberías y equipos de transporte de leche.

Especificaciones de la caldera.

Tabla 4-1 Tabla de datos de la caldera

Descripción	Valor	Revisar
Potencia	7,457 kW (10hp)	Anexo VI
Superficie de calentamiento	2,87 m ²	Anexo VI
Presión de trabajo máximo disponible	1034 kPa (150Psi)	Anexo VI
Flujo de vapor en la salida máxima	20 m ³ /h	Anexo VI
Tipo de combustible	Diésel	Anexo VI

Fuente: [1]

Tabla 4-2 Tabla de datos del quemador.

Descripción	Valor	Revisar
Presión de la bomba del combustible	200 PSI	Anexo VI
Potencia del quemador	118 kW	Anexo VI
Flujo de combustible	2 GPM	Anexo VI

Fuente: [1]

4.1 Cálculo de la eficiencia térmica de la caldera pirotubular

El objetivo de este proyecto consiste en establecer los procedimientos matemáticos de las pérdidas de calor, cuando la caldera está en funcionamiento lo que permitirá calcular la eficiencia térmica de la misma. En esta parte se detalla las variables, ecuaciones, materiales, equipos e instrumentos y el diseño que permitirá un enfoque más amplio para la realización de este proyecto.

4.2 Balance térmico de generadores de vapor

El balance térmico de un generador de vapor nos ayuda a determinar la eficiencia térmica, y más características de operación con el propósito de:

- ✓ Comparar el comportamiento real de la caldera
- ✓ Comparar diferentes métodos de operación
- ✓ Determinar el comportamiento de diferentes componentes del generador de vapor.
- ✓ Comparar el comportamiento durante la combustión del combustible.
- ✓ Determinar el efecto de cambios en el equipamiento.
- ✓ Procedimiento de cálculo para el análisis de la eficiencia térmica en generadores de vapor.

La ecuación de balance de energía aplicada al generador de vapor son los siguientes:

$$Q_d = Q_1 + Q_p$$

(Ecuación 4-1)

Donde:

Q_d : Calor disponible, constituye la energía de entrada al generador por unidad de masa del combustible $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$.

Q_1 : Calor útil, es el calor transferido al agente de trabajo.

Q_p : Pérdidas térmicas, es la suma de todas las pérdidas que ocurren en los procesos de combustión y transferencia de calor en el generador de vapor $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$.

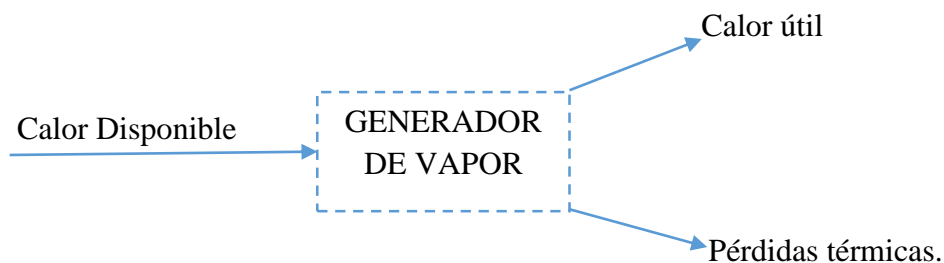


Figura 4-1 Transferencia de Calor
Fuente: [1]

Para calcular la eficiencia térmica de calderas de vapor se tiene dos métodos a partir de la ecuación de balance térmico:

- ✓ Método directo
- ✓ Método indirecto.

4.3 Método directo

Se relacionar directamente la producción de la caldera de vapor con el consumo, y determinar la eficacia como el porcentaje que representa el calor útil (producción) del calor útil (consumo).

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_d} * 100\%$$

(Ecuación 4-2)

Donde:

η : Eficiencia

Q_1 : Calor útil

Q_d : Calor disponible

4.4 Método indirecto

Este método parte de determinar la suma de pérdidas térmicas expresadas en porcentaje del calor disponible y luego determinar, indirectamente, la eficacia como el porcentaje restante.

$$\eta = 100 - \sum q_p \%$$

(Ecuación 4-3)

$$\sum q_p = \frac{\sum Q_p}{Q_d} * 100\%$$

(Ecuación 4-4)

Donde:

η : Eficiencia

$\sum q_p$: Total de perdidas

Q_p : Perdidas térmicas

Q_d : Calor disponible

4.5 Cálculo del calor disponible y útil

4.5.1 Calor disponible, (Q_d)

Constituye la energía suministrada por unidad de masa del combustible.

$$Q_d = Q_{entr} + Q_c + Q_{pca} + Q_{vat} \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

(Ecuación 4-5)

$$Q_{entr} = \dot{m} \cdot LHV \left[\frac{kJ}{h} \right]$$

(Ecuación 4-6)

Donde:

Q_{entr} : Calor de entrada por combustible.

Q_c : Calor físico del combustible.

Q_{pca} : Calor añadido en el precalentado de aire.

Q_{vat} : Calor suministrado con el vapor de atomización (fuentes externas).

\dot{m} : Flujo másico de combustible

LHV : Poder calorífico inferior del combustible.

Calor de entrada por combustible, (Q_i).

Para poder determinar el poder calorífico inferior, (LHV) del combustible se tomará en cuenta el análisis del tipo de combustible que ocupa quemador, se puede enviar hacer análisis en laboratorios específicos, o también se puede extraer de los encargados de la distribución de hidrocarburos, en esta ocasión se toma en cuenta de las empresas suministradoras de combustible tienen datos del poder calorífico del diésel analizados en la distribución PEMEX exploración y producción (ver Anexo 1).

Tabla 4-3 Poder calorífico inferior

Compuesto	Poder Calorífico (kcal/kg)	Utilidad
Gas Natural	13,000	Combustible doméstico, yacimiento
Gas GLP	12,000	Combustible doméstico, automóviles.
Gasolina	11,000	Combustible automóviles.
Querosín	10,500	Combustible aviones, calefacción.
Diésel	10,000	Motores Diésel.

Fuente: [22]

Poder físico de combustible, (Q_c).

Se toma en consideración para combustibles sólidos de bajo poder calorífico y para combustibles líquidos que se precalientan antes de suministrar al quemador.

$$Q_c = C_c * T_c \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

(Ecuación 4-7)

Para combustibles sólidos:

$$C_c = 0.419 * W_t * C_{cs} * (1 - 0,01 * W_t) \left[\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right]$$

(Ecuación 4-8)

Donde:

T_c : Temperatura de combustible suministrado al horno; $^\circ C$

C_c : Calor específico de combustible; $\left[\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right]$

C_{cs} : Calor específico de combustible seco; $\left[\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right]$

W_t : Contenido de Humedad del combustible; %

“Para el análisis térmico de la caldera de vapor de la quesera Brayan no se tomará en cuenta el calor físico del combustible ya que no es un combustible sólido y no tiene precalentamiento antes de ingresar al quemador entonces, ($Q_c = 0$)”

Calor añadido en el precalentado de aire (Q_{pca})

Se considera este término si el aire es precalentado con vapor u otra energía proveniente de una fuente externa a la caldera.

$$Q_{pca} = \beta_{pca} (I_{pca} - I_{af}) \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

(Ecuación 4-9)

En el caso de la quesera Brayan la caldera de vapor no tiene precalentado del aire entonces no se tomará en cuenta ($Q_{pca} = 0$).

Calor añadido con el vapor de atomización

Este término es para combustibles líquidos si se utiliza vapor de atomización que proviene de fuentes externas al generador de vapor.

$$Q_{vat} = G_{vat}(h_{vat} - h_{vgc}) \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

(Ecuación 4-10)

En este análisis la caldera de la quesera Brayan no tiene calor añadido con el vapor de atomización entonces no se tomará este dato, ($Q_{vat}=0$).

4.5.2 Calor útil, Q_1

El calor útil (Q_1), está representada por la energía transferida al agente de trabajo por unidad de masa del combustible.

$$Q_1 = [\dot{m}_v * (h_v - h_{aa}) + D_r * (h_{er} - h_{sr})] \left[\frac{kJ}{s} \right]$$

(Ecuación 4-11)

$$Q_1 = \frac{[D_v * (h_v - h_{aa}) + D_r * (h_{er} - h_{sr})]}{B_c} \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

(Ecuación 4-12)

Donde:

\dot{m}_v : Flujo de vapor producido por la caldera (saturado o sobrecalentado), $\left[\frac{kg}{h} \right]$

h_v : Entalpia del vapor producido, $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$

h_{aa} : Entalpia del agua de alimentación; $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$

D_r : Flujo de vapor recalentado: $\left[\frac{kg}{h} \right]$

h_{er}, h_{sr} : Entalpias de vapor a la entrada y salida del recalentador intermedio; $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$

B_c : Gasto de combustible, $\left[\frac{kg}{h} \right]$

“El valor de, (h_{er}, h_{sr}, D_r) =0, los valores asignados a estos valores son igual a cero ya que no tiene recalentador.”

4.6 Pérdidas térmicas, Q_p

4.6.1 Pérdidas de calor sensible con los gases de salida, q_2

Está asociado al hecho de que la entalpia de los gases de salida es superior a la del aire y el combustible de entrada.

$$q_2 = m_g * C_{p_g}(T_g - T_a)$$

(Ecuación 4-13)

Donde:

q_2 : Pérdidas de calor con los gases de salida, $\left[\frac{kJ}{s}\right]$

m_g : Flujo de gases, $\left[\frac{kg}{s}\right]$

C_{p_g} : Capacidad calorífica de los gases, $\left[\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}\right]$

T_g : Temperatura de los gases, $^\circ C$.

T_a : Temperatura ambiente, $^\circ C$.

Los factores principales que influyen sobre esta pérdida son:

- ✓ El volumen y la composición de los gases de salida.
- ✓ La temperatura de los gases de salida.

Dentro de las causas que pueden provocar un incremento de esta pérdida durante la operación de la caldera están:

- ✓ Incremento y exceso de aire suministrado al horno.
- ✓ Excesiva infiltración de aire en los conductos de gases en la caldera con tiro balanceado.
- ✓ Ensuciamiento exterior de las superficies de calentamiento.
- ✓ Incrustaciones interiores de las superficies de calentamiento por alteraciones en el régimen químico del agua de la caldera.
- ✓ Deficiente bañado de las superficies por roturas en las cubiertas deflectoras de gases.

4.6.2 Pérdidas de calor por combustión en el quemador, q_3

Las pérdidas asociadas a la presencia de productos de combustión incompleta (CO , H_2 , CH_4) en los gases de combustión, y que está provocada por la no entrega del poder calorífico de los mismos durante la reacción de combustión.

$$q_3 = \frac{V_{gs} \cdot (126 \cdot CO + 108 \cdot H_2 + 358 \cdot CH_4)}{Q_d} \cdot 100\%$$

(Ecuación 4-14)

Donde:

q_3 Pérdida por combustión incompleta, $\left[\frac{kJ}{s}\right]$

V_{gs} : Volumen de gases secos, $\left[\frac{m^3 N}{kg}\right]$

Q_d : Calor disponible; $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

CO ; % en volumen de monóxido de Carbono, contenido en los gases de escape.

H_2 ; % en volumen de, Hidrógeno contenido en los gases de escape.

CH_4 ; % en volumen de Metano contenido en los gases de escape.

Este análisis de combustión incompleta se realiza con un analizador de gases que realizan distintas empresas como la empresa IPGM, Servicios Ambientales Cía. Ltda. que se verifica mediante un informe realizado por la empresa con instrumentos legalmente certificados, por ese motivo de complejidad son muy costosos y no se puede hacer sin autorización del propietario.

4.6.3 Pérdidas por combustible no quemado, q_4

Esta pérdida es particularmente importante en los combustibles sólidos que se queman en hornos de parrilla.

Para la caldera de la quesera Brayon no se tomará en cuenta ya que es un combustible líquido

4.6.4 Pérdidas de calor por convección y radiación, q_5

Durante el funcionamiento de los generadores de vapor, las superficies exteriores del horno, los conductores, los colectores, conductores de gases, tuberías y demás accesorios de la caldera, alcanzan una temperatura superior a la ambiental, este gradiente de temperatura genera

transferencia de calor al medio exterior que se efectúa por dos mecanismos fundamentales: convección y radiación, lo que representa pérdida de calor, que afectan la eficiencia del generador de vapor.

4.6.5 Transferencia de calor por convección

Se tomará en cuenta la transferencia de calor por convección forzada ya que existe un flujo de aire causado por medios naturales como vientos y demás situaciones, se toma en cuenta la siguiente ecuación:

$$q_{conv} = h_{conv} * A * (T_s - T_{\infty}) \quad (W)$$

(Ecuación 4-15)

Donde:

q_{conv} : Flujo de calor por convección (kW).

h_{conv} : Coeficiente de transferencia de calor por convección, $\left[\frac{kW}{m^2 \cdot K}\right]$

A : Área del cilindro de la caldera de vapor (m^2).

T_s : Temperatura de la superficie (K).

T_{∞} : Temperatura del aire ambiente (K).

Para hacer el cálculo de intercambio térmico de calor por convección de una superficie cilíndrica y el aire atmosférico se utiliza la ecuación de Churchill y Bernstein del libro de Cengel 3era edición (Ecuación 7,35). [23]

$$h_{conv} = \frac{NU_{cil} * K}{D}$$

(Ecuación 4-16)

$$NU_{cil} = 0,3 + \frac{0,62 * Re^{\frac{1}{2}} * Pr^{\frac{1}{3}}}{\left[1 + \left(\frac{0,4}{Pr}\right)^{\frac{2}{3}}\right]^{\frac{1}{4}}} \left[1 + \left(\frac{Re}{282000}\right)^{\frac{5}{8}}\right]^{\frac{4}{5}}$$

(Ecuación 4-17)

$$Re = \frac{V * D}{\nu}$$

(Ecuación 4-18)

Donde:

NU_{cil} : Nusselt del cilindro

Re : Número de Reynolds

Pr : Número de Prandtl

V : Velocidad del aire exterior a la caldera, $\left[\frac{m}{s}\right]$

D : Diámetro exterior del cilindro de la caldera, m

ν : Coeficiente de viscosidad cinemática, $\left[\frac{m^2}{s}\right]$

K : Constante de conductividad térmica del aire, $\left[\frac{w}{m \cdot K}\right]$

Para la constante de conductividad térmica (k) se debe utilizar la temperatura media (T_m).

$$T_m = \frac{T_s + T_\infty}{2}$$

(Ecuación 4-19)

4.6.6 Transferencia de calor por radiación

La pérdida de calor por radiación se da en forma de rayos infrarrojos, son de ondas electromagnéticas, es decir existe intercambio de energía electromagnética entre el cuerpo y el medio ambiente u objetos más fríos.

La radiación es un fenómeno volumétrico todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben, o transfieren en diversos grados, se suele considerarse como un fenómeno superficial. [24]

La razón máxima de la radiación que se puede emitir desde una superficie a una temperatura termodinámica es expresada por la ley de Stefan-Boltzmann como:

$$q_{rad} = \epsilon_s \cdot A \cdot \sigma (T_s^4 - T_\infty^4)$$

(Ecuación 4-20)

Donde:

q_{rad} : Flujo de calor por radiación, (W)

ϵ_s : Emisividad de la superficie

σ : Constante de Stefan-Boltzmann, tiene un valor de: $5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 k^4}$

T_s^4 : Temperatura de la superficie de la caldera, °C

T_∞^4 : Temperatura del ambiente, °C

Para la constante Emisividad se tomará datos según el material de recubrimiento dadas por la siguiente tabla tomada de procesos instrumentos FLUKE.

Tabla 4-4 Constante Emisividad

Material	Emisividad
Agua	0,96
Hoja aluminio	0,82
Acero oxidado	0,79
Acero laminado	0,75-0,85
Hierro esmerilado	0,24
Hierro oxidado	0,64
Hierro galvanizado	0,16

Fuente: [25]

1.1.1 Pérdidas con el calor físico de los residuos del horno, q_6

Estas pérdidas solo tienen significación para combustibles sólidos, y está dada por contracción de residuos de combustible del horno, escoria y cenizas con una temperatura superior al medio ambiente. No se debe tomar importancia en este análisis por que el combustible es líquido.

4.6.7 Pérdidas por purgas, q_7

Las pérdidas por purgas no se pueden calcular ya que en el sistema de generación de vapor no existen purgas relacionadas con su implementación.

4.7 Procedimiento para el cálculo de la demanda de vapor en la quesera Brayan

Para el cálculo de la demanda requerida de vapor se tomará datos de la tabla de propiedades físicas de la leche, (**Tabla 3.4**)

$$Q_{pastz} = \dot{m}_{leche} \cdot C_{p_{leche}} \cdot (T_{final} - T_{inicial})$$

(Ecuación 4-21)

Donde:

Q_{pastz} : Calor requerido para la pasteurización de la leche.

\dot{m}_{leche} : Flujo másico de la leche, (kg/día).

Cp_{leche} : Capacidad calorífica de la leche, (kJ/kg*°C).

T_{final} : Temperatura final de leche, °C.

$T_{inicial}$: Temperatura inicial de leche, °C.

$$\delta = 1030 \frac{kg}{m^3}$$

Para 1000 litros (1m³) es;

$$\dot{m} = \delta \cdot \mathcal{V} = 1030 \frac{kg}{dia}$$

Para encontrar el valor de calor específico (Cp.), nos regimos a la tabla de propiedades de la leche según química de alimentos y sus propiedades. [14]

$$Cp = 0,93 \frac{cal}{gr \cdot ^\circ C} = 3,894 \frac{kJ}{Kg \cdot ^\circ C}$$

(Ecuación 4-22)

4.8 Sistema de bombeo de agua

Un sistema de bombeo se caracteriza por un conjunto de curvas que describen el comportamiento durante su operación, estas curvas se denominan curvas características; todas estas curvas se trazan en función del caudal y a una velocidad de giro constante.

Para el cálculo de la altura total entregada por la bomba requiere que se aplique el teorema de Bernoulli entre la succión (entrada) y la descarga (salida) de la bomba.

$$\frac{P_1}{\lambda} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A = \frac{P_2}{\lambda} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Para analizar un sistema de bombeo es necesario conocer el volumen de un fluido que circula por un tubo por unidad de tiempo, bajo condiciones de presión y temperatura.

$$\dot{V} = V \cdot A$$

(Ecuación 4-23)

Donde:

\dot{V} ; Flujo volumétrico, $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

V ; Velocidad del flujo, $\left[\frac{m}{s}\right]$

A ; Área transversal, (m^2).

Flujo másico para tuberías

Es la masa de un fluido que circula por una superficie en un ducto por unidad de tiempo.

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \delta$$

(Ecuación 4-24)

Donde:

\dot{m} ; Flujo volumétrico, (kg/h).

\dot{V} ; Flujo volumétrico, (m^3/s).

δ ; Densidad del fluido, (kg/m^3).

Perdidas en accesorios de tubería

En la siguiente tabla se detalla las pérdidas generadas en algunos accesorios que complementan el sistema de bombeo.

Tabla 4-5 Perdidas de accesorios en el sistema de conducción

Tipo de singularidad	k
Válvula de compuerta totalmente abierta	0,2
Válvula de compuerta mitad abierta	0,6
Codo 90 ⁰	1,0
Codo 45 ⁰	0,4
Válvula de pie	2,5
Entada de tubería	0,5
Salida de tubería	1,0

Fuente: [26]

Cálculo de pérdidas de energía

El cálculo está relacionado con el $Q = \left[\frac{m^3}{h} \right]$ y para su cálculo se debe utilizar las siguientes fórmulas y secuencias.

Caudal

$$Q \left[\frac{m^3}{s} \right] = \frac{Q[m^3/h]}{3600}$$

(Ecuación 4-25)

Velocidad

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}$$

(Ecuación 4-26)

Numero de Reynolds

$$\mathcal{R} = \frac{V \cdot D \cdot \delta}{\mu}$$

(Ecuación 4-27)

Landa

$$\lambda = \frac{0,3164}{\pi \cdot D}$$

(Ecuación 4-28)

Resistencia

$$R_S = \left(\sum \xi + \lambda \frac{L}{D} \right) \frac{8}{g \cdot \pi^2 \cdot D^2}$$

(Ecuación 4-29)

Altura

$$H = \mathcal{R}_S \cdot d_z \cdot Q^2$$

(Ecuación 4-30)

Altura

$$H = \frac{\mathcal{R}_s \cdot d_z}{Q^2}$$

(Ecuación 4-31)

NPSH d (m)

$$NPSH d = H_{atm} + H_{suc} + h_{suc} + H_V$$

(Ecuación 4-32)

Altura total

$$H = \mathcal{R}_s \cdot d_z \cdot Q^2$$

(Ecuación 4-33)

4.9 Conclusiones del capítulo 4

- ✓ Este capítulo es de suma importancia ya que nos permite generar un método de cálculo confiable y eficiente en el análisis térmico de la caldera de generación de vapor de la quesera Bryan tomando valores de calor disponible, calor útil, y pérdidas térmicas que se pueden generar en su funcionamiento afectando en su rendimiento.
- ✓ Las pérdidas térmicas es la suma de todos los valores que se pueden generar de acuerdo a la caldera de vapor y sus características de funcionamiento, estas pérdidas se pueden localizar en diferentes partes del sistema por lo cual es necesario realizar por el método indirecto ya que ahí se puede determinar el lugar de pérdidas térmicas.
- ✓ Se puede especificar las formulas necesarias y las tablas de valor constantes que se va utilizar con sus respectivas unidades para así poder llegar a un cálculo exacto.

5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para establecer la comparación de eficiencias del sistema de generación de vapor, la cual es empleada para el proceso de pasterización de la leche, en la “Quesera Brayan” se realizó investigación bibliográfica, indagación en revistas tecnológicas, recopilación de datos para su respectivo análisis de páginas web todas relacionado con el tema de investigación, logrando obtener los métodos de cálculo y conocimientos necesarios para llegar a obtener una mejora en la eficiencia térmica del generador de vapor.

5.1 Método

5.1.1 Cálculo de la eficiencia térmica del sistema de generación y transporte de vapor de la “Quesera Brayan” antes del mejoramiento técnico de la misma

Cálculo del calor disponible

Para el cálculo de calor disponible y la eficiencia del quemador, tomamos valores del poder calorífico del combustible, la eficiencia con que se encuentra el quemador y obtenemos la pérdida en el quemador.

Tabla 5-1 Tabla de datos del combustible empleado.

Descripción	Valor	Revisar
Poder calorífico inferior del diésel (LHV)	10000 Kcal/kg	Tabla 4-1
Flujo másico del combustible (\dot{m})	8 litros/h = 0,008 m ³ /h	
Densidad del diésel (δ)	850 kg/m ³	
Eficiencia del quemador	66 %	Anexo 2

Fuente: [1]

Tabla 5-2 Tabla de resultados del calor disponible

Parámetros de cálculo.	Ecuación Utilizada.	Resultado.
Calor disponible calculado	Ecuación 5-5	79 kW
Calor disponible del quemador	Tabla 4-2	118 kW
Pérdida térmica del quemador	Ecuación 5-1	39 kW

Fuente: [1]

Calculo de calor útil.

Es el calor que, generado por la caldera de vapor a la salida de la tubería disponible para realizar su trabajo, se toma datos reales como presión, temperatura, flujo de vapor producido, velocidad, que nos ayuda en la obtención de resultados.

Tabla 5-3 Tabla de datos de la caldera “Quesera Brayan”

Descripción	Valor	Revisar
Presión, (P ₁).	45 Psi =310,64 KPa	Anexo 3
Temperatura de agua, (T ₁).	15 °C	Anexo 3
Entalpia de vapor producido, (h _{aa}).	62,982 kJ/kg	Anexo 1
Temperatura de saturación, (T _s).	134,67 °C	Anexo 1
Volumen especifico	5.153 m ³ /kg	Anexo 2
Densidad de vapor (δ).	1,965 kg/m ³	Anexo1
Presión, (P ₂).	45 Psi =310,64Kpa = 0,31MPa	Anexo 3
Temperatura de agua, (T ₂).	180 °C	Anexo 3
Entalpia de vapor producido, (h _v).	2824,02 kJ/kg	Anexo 1
Gasto de combustible, (B _c)	0,008 m ³ /h	
Flujo de vapor producido, (D _v)	78,58 kg/h	Anexo 2

Fuente: [1]

Tabla 5-4 Tablas de resultados del calor útil

Parámetros de cálculo.	Ecuación.	Resultado.
Calor útil, (Q _i)	Ecuación 5-11	60,27 kJ/s

Fuente: [1]

Perdidas térmicas con los gases de salida.

Las pérdidas de calor sensible con los gases de salida se dan por la chimenea, para su cálculo se toma datos de temperatura de chimenea y flujo másico.

Tabla 5-5 Tablas de datos perdidas de gases de salida

Descripción	Valor	Revisar
Calor especifico (C _p .)	1,023 kJ/kg.K	Anexo 1
Flujo másico de gases (\dot{m})	0,22377 kg/h	
Temperatura del gas de salida (T)	200 °C	Anexo 2
Temperatura ambiente (T)	25 °C	Anexo3

Fuente: [1]

Tabla 5-6 Tabla de resultados de pérdidas de calor sensible con los gases de salida

Parámetros de cálculo.	Ecuación.	Resultado.
Perdida con gases de salida (q_2)	Ecuación 5-13	0,0285 kJ/s

Fuente: [1]

Pedidas de calor por convección a través de las paredes de la caldera.

Las pérdidas por convección en la caldera se producen a través de las paredes cilíndricas y planas hacia el exterior por lo cual se utilizó la ecuación (4-15), tomando datos de la caldera como el área, temperatura, velocidad del aire, con el fin de calcular su pérdida.

Tabla 5-7 Tabla de datos de Perdida de calor en paredes de la caldera.

Descripción	Valor	Revisar
Diámetro exterior de la caldera (D)	0,78 m	Anexo 6
Altura de la caldera (h)	1,17 m	Anexo 6
Velocidad de aire exterior de caldera (V)	1,66 m/s	Anexo 5
Temperatura superficie (T_s)	42 °C	Anexo 3
Temperatura ambiente (T_a)	18 °C	Anexo 3
Temperatura pelicular (T_f)	30 °C	Ecuación 4-19
Viscosidad cinemática del aire (ν)	$1,608 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2/\text{s}$	Anexo 1
Área del cilindro (A)	2,87 m ²	Anexo 6
Constante de conductividad térmica (K)	0,02588 W/m.K	Anexo 1
Número de Reynolds (R_e)	80522,388	Ecuación 4-18
Nusselt del cilindro (NU_{cil})	188,425	Ecuación 4-17

Fuente: [1]

Tabla 5-8 Tabla de resultado de las perdida de calor en paredes de la caldera

Parámetros de cálculo.	Ecuación.	Resultado.
Perdida por convección, (q_{conv})	Ecuación 5-15	5,44 kW

Fuente: [1]

Perdida de calor por convección en paredes de la tubería.

Tabla 5-9 Tabla de datos de perdida de calor en paredes de la tubería

Descripción	Valor	Revisar
Diámetro exterior de la tubería (D)	0,0254 m	
Altura de la tubería (h)	15 m	
Velocidad de aire exterior de caldera (V)	2,22 m/s	Anexo 5
Temperatura superficie (T _s)	70 °C	Anexo 3
Temperatura ambiente (T _a)	20 °C	Anexo 3
Temperatura pelicular (T _f)	45 °C	Ecuación 4-19
Viscosidad cinemática del aire (ν)	1,750*10 ⁻¹⁵ m ² /s	Anexo 1
Área del tubería (A)	1,197 m ²	
Constante de conductividad térmica (K)	0,02699 W/m*K	Anexo 1
Número de Reynolds (R _e)	3222,17	Ecuación 4-18
Nusselt del cilindro (NU _{cil})	29,45	Ecuación 4-17

Fuente: [1]

Tabla 5-10 Tabla de resultado de Perdida de calor en paredes de la tubería.

Parámetros de cálculo.	Ecuación.	Resultado.
Perdida por convección, (q _{conv})	Ecuación 5-15	12 kW

Fuente: [1]

Pedidas de calor por radiación en paredes de la caldera.

La pérdida de calor por radiación se da en forma de rayos infrarrojos, existe un intercambio de energía térmica entre el cuerpo y el medio ambiente por la diferencia de temperatura y se utilizó (ecuación 4-20).

Tabla 5-11 Tabla de datos perdida de calor por radiación en la caldera

Descripción	Valor	Revisar
Diámetro exterior de la caldera (D)	0,78 m	Anexo 6
Altura de la caldera (h)	1,17 m	Anexo 6
Temperatura superficie, (T _s)	42 °C	Anexo 3
Temperatura ambiente, (T _a)	18 °C	Anexo 3

Área del cilindro, (A)	2,87 m ²	Anexo 6
Emisividad de superficie, (ϵ_s)	0,3	Tabla 4-4
Constante de Stefan-Boltzmann, (σ)	$5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 k^4}$	Anexo 1

Fuente: [1]

Tabla 5-12 Tabla de resultado de perdida de calor por radiación en la caldera

Parámetros de cálculo.	Ecuación.	Resultado.
Perdida por radiación (q_{rad})	Ecuación 5-20	0,000147 kW

Fuente: [1]

Perdida de calor por radiación en la tubería.

Tabla 5-13 Tabla de datos Perdida de calor por radiación en la tubería.

Descripción	Valor	Revisar
Diámetro exterior de la tubería (D)	0,0254 m	
Altura de la tubería (h)	15 m	
Temperatura superficie, (T_s)	70 °C	Anexo 3
Temperatura ambiente, (T_a)	20 °C	Anexo 3
Área de la tubería, (A)	1,197 m ²	
Emisividad de superficie, (ϵ_s)	0,6	Tabla 4-4
Constante de Stefan-Boltzmann, (σ)	$5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 k^4} \sigma$	Anexo 1

Fuentes: [1]

Tabla 5-14 Tabla de resultados de perdida de calor por radiación en la tubería.

Parámetros de cálculo.	Ecuación.	Resultado.
Perdida por radiación (q_{rad})	Ecuación 5-20	0,00097 kW

Fuente: [1]

Demanda de vapor en la quesera Brayon

Para el cálculo de la demanda de vapor de la quesera Brayon se utiliza valores constantes como la cantidad de la leche y sus valores características principales y utilizando la ecuación (4-21) calculas el calor necesario de trabajo.

Tabla 5-15 Tabla de datos de materia prima (leche)

Descripción	Valor	Revisar
Calor específico de leche (Cp.)	3,894 kJ/kg* ⁰ C	Tabla 3-4
Flujo másico de la leche (ṁ)	1030 kg/día	Tabla 3-4
Densidad de la leche (δ)	1030 kg/m ³	Tabla 3-4
Volumen de leche (V)	1000L	Tabla 3-4

Fuente: [1]

Tabla 5-16 Tabla de resultados de Demanda de vapor en la quesera Brayan

Parámetros de cálculo.	Ecuación.	Resultado.
Demanda de Calor.	(Ecuación 4-21)	66,78 kJ/s

Fuente: [1]

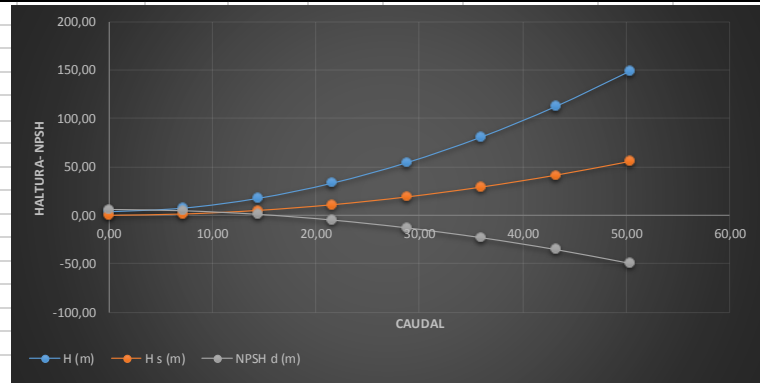
Calculo del sistema de bombeo

La curva de funcionamiento de una bomba se muestra la altura de bombeo requerida en función del caudal entregado por la misma, a una velocidad de giro constante, la altura total entregada por la bomba disminuye a medida que el caudal aumenta.

Para el sistema de bombeo no se puede realizar la comparación entre la potencia, y el rendimiento ya que no es posible obtener el catálogo de la bomba por lo cual se asume que está en un rango moderado y no existe cavitación por el hecho de que la bomba está por debajo del tanque de agua no existiría perdidas grandes que afecten al sistema.

Q (m ³ /s)	Q (m ³ /h)	v (m/s)	Re	Landa	R (s ² /m ⁵)	H (m)	v s (m/s)	Re s	Landa s	Rs (s ² /m ⁵)	H s (m)	NPSH d (m)
0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,90
0,0020	7,20	3,95	98058,37	0,02	956950,07	7,83	3,95	98058,37	0,02	338594,14	1,35	4,55
0,0040	14,40	7,90	196116,75	0,02	867927,87	17,89	7,90	196116,75	0,02	316338,59	5,06	0,84
0,0060	21,60	11,85	294175,12	0,01	822572,48	33,61	11,85	294175,12	0,01	304999,74	10,98	-5,08
0,0080	28,80	15,80	392233,49	0,01	793069,41	54,76	15,80	392233,49	0,01	297623,98	19,05	-13,15
0,0100	36,00	19,75	490291,87	0,01	771602,46	81,16	19,75	490291,87	0,01	292257,24	29,23	-23,33
0,0120	43,20	23,69	588350,24	0,01	754930,23	112,71	23,69	588350,24	0,01	288089,18	41,48	-35,58
0,0140	50,40	27,64	686408,61	0,01	741414,96	149,32	27,64	686408,61	0,01	284710,36	55,80	-49,90

TABLA DE DATOS		
Densidad	kg/m ³	999,1
Viscosidad	Pa.s	0,001022
tb	m	0,0254
Long. tb	m	4
Corf. Loc.	adim.	2
dZ	m	4
Pv	kPa	310
Hv	m	1,5
Dsuc.	m	0,0254
Lsuc.	m	1
Hsuc.	m	0
Patm.	kPa	101,32
Hatm.	m	7,4
Coef. Loc suc.	adim.	1



Perdidas de calor total en el sistema.

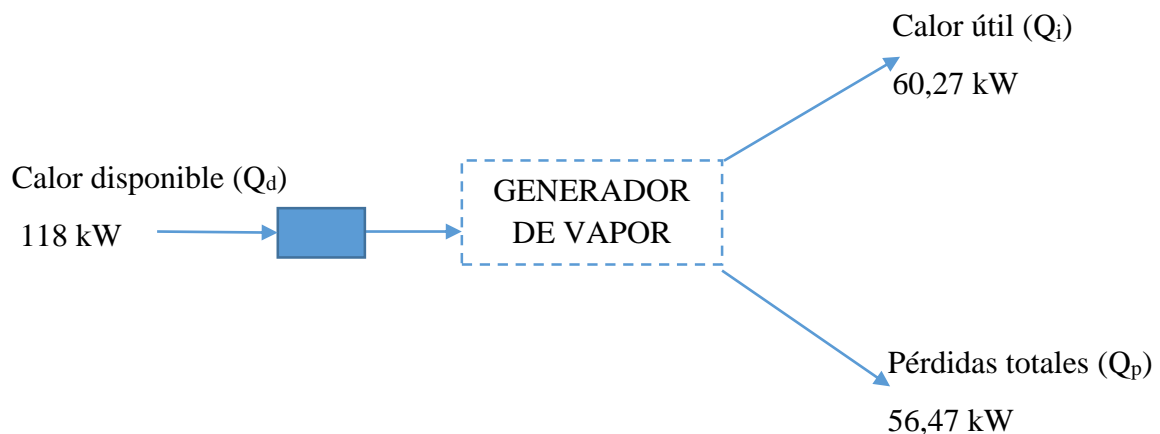
La pérdida térmica generada en el sistema de generación de vapor nos ayuda a obtener datos para proceder a obtener criterios técnicos que nos ayude a mejorar la generación de vapor y así poder tener un análisis técnico de sus causas.

Tabla 5-17 Tabla de datos pérdidas térmicas generadas para la pasteurización de leche

Descripción	Valor	Revisar
Perdidas en gases de salida	0,0285 kW	Tabla 5-6
Perdidas por convección en paredes de caldera	5,44 kW	Tabla 5-8
Perdidas por convección en paredes de tubería	12 kW	Tabla 5-10
Perdidas por radiación en la caldera	0,000147 kW	Tabla 5-12
Perdidas por radiación en la tubería	0,00097 kW	Tabla 5-14
Perdidas en la eficiencia del quemador	39 kW	Tabla 5-2
Pérdida térmica total	56,47 kW	

Fuente: [1]

Se obtiene un total de pérdidas de 56,47 kW, en todo el sistema de generación de vapor lo cual se detalla en lo siguiente.



De acuerdo a los datos obtenidos desde la generación de vapor se analizará todas las variables que influyen en el sistema.

Tabla 5-18 Tabla de datos general

Descripción	Valor
Calor disponible del quemador, (Q_d)	118 kW
Calor disponible en la caldera, (Q_d)	79,03 kW
Perdidas térmicas total	56,47 kW
Calor útil de vapor, (Q_i)	60,27 kW
Demanda de vapor para 1000L en 2 hora	66,78 kW

Fuente: [1]

Método directo.

$$Q_d = Q_1 + Q_p$$

$$Q_d = (60,27 + 56,47)[kW] = 117 [kW]$$

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_d} * 100$$

$$\eta = \left[\frac{60,27 \text{ kW}}{118 \text{ kW}} \right] * 100 = 51\%$$

Método indirecto

$$\sum q_p = \frac{\sum Q_p}{Q_d} * 100\%$$

$$\sum q_p = \frac{56,47 \text{ kW}}{118 \text{ kW}} * 100\% = 48\%$$

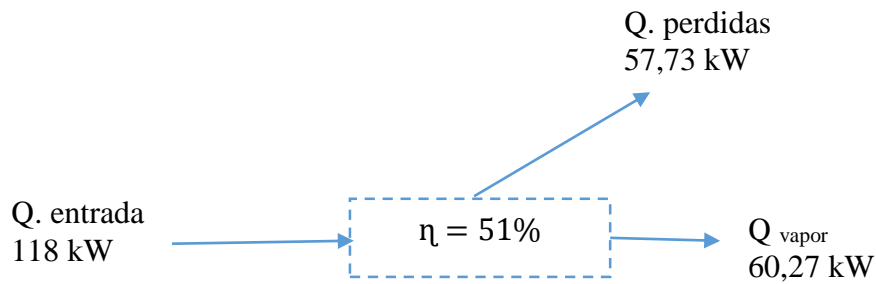
$$\eta = 100 - \sum q_p \%$$

$$\eta = 100 - 48 \% = 52\%$$

Eficiencia del proceso de generación de vapor

Considerando las eficiencias anteriores se determina la eficiencia general ya que es un 51% de la potencia teórica del quemador que se aprovecha para transformar agua desde su fase líquida hasta vapor, el resto de energía se acumula en distintos tipos de pérdidas.

$$\eta = \left[\frac{60,27 \text{ kW}}{118 \text{ kW}} \right] * 100 = 51\%$$



Las pérdidas térmicas generan un impacto económico que afecta a la empresa como en tiempo y consumo de combustible ya que de acuerdo al análisis se consume de 8 litros/h de diésel por un lapso de 5 horas total que son distribuidas, 1 hora en precalentamiento de la caldera y un tiempo de pasteurización de 4 horas diarias lo que genera los siguientes costos.

$$\frac{8 \text{ litros}}{h} \cdot \frac{5h}{\text{dia}} \cdot \frac{1 \text{ galon}}{3,78541} \cdot \frac{\$1,335}{1 \text{ galon}} = \frac{\$14,11}{\text{diario}}$$

$$\frac{\$14,11}{\text{dia}} \cdot \frac{30 \text{ dias}}{1 \text{ mes}} \cdot \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = \frac{\$5079,60}{\text{año}}$$

Se tiene un gasto anual en combustible de \$5079,60 anuales para su funcionamiento.

Realizando el análisis de la eficiencia térmicas inicial, tomando en cuenta los estados en los que se encuentran los equipos en el momento de ser puesto en marcha, se obtuvo mediante el método matemático la eficiencia inicial con la que está operando el dicho sistema que es del 51%, por lo cual se plantea un mejoramiento efectuando un mantenimiento correctivo en todo el sistema de generación y transporte de vapor, también reduciendo pérdidas de convección y radiación con aislamientos térmicos, y la calibración y regulación del quemador ya que se encontrar trabajando a un rendimiento de 66%, para así verificar la nueva eficiencia con la que va trabajar el sistema de vapor y ver la reducción de costos que favorece a la quesera Brayan.

5.1.2 Cálculo de la eficiencia térmica del sistema de generación y conducción de vapor de la “Quesera Brayan” después del mejoramiento del estado técnico de la misma.

Para la optimización en el sistema de generación y conducción del vapor empleado en el proceso de pasteurización en la “Quesera Brayan del cantón Salcedo” Se llevó a cabo un mantenimiento correctivo enfocados directamente en los componentes que están involucrado en el sistema de generación y conducción de vapor tales como: calibración del quemador, remplazo de tubos del interior de la caldera, mejoramiento del revestimiento del aislamiento en la caldera, remplazo de tramos de tubería de conducción, implementación de tramos de aislamiento en la tubería de conducción, remplazo de piezas eléctricas en el tablero de control, y de esta manera lograr un mejor aprovechamiento de la energía térmica, todo esto se puede verificar en los (Anexos 3,4,5).

Calculo del calor disponible

Tabla 5-19 Tabla de datos del combustible empleado.

Descripción	Valor	Revisar
Poder calorífico inferior del diésel (LHV)	10000 Kcal/kg	Tabla 4-1
Flujo másico del combustible (\dot{m})	8 litros/h = 0,008 m ³ /h	
Densidad del diésel (δ)	850 kg/m ³	
Eficiencia del quemador	82 %	Anexo 4

Fuente: [1]

Tabla 5-20 Tabla de resultados del calor disponible

Parámetros de cálculo.	Ecuación Utilizada.	Resultado.
Calor disponible calculado	(Ecuación 5-5)	97 kW
Calor disponible del quemador	(Tabla 4-2)	118 kW
Perdida térmica del quemador	(Ecuación 5-1)	21 kW

Fuente: [1]

Calculo de calor útil.

Tabla 5-21 Tabla de datos de la caldera “Quesera Brayan”

Descripción	Valor	Revisar
Presión, (P ₁).	45 Psi =310,64 KPa	Anexo 3

Temperatura de agua, (T_1).	15 °C	Anexo 3
Entalpia de vapor producido, (h_{aa}).	62,982 kJ/kg	Anexo 1
Temperatura de saturación, (T_s).	134,67 °C	Anexo 1
Volumen especifico	16,25 m ³ /h	Anexo 4
Densidad de vapor (δ).	6,388 kg/m ³	Anexo 1
Presión, (P_2).	45 Psi = 310,64Kpa = 0,31MPa	Anexo 3
Temperatura de agua, (T_2).	190 °C	Anexo 3
Entalpia de vapor producido, (h_v).	2824,02 kJ/kg	Anexo 1
Gasto de combustible, (B_c)	0,008 m ³ /h	
Flujo de vapor producido, (D_v)	103,805 kg/h	Anexo 4

Fuente: [1]

Tabla 5-22 Tablas de resultados del calor útil

Parámetros de cálculo.	Ecuación.	Resultado.
Calor útil, (Q_i)	(Ecuación 5-11)	80,21 kW

Fuente: [1]

Perdidas térmicas con los gases de salida.

Tabla 5-23 Tablas de datos perdidas de gases de salida

Descripción	Valor	Revisar
Calor especifico (C_p)	1,023 kJ/kg.K	Anexo 1
Flujo másico de gases (\dot{m})	0,18 kg/h	
Temperatura del gas de salida (T)	200 °C	Anexo 4
Temperatura ambiente (T)	25 °C	Anexo 4

Fuente: [1]

Tabla 5-24 Tabla de resultados de pérdidas de calor sensible con los gases de salida

Parámetros de cálculo.	Ecuación.	Resultado.
Perdida con gases de salida (q_2)	(Ecuación 5-13)	0,023 kW

Fuente: [1]

Pedidas de calor por convección a través de las paredes de la caldera.

Tabla 5-25 Tabla de datos de Perdida de calor en paredes de la caldera.

Descripción	Valor	Revisar
Diámetro exterior de la caldera (D)	0,78 m	Anexo 6
Altura de la caldera (h)	1,17 m	Anexo 6
Velocidad de aire exterior de caldera (V)	1,66 m/s	Anexo 5
Temperatura superficie (T _s)	32 °C	Anexo 4
Temperatura ambiente (T _a)	18 °C	Anexo 4
Temperatura pelicular (T _f)	25 °C	Ecuación 4-19
Viscosidad cinemática del aire (ν)	1,562*10 ⁻¹⁵ m/s ²	Anexo 1
Área del cilindro (A)	2,87 m ²	Anexo 6
Constante de conductividad térmica (K)	0,02551 W/m*K	Anexo 1
Número de Reynolds (R _e)	82893,726	Ecuación 4-18
Nusselt del cilindro (NU _{cil})	192,20	Ecuación 4-17

Fuente: [1]

Tabla 5-26 Tabla de resultado de las perdida de calor en paredes de la caldera

Parámetros de cálculo.	Ecuación.	Resultado.
Perdida por convección, (q _{conv})	(Ecuación 5-13)	5,2 kW

Fuente: [1]

Perdida de calor por convección en paredes de la tubería.

Tabla 5-27 Tabla de datos de perdida de calor en paredes de la tubería

Descripción	Valor	Revisar
Diámetro exterior de la tubería (D)	0,0254 m	
Altura de la tubería (h)	15 m	
Velocidad de aire exterior de caldera (V)	2,22 m/s	Anexo 5
Temperatura superficie (T _s)	32 °C	Anexo 4
Temperatura ambiente (T _a)	18 °C	Anexo 4
Temperatura pelicular (T _f)	25 °C	Ecuación 4-19
Viscosidad cinemática del aire (ν)	1,562*10 ⁻¹⁵ m/s ²	Anexo 1
Área de la tubería (A)	1,197 m ²	

Constante de conductividad térmica (K)	0,02551 W/m*K	Anexo 1
Número de Reynolds (R_e)	3609,98	Ecuación 4-18
Nusselt del cilindro (NU_{cil})	31,32	Ecuación 4-17

Fuente: [1]

Tabla 5-28 Tabla de resultado de Perdida de calor en paredes de la tubería.

Parámetros de cálculo.	Ecuación.	Resultado.
Perdida por convección, (q_{conv})	(Ecuación 5-13)	10,8 kW

Fuente: [1]

Perdidas de calor por radiación en la caldera.

Tabla 5-29 Tabla de datos perdida de calor por radiación en la caldera

Descripción	Valor	Revisar
Diámetro exterior de la caldera (D)	0,78 m	Anexo 6
Altura de la caldera (h)	1,17 m	Anexo 6
Temperatura superficie, (T_s)	32 °C	Anexo 4
Temperatura ambiente, (T_a)	18 °C	Anexo 4
Área del cilindro, (A)	2,87 m ²	Anexo 6
Emisividad de superficie, (ϵ_s)	0,3	Tabla 5-4
Constante de Stefan-Boltzmann, (σ)	$5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 k^4}$	Anexo 1

Fuente: [1]

Tabla 5-30 Tabla de resultado de perdida de calor por radiación en la caldera

Parámetros de cálculo.	Ecuación.	Resultado.
Perdida por radiación (q_{rad})	(Ecuación 5-18)	0,00004 kW

Fuente: [1]

Perdida de calor por radiación en la tubería.

Tabla 5-31 Tabla de datos Perdida de calor por radiación en la tubería.

Descripción	Valor	Revisar
Diámetro exterior de la tubería (D)	0,0254 m	
Altura de la tubería (h)	15 m	

Temperatura superficie, (T_s)	32 °C	Anexo 4
Temperatura ambiente, (T_a)	18 °C	Anexo 4
Área de la tubería, (A)	1,197 m ²	Anexo 6
Emisividad de superficie, (ϵ_s)	0,6	Tabla 4-4
Constante de Stefan-Boltzmann, (σ)	$5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 k^4} \sigma$	Anexo 1

Fuentes: [1]

Tabla 5-32 Resultados de pérdida de calor por radiación en la tubería.

Parámetros de cálculo.	Ecuación.	Resultado.
Perdida por radiación (q_{rad})	(Ecuación 5-18)	0,00003 kW

Fuente: [1]

Perdidas de calor total en el sistema.

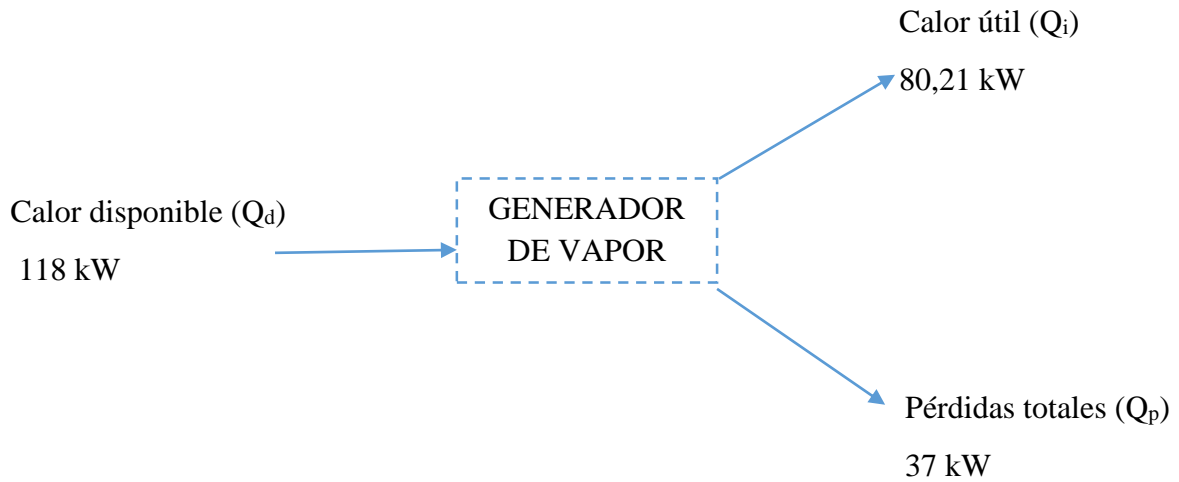
La pérdida térmica generada en el sistema de generación de vapor nos ayuda a obtener datos para proceder a obtener criterios técnicos que nos ayude analizar el mejoramiento que se realizó en la generación de vapor y así poder tener un resultado favorable.

Tabla 5-33 Tabla de pérdidas térmicas generadas en el sistema para la pasteurización de leche

Descripción	Valor
Perdidas en gases de salida	0,023 kW
Perdidas por convección en paredes de caldera	5,2 kW
Perdidas por convección en paredes de tubería	10,8 kW
Perdidas por radiación en la caldera	0,00004 kW
Perdidas por radiación en la tubería	0,00003 kW
Perdidas en la eficiencia del quemador	21 kW
Pérdida térmica total	37 kW

Fuente: [1]

Se obtiene un total de pérdidas de 45 kW, en un cálculo realizado que se expresa a continuación.



De acuerdo a los datos obtenidos desde la generación de vapor se analizará la siguiente tabla de valores.

Tabla 5-34 Tabla de datos general

Descripción	Valor
Calor disponible del quemador, (Q_d)	118 kW
Calor disponible en la caldera, (Q_d)	95 kW
Pérdidas térmicas total	37 kW
Calor útil de vapor, (Q_i)	80,21 kW
Demanda de vapor para 1000L en 2 hora	66,78 kW

Fuente: [1]

Método directo.

$$Q_d = Q_1 + Q_p$$

$$Q_d = (80,21 + 37)[kW] = 117,21 [kW]$$

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_d} * 100$$

$$\eta = \left[\frac{80,21 \text{ kW}}{118 \text{ kW}} \right] * 100 = 68\%$$

Método indirecto

$$\sum q_p = \frac{\sum Q_p}{Q_d} * 100\%$$

$$\sum q_p = \frac{37 \text{ kW}}{118 \text{ kW}} * 100\% = 31\%$$

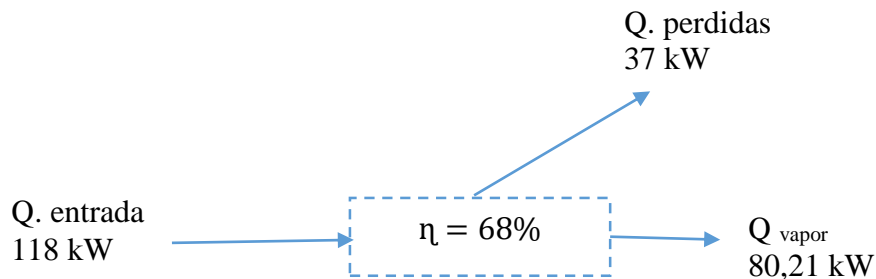
$$\eta = 100 - \sum q_p \%$$

$$\eta = 100 - 31 \% = 69\%$$

Eficiencia del proceso de generación de vapor

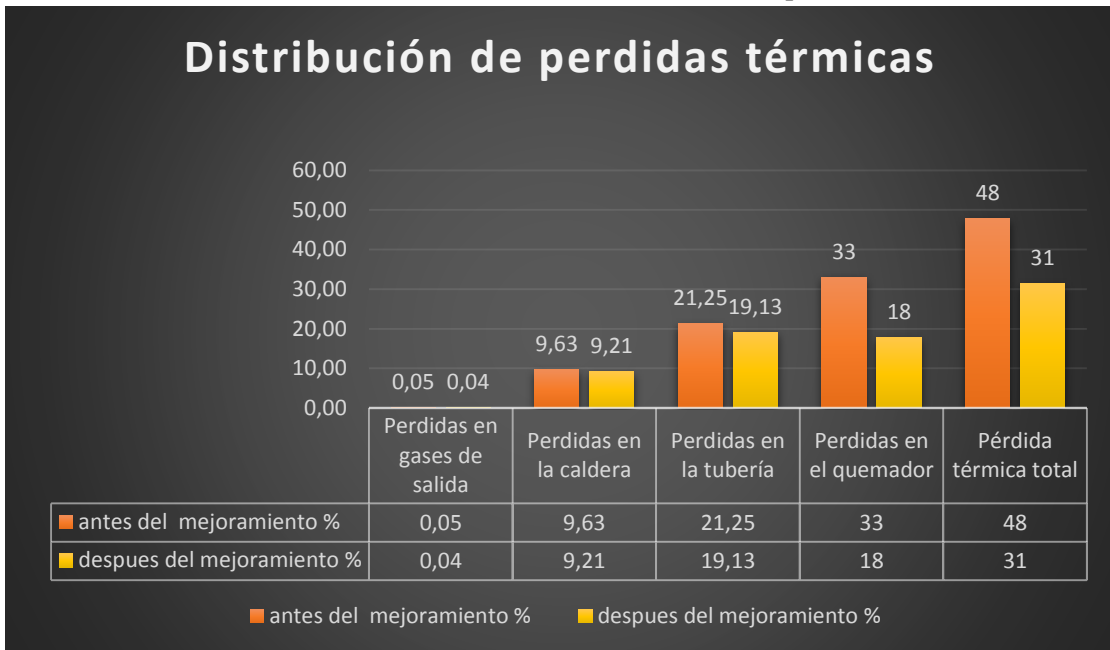
Una vez realizado los cambios en el sistema y el mantenimiento correctivo previamente de los equipos se pudo constatar un incremento de total de la eficiencia térmica que nos ayuda a una reducción de pérdidas.

$$\eta = \left[\frac{80,21 \text{ kW}}{118 \text{ kW}} \right] * 100 = 68\%$$



En la distribución de pérdidas térmicas se pudo llegar a un resultado donde se puede verificar que la mayor cantidad de pérdida térmica se encuentra en el quemador de la caldera por su baja eficiencia y calibración que tenía, una vez realizado las correcciones se pudo tener una reducción muy aceptable de pérdidas que nos ayudó a reducir tiempo y costos en generación de vapor.

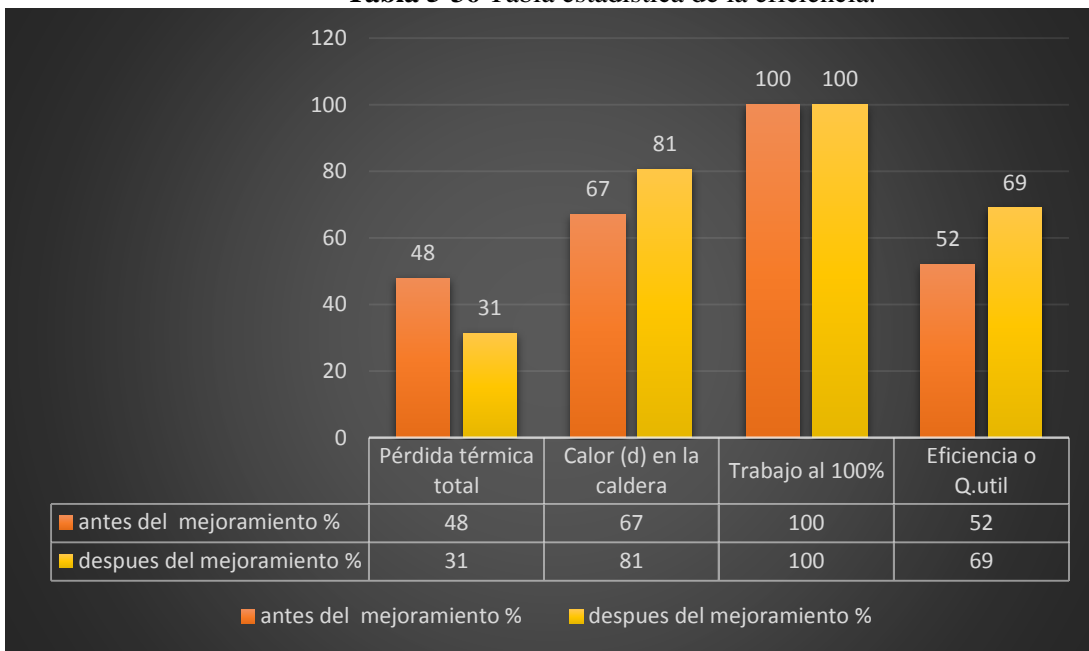
Tabla 5-35 Tabla estadística de distribución de pérdidas térmicas.



Fuente: [1]

Con la reducción de pérdidas térmicas se puede ver un incremento en la eficiencia y el calor útil generado por la caldera para la pasteurización de la leche.

Tabla 5-36 Tabla estadística de la eficiencia.



Fuente: [1]

Una vez realizado el mantenimiento correctivo y el cálculo del análisis térmico se constató una reducción muy considerable en las pérdidas generadas por el sistema de generación de vapor y se obtuvo una reducción considerable en el tiempo y consumo de combustible ya que, al mejorar la eficiencia, la caldera trabaja 3,33h diarias para los 1000 litros de leche que se pasteuriza, logrando así reducir costos de la empresa.

$$\frac{8\text{litros}}{h} \cdot \frac{3,33h}{\text{dia}} \cdot \frac{1\text{galon}}{3,78541} \cdot \frac{\$1,335}{1\text{galon}} = \frac{\$9,39}{\text{diario}}$$

$$\frac{\$9,39}{\text{dia}} \cdot \frac{30\text{dias}}{1\text{mes}} \cdot \frac{12\text{meses}}{1\text{año}} = \frac{\$3382,20}{\text{año}}$$

Se tiene un gasto anual en combustible de \$3382,20 anuales para su funcionamiento.

Análisis de resultados

Las pérdidas térmicas generan un alto impacto económico que afecta a la empresa en tiempo y dinero, de acuerdo al análisis en las eficiencias mediante el método teórico practico, el sistema de generación y transporte de vapor, consume la cantidad de 8 litros/h de combustible (diésel) empleado en un lapso de tiempo de 5 horas de operación total, los que influyen notablemente en los egresos económicos.

La optimización de la eficiencia en el sistema de generación y transporte de vapor, es evidente, del antes y el después del mejoramiento técnico de la misma, contando con una eficiencia térmica de generación y transporte de vapor de la **“Quesera Brayán del Cantón Salcedo”** antes del mejoramiento técnico del 51% que esto nos conlleva aun gasto anual en combustible (diésel) de \$5079,60. Y después del mejoramiento del estado técnico de dicho sistema se evidencia un notable incremento en la eficiencia que es del 68%, y un decremento en el gasto anual en combustible (diésel) de \$3382.20, después del mejoramiento técnico, es evidente el incremento del 12% en su eficiencia total, y un ahorro económico del 33,41% anual que representa \$ 1697.40 menor en gastos por combustible y reduciendo también el tiempo de pasteurización.

6 PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTO

6.1 Costos directos

Aquí se encuentran involucrados los desembolsos de aquellas materias primas, materiales, equipos o accesorios que intervienen directamente en la optimización en la eficiencia del sistema de generación de vapor para el proceso de pasteurización en la quesera “**Brayan del cantón Salcedo**”.

6.1.1 Materiales

Para el proceso de optimización de la eficiencia del sistema de generación de vapor en la “**quesera Brayan del cantón Salcedo**” se requiere un generador de vapor denominada caldera, partes hidráulicas específicas, dimensionadas para soportar trabajos en altas temperaturas y altas presiones, un tablero de control eléctrico encargado del control de dicho sistema lo cual se detalla a continuación.

Tabla 6-1 Elementos Mecánicos - Hidráulicos

Ítems	Cant	Descripción	V. unitario \$	V. Total \$
1	2	Tubo de alta presión célula 40 medida (1 1/4")	60,00	120,00
4	1	Rollo de alambre para suelda MIG	80,00	80,00
5	6	Universales acople 1 pulg acero galvanizado	1,50	9,00
6	10	Codos de 90°C acero galvanizado	1,00	10,00
7	0,5	Tuvo de 3/4 pulg x 1/4 pulg x 3mm	28,00	14,00
8	1	Tubo redondo de 1 pulg x 1/4 pulg x 6 m	35,50	35,50
9	4	Llave de compuerta de 1pulg	10,50	42,00
10	2	Válvulas check 1 pulg cobre	22,35	44,70
11	5	Lana de fibra de vidrio e=0,8mm	5,25	26,25
			NETO	381,45
			I.V.A 12%	45,77
			TOTAL	427,22

Fuente: [1]

Tabla 6-2 Elementos Eléctricos y Electrónicos

Ítems	Cant	Descripción	V. unitario \$	V. Total \$
1	1	Fotocelda detector de llama	40,00	40,00
2	1	Electrodo de encendido de llama	60,00	60,00
3	30	Alambre N°12	1,20	36,00
4	15	Alambre N°10	1,50	22,50
5	1	Contactador 110V Tipo C	25,00	25,00
6	8	Terminal redonda 1/4 pulg	0,15	1,20
7	8	Borneras tipo puente 1/4 pulg	0,25	2,00
8	1	Breakers termo magnéticos bidireccional 220V	28,00	28,00
			NETO	214,70
			I.V.A 12%	25,76
			TOTAL	240,46

Fuente: [1]

Tabla 6-3 Costo total de los materiales empleados.

Ítems	Descripción	V. Unitario \$	V. Total \$
1	Elementos Mecánicos Hidráulicos	427,22	427,22
2	Elementos Eléctricos y Electrónicos	240,46	240,46
		NETO	667.688
		I.V.A 12%	0
		TOTAL	667.688

Fuente: [1]

6.2 Mano de obra directa.

La mano de obra directa es aquella que interviene personalmente en el proceso de producción, refiriéndose específicamente a los técnicos, maestros y obreros empleados en la optimización del sistema.

Tabla 6-4 Costo de mano de obra directa.

Ítem	Cant	Descripción	N° días	\$. Día	\$. Total	
1	1	Maestro Metal Mecánico	6	40	240	
2	1	Análisis de los gases del quemador	1	100	100	
2	1	Personal Instalación Sitio De Prueba	15	10	150	
					NETO	490
					I.V.A 12%	0
					TOTAL	490

Fuente: [1]

6.3 Costos indirectos

Comprende personal, materias primas, equipos, materiales o accesorios utilizados dentro de la investigación, pero que no se considera directo el proceso de optimización de la eficiencia del sistema de generación de vapor en el proceso de pasteurización en la “quesera **Brayan del cantón Salcedo**.”

Tabla 6-5 Costos de materiales y accesorios indirectos utilizados en la valoración del proyecto.

Ítem	Descripción	Cant	\$. Unitario	\$. Total	
1	Cámara termografía	1	100	100	
2	Pirómetro	1	20	20	
3	Manómetro de presión	2	30	60	
				NETO	180
				I.V.A. 12%	21,6
				TOTAL	201,6

Fuente: [1]

Materiales fungibles

Comprende aquellos materiales que se consumen con el uso, y que son utilizados dentro de la elaboración del proyecto.

Tabla 6-6 Costo de materiales fungibles.

Ítem	Descripción	Cant	\$. Unitario	\$. Total
1	Diésel	5	1,35	6,75
2	Maskin	3	1,5	4,5
3	Limpia contacto	1	4	4
4	Cepillo de alambre	1	2	2
5	Franela	1	2	2
			NETO	15,25
			I.V.A. 12%	1,83
			TOTAL	17,08

Fuente: [1]

6.4 Imprevistos

Se considera aquellos costos urgentes no programados, y se asume un 10% del costo del proyecto.

Tabla 6-7 Costo de Imprevistos.

Ítem	Descripción	Cant	\$. Unitario	\$. Total
1	Costo Proyecto	1	1376,36	137,64
			NETO	137,64
			I.V.A 12%	0
			TOTAL	137,64

Fuente: [1]

6.5 Costo total del proyecto

Tabla 6-8 Costo total.

Ítem	Descripción	\$. Unitario	\$. Total
1	Materiales directos	\$ 667,81	667,68
2	Mano de obra directa	490,00	490,00
3	Materiales indirectos	201,60	201,60
4	Materiales fungibles	17,08	17,08
5	Imprevistos	137,66	137,66
		NETO	1514,02
		I.V.A. 12%	0,00
		TOTAL	\$ 1514,02

Fuente: [1]

6.6 Cálculo del tiempo de recuperación de la inversión

Tabla 6-9 Tabla TIR - VAN

Periodo (meses)	Inversión inicial	Ingreso	Egreso	Beneficio
0	\$ -1514,02			\$ -1514,02
1		\$ 141,40	\$ 15,00	\$ 126,45
3		\$424,35	\$ 45,00	\$ 379,35
6		\$848,707	\$ 90,00	\$ 758,70
9		\$ 1273,05	\$ 135,00	\$1138,05
12		\$ 1697,40	\$180,00	\$ 1517,40
Porcentaje de incremento		2%		
Tasa		10 %		
Van		\$ 1203,96		
Tir		29 %		
B/C		0,05		

Fuente: [1]

El proyecto realizado en la quesera Brayán presenta una TIR mayor a la tasa de oportunidad y una relación beneficio costo que es mayor a 1, por ende, es factible y su inversión se recupera en un tiempo de 12 meses como resultado más adecuado para invertir el cual va a generar mayores ingresos para la empresa.

6.7 Análisis de impactos

Impacto práctico:

Con la ejecución del proyecto de investigación presente se otorga un beneficio significativo para la “**Quesera Brayán del cantón Salcedo**”, realizando el análisis de las eficiencias del sistema de generación de vapor para el proceso de pasteurización, se pudo tomar acciones correctivas y se llegó a la optimización deseada del 69% de todo el sistema de generación de vapor, utilizada en dicho proceso.

Impacto tecnológico:

La aportación tecnológica del proyecto se basa en el aprovechamiento de la energía térmica que se genera mediante una caldera de vapor industrial de 10 hp, con el objetivo de incrementar a la mayor eficiencia posible, con lo cual se busca incorporar la curiosidad de futuros estudiantes que tomen como iniciativa la realización de proyectos similares, para en un futuro en ambientes profesionales puedan establecer puntos de comparación en sistemas de generación de vapor, utilizando las herramientas y equipos tecnológicos necesarios y de esta manera dar la mejor solución a dichos casos.

Impacto ambiental:

Mediante el mejoramiento de la eficiencia en el sistema de generación y conducción del vapor para el proceso de pasteurización de la leche, se redujo el consumo de combustible de 40 litros a 26,64 litros diarios y la emisión de gases nocivos para el medio ambiente de:

Monóxido de carbono (CO) 1370 mg/m³ a 1165 mg/m³

Dióxido de azufre (SO₂) 29 mg/m³ a 17 mg/m³

Óxidos de nitrógeno (NOx) 145 mg/m³ a 107 mg/m³

La localización de la planta no requiere de especiales cuidados en el tratamiento de las emisiones gaseosas de la caldera.

Impacto ético:

Llegando al punto del análisis de la optimización en todo el sistema de generación y conducción del vapor, para posteriormente incluirlo en el proceso de transformación de la materia prima a producto terminado, se evidencia notablemente un ahorro de \$1697,40 anual.

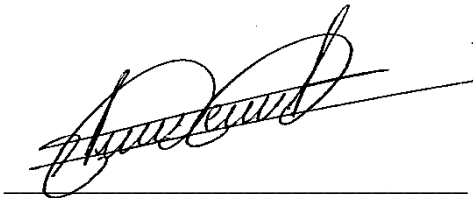
7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- ✓ Es sumamente necesario conocer los fundamentos teóricos como el libro de **Yunes a Cengel** que contiene tablas de valores ya fijas que ayudan al cálculo para el mejoramiento del sistema de generación de vapor
- ✓ El procedimiento de cálculo de eficiencia térmica instalada va de acorde al proyecto realizado ya que la quesera está trabajando con una caldera de 10hp sin contar con pre calentadores de combustible o de agua.
- ✓ El mejoramiento realizado en la fábrica de quesos nos muestra un resultado favorable para la quesera ya que se puede observar una reducción en pérdidas térmicas de un 48% hasta llegar reducir a 31% donde también se pudo verificar que la mayor cantidad de pérdida está localizada en el quemador.
- ✓ Se determina mediante el método del análisis matemático la eficiencia del sistema de generación y transporte de vapor en la “**Quesera Brayán del cantón Salcedo**”, con el 51% antes de la mejora técnica, y con un 68% después de dicha mejora, el incremento del 12% en la eficiencia es notable como también en la reducción de gastos por consumo de combustible de \$5079,60. Antes del mejoramiento a \$3382.20, después del mejoramiento técnico, es evidente el incremento del 17% en su eficiencia total, y un ahorro económico del 33,41% anual que representa \$ 1697.40 menor en gastos por combustible y reduciendo también el tiempo de pasteurización.

7.2 Recomendaciones

- ✓ Para poder mejorar la eficiencia del sistema de generación de vapor se recomienda la implementación de un pre calentador de agua.
- ✓ Se recomienda cambiar a otro método de pasteurización, según los estudios realizados debe hacerse por placas o método HTST donde no existe mayor cantidad de pérdidas.
- ✓ Debe continuamente realizar el análisis de la eficiencia del quemador cada 6 meses para optimizar y verificar que no generen pérdidas de gases, inquemados o exceso de aire.
- ✓ Realizar un plan de mantenimiento para la caldera de vapor con el fin de reducir el rendimiento y evitar futuras pérdidas térmicas.



Firma

Saca Plasencia Jofre Israel

PONENTE

C.I.: 050326868-2

E-mail: jofre.saca8682@utc.edu.ec

Telf: 0998750605 / 03 305 8070



Firma

Dr.C. Enrique Torres Tamayo

PROFESOR TUTOR

C.I.:175712194-0

E-mail: enrique.torres@utc.edu.ec

Telf: 0987800156

8 REFERENCIAS

- [1] S. P. J. Israel, «Ingeniería Electromecánica,» Universidad Técnica De Cotopaxi, Ecuador;Cotopaxi;Salcedo, 2020.
- [2] I. S. P. C. Anda, «“EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS TÉRMICAS EN EL SISTEMA DE GENERACION Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR DEL HOSPITAL “DR. JULIO ENRIQUE PAREDES” UNIDAD ONCOLÓGICA SOLCA,» p. 112, 2016.
- [3] P. G. O. SEDICAL, GUIA BASICA DE CALDERAS INDUSTRIALES EFICIENTE, COMUNIDAD DE MADRID, ESPAÑA: IMRESIONES GRÁFICA: GRÁFICA ARIAS MONTANO, S.A., pp. 98-112.
- [4] J. G. P. BENAVIDES, *AUDITORIA ENERGETICA EN EL SISTEMA DE VAPOR DEL HOSPITAL DE NIÑOS BACA HORTIZ*, p. 20, 2013.
- [5] M. D. R. V. LEÓN, «“Análisis de la eficiencia energética aplicado al mantenimiento del sistema de generación y distribución de vapor para la empresa La Ibérica”.,» p. 92, 2016.
- [6] w. c. v. dennys david diaz vera, «titulado “Selección e instalación de vapor para una fábrica de yogurt y de crema de leche”,» p. 110, 2009.
- [7] Y. A. B. M. A. Çengel, *TERMODINAMICA 8va EDICION*, 2015, p. 1025.
- [8] I. A. E. P. Girio, «TEXTO UNIVERSITARIO: TRANSFERENCIA DE CALOR,» p. 333, 2007.
- [9] J. U. MARTINEZ, *GUIA DE CALDEROS INDUSTRIALES EFICIENTES*, MARID ESPAÑA: VIESSMANV S.L, p. 162.
- [10] «Mantenimiento Industrial,» 21 enero 2018. [En línea]. Available: <https://todoinfomantenimientoindustrial.blogspot.com/2018/01/calderas-o-generadores-de-vapor.html>. [Último acceso: 15 noviembre 2020].
- [11] «Euro air climatizacion,» 25 Julio 2015. [En línea]. Available: <https://www.euroair.es/blog/partes-de-una-caldera/>. [Último acceso: 10 Enero 2021].
- [12] I. P. M. A. PAREDES QUISTAL RICHARD FREDY, «“INVESTIGACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE VEHICULOS QUE CIRCULAN”,» p. 33, 2013.

- [13] I. G. A. P. Fajardo, «“EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES DE LA CALDERA PIRO TUBULAR EN LA REFINERIA SHUSHUFINDI”,» p. 32, 2016.
- [14] S. DERGAL, «QUIMICA DE ALIMENTOS - PROPIEDADES DE LA LECHE,» pp. 617-618, 2006.
- [15] M. U. E. L. I. LACTEA, «PASTEURIZADORES,» pp. 1-6.
- [16] E. BUÑAY, «Tipos de Pasteurizacion,» pp. 2-5, 2014.
- [17] S. LOGIC, «SISTEMA DE PROGRAMACION Y ENCENDIDO DE UNA CALDERA DE VAPOR,» 07 2017.
- [18] S. S.A.S, «FOTOCELDA C554 BECKETT,» 2018.
- [19] C.-d. wit, «orientacion para seleccion e instalacion de manometros,» *Catalogo-Nuevo*, p. 12, 2020.
- [20] J. L. R., «FUNCIONAMIENTO DE UN PIROMETRO,» 2018.
- [21] G. Factory, «caudalimetro sensor de flujo 1/2 pulgada,» *manual sensor de flujo*, 2020.
- [22] P.-. P. ECUADOR, «PODER CALORIFICO INFERIOR DE COMBUSTIBLES,» 2020.
- [23] C. y. Bernstein:, ANALISIS TERMICO EN CILINDROS, p. 433.
- [24] Y. A. CENGEL, TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA, vol. TERSERA, MEXICO: RICARDO DEL BOSQUE ALAYON, 2007, p. 28.
- [25] p. i. FLUKE., «TABLA DE EMISIVIDAD,» 2020.
- [26] D. H. LAURENCIO, «PERDIDAS EN CARGA,» 2020.

9 ANEXOS

I. ANEXO

Figura I-1 Tabla poder calorífico inferior del diésel.

Compuesto	Poder Calorífico (kcal/kg)	Utilidad
Gas Natural	13,000	Combustible domestico, Yacimientos
Gas LP	12,000	Combustible domestico, automóviles
Gasolina	11,000	Combustible automóviles
Kerosina	10,500	Combustible aviones, Calefacción
Diesel	10,000	Motores diesel

Fuente: [22]

Tabla I-1 Tabla de Cengel 7ma edición.

914
TABLAS DE PROPIEDADES, FIGURAS Y DIAGRAMAS (UNIDADES SI)

TABLA A-4
Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., T °C	Pres. sat., P _{sat} kPa	Volumen específico, m ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Liq. sat., v _f	Vapor sat., v _g	Liq. sat., u _f	Evap., u _{fg}	Vapor sat., u _g	Liq. sat., h _f	Evap., h _{fg}	Vapor sat., h _g	Liq. sat., s _f	Evap., s _{fg}	Vapor sat., s _g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9888
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	313.99	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	334.97	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	355.96	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	376.97	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.00	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302

Fuente: [7]

Tabla I-2 Tabla de Cengel 7ma edición

918

TABLAS DE PROPIEDADES, FIGURAS Y DIAGRAMAS (UNIDADES SI)

TABLA A-6

Vapor de agua sobrecalentado

T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
	$P = 0.01 \text{ MPa (45.81°C)}^a$				$P = 0.05 \text{ MPa (81.32°C)}$				$P = 0.10 \text{ MPa (99.61°C)}$			
Sat. ¹	14.670	2437.2	2583.9	8.1488	3.2403	2483.2	2645.2	7.5931	1.6941	2506.6	2675.0	7.3589
50	14.867	2443.3	2592.0	8.1741								
100	17.196	2515.5	2687.5	8.4489	3.4187	2511.5	2682.4	7.6953	1.6959	2506.2	2675.8	7.3611
150	19.513	2587.9	2783.0	8.6893	3.8897	2585.7	2780.2	7.9413	1.9367	2582.9	2776.6	7.6148
200	21.826	2661.4	2879.6	8.9049	4.3562	2660.0	2877.8	8.1592	2.1724	2658.2	2875.5	7.8356
250	24.136	2736.1	2977.5	9.1015	4.8206	2735.1	2976.2	8.3568	2.4062	2733.9	2974.5	8.0346
300	26.446	2812.3	3076.7	9.2827	5.2841	2811.6	3075.8	8.5387	2.6389	2810.7	3074.5	8.2172
400	31.063	2969.3	3280.0	9.6094	6.2094	2968.9	3279.3	8.8659	3.1027	2968.3	3278.6	8.5452
500	35.680	3132.9	3489.7	9.8998	7.1338	3132.6	3489.3	9.1566	3.5655	3132.2	3488.7	8.8362
600	40.296	3303.3	3706.3	10.1631	8.0577	3303.1	3706.0	9.4201	4.0279	3302.8	3705.6	9.0999
700	44.911	3480.8	3929.9	10.4056	8.9813	3480.6	3929.7	9.6626	4.4900	3480.4	3929.4	9.3424
800	49.527	3665.4	4160.6	10.6312	9.9047	3665.2	4160.4	9.8883	4.9519	3665.0	4160.2	9.5682
900	54.143	3856.9	4398.3	10.8429	10.8280	3856.8	4398.2	10.1000	5.4137	3856.7	4398.0	9.7800
1000	58.758	4055.3	4642.8	11.0429	11.7513	4055.2	4642.7	10.3000	5.8755	4055.0	4642.6	9.9800
1100	63.373	4260.0	4893.8	11.2326	12.6745	4259.9	4893.7	10.4897	6.3372	4259.8	4893.6	10.1698
1200	67.989	4470.9	5150.8	11.4132	13.5977	4470.8	5150.7	10.6704	6.7988	4470.7	5150.6	10.3504
1300	72.604	4687.4	5413.4	11.5857	14.5209	4687.3	5413.3	10.8429	7.2605	4687.2	5413.3	10.5229
	$P = 0.20 \text{ MPa (120.21°C)}$				$P = 0.30 \text{ MPa (133.52°C)}$				$P = 0.40 \text{ MPa (143.61°C)}$			
Sat.	0.88578	2529.1	2706.3	7.1270	0.60582	2543.2	2724.9	6.9917	0.46242	2553.1	2738.1	6.8955
150	0.95986	2577.1	2769.1	7.2810	0.63402	2571.0	2761.2	7.0792	0.47088	2564.4	2752.8	6.9306
200	1.08049	2654.6	2870.7	7.5081	0.71643	2651.0	2865.9	7.3132	0.53434	2647.2	2860.9	7.1723
250	1.19890	2731.4	2971.2	7.7100	0.79645	2728.9	2967.9	7.5180	0.59520	2726.4	2964.5	7.3804
300	1.31623	2808.8	3072.1	7.8941	0.87535	2807.0	3069.6	7.7037	0.65489	2805.1	3067.1	7.5677
400	1.54934	2967.2	3277.0	8.2236	1.03155	2966.0	3275.5	8.0347	0.77265	2964.9	3273.9	7.9003
500	1.78142	3131.4	3487.7	8.5153	1.18672	3130.6	3486.6	8.3271	0.88936	3129.8	3485.5	8.1933
600	2.01302	3302.2	3704.8	8.7793	1.34139	3301.6	3704.0	8.5915	1.00558	3301.0	3703.3	8.4580
700	2.24434	3479.9	3928.8	9.0221	1.49580	3479.5	3928.2	8.8345	1.12152	3479.0	3927.6	8.7012
800	2.47550	3664.7	4159.8	9.2479	1.65004	3664.3	4159.3	9.0605	1.23730	3663.9	4158.9	8.9274
900	2.70656	3856.3	4397.7	9.4598	1.80417	3856.0	4397.3	9.2725	1.35298	3856.7	4396.9	9.1394
1000	2.93755	4054.8	4642.3	9.6599	1.95824	4054.5	4642.0	9.4726	1.46859	4054.3	4641.7	9.3396
1100	3.16848	4259.6	4893.3	9.8497	2.11226	4259.4	4893.1	9.6624	1.58414	4259.2	4892.9	9.5295
1200	3.39938	4470.5	5150.4	10.0304	2.26624	4470.3	5150.2	9.8431	1.69966	4470.2	5150.0	9.7102
1300	3.63026	4687.1	5413.1	10.2029	2.42019	4686.9	5413.0	10.0157	1.81516	4686.7	5412.8	9.8828

Fuente: [7]

Tabla I-3 Tabla de cenger 3era edicion.

TABLA A-9

Propiedades del agua saturada

Temp., T °C	Presión de saturación, P _{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpia de vaporización, h _{fg} , kJ/kg	Calor específico, c _p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 186	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.365 × 10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³

Fuente: [7]

Tabla I-4 Tabla de cenger 3era edicion

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946

Fuente: [7]

Constante de la ley de Stefan- boltzmann

La razón máxima de la radiación que se puede emitir desde una superficie a una temperatura termodinámica T_s (en K o R) es expresada por la **ley de Stefan-Boltzmann** como

$$\dot{Q}_{\text{emitida, max}} = \sigma A_s T_s^4 \quad (\text{W}) \quad (1-25)$$

donde $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$, o bien, $0.1714 \times 10^{-8} \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{R}^4$ es la *constante de Stefan-Boltzmann*. La superficie idealizada que emite radiación a esta razón máxima se llama **cuerpo negro** y la radiación emitida por éste es la **radiación del cuerpo negro** (figura 1-35). La radiación emitida por todas las superficies reales es menor que la emitida por un cuerpo negro a la misma

II. ANEXO

Tabla II-1 Tabla eficiencia del quemador, flujo y velocidad de vapor antes del mejoramiento tecnico.



INFORME DE RESULTADOS MEDICIÓN DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA		Código del Documento PG/IPGM/20/F05
Revisión 06	Fecha de vigencia 2019-05-14	Página 6 de 7

PARÁMETRO	UNIDAD	CALDERO 1	
		MEDIDA 1	MEDIDA 2
TEMPERATURA CHIMENEA	° C	201.2	201.5
OXÍGENO	%	15.90	15.87
DIÓXIDO DE CARBONO	%	3.76	3.73
MONÓXIDO DE CARBONO	ppm	324	326
DIÓXIDO DE AZUFRE	ppm	3	4
ÓXIDOS DE NITRÓGENO	ppm	21	21
MONÓXIDO DE NITRÓGENO	ppm	6	6
DIÓXIDO DE NITRÓGENO	ppm	14.9	14.8
MATERIAL PARTICULADO	g/m3 gas seco c.s	N/M	
EFICIENCIA	%	66.9	66.8
EXCESO DE AIRE	%	280.5	281.2

Nota: Los valores de la tabla 6. Se encuentra a condiciones ambientales de campo.

Fuente: [25]

Adicional de determino la diferencial de presión, velocidad, flujo y temperatura en la línea de vapor principal de 1 pulgada de diámetro, con el uso de tubos pitot y termocuplas tipo K, instrumentos debidamente calibrados.

Diferencial de Presión: 0.1 in H₂O

Velocidad: 2,825 m/s

Diámetro de la línea de vapor: 0,0254 m

Flujo: 5,153 m³/hora

Temperatura de vapor: 180 °C

III. ANEXO

Temperatura medidas de los equipos de generacion y trasporte del vapor antes del mejoramiento tecnico.



Figura III-1 Imagen térmica de la pared de la caldera
Fuente: [1]



Figura III-3 Imagen térmica de la chimenea
Fuente: [1]

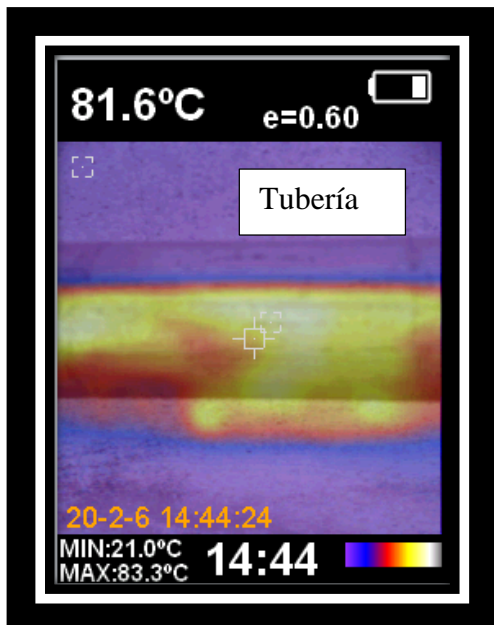


Figura III-2 Imagen térmica de la tubería
Fuente: [1]



Figura III-4 Temperatura del vapor de salida de la caldera
Fuente: [1]

IV. ANEXO

Temperatura medidas de los equipos de generacion y transporte del vapor despues del mejoramiento tecnico.



Figura IV-1 Imagen térmica de la tubería
Fuente: [1]

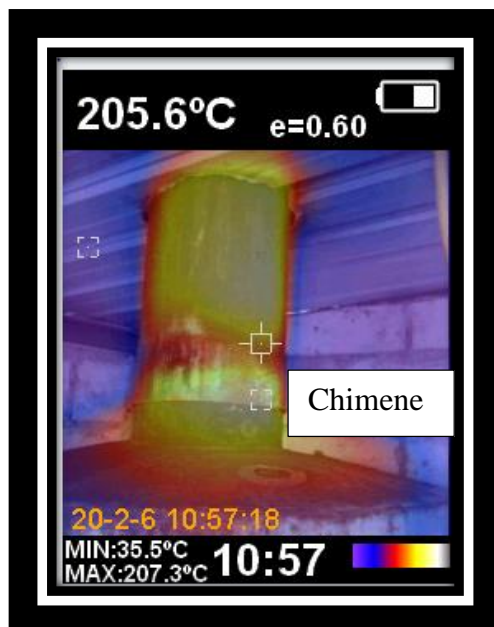


Figura IV-3 Imagen térmica de la chimenea
Fuente: [1]



Figura IV-2 Imagen térmica de la pared de la caldera
Fuente: [1]

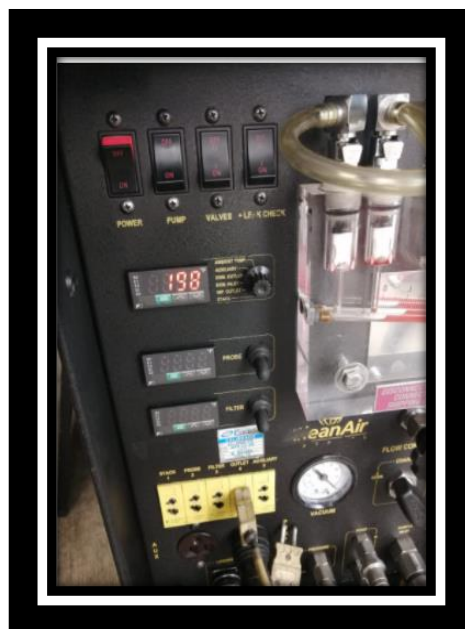


Figura IV-4 Temperatura del vapor de salida de la caldera
Fuente: [1]

Tabla IV-1 Tabla eficiencia de quemador de la caldera despues del mejoramiento



		INFORME DE RESULTADOS MEDICIÓN DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA		Código del Documento PG/IPGM/20/F05
		Revisión 08	Fecha de vigencia 2019-05-14	Págin a 6 de 7
PARÁMETRO	UNIDAD	CALDERO 1		
		MEDIDA 1	MEDIDA 2	
TEMPERATURA CHIMENEA	° C	200	201	
OXÍGENO	%	12.00	12.80	
DIÓXIDO DE CARBONO	%	3.06	2.93	
MONÓXIDO DE CARBONO	ppm	315	318	
DIÓXIDO DE AZUFRE	ppm	2	3	
ÓXIDOS DE NITRÓGENO	ppm	19	19	
MONÓXIDO DE NITRÓGENO	ppm	5	5	
DIÓXIDO DE NITRÓGENO	ppm	12.8	13.0	
MATERIAL PARTICULADO	g/m3 gas seco c.s	N/M		
EFICIENCIA	%	82.0	82.5	
EXCESO DE AIRE	%	180.6	181.5	

Nota: Los valores de la tabla 6. Se encuentra a condiciones ambientales de campo.

Fuente: [25]

Adicional de determino la diferencial de presión, velocidad, flujo y temperatura en la línea de vapor principal de 1 pulgada de diámetro, con el uso de tubos pitot y termocuplas tipo K, instrumentos debidamente calibrados.

Diferencial de Presión: 0.1 in H2O

Velocidad: 8.91 m/s

Diámetro de la línea de vapor: 0,0254 m

Flujo: 16.25 m³/hora

Temperatura de vapor: 190 °C

V. ANEXO



Figura V-1 Velocidad del viento en la tuveria.
Fuente: [1]

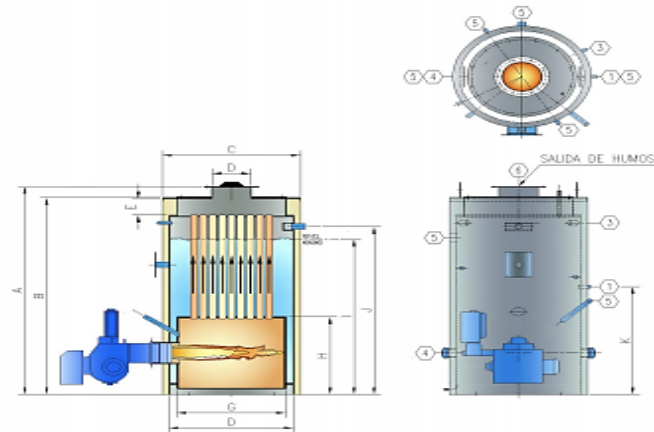


Figura V-2 Velocidad del viento en la tuveria.
Fuente: [1]

VI. ANEXO

Tabla VI-1 Tabla ficha técnica Caldera Pirotubular.

VERTICALES 150 P.S.I.G. PRESIÓN DE DISEÑO:		5	7.5	10	15	20	30	40	50
DATOS TÉCNICOS									
CAPACIDAD DE LA CALDERA	BHP								
CAPACIDAD TÉRMICA DE LA CALDERA	Btu/h	167,575	251,063	334,750	502,125	669,500	1,004,250	1,339,000	1,673,750
PRODUCCIÓN DE VAPORES	lb/h	173	269	345	518	690	1,035	1,380	1,725
LIBERACIÓN TÉRMICA	Btu/h/ft ²	85,008	127,911	167,163	247,215	329,838	498,126	666,414	834,702
PESO METAL CALDERAS	lb	891	1,238	1,586	2,314	3,042	4,569	6,096	7,623
PESO CALDERA CON AGUA A NIVEL NORMAL	lb	1,163	1,700	2,237	3,233	4,230	6,167	8,104	10,041
CONSUMO DE ACEITE No. 2	gal/h (138000 Btu/gal)	1.52	2.27	3.03	4.55	6.06	9.10	12.13	15.2
CONSUMO DE GAS NATURAL	scfh (138515 Btu/scf)	5.92	8.89	11.85	17.77	23.70	35.55	47.39	60.24
DIMENSIONES (PULGADAS)									
ALTURA TOTAL DE CALDERA	A	58	69	86.5/4	101.8/8	117.1	150.5/16	165.8	171.1/8
ALTURA CUERPO	B	47 1/16	58 1/2	74.5/4	89.8/8	105.1	138.5/16	153.8	159.1/8
DIÁMETRO CON AISLAMIENTO	C	28 1/2	38 1/2	48 1/2	58 1/2	68 1/2	88 1/2	98 1/2	108 1/2
DIÁMETRO INTERIOR DE CALDERA	D	24	24	30	30	36	36	42	42
ALTURA CÁMARA DE HUMOS	E	6	6	6	6	7	7	9	9
ALTURA HASTA EL QUEMADOR	F	13 1/2	13 1/2	15 1/2	15 1/2	16 1/2	16 1/2	17 1/2	18 1/2
DIÁMETRO INTERIOR CÁMARA DE COMBUSTIÓN	G	19	19	25	25	31	31	37	37
ALTURA CÁMARA DE COMBUSTIÓN	H	22	22	28	28	34	34	40	40
ALTURA NIVEL NÓRMAL DE AGUA	I	38	51	64	77	90	117	130	143
ALTURA SALIDA DE VAPORES	J	47 7/16	56 1/2	71 1/4	86 1/8	101 1/8	134 1/8	149 1/8	158 1/8
ALTURA ENTRADA DE AGUA	K	32	34	31	40	43	43	45	47
DIÁMETRO DE CONEXIÓN PARA (PULGADAS)									
CONEXIÓN PARA ALIMENTACIÓN	1	1 1/4	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/4	1 1/2	1 1/2	1 1/2
DIÁMETRO DE SALIDA DE VAPORES	2	1/2	3/4	3/4	1	1	1 1/4	1 1/4	1 1/2
VALVULA DE SEGURIDAD	3	1/2	1/2	1/2	3/4	3/4	1	1	1 1/4
PURGA	4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4
INSPECCIÓN DE RINNO	5	3" x 4"	3" x 4"	3" x 4"	3" x 4"	3" x 4"	3" x 4"	3" x 4"	3" x 4"
DIÁMETRO INTERIOR DE SALIDA DE HUMOS	6	7 3/8	7 3/8	9 3/8	9 3/8	11 3/8	11 3/8	13 1/2	13 1/2



www.colmaquinas.com

Fuente: [19]



Figura VI-1 Placa característica
Fuente [1]

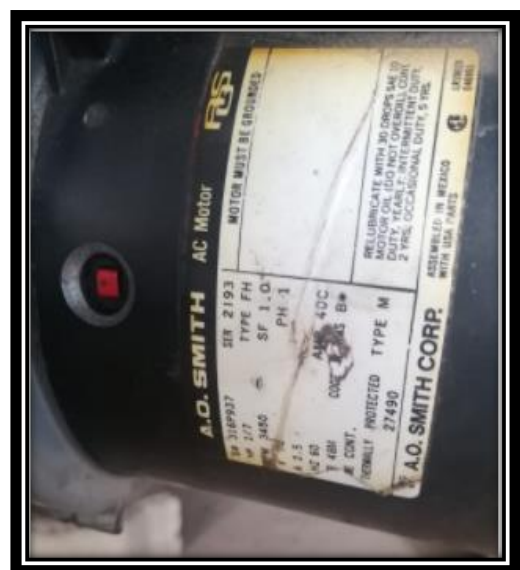


Figura VI-2 Placa característica
Fuente: [1]

VII. ANEXO

Evidencias del trabajo y mediciones realizadas en la quesera Brayan



Figura VII-1 Instrumento de Medición
Fuente: [1]



Figura VII-2 Mediciones, análisis al sistema de generación de vapor
Fuente: [1]



Figura VII-3 Sistema de sensores de caudal apertura y cierre de bomba de agua
Fuente: [1]



Figura VII-4 Mantenimiento correctivo de la caldera
Fuente: [1]

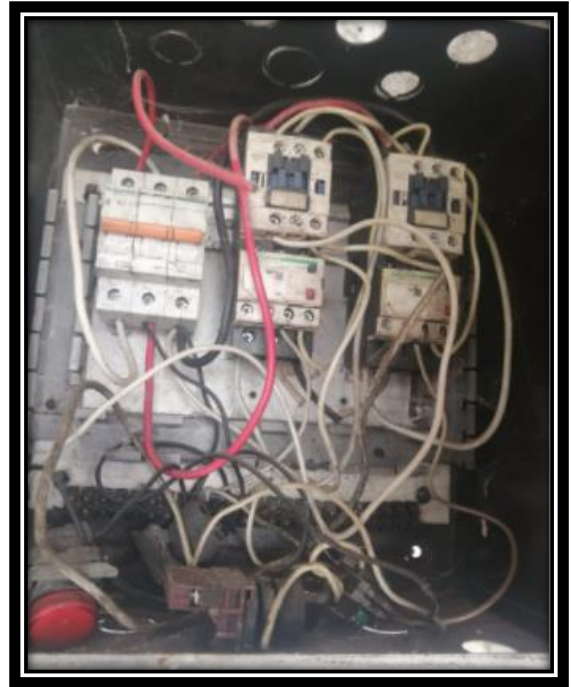


Figura VII-5 Mantenimiento sistema de control eléctrico
Fuente: [1]