



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN
SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO
DE AIRE PARA LA COMBUSTIÓN
EN LAS CALDERAS DE ALIMENTOS
HEINZ DE VENEZUELA C.A.**

Autor:

Dylan Rosales

Urb. Yuma II, calle N.º 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (máster) – Fax: (0241) 8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE AIRE
PARA LA COMBUSTIÓN EN LAS CALDERAS DE ALIMENTOS HEINZ DE
VENEZUELA C.A.**

Proyecto del Trabajo de Grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

Autor:

Dylan Rosales
C.I: 28.246.836

Tutor:

Dr. Fredy Barragán,
C.I. 11.151.678

San Diego, julio de 2023



ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de INGENIERÍA para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE AIRE SUMINISTRADO PARA LA COMBUSTIÓN EN LAS CALDERAS DE ALIMENTOS HEINZ DE VENEZUELA C.A

Realizado por el (la) Br. DYLAN JESÚS ROSALES ROSALES

C.I. N° 28.244.836 cursante de la carrera de ING. MECÁNICA

hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

El Jurado

Coordinador Académico (Coordinador)
Nombre: FREDY BARRAGÁN
C.I.: 11151.678

Jurado
Nombre: YAIRA RODRÍGUEZ
C.I.: U547002

Jurado
Nombre: ALICIA YANEZ
C.I.: 4.598.880

Fecha 03/07/2023

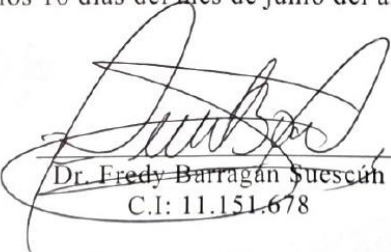


REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**CONSTANCIA DE APROBACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN
PÚBLICA DEL TRABAJO DE GRADO**

Quien suscribe, Dr. Fredy Barragán Suescún, portador de la cédula de identidad N° 11.151.678, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano Dylan Jesús Rosales Rosales, portador de la cédula de identidad N° 28.246.836, titulado **PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE AIRE PARA LA COMBUSTIÓN EN LAS CALDERAS DE ALIMENTOS HEINZ DE VENEZUELA C.A.**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 16 días del mes de junio del año dos mil veintitrés.


Dr. Fredy Barragán Suescún
C.I: 11.151.678



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA

FI N 003 2022-3CR TG

Valencia, 14 de abril de 2023

Ciudadano:
ROSALES ROSALES, DYLAN JESÚS
28.246.836
Presente -

Cumplo con informarle que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 02-2023 de fecha 08/02/2023 aprobó el proyecto de grado titulado:

Propuesta de diseño de un sistema de precalentamiento del aire suministrado para la combustión en las calderas de Alimentos Heinz de Venezuela.

Presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Se ratifica la designación del Tutor Académico que lo asesorará en el desarrollo de este proyecto a:
Dr. Fredy Barragán Suescún, titular de la cédula de identidad V-11.151.678

Atentamente

Dra. Laura Aurora Sáenz Palencia
Decana de la Facultad de Ingeniería



c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería

AGRADECIMIENTOS

Principalmente, agradezco en plenitud a Dios, quien ha sido mi guía y apoyo a lo largo de toda mi trayectoria estudiantil, su protección y compañía han dado lugar a una constante mejoría como persona y prójimo.

Agradezco a mi madre, Nereyda Rosales, quien me concedió apoyo incondicional a lo largo de mi carrera estudiantil, debo cada palabra y cada acción de este trabajo a ti. Eterna gratitud a quien debo toda mi crianza, estudio y superación. Agradezco a mi abuela, Eriberta Carmona, quien ha sido clave en mi desarrollo personal y mantiene constante atención a cada paso que doy. Por último, a Loyola Rosales, mi tía y madrina, quien de igual manera ha mantenido foco a cada progreso académico que he logrado y considero muy importante para mi vida. Nuevamente resalto, gracias totales.

A mis compañeros de estudio, quienes hicieron de mi trayectoria en la universidad, una experiencia inolvidable. A Cesar Gómez, compañero y amigo que estuvo presente todo este tiempo y me apoyó innumerables veces a lo largo de mi carrera.

Por último y no menos importante, agradezco a cada profesor que haya dedicado tiempo para formarme académicamente y ayudarme a regir el camino que deseo tener como futuro ingeniero mecánico.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	pp.
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE IMÁGENES.....	ix
LISTA DE GRÁFICOS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación del Problema.....	8
1.3 Objetivos de la Investigación.....	9
1.3.1 Objetivo General.....	9
1.3.2 Objetivos Específicos.....	9
1.4 Justificación.....	9
1.5 Alcance y Limitaciones.....	11
II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes.....	12
2.2 Bases Teóricas.....	15
2.2.1. Variables involucradas.....	15
2.2.2. Teorías centrales de la investigación.....	16
2.2.3. Equipos diseñados para transferir calor.....	19
2.2.4. Combustión.....	21
2.2.5. Eficiencia.....	23
2.2.6 Balance de energía.....	26

2.3 Bases Legales.....	27
2.4.1. American Society of Mechanical Engineers (ASME).....	27
2.4.2. Tubular Exchangers Manufacturers Association (TEMA)....	28
2.4.3. Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN)	29
2.4 Definición de Términos.....	30
III	
MARCO METODOLÓGICO	
3.1 Tipo de Investigación.....	32
3.2 Diseño de la Investigación.....	32
3.3 Nivel de la investigación.....	33
3.4. Población y muestra.....	33
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	34
3.6. Técnicas de análisis de resultados.....	35
3.7. Fases metodológicas.....	36
3.8. Cuadro de operacionalización de variables.....	37
IV	
RESULTADOS	
4.1 Fase I: Diagnóstico de la condición actual del consumo de combustible durante el proceso de generación de vapor en las calderas de la empresa.....	38
4.1.1 Descripción del proceso de generación de vapor.....	39
4.1.2 Análisis de respuestas de la entrevista estructurada.....	44
4.2 Fase II: Definición de los parámetros que intervienen en el diseño de un sistema de precalentamiento de aire para combustión.....	55
4.2.1 Presentación de debilidades.....	56
4.2.2 Eficiencia de la caldera.....	56
4.2.3 Temperatura objetivo de precalentamiento.....	59
4.2.4 Fuente de calentamiento del sistema.....	59
4.2.5 Intercambiador de calor y selección de materiales.....	59
4.2.6 Consideraciones de seguridad y espacio.....	60

4.3 Fase III: Elaboración de la propuesta del diseño, funcionamiento, mantenimiento y control del precalentador de aire para la combustión de las calderas.....	60
4.3.1 Diseño y distribución del sistema de precalentamiento.....	62
4.3.2 Selección, modelado y simulación del intercambiador de calor	65
4.3.3 Aumento de eficiencia.....	72
4.3.4 Mantenimiento y control.....	75
4.4 Fase IV: Evaluación mediante un análisis predictivo, la factibilidad de la propuesta desde el punto de vista económico, ambiental, y operativo.....	78
4.4.1 Factibilidad económica	78
4.4.2 Factibilidad ambiental	81
4.4.3 Factibilidad operativa	82
 CONCLUSIONES.....	 83
RECOMENDACIONES.....	85
REFERENCIAS.....	86
APÉNDICES.....	88
ANEXOS.....	107

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	DESCRIPCIÓN	pp.
1	Logotipo de la empresa Heinz.....	3
2	Ilustración de las calderas 1 y 2 (20.000 lb/h c/u).....	3
3	Interior del calderín inferior de la caldera 2.....	4
4	Formas de transferencia de calor.....	14
5	Distintas trayectorias termodinámicas tomadas por un sistema.....	16
6	Tipos de intercambiadores de calor según la trayectoria del fluido.....	17
7	Intercambiador de calor tubular.....	19
8	Intercambiador de calor de placas.....	20
9	Intercambiador de calor de cascos y tubos.....	21
10	Intercambiador de calor de tubos y aletas.....	21
11	Ilustración del domo inferior de una caldera acuotubular.....	23
12	Esquema de funcionamiento de un precalentador de aire.....	25
13	Tipos de corazas para calderas, según nomenclatura TEMA.....	29
14	Plano de la sala de calderas de Alimentos Heinz de Venezuela C.A.....	39
15	Tanque Millón de agua general de Alimentos Heinz de Venezuela C.A.....	40
16	Distribución de entrada de gas natural a las calderas.....	40
17	Zona de tratamiento de agua para las calderas (suavización).....	41
18	Zona de desaireamiento y precalentamiento de agua suavizada.....	41
19	Suministro de gas para cada caldera.....	42
20	Caldera #1, domo inferior, superior y cámara de combustión.....	42
21	Chimenea de gases de escape de las calderas 1 y 2.....	43
22	Especificaciones técnicas de la caldera #3.....	48
23	Especificaciones técnicas de la caldera #2 (Iguales a la #1).....	49
24	Monitor Homeywell para control de agua.....	50
25	Panel Autonics para control de temperatura del agua de alimentación.....	51
26	Tabla de relación aire-gas de las calderas de la empresa.....	52

27	Tabla de Consumo mensual de gas natural en las calderas, año 2022.....	53
28	Diagrama de Ishikawa.....	56
29	Diagrama de etapas de la fase 3.....	61
30	Vista frontal de la caldera #1.....	62
31	Vista lateral de la caldera #1.....	63
32	Sección cónica en la salida de gases de escape.....	63
33	Sistema de tuberías intercambiador-admisión (Diámetro=180 mm).....	64
34	Matriz FODA – Intercambiador de calor de placas.....	66
35	Matriz FODA – Intercambiador de calor de tubos y carcasa.....	66
36	Matriz FODA – Termosifones aletados.....	67
37	Vista isométrica del intercambiador de calor de placas (Flujo cruzado).....	70
38	Placa del intercambiador de calor.....	70
39	Arreglo de placas del intercambiador.....	71
40	Disposición de la carcasa del intercambiador.....	71

LISTA DE TABLAS

TABLA	DESCRIPCIÓN	pp.
1	Entrevista #1.....	44
2	Entrevista #2.....	45
3	Entrevista #3.....	47
4	Valores de variables importantes en el proceso de generación de vapor....	55
5	Tabla de ponderación.....	68
6	Tabla de predimensionamiento del intercambiador de placas.....	69
7	Magnitudes de temperatura del intercambiador.....	72

>LISTA DE CUADROS

TABLA	DESCRIPCIÓN	pp.
1	Plan de trabajo para instalación.....	80
2	Materiales y equipos para la instalación.....	80



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE AIRE
PARA LA COMBUSTIÓN EN LAS CALDERAS DE ALIMENTOS HEINZ DE
VENEZUELA C.A.**

Autor: Dylan Rosales
Tutor: Dr. Fredy Barragán
Fecha: junio de 2023

RESUMEN INFORMATIVO

La intencionalidad del trabajo de grado es proponer el diseño de un sistema de precalentamiento de aire para la combustión en las calderas de Alimentos Heinz de Venezuela C.A; Comprendido en la línea de investigación de avances tecnológicos en tecnologías de información y comunicación, siendo un Proyecto Factible relacionado con la investigación primeramente documental ya que se da una descripción detallada de la empresa en estudio y las actividades realizadas por el autor y es también de campo, debido a que se analizó de manera sistemática el problema directamente en el área objeto de estudio. Cabe destacar, que, el nivel de investigación es descriptivo hacia lo diagnóstico, sustentada en una base teórica y legal, que sirve de fundamento para apoyar y reforzar el trabajo en referencia, donde los resultados se obtuvieron a través de la aplicación de técnicas de recolección de datos como la observación directa registrándose en un diario de campo, como segunda técnica se utilizó la entrevista estructurada, utilizando una guía de preguntas validadas, y por último, una revisión documental, la cual se realizó a través del análisis de antecedentes almacenados en una computadora. En función a las cuatro fases metodológicas que están alineadas a los objetivos específicos planteados, resaltando el objetivo de aumentar la eficiencia en el proceso de generación de vapor en las calderas, siendo este vapor generado vital para la reducción de alimentos en las líneas productivas, la implementación de este sistema garantiza un ahorro en el consumo de combustible entre 0,1 y 3,5 m³ de gas natural por hora, y una disminución de la emisión de gases tóxicos para el ambiente causantes del efecto invernadero, aunado a esto, se mantuvo en cuenta las exigencias de los clientes dentro de los procesos propios de la empresa garantizando así, el éxito productivo.

Descriptor: Caldera, precalentamiento, temperatura, eficiencia, combustible.



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE AIRE
PARA LA COMBUSTIÓN EN LAS CALDERAS DE ALIMENTOS HEINZ DE
VENEZUELA C.A.**

Autor: Dylan Rosales
Tutor: Dr. Fredy Barragán
Fecha: junio de 2023

ABSTRACT

The intention of the degree work is to propose the design of an air preheating system for combustion in the boilers of Alimentos Heinz de Venezuela C.A; Included in the research line of technological advances in information and communication technologies, being a Feasible Project related to primarily documentary research since a detailed description of the company under study and the activities carried out by the author is given and it is also field. , because the problem was systematically analyzed directly in the area under study. It should be noted that the level of research is descriptive towards diagnosis, supported by a theoretical and legal basis, which serves as a foundation to support and reinforce the work in reference, where the results were obtained through the application of collection techniques. of data such as direct observation registering in a field diary, as a second technique the structured interview was used, using a validated question guide, and finally, a documentary review, which was carried out through the analysis of records stored in a computer. Based on the four methodological phases that are aligned to the specific objectives set, highlighting the objective of increasing the efficiency in the steam generation process in the boilers, this steam being generated vital for the production of food in the production lines, The implementation of this system guarantees savings in fuel consumption between 0.1 and 3.5 m³ of natural gas per hour, and a decrease in the emission of toxic gases for the environment that cause the greenhouse effect, coupled with this, it kept in mind the demands of the clients within the company's own processes, thus guaranteeing productive success.

Descriptors: Boiler, preheating, temperature, efficiency, fuel.

INTRODUCCIÓN

Contextualizando el ámbito empresarial, existe una búsqueda constante de la eficiencia como vía para darle cara a la constante competencia en el mercado venezolano, tomando en cuenta las dificultades que afronta al país, sumado a la variante demanda por parte de los consumidores. Esto implica mejorar la forma de hacer las cosas estableciendo el foco estratégico que deberá prevalecer en las actividades que se desarrollan en planta, estando dispuesto a cambiar o mejorar cuando sea necesario.

Alimentos Heinz de Venezuela C.A. es una industria instaurada en Venezuela desde 1959 filial de Kraft Heinz que produce salsas de todo tipo, entre las que destaca la salsa 57, más conocida como ketchup. Heinz también comercializa condimentos, sopas, jugos y alimentos para niños. Dentro de las etapas de procesamiento, se debe contar con ciertos requerimientos que permitan mantener los lineamientos de calidad de cada uno de estos productos. Tomando como referencia los Puntos Críticos de Control (PCC) encargados de acarrear al producto de cada línea, a un estado óptimo; en Heinz existen 3 PCC, estos son la etapa de control de pH, etapa de control de rayos X y la etapa de pasteurización del producto, este último requiere de una fuente constante de vapor para su correcto funcionamiento.

La generación de vapor es un proceso en el cual debe disponerse de combustibles, un combustible es aquel material que al oxidarse violentamente puede producir calor, energía o luz, que generalmente libera energía de su estado potencial a un estado utilizable, sin importar si se hace de manera directa o mecánica, originando como residuo el calor.

Resaltándose esto, se hace énfasis en la presente dificultad ante la búsqueda de combustibles necesarios para la combustión en los generadores de vapor industriales, llamados calderas. En esta adversidad radica la realización del presente trabajo, que tiene como objetivo aumentar la eficiencia de este proceso de generación (entiéndase como eficiencia la cantidad de combustible necesario para producir una cantidad de vapor requerido), para ello, se propone el diseño de un sistema de precalentamiento de aire, dicho sistema funciona aprovechando los gases de escape de las calderas, para así calentar el aire entrante, mientras mayor sea la temperatura del aire entrante, menor combustible requerirá para generar vapor, cumpliendo así con el aumento de la eficiencia de la caldera.

El siguiente proyecto de trabajo de grado está constituido por cuatro capítulos, donde el capítulo I consta del problema, planteamiento del problema, formulando la investigación, objetivo general y específicos, justifica la investigación, y se plantean los alcances y limitaciones.

Consecuentemente, en el Capítulo II, se plantea el marco teórico de la investigación, es decir, los antecedentes de la investigación, las bases teóricas, bases legales, las definiciones de términos del proyecto planteado.

El Capítulo III, muestra al marco metodológico, donde se encuentra el tipo, diseño y nivel de la investigación, la población y muestra, las fases de la investigación, las técnicas de la recolección de los datos, técnicas para el procesamiento de datos, y las fases de la investigación.

Y posteriormente, se encuentra el Capítulo IV, donde se desarrollaron cada una de las fases planteadas para lograr el objetivo general del proyecto.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Durante las últimas décadas, el potencial energético y las diversas aplicaciones que tiene el vapor de agua, han dado pie a la progresiva instalación de generadores de vapor, siendo de gran interés para el sector hospitalario, hotelero y en un grado superlativo, el industrial, estos sectores presentan una gran demanda de dicho recurso para variadas aplicaciones como el calentamiento de agua, cocción de alimentos, generación de electricidad, calefacción y esterilización.

Para la generación de este recurso, es necesaria la disposición de combustibles, un combustible es aquel material que al oxidarse violentamente puede producir calor, energía o luz, y que generalmente libera energía de su estado potencial a un estado utilizable, sin importar si se hace de manera directa o mecánica, originando como residuo el calor. Esto quiere decir que los combustibles son sustancias capaces de ser quemadas o que son propensas a quemarse.

El gas natural es un combustible fósil e hidrocarburo producto de la mezcla de gases ligeros de origen natural. Principalmente contiene metano, alcanos y en un bajo porcentaje dióxido de carbono, nitrógeno, ácido sulfhídrico y helio. El gas se forma cuando varias capas de plantas en proceso de descomposición y restos de animales se exponen a calor intenso y presión bajo la superficie de la Tierra durante millones de años. Los principales usos del gas natural son para la calefacción y procesos industriales, mediante la implementación de calderas. También es muy utilizado en centrales eléctricas de alto rendimiento, como son las de ciclo combinado gas-vapor.

Las mayores reservas de gas natural del mundo, con un total de 47.805 kilómetros cúbicos, se encuentran en Rusia, que es también el mayor exportador de gas natural, con un envío estimado de 196.000 millones de metros cúbicos de gas al año. Los siguientes países con mayores reservas de gas son Irán, Qatar y Estados Unidos, Arabia Saudita, EAU y Venezuela.

La escasez del gas natural es una arista que ha tomado peso en los últimos años a causa de factores de talla mundial. A principios del año 2022, la disminución de la oferta del gas natural estaba empezando a extenderse, este hidrocarburo se vio gravemente afectado por la pandemia causada por el COVID-19. Sin embargo, tras el fin de los bloqueos, cuando las economías empezaron a recuperarse, la demanda del gas se disparó, pero a pesar de esto, la producción todavía tiene que ponerse al día. A pesar de repunte de la producción por la disminución de bloqueos, se

presentó otro evento que ha tenido repercusiones a escala mundial, éste es el conflicto bélico actualmente disputado entre Rusia y Ucrania, este suceso ha significado un perjuicio en la producción y exportación de gas de parte de Rusia (siendo el país referencia de este ámbito). La inestabilidad desatada no sólo ha encerrado a la Unión Europea en una crisis energética, sino que también podría exponer al mundo entero a una escasez del suministro, además de disparar los precios de forma exponencial por el desequilibrio entre oferta y demanda.

Resaltándose esto, queda en evidencia que el sector industrial debe disponer de planes de acción que permitan hacerle frente a la presente “crisis” del gas natural, de forma que permita mantener sus objetivos productivos y no desfavorecerse económicamente. Para ello, se necesita diagnosticar el consumo de combustible a lo largo de todos los sectores de la planta, con el fin de estratificar la problemática y actuar en pro de la reducción del mal consumo del recurso.

En la actualidad, la mayoría de las empresas del sector industrial a lo largo de todo el mundo tienen acceso a información sobre el uso eficiente del combustible, el proceso de generación de energía a partir de este, y su consecuente repercusión en el medio ambiente. Sin embargo, es frecuente observar que muchas de estas empresas carecen de las tecnologías, personal técnico y equipos adecuados para adaptar sus instalaciones con métodos ahorrativos de energía y minimizadores de contaminación.

Alimentos Heinz de Venezuela C.A (Ver Figura 1). es una industria transnacional ubicada en San Joaquín, Estado Carabobo, es una filial de Kraft Heinz que produce salsas de todo tipo, entre las que destaca la salsa 57, más conocida como ketchup. Heinz también comercializa condimentos sopas, jugos y alimentos para niños. Dentro de las etapas de procesamiento, se debe contar con ciertos requerimientos que permitan mantener los lineamientos de calidad de cada uno de estos productos. Tomando como referencia los Puntos Críticos de Control (PCC) encargados de acarrear al producto de cada línea, a un estado óptimo, en Heinz existen 3 PCC, estos son la etapa de control de pH, y etapa de control de rayos X y la etapa de pasteurización del producto, este último requiere de una fuente constante de vapor para su correcto funcionamiento.



Figura 1: Logotipo de Heinz

Fuente: Departamento KHMS, Alimentos Heinz de Venezuela

El aprovechamiento del calor es un factor clave para la correcta fabricación de alimentos, y para satisfacer esto, suelen utilizarse calderas en las plantas; en Alimentos Heinz de Venezuela C.A. las calderas instaladas se utilizan principalmente en el proceso de destilación, desinfección, secado y evaporación durante el procesamiento de alimentos; el vapor de alta temperatura sirve para cocinarlos, secarlos y desinfectarlos (Ver Figura 2).



Figura 2: Ilustración de las calderas 1 y 2 (20.000 lb/h c/u)

Fuente: Rosales, D. (2023)

Una caldera o generador de calor es un equipo capaz de producir calor al quemar un combustible en su interior, transmitiendo ese calor a un fluido que en la mayoría de los casos será agua y que en general se denominará fluido caloportador.

Las calderas de vapor industriales son depósitos cerrados que mediante la quema de

combustibles de diversos tipos (gas natural o licuado de petróleo, diésel, fuel, o biomasa) calientan el agua hasta su evaporación. El vapor formado se conduce a través de un entramado de tuberías a todas las partes de la fábrica y suministrado a las máquinas que lo requieran. Las calderas son indispensables para las industrias, sin ellas, muchas empresas como textiles y alimenticias, no pudiesen realizar adecuadamente gran cantidad de sus etapas productivas.

La empresa cuenta con tres calderas integradas en sus instalaciones, dos de ellas operativas durante todo el año, que abastece de vapor a las líneas principales. La tercera caldera solo se utiliza en el periodo de zafra de tomate, el cual inicia en febrero y culmina en mayo de cada año.

Las calderas encargadas del abastecimiento de vapor a las líneas principales tienen una capacidad de 20.000 lb/horas cada una (ver Figura 3), y la caldera para zafra de tomate tiene una capacidad máxima de 50.000 lb/horas. Todas las calderas funcionan utilizando gas natural como combustible, y su consumo varía en función de capacidad a la que esté corriendo las líneas productivas. Las tres calderas son de tipo acuotubular, esto implica que su estructura involucra dos calderines donde transcurre el agua que se convertirá en vapor. El agua circula por convección entre los dos calderines, mientras que el calor atraviesa los haces de tubos. El agua más fría desciende hacia el calderín inferior y el agua recalentada asciende hacia el interior del calderín superior donde se produce el proceso de vaporización del agua y por tanto la generación de vapor.



Figura 3: Interior del hogar de la caldera 2
Fuente: Rosales, D. (2023)

El rendimiento energético de una caldera industrial puede fluctuar en un rango variable en función del tipo de combustible y el grado de sobredimensionamiento, este último se entiende como la cantidad de vapor que es capaz de producir la caldera y que sobrepasa la cantidad real necesaria demandada por el consumidor. Un estudio realizado en Serbia a un 25% de las calderas instaladas el rendimiento energético se encuentra alrededor del 89,4%. En el caso particular de los generadores de vapor es indispensable la medición instantánea de parámetros operacionales para comprobar que la energía disponible se aproveche de la manera más eficiente posible.

El consumo de combustible debe mantenerse en constante monitoreo, debido al uso continuo, y su recurrente malgasto durante los distintos periodos de producción que tenga una planta. Mientras mayor sea el consumo de combustible, mayor será el desembolso de la empresa, y más visible será su impacto en el ambiente. Especificar el consumo de una caldera industrial es una labor prácticamente imposible, debido a la cantidad de elementos que pueden afectarlo, por el contrario, lo que sí es factible es obtener un aproximado que dé lugar a una equivalencia según la capacidad de la caldera. Ejemplificándose en Alimentos Heinz de Venezuela C.A, las dos calderas de 20.000 lb/h consumieron poco menos de 170.000 m³ de gas en el mes de diciembre, equivalente a 1.750.000 kWh aproximadamente.

Desde esta perspectiva logra observarse que, el déficit de producción de combustible a nivel mundial y nacional es un factor que arremete tanto operativa como económicamente a la empresa, y sin un buen control y regulación de este, los gastos pueden incrementarse de manera considerable.

Por último, el uso de combustibles fósiles como el gas natural, gas licuado del petróleo (GLP), Diesel y fuel oíl en el proceso de producción de vapor tienen un alto impacto ambiental tomando en cuenta que los mismos provienen de fuentes no renovables. Tal situación unida a la gran cantidad de equipos instalados con elevados grados de sobredimensionamiento y baja eficiencia provoca que la generación de vapor contribuya de manera negativa a la contaminación ambiental por concepto de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) El ahorro y la reducción del impacto ambiental de la actividad humana se presentan como una de las tendencias actuales más relevantes. Una consecuencia directa en la mejora del rendimiento energético es la disminución de emisiones de CO₂ y Óxidos de Nitrógeno al ambiente.

1.1.1 Formulación del Problema

La realización del presente proyecto de trabajo de grado plantea la siguiente interrogante:
¿De qué manera se puede disminuir el consumo de combustible durante el proceso de combustión en las calderas de Alimentos Heinz de Venezuela?

1.2 Objetivos de la Investigación

1.2.1 Objetivo General

- Proponer el diseño de un sistema de precalentamiento de aire para la combustión en las calderas de Alimentos Heinz de Venezuela C.A.

1.2.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar la condición actual del consumo de combustible durante el proceso de generación de vapor en las calderas de la empresa.
- Definir los parámetros que intervienen en el diseño de un sistema de precalentamiento de aire para combustión.
- Elaborar la propuesta del diseño, funcionamiento, mantenimiento y control del precalentador de aire para la combustión de las calderas.
- Evaluar mediante un análisis predictivo, la factibilidad de la propuesta desde el punto de vista económico, ambiental, y operativo.

1.3 Justificación de la Investigación

Alimentos Heinz de Venezuela C.A, se encuentra establecida con más de sesenta años de presencia en el mercado venezolano, los procedimientos a emplear son de vital importancia para el funcionamiento correcto de sus líneas de producción. Con la puesta en marcha del diseño de un sistema de precalentamiento en las calderas de la empresa Alimentos Heinz de Venezuela C.A aplicando la reutilización de gases de escape, se relaciona directamente la teoría con la práctica y la razón principal que motiva a realizar este proyecto es ayudar a los diferentes problemas que enfrenta la empresa con respecto al consumo del combustible, y correcta producción de vapor.

La realización de este trabajo pretende identificar en primer lugar los factores que afectan negativamente la producción de vapor en la zona objeto de estudio, para posteriormente proponer correctivos que permita mantener los niveles productivos, e incluso que se traduzcan en una mayor producción, disminución del tiempo de producción, así como un incremento de la eficiencia de las calderas.

Además de esto, el presente estudio mantiene en constante monitoreo cada una de las repercusiones que conllevan su implementación en el medio ambiente; En cualquier sistema de generación de energía, existen porcentajes de disipación de energía, en forma de calor sencillamente, o cualquier otro medio de escape, estos elementos son los causantes de fenómenos perjudicantes del planeta; El CO₂ que se acumula alrededor de la Tierra crea una barrera en la atmósfera, de manera que, el calor que viene del sol sea capaz de pasar a través de esta y golpear la superficie terrestre, calentando nuestro planeta. Parte de este calor es irradiado de vuelta a la atmósfera. Sin embargo, si los niveles de CO₂ de nuestro planeta son demasiado altos, el calor irradiado no puede penetrar hacia afuera a través de la barrera, y por lo tanto regresa a la superficie de la tierra. Este efecto es el más tomado en cuenta en repercusiones industriales y se conoce como efecto invernadero.

La investigación mantiene como foco a lo largo de su realización, el mejorar y mantener el control de emisión de gases en la chimenea de las calderas, para así evitar el crecimiento desmedido del mencionado fenómeno, para esto, el sistema a implementar cuenta con un proceso de reutilización de estos gases, generando así, una notoria disminución de la contaminación.

El presente estudio es reflejo y reporte de todos los conocimientos adquiridos durante la carrera estudiantil. Se describen algunos conceptos y temas importantes e indispensables para el desarrollo del estudio, como las fases del agua, tipos de calderas, montaje y la instalación de equipos industriales como calderas o sus equipos secundarios. Además, por el aporte y uso de software SOLIDWORKS® en vertientes como el diseño, modelado, y simulación, se otorgan aspectos tecnológicos y a su vez un aspecto institucional para los cálculos y análisis de operatividad aprendidos en la formación profesional en ingeniería mecánica.

Es de mucha importancia el conocimiento del procedimiento para la puesta en marcha de la caldera, por lo que se ejemplifica este proceso desde la verificación después de la instalación, hasta la operación normal del calderín. Disponer de agua caliente para algunos procesos semi-industriales, los cuales puedan servir para futuros proyectos de investigación que involucren procesos de generación de vapor.

1.4 Alcances

El alcance del proyecto es el diseño y simulación de un prototipo de una caldera con un sistema de precalentamiento de aire para la combustión y contrastarla con una caldera sin el sistema propuesto existente en la empresa Alimentos Heinz C.A, ubicada en San Joaquín, Estado

Carabobo, en la República Bolivariana de Venezuela. El diseño realizado permitirá establecer las ventajas que conllevaría una futura instalación del precalentador, aunado al plazo de tiempo estimado de amortización

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Sampier, (2008) señala que el marco teórico es un compendio escrito de artículos, libros y otros documentos que describen el estado pasado y actual del conocimiento sobre el problema de estudio. Nos ayuda a documentar cómo nuestra investigación agrega valor a la literatura existente”.

En el presente estudio, se genera como resultado diversos trabajos, experiencias y estudios vinculados a la temática; afianzando los aportes más significativos a la misma, con el propósito de establecer un marco de referencia que oriente el proceso de diseño de un sistema de precalentamiento de aire para la combustión de las calderas de Alimentos Heinz de Venezuela C.A.

2.1 Antecedentes de la investigación

Referente a las directrices de operación de un precalentador de aire de combustión en calderas, Castro, (2021) Divulgó su trabajo de grado titulado **“Mejoramiento de los parámetros de operación del precalentador de aire en la caldera TSXG de empresa papelera TRUPAL S.A Aplicando simulación fluidodinámica.”**. Universidad San Vallejo, Trujillo – Perú, para optar al título de ingeniero mecánico. En el cual se realizó un diagnóstico del estado de operación de los precalentadores de la empresa papelera TRUPAL S.A, para posteriormente visualizar oportunidades de mejora, para ello, mediante análisis de observación y método de recolección de datos, se determinó al precalentador primario susceptible a mejorar su operatividad; presentando salida de gases caliente al exterior de 195,4 °C y emitiendo aire caliente a la cámara de combustión de 126,45 °C, consumiendo combustible a 4,61 kg/seg con una relación aire-combustible de 26,84 kg aire/kg cble; Aplicando un balance de masa y energía, resultó en un 2.406,37 kW de potencia útil.

El aporte del mencionado trabajo radica en la estipulación de cálculos correspondientes para mejorar su transferencia de calor y obtener una nueva eficiencia de operatividad con ahorro en consumo de combustible. En la investigación se procedió a modelar, simular y comparar el precalentador de aire mediante software SolidWorks usando la herramienta Flow Simulation para respaldar los cálculos; y, por último, se factibilizó económicamente la propuesta.

Asi mismo, Bocanegra, (2018) presentó un trabajo de investigación titulado **“Influencia de los parámetros de operación en el rendimiento de la caldera pirotubular en una planta de**

harina”. Universidad San Pedro, Chimbote – Perú, para optar al título de ingeniero mecánico, donde se determinó la influencia de los parámetros de operación como el coeficiente de exceso de aire, temperatura del aire y temperatura del agua de alimentación, en la eficiencia obtenida de la caldera pirotubular en una planta de harina en Chimbote - Perú. En esta investigación, los resultados de dichos parámetros de operación lograron incrementar desde 82,82 % hasta 85,74 % la eficiencia de la caldera. Se determinó que al reducirse el exceso de aire desde 65 % hasta 30 %, la temperatura de los gases desde un valor de 220 °C a 180 °C; permite una mejora del rendimiento del caldero pirotubular lográndose un mejor aprovechamiento del calor residual contenido en los gases calientes mejorando el aporte de calor sensible.

Este estudio se relaciona estrechamente con los parámetros para tener en cuenta con la elaboración del diseño del precalentador, ya que adherirse a la optimización de los lineamientos de operación, se establece una proporcionalidad con el comportamiento del sistema y el desempeño que mostrará.

También, Gaona, (2017) presentó un trabajo de grado para optar al diploma de especialización en Ingeniería térmica; **“Aumento de la eficiencia térmica de una caldera industrial de 94 CC quemando gas natural”**. Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México – México. El estudio está dirigido al aumento de la eficiencia térmica de una caldera acuotubular a cargas térmicas desde 40 % a 100 % y presiones saturadas desde 2 a 10 bar. Para esto se desarrollaron planos de un precalentador para la caldera y se verificó la variación de la eficiencia con un sistema de cómputo.

Se vincula la investigación planteada ya que para el incremento de la eficiencia se estuvo diseñando un precalentador de aire de combustión utilizando termosifones bimetálicos, elementos vinculados al presente estudio. Sumado a los estudios térmicos que se involucran en ambas investigaciones, que permiten visualizar la factibilidad operativa del sistema, y por ende, su mejoría.

Por otro lado, Mendoza (2011) publicó un trabajo realizado en la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad de Guanajuato – México, titulado **“Diseño y construcción de intercambiadores aletados a flujo cruzado”** con el propósito de optar al título de ingeniero mecánico. Dicho trabajo abarca el desarrollo del diseño de un recuperador de calor de gases de escape de una caldera pirotubular.

Durante el desarrollo de este proyecto, se ha llevado a cabo un análisis detallado de los

principios de transferencia de calor y mecánica de fluidos para determinar las mejores características de diseño para los intercambiadores aletados a flujo cruzado. Se han considerado factores como la eficiencia térmica, la caída de presión y la resistencia mecánica, a fin de garantizar un rendimiento óptimo del intercambiador. Asimismo, se han evaluado diferentes materiales para la construcción de las aletas y el cuerpo del intercambiador, considerando su conductividad térmica, resistencia y costo. Se han utilizado técnicas de modelado y simulación para evaluar el rendimiento térmico y la resistencia mecánica de los diseños propuestos.

Por último, Lasso (2021) realizó un trabajo de grado titulado “**Diseño y simulación de un intercambiador de calor de tubo y coraza con una capacidad de 31 m³/h para el proceso de enfriamiento de agua hasta 16 °C en la planta Sigmplast**” para obtener el título en ingeniería mecánica en la Universidad Politécnica Salesiana – Quito. En el presente estudio el autor corrobora mediante una simulación utilizando el complemento Flow Simulation del software Solidworks el proceso de enfriamiento de agua utilizando un intercambiador de calor de tubo y coraza que realiza el intercambio de calor utilizando convección, los fluidos de trabajo son agua a 22 °C y 16 °C.

El estudio es claro sustento de información referente a las metodologías necesarias para un correcto proceso de simulación en la plataforma Flow Simulation, sus métricas y como hacer uso de sus complementos en el modelado del intercambiador. Además, se pueden evaluar los resultados del trabajo para determinar si los sistemas de transferencia de calor en calderas han cumplido con los objetivos de rendimiento y eficiencia. Se pueden identificar las áreas que requieren mejoras y ajustes para el diseño actual y considerar soluciones innovadoras para resolver cualquier problema encontrado.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Variables involucradas

Las condiciones para el correcto funcionamiento de generadores de vapor vienen regidas por las leyes de transferencia de calor (Fundamentos de intercambio de calor entre dos fluidos) estas operaciones tienen por objeto producir enfriamiento o calentamiento de una corriente en proceso. Para la adecuación de estas leyes, se deben plantear las variables que están involucradas, para el presente caso son: Flujo másico de una corriente que puede referenciar a un fluido frío o caliente, las temperaturas de los fluidos, y la cantidad de calor intercambiada por unidad de tiempo.

Para que pueda realizarse una transferencia de calor entre dos fluidos es necesario que

exista una diferencia de temperatura entre ellas, una superficie para transferir el calor (mayor el área mayor será la cantidad de calor transferido por unidad de tiempo entre ellos). Para mejorar el diseño del equipo se debe dirigir a la diferencia media de temperatura logarítmica, disposición de haz de tubos de la caldera, e incluso es preciso aumentar la velocidad de los fluidos

Según lo establecido por Cao, (1983), La presión de operación indica la presión manométrica al cual el equipo se encuentra a condiciones normales de operación, se presentan en los tubos y otro por el lado del cajón o carcasa del precalentador; y la presión de trabajo permisible máximo referente a la presión máxima que un equipo intercambiador de calor es sometido durante su operación (se considera la corrosión y temperatura de diseño); *La temperatura de diseño* es la temperatura (de mayor y menor grado) que se considerara al momento de plasmar la mejora en su diseño u operatividad del equipo entre los fluidos a intervenir en el precalentador.

Cengel, (2012) establece que: “*El calor* es el producto de la transferencia de energía térmica (es decir, de energía y entropía). La forma de energía que se transfiere entre dos sistemas debido a una diferencia de temperatura”

Por último, Gaona, (2017) establece en su trabajo de grado que:

“Un precalentador de aire es un sistema que permite recuperar cierta cantidad de calor de los gases de escape de una caldera, para que posteriormente lo transfiera al aire suministrado para la combustión, acelerando el aumento de la temperatura de la cámara, y de esta forma generar una mayor cantidad de vapor utilizando la misma cantidad de combustible”.

2.2.2 Teorías centrales de la investigación

2.2.2.1 Fundamentos de la transferencia de calor

La transferencia de calor es la energía en movimiento debido a una diferencia de temperaturas en uno o más fluidos. Esta puede presentarse de tres principales formas: Conducción, Convección, y Radiación.

Al citar los conceptos descritos en el libro “*Fundamentos de transferencia de momento, calor*” Welty, (1996), se plantea que:

“*La Conducción* es el proceso de interacción molecular en donde se trasfiere calor desde área de alta temperatura a otra área de baja temperatura dentro de un medio (sólido, líquido o gaseoso) en los que hay un gradiente de temperatura; **Convección** se conoce como el proceso que involucra transferencia de energía calorífica entre un fluido y una superficie de conducción, almacenamiento de energía y movimiento de mezcla, expresada por Isaac Newton. (Siendo la forma de transferencia de calor más relevante del presente estudio); Por último, la **Radiación** es un fenómeno electromagnético cuya naturaleza exacta se

desconoce, proceso donde el calor fluye de mayor a menor temperatura estando en ambiente separados por un espacio, no requiere de un medio para propagarse.”

Habiéndose mencionado, se ilustra en la figura 4.

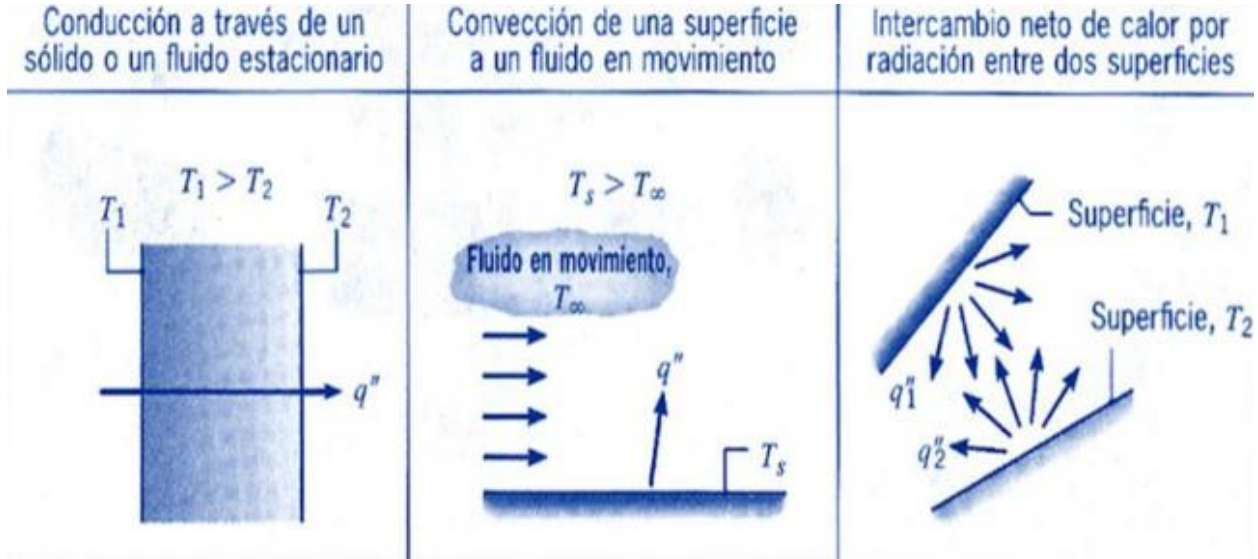


Figura 4: Formas de transferencia de calor

Fuente: Cengel, Y (2012)

2.2.2.2 Primera ley de la Termodinámica

Las calderas son dispositivos que están diseñados para generar vapor saturado. Este vapor saturado se genera a través de una transferencia de energía (en forma de calor) en la cual el fluido, que originalmente se encuentra en estado líquido, se calienta y cambia de estado. La transferencia de calor se efectúa mediante un proceso de combustión que ocurre en el interior de la caldera, elevando progresivamente su presión y temperatura. La presión no puede aumentar de manera desmesurada, ya que debe permanecer constante por lo que se controla mediante el escape de gases de combustión, y la salida del vapor formado; Debido a que la presión del vapor generado dentro de las calderas es muy grande, estas están construidas con metales altamente resistentes a presiones altas, como el acero laminado.

La Universidad William Marsh Rice, mejor conocida como Universidad Rice, Texas – Estados Unidos, cuenta con un recurso digital de información sobre los principios de la física general, en la sección “Termodinámica” establece que:

“La **Primera Ley de la Termodinámica** es un enunciado de conservación de energía. Indica que un sistema puede intercambiar energía con su entorno mediante la transmisión de calor y la realización de trabajo. La energía neta intercambiada es entonces igual al cambio en la energía mecánica total de las moléculas del sistema (es decir, la energía interna del sistema). Así, si un sistema está aislado, su energía interna debe permanecer constante.”

Todo estado de equilibrio de un sistema lleva asociada su energía interna E_{int} , y de esta forma, cualquier cambio en E_{int} para cualquier transición entre dos estados de equilibrio es:

$$\Delta E_{int} = Q - W$$

Al citarse lo anterior, queda en evidencia que las calderas son sistemas que cumplen los principios de la *Primera ley de la Termodinámica*, ya que la energía utilizada para el calentamiento del agua proviene de una combustión. Así mismo, la energía que no se pudo utilizar en el calentamiento el agua se pierde en forma de calor por radiación y convección, en los gases de combustión y agua de purga como conducción. La energía no utilizada no se destruye.

Aunque tanto Q como W dependen de la trayectoria termodinámica recorrida entre dos estados de equilibrio, su diferencia Q - W no lo hace. La figura 5 muestra el diagrama Presión-Volumen de un sistema que está haciendo la transición de “A” a “B” repetidamente a lo largo de diferentes trayectorias termodinámicas. A lo largo de la trayectoria 1, el sistema absorbe el calor Q_1 y trabaja W_1 ; a lo largo de la trayectoria 2, absorbe el calor Q_2 y trabaja W_2 , y así sucesivamente. Los valores de Q_i y W_i pueden variar de una trayectoria a otra.

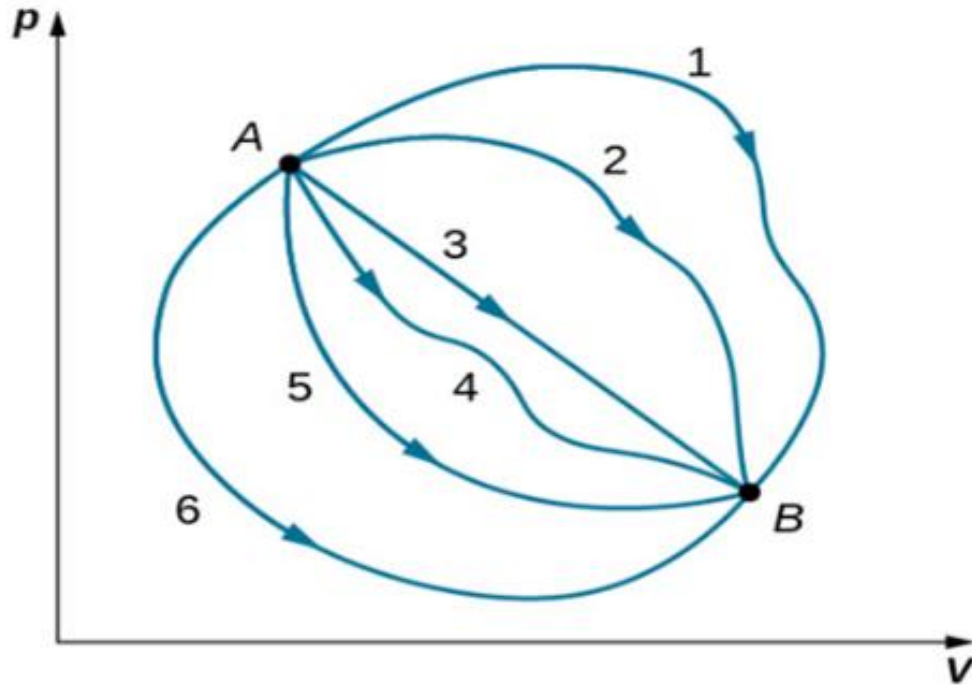


Figura 5: Distintas trayectorias termodinámicas tomadas por un sistema
Fuente: Cengel, Y (2012)

2.2.3 Equipos diseñados para la transferir calor

En el ámbito de la termodinámica, existen ciertas condiciones para definir y caracterizar a un equipo según ciertos criterios, estos criterios suelen resumirse en:

- Según la trayectoria que tiene el fluido
- Según la forma de transferencia del calor
- Según su aplicación.

Según la trayectoria que tiene el fluido

Se da cuando los fluidos que intervienen en un equipo de transferencia de calor presentan trayectorias distintas, clasificándose en intercambiadores de flujo paralelo, flujo en contracorriente o contraflujo, y por último flujo cruzado de un paso y pasos múltiples. Villanueva, (2017)

Para ejemplificar lo anterior, se ilustra la figura 6.

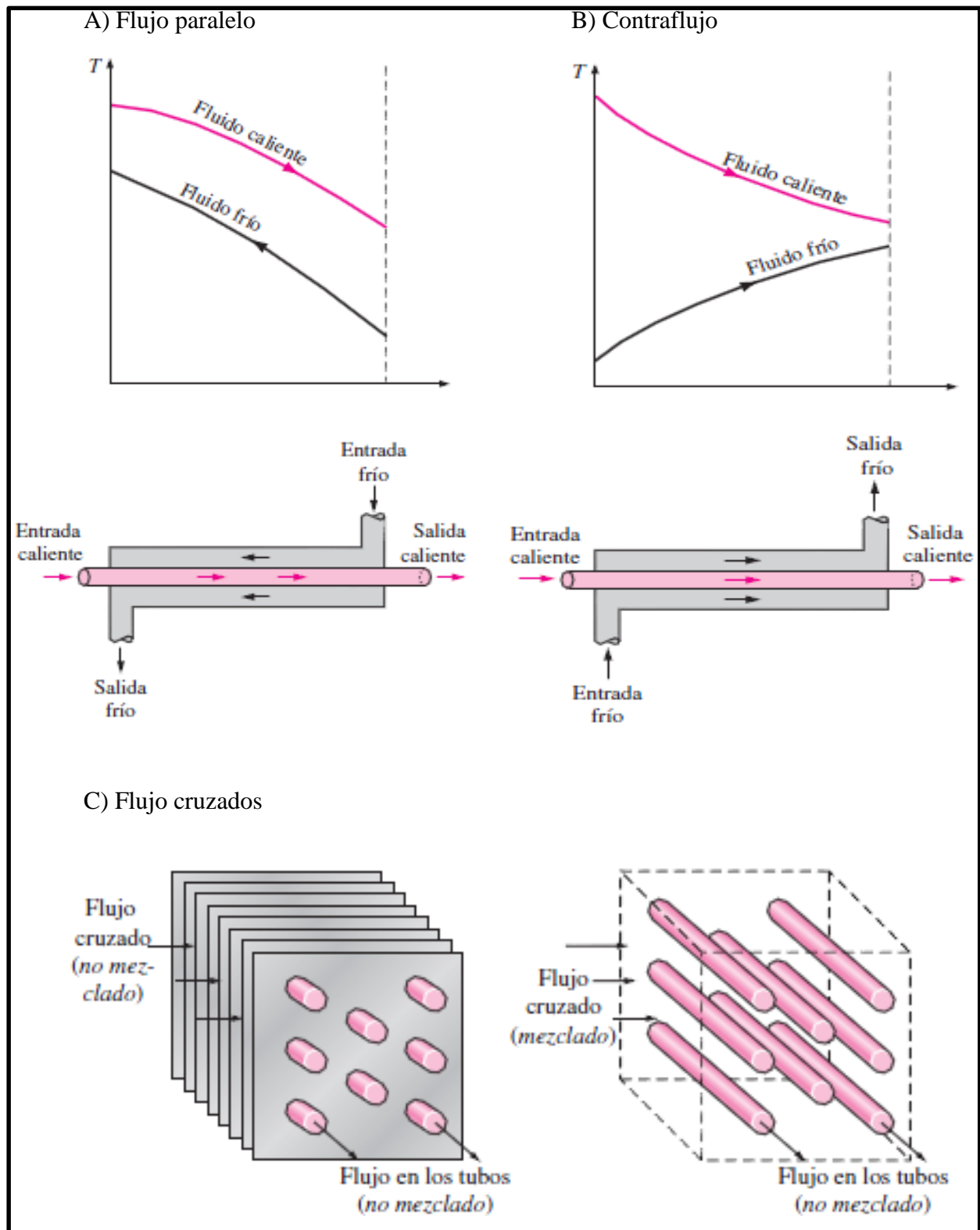


Figura 6: Tipos de intercambiadores de calor según la trayectoria del fluido

Fuente: Villanueva, J (2017)

Según la forma de transferencia del calor

Se clasifican en tres principales tipos de equipos:

- Regeneradores: En este tipo de equipos las dos corrientes de fluidos utilizan la misma vía de forma alterna, Es decir, el mismo espacio es ocupado alternativamente por los gases calientes y fríos entre los cuales se intercambia el calor.
- Intercambiador de calor cerrado: En estos equipos, la transferencia de calor se efectúa por medio del cuerpo que aleja las dos corrientes fluidas, este cuerpo puede ser un tubo, una placa o una pared que evita el contacto de los fluidos.
- Intercambiador de calor abierto: Realizan el intercambio de calor entre los fluidos permitiendo el contacto directo entre ellos.

Según su construcción

- Intercambiadores de calor tubulares: Es fabricado con tuberías de diferente diámetro, diferente material, y puede ser liso, aleteado o arrugado (Ver Figura 7). Está diseñado para presiones relativamente altas (evaporación y condensación, precalentadores de aire).



Figura 7: Intercambiador de calor tubular

Fuente: Negre, J. (2020)

- Intercambiadores de calor de placas: Presenta estructura de placas metálicas, con relieve o corrugado, formando el área necesaria para la transferencia de calor, este modelo no se puede usar para altas presiones ni temperaturas (Ver Figura 8).



Figura 8: Intercambiador de calor de placas
Fuente: NGF (2023)

- Intercambiadores de calor de tubos y coraza: Este modelo trabaja cuando ocurre transferencia de calor entre fluidos que no se mezclan o que no presentan contacto entre sí. Pensada en evitar fugas, tiene facilidad de limpieza y control de la corrosión (Ver Figura 9).



Figura 9: Intercambiador de calor de cascos y tubos
Fuente: Aletar, (2019)

- Intercambiador de calor de aletas y tubos: equipo muy compacto que, gracias a su proceso productivo donde los tubos son mecánicamente expansionados contra las aletas, garantiza altos coeficientes de intercambio térmico. Un ejemplo de este tipo de intercambiador son los termosifones bimetálicos, siendo los más comunes en sistema de precalentamiento de las calderas (Ver Figura 10).



Figura 10: Intercambiador de calor de tubos y aletas
Fuente: Boixac (2023)

Según la aplicación

Es la más conocida por todo profesional y personal de estos equipos como son: condensadores, economizadores, torres de enfriamiento, precalentadores de aire y calderas. Siendo así los últimos dos mencionados, elementos claves para la realización del presente estudio.

2.2.4 Combustión

Durante el proceso de generación de vapor, el calor necesario para la evaporación del agua debe producirse a partir de una reacción que permita elevar la temperatura al punto de ebullición del agua, he de aquí, la aparición de la combustión.

Salvi, (1975) establece en su libro “La Combustión” que:

“la combustión son las reacciones de oxidación que se producen de forma rápida, de materiales llamados combustibles, formados fundamentalmente por carbono (C) e hidrógeno (H) y en algunos casos por azufre (S), en presencia de oxígeno, denominado el comburente, y con gran desprendimiento de *calor*.”

El área de combustión de una caldera normalmente tiene tubos que contienen agua y vapor que pasan a través de una caja abierta que puede contener quemadores y controles. El diseño del tubo puede mejorar la eficiencia mediante el uso de sistemas de múltiples pasadas, los tubos pueden pasar a través de la zona de combustión más de una vez para utilizar completamente el calor de combustión, lo que también mejora la eficiencia (Ver Figura 11).

La eficiencia de combustión de la caldera para mezclas de aire y combustible es fundamental para el funcionamiento adecuado de la caldera. Una molécula de combustible requiere una cantidad teórica de oxígeno para quemarse por completo, pero en realidad se necesita un exceso de oxígeno debido a varias pérdidas en la zona de combustión. El aire tiene aproximadamente un 21 por ciento de oxígeno, por lo que el nitrógeno no quemado en el aire también debe calentarse en la caldera y ventilarse por el conducto de humos. Esto afecta aún más la eficiencia de la caldera y produce compuestos de nitrógeno que se han relacionado con la lluvia ácida y la formación de smog.

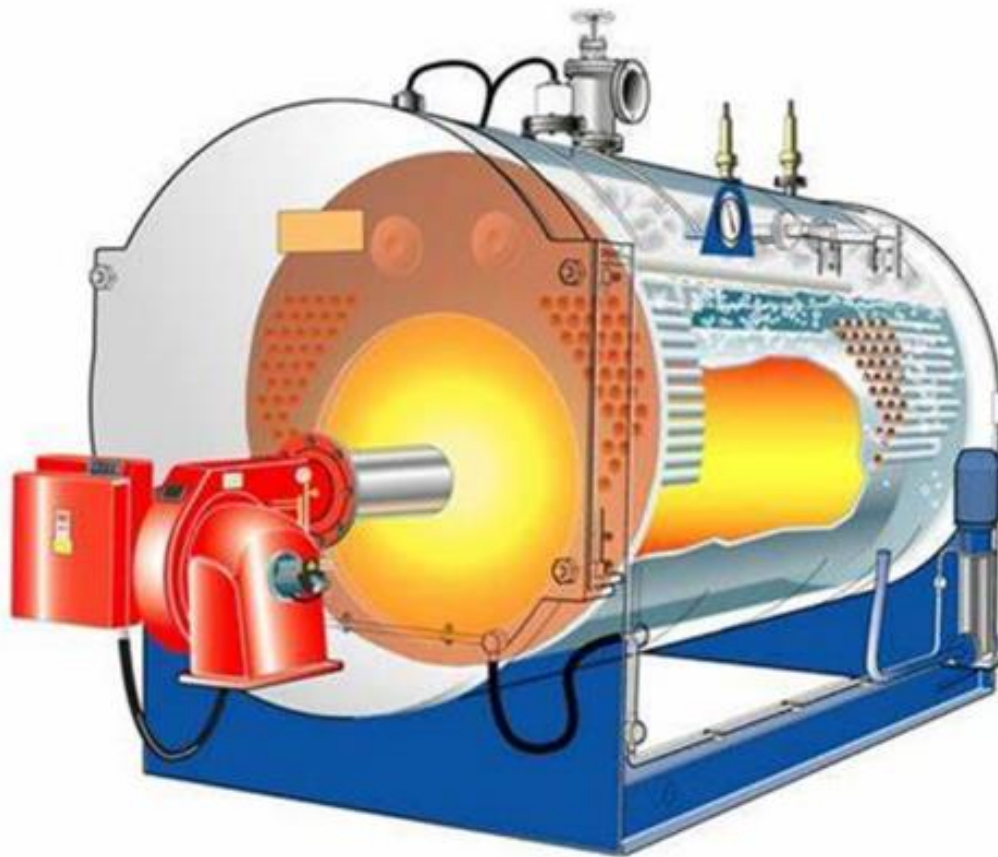


Figura 11 Ilustración del domo inferior de una caldera acuotubular.

Fuente: Comercial Foisa Web (2020)

2.2.5 Eficiencia

La eficiencia de una caldera industrial se refiere a la capacidad de la caldera para convertir la energía de combustión en vapor de manera efectiva y con la menor cantidad de pérdidas posibles. La eficiencia es un aspecto importante en la industria, ya que una caldera ineficiente puede tener un impacto negativo en la rentabilidad y la sostenibilidad de una empresa.

El valor de la eficiencia de una caldera se puede medir de diferentes maneras, pero la forma más común es a través del uso de la calificación de eficiencia térmica, sin embargo, la presente investigación tomará cuenta los dos principales métodos de cálculo de eficiencia.

a) Método directo: También es conocido como el Método de entrada y salida de la caldera debido al hecho que esto necesita sólo la salida útil de calor contenida en el vapor y la entrada o suministro de calor a través de una fuente de energía primaria como el combustible, para evaluar la eficiencia. Se basa en medir directamente los flujos de ingreso y salida de calor del sistema, obteniendo directamente los valores de la energía suministrada por el combustible y la energía aprovechada por fluido de trabajo para la formación de vapor. Amerita de disponibilidad de instrumentos de medición adecuados para el caso del aire: registrar el flujo de volumen, presión y temperatura. Para el combustible: la composición y temperatura. Y para el caso del vapor: la presión y cantidad de producción. Esta eficiencia puede ser evaluada usando la fórmula:

$$\eta = \frac{\text{Energía util producida}}{\text{Energía total suministrada}} \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Desglosando es igual a:

$$\eta = \frac{m_v \cdot (h_g - h_i)}{m_c \cdot PCI} \times 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

m_v = Flujo másico de vapor generado (kg/s)

h_g = Entalpia del vapor saturado (kJ/kg).

h_i = Entalpia del agua de alimentación (kJ/kg).

m_c = Flujo másico del combustible o consumo (kg/s).

PCI = Poder Calorífico Inferior del combustible (kJ/kg).

Donde:

- Energía útil producida: Se refiere a la cantidad de energía térmica que se convierte en vapor y se utiliza para fines útiles, como la producción de electricidad o la calefacción.
- Energía térmica total suministrada: Se refiere a la cantidad total de energía térmica que se produce a través de la combustión del combustible en la caldera.

Para calcular la energía útil producida, se debe conocer la cantidad de vapor producido por la caldera y la entalpía del vapor a la salida de la caldera. La entalpía es una medida de la energía térmica contenida en el vapor y se puede encontrar en tablas termodinámicas.

Por otro lado, para calcular la energía térmica total suministrada, se debe conocer la cantidad de combustible utilizado en la caldera y su poder calorífico. El poder calorífico es la cantidad de energía térmica que se puede producir a través de la combustión de una unidad de combustible y se expresa en unidades de energía por unidad de masa (por ejemplo, kJ/kg o BTU/lb).

Para calcular la entalpía se dispone de la siguiente fórmula:

$$h = h_0 + C_p(T - T_0) \quad (\text{Ec. 3})$$

b) Método indirecto

También llamado como método de las pérdidas de calor. Las desventajas del método directo pueden ser vencidas por este método, que calcula varias pérdidas de calor asociadas con la caldera. La eficiencia es calculada restando los porcentajes de pérdida de calor asociadas al equipo del total 100%. Una ventaja importante de este método consiste en que los errores en la medida no hacen el cambio significativo de la eficiencia, además la aplicación de este método está basada sobre todo en el análisis de gases de chimenea, y no requiere la medición del vapor generado por la caldera.

$$\eta = 100\% - \sum P_i \quad (\text{Ec. 4})$$

P_1 = Pérdida por la Entalpía de los gases secos

P_1 = Pérdida por la Entalpía del vapor de agua en los gases

P_1 = Pérdida por inquemados gaseosos

P_1 = Pérdida por inquemados sólidos

P_1 = Pérdida por convección

P_1 = Pérdida por radiación

2.2.6 Balance de energía del sistema

Dentro de las técnicas de conservación y uso eficiente de la energía utilizados para un ahorro de energía primaria (combustible) es el aprovechar los calores sensibles de los gases de la combustión que se emiten desde una chimenea a la atmosfera. Los equipos utilizados para precalentamiento de aire, también llamados recuperadores de calor, los cuales permiten aprovechar la temperatura de los gases de la combustión remanentes con la finalidad de incrementar la temperatura del aire comburente, que normalmente ingresa a temperatura ambiente.

Para ilustrar este fenómeno, se ilustra el siguiente esquema:

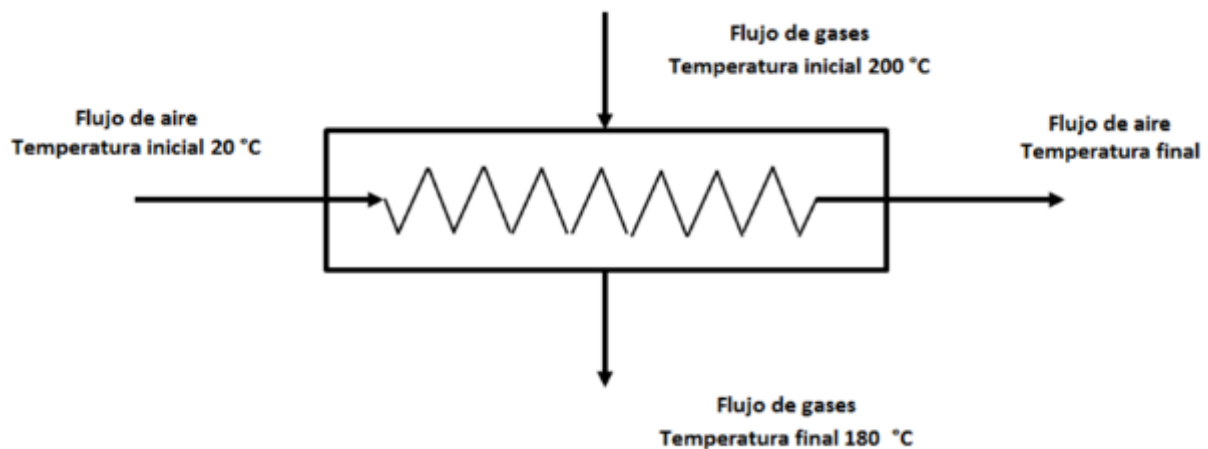


Figura 12: Esquema de funcionamiento de un precalentador de aire.

Fuente: Bocanegra, 2017

La realización de un balance de energía en este economizador o recuperador de calor se deduce a partir de la siguiente ecuación de intercambio de flujo de calor sensible:

$$m_g * C_p \text{ gases} * (T_i - T_f)_{\text{gases}} = m_a * C_p \text{ aire} * (T_i - T_f)_{\text{aire}} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

m_g = Flujo masico de combustible (lb/h)

$C_p \text{ gases}$ = Calor especifico de los gases de escape (kJ/kg °C)

$(T_i - T_f)_{\text{gases}}$ = Variación de la temperatura de los gases de escape antes y después de salir pasar por el precalentador

m_a = Flujo masico de aire (lb/h)

$C_p \text{ aire}$ = Calor especifico del aire (kJ/kg °C)

$(T_i - T_f)_{\text{aire}}$ = Variación de la temperatura del aire antes y después de salir pasar por el precalentador

A partir de estos datos, es factible calcular el flujo de calor suministrado posterior a la sumatoria de calor por aire precalentado.

$$\text{Flujo de calor suministrado} = m_{cPA} * PCI + m_a * C_p \text{ aire} * T_{\text{Aire}} \quad (\text{Ec. 6})$$

Cálculo de la temperatura media efectiva

Dentro de un intercambiador de calor las temperaturas de los dos fluidos fluctúan a lo largo de este y para poder calcular el coeficiente global de este se requiere un único valor que cuantíe esta diferencia de temperaturas. Por este motivo se requiere una fórmula que calcule una media de las diferencias de temperaturas entre los fluidos. Esta se calcula en función del tipo de flujo que se dé, puede ser a contracorriente o en paralelo.

$$\Delta T_{ML} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \left[\frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)} \right]} \quad (\text{Ec. 7})$$

ΔT_{ML} = diferencia media de temperaturas.

T_1 = temperatura de entrada del fluido caliente (K)

T_2 = temperatura de salida del fluido caliente (K).

t_1 = temperatura de entrada del fluido frio (K).

t_2 = temperatura de salida del fluido frio (K).

Dentro del intercambiador la circulación de los fluidos no es pura a contracorriente o en paralelo siempre existe una combinación de los dos. Es por este motivo que debe corregirse el valor de la diferencia de temperaturas utilizando un factor obtenido de gráficas expuestas en el TEMA o a partir de la siguiente expresión:

$$F = \frac{\sqrt{R^2+1} \cdot \ln\left[\frac{1-S}{1-RS}\right]}{(R-1) \cdot \ln\left[\frac{2-S[R+1-\sqrt{R^2+1}]}{2-S[R+1+\sqrt{R^2+1}]}\right]} \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde:

$$R = \frac{(T_1 - T_2)}{(t_2 - t_1)} \quad \text{y} \quad S = \frac{(t_2 - t_1)}{(T_1 - t_1)} \quad (\text{Ec. 9 y 10})$$

Aplicando este factor de corrección se obtiene la diferencia de temperaturas media efectiva.

$$\Delta T_{MF} = \Delta T_{ML} * F \quad (\text{Ec. 11})$$

2.3 Bases legales

Al haberse mencionado las bases que sustentan a la posible implementación de sistemas de intercambio de calor en industrias, como diferenciarlos, y como seleccionar el apropiado para cada caso, es necesario reflejar el enfoque del estudio desde normas que rijan los diseños de estos sistemas, con el principal objetivo de elaborar un trabajo una investigación dentro de los márgenes éticos, morales, y de seguridad de la integridad humana y ambiental, sumado a las normas que factibilizan los diseños para manifestar una mejoría en un proceso industrial. Para ello, se pautan las siguientes normativas internacionales:

2.3.1 American Society of Mechanical Engineers (ASME)

Es una asociación de profesionales, que ha generado un código de diseño, construcción, inspección y pruebas para equipos industriales donde destacan las calderas y recipientes sujetos a presión. Esta normativa internacional está compuesta por 11 secciones. En donde, la n°8, se encuentra dividida en tres subsecciones:

- Requerimientos generales: Esta sección se encuentra constituida por una serie de párrafos (UG-XX) donde se establecen los requerimientos de diseño tales como las cargas vivas, muertas para tener en cuenta en él, las fórmulas que establecen la manera de calcular el

material, tipos de acero, los espesores requeridos en cada una de las configuraciones (UG-16 a UG-35), además presión interna como externa (UG-36 a UG-46), los factores de seguridad, y los procedimientos de prueba (UG-90 – UG-103)

- Procesos de fabricación: Establece las consideraciones para la fabricación de recipientes a presión los procedimientos de prueba (UG-75 – UG-85) ya sea por AWS (soldadura) o doblado. Por otra parte, determina los tipos de juntas que existen en un recipiente y posición de la junta soldada dentro del recipiente y del tipo de END (Ensayos No Destructivos) que se haga a la soldadura, los procedimientos de prueba (UG-90 – UG-103).
- Materiales: Suministra una completa información acerca de los esfuerzos admisibles que llega a presentar los materiales normalizados en la fabricación de recipientes a presión tanto para aceros al carbón, aleados o inoxidable como materiales no-ferrosos (UG-4 a UG-15).

2.3.2 Tubular Exchanger Manufacturer Association (TEMA)

La normativa TEMA, se refieren a una serie de consideraciones para el diseño y la fabricación de intercambiadores tubulares producto de la experiencia de las empresas fabricantes a lo largo de los años, La clase de aplicación que se da al intercambiador de acuerdo con la severidad del servicio, encontrándose tres clases que cumplen con la sección 8, División I del ASME denominadas:

- Las normas mecánicas TEMA para intercambiadores de calor **clase R**, especifican el diseño, fabricación y materiales de intercambiadores de calor no sometido a fuego, para requerimiento generalmente riguroso en la industria de hidrocarburo.
- Las normas mecánicas TEMA para intercambiadores de calor **clase C**, especifican el diseño, fabricación y materiales de intercambiadores de calor no sometido a flama, para los requerimientos normalmente moderados de procesos comerciales y aplicaciones generales, buscando obtener el máximo de economía.
- Las normas mecánicas TEMA para intercambiadores de calor **clase B**, especifican el diseño, fabricación y materiales de intercambiadores de calor no sometido a llama, para el servicio de los procesos de la industria química.

En la figura 13 se pueden visualizar los tipos de corazas de intercambiadores de calor estandarizados, el cual fueron tomados de las normas TEMA.

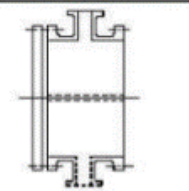
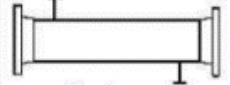

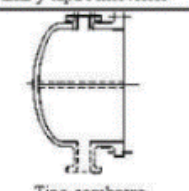


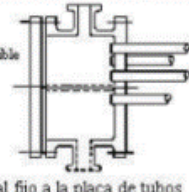

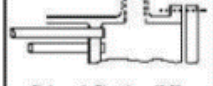
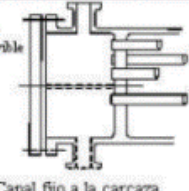


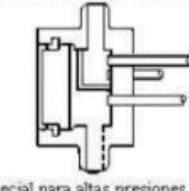
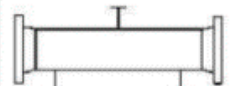
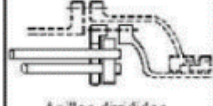
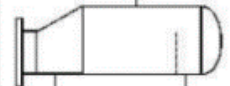
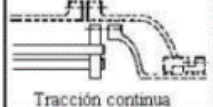
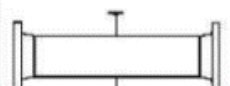


CABEZALES ANTERIORES: ESTACIONARIOS O FIJOS		TIPOS DE CARCAZAS	CABEZALES POSTERIORES
A	 Canal y tapa removibles	E  Un solo paso	L  Cabezal fijo tipo "L"
B	 Tipo sombrero	F  Dos pasos con deflector longitudinal	M  Cabezal fijo tipo "M"
C	 Tapa removible Canal fijo a la placa de tubos	G  Flujo distribuido	N  Cabezal fijo tipo "N"
N	 Tapa removible Canal fijo a la carcasa	H  Doble flujo distribuido	P  Flotante externo
D	 Especial para altas presiones	J  Flujo dividido	S  Anillos divididos
		K  Rehervidor tipo kettle	T  Tracción continua
		X  Flujo cruzado	U  Tubos en "U"
			W  Flotante sellado externamente

Figura 13: Tipos de corazas de intercambiadores de calor
Fuente: Nomenclatura TEMA (2017)

2.3.3 Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN)

La Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN), creada en 1958. Es el organismo encargado de programar y coordinar las actividades de normalización y calidad en el país; Para llevar a cabo el trabajo de la elaboración de las normas, la COVENIN constituye comités y comisiones técnicas de normalización, donde participan organizaciones gubernamentales y no gubernamentales relacionadas con un área específica.

En el campo del diseño de generadores de vapor, e intercambiadores de calor, debe tomarse como referencia las normas COVENIN 2218-84, 2217-84, y 2262-91, encargadas de estandarizar procesos de instalación, inspección y mantenimiento de generadores de vapor (Calderas). Dentro de estas normativas también involucran otras normas COVENIN relacionadas principalmente con los procesos de soldadura (504 A-83 y 504 B-83).

Por último, debe considerarse la norma COVENIN 1045-89, relacionada con la metodología establecida para el cálculo de la eficiencia en una caldera, dependiendo de la información disponible y de las características específicas de la caldera en cuestión.

2.3 Definición de términos básicos

- **Calderín:** Es un elemento de una caldera cuya misión es separar los fluidos (agua y vapor). En las calderas de paso único no existe este elemento y por tanto no hay un punto fijo de separación de las fases sino una transformación paulatina.
- **Coraza:** La coraza es la carcasa de un intercambiador, contiene una sección circular y es comúnmente construida a partir de enrollar una lámina de metal, de dimensiones apropiadas, formando un cilindro y posteriormente soldando a lo largo de la superficie.
- **Eficiencia:** Oelker, (2007) La eficiencia de una caldera, dicho de manera simple, corresponde a la razón entre el calor absorbido (por el agua, vapor, fluido térmico, etc.) y el calor liberado en el equipo. La diferencia entre el calor liberado y el calor absorbido corresponderá a las pérdidas de calor de la caldera.
- **Entalpía:** Connor, (2019) La entalpía es la medida de energía en un sistema termodinámico. Es la cantidad termodinámica equivalente al contenido de calor total de un sistema.
- **Entropía:** Connor, (2019) La entropía es una medida cuantitativa del desorden, o de la energía en un sistema para hacer el trabajo.
- **Factor de seguridad:** El factor de seguridad es la capacidad estructural de un sistema que determina la capacidad de carga más allá de su carga real. En otras palabras, lo fuerte que es el sistema diseñado.
- **Flujo másico:** García, (2014) Es la velocidad a la que la masa de una sustancia pasa a través de una superficie dada. Es una medida ampliamente utilizada en la dinámica de

fluidos. Viene expresada como la cantidad de masa que transcurre por una sección transversal (especifica por una unidad de tiempo (lbs/horas)).

- **Intercambiador de calor:** Según El Centro de investigación de Energía (Universidad Nacional Autónoma de México). Los intercambiadores de calor son dispositivos cuya función es transferir el calor de un fluido a otro de menor temperatura. La transferencia de calor se produce a través de una placa metálica o tubo que favorezca el intercambio entre fluidos sin que estos se mezclen.
- **Juntas:** Se denomina junta mecánica, junta de estanqueidad, empaque o empaquetadura a unos componentes de material adaptable que sirve para sellar bien la unión de caras de elementos mecánicos.
- **Presión:** Planas, (2016) La presión es la magnitud física que mide la fuerza ejercida en una unidad de superficie aplicada en dirección perpendicular a ésta.
- **Soldadura:** Kemppi, (2020) La soldadura se refiere a la unión o fusión de piezas mediante el uso de calor y/o compresión para que las piezas formen un continuo. La fuente de calor en la soldadura suele ser una llama de arco producida por la electricidad de la fuente de potencia de soldadura. La soldadura basada en un arco se llama soldadura por arco.
- **Temperatura:** Planas, (2016) La temperatura es una magnitud física que indica la energía interna de un cuerpo, o de un sistema termodinámico en general. También puede definirse como la medida de la energía cinética media de las moléculas que la forman. Es decir, los movimientos de las partículas en su interior.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Para Arias, (2012) “incluye el tipo o tipos de investigación, las técnicas y los instrumentos que serán utilizados para llevar a cabo la indagación. Es el "cómo" se realizará el estudio para responder al problema planteado”

De igual manera, Balestrini, (2006) define que: “El marco metodológico, está referido al momento que alude al conjunto de procedimientos lógicos, tecno-operacionales implícitos en todo proceso de investigación con el objeto de ponerlos de manifiesto y sistematizarlos a propósito de permitir descubrir y analizar los supuestos del estudio y de reconstruir los datos, a partir de los conceptos teóricos convencionalmente operacionales”

3.1 Enfoque de la investigación

Según el Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis del UPEL (2016), Esta investigación se considera como Proyecto Factible, considerando que la propuesta de diseño de un sistema de precalentamiento del aire suministrado para la combustión en las calderas de Alimentos Heinz de Venezuela C.A, ubicada en San Joaquín, Estado Carabobo. Consecuentemente, es la referencia de “La investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos”

3.2 Diseño de la investigación

Al haber seleccionado el tipo de la investigación, se procedió a seleccionar el diseño más apropiado, de acuerdo con las necesidades y requerimiento realizado.

Certifica Ramirez, (2012) que: “Es la estrategia que adopta el investigador para responder al problema planteado”, además, postula lo siguiente:

“Se refiere a los pasos, etapas y estrategias que se aplican para el logro de los objetivos planteados, es el planteamiento de una serie de actividades sucesivas, organizadas, adaptadas a los particulares de cada móvil de investigación, para indicar los pasos o pruebas a efectuar, así como las técnicas para recolectar y analizar datos”.

Atendiendo a la naturaleza del problema, los objetivos que se persiguen y el procedimiento empleado para el logro de los mismos, la propuesta de diseño de un sistema de precalentamiento

de aire suministrado para la combustión en las calderas de Alimentos Heinz de Venezuela C.A., en un principio se apoya en una investigación documental, ya que inicialmente se recauda la información necesaria de la empresa y se analiza el diagnóstico de los procesos productivos con el objetivo de ampliar y profundizar el conocimiento.

De igual forma, el presente estudio se fundamentó en una investigación de campo, porque se obtienen datos relativos al trabajo, directamente de las fuentes de información primaria, empleando observaciones con los actores directos del problema. Al respecto, la definición realizada en la Guía de Conceptos de Metodología de la Investigación de Arcay, (2005), una Investigación de Campo “consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna”.

3.3 Nivel de la investigación

En función del objetivo que se persigue, es de Nivel Descriptivo, el cual es definida por Tamayo, (2005) de la siguiente manera: “Busca especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis”. En este caso se realizó un diagnóstico de la situación y se describió los aspectos resaltantes para proponer el diseño de un sistema de precalentamiento de aire suministrado para la combustión en las calderas de Alimentos Heinz de Venezuela C.A. definiendo los parámetros e instrucciones para proponer y describir procedimientos.

Por otra parte, se puede decir que la presente investigación además es una investigación documental que aporta una observación sistemática sobre las realidades teóricas y empíricas usando diferentes tipos de documentos. Respecto a esto, Nava, (2018) nos dice que, la investigación documental es conocida como una investigación bibliográfica, “Es una investigación formal, teórica, abstracta si se quiere, por cuanto se recoge, registra, analiza e interpreta información contenida en documentos, soportes de información registrados, es decir, en libros, revistas, materiales iconográficos entre otros”.

3.4 Población y Muestra

Martinez, (2012) define la población “Como un conjunto de todas las cosas que concuerdan una serie de especificaciones”. De esta manera puede definirse a la población como: “Un conjunto de todas las cosas que concuerdan una serie de especificaciones”. El grupo de calderas de alimentos Heinz de Venezuela C.A. coincide con lo mencionado, por lo que se considera como la población a estudiar. Mientras que, según Sabino, (2007), define a la muestra:

“Es una parte del todo que llamamos universo y que sirve para representarlo, la muestra debe ser representativa para que resulte útil y poder llevar a cabo el trabajo, observando una porción relativa de unidades que permitan obtener resultados óptimos al reunir la información respecto al tema que se estudia”.

Puesto que se aplicaron las técnicas e instrumentos de recolección de datos a las calderas #1 y #2 de la empresa, estas son las muestras de la presente población.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En cuanto a la técnica Palella y Martins (2012), exponen que “Se refiere a las distintas formas y maneras de obtener la información. Para el acopio de los datos se utilizan técnicas como observación, entrevista, encuesta, pruebas, entre otras”.

Por otro lado, Arias, (2012) plantea que: “Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información.”

Las técnicas de recolección de datos son consideradas como aquellos medios que permitieron a la investigadora obtener la información necesaria para el desarrollo del trabajo. En el presente estudio se emplearon como técnicas de recolección de datos las siguientes:

- **Observación Directa:** Arias, (2012) afirma que: “La observación directa es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos”. Entre los instrumentos de recolección de datos a usar se encuentran los siguientes: *Ficha técnica*, la cual según el Sistema Nacional de Información (SNI) se define como “Un instrumento de constitución técnica que entrega de forma resumida información teórica, práctica y metodológica de un indicador o variable”. Por otro lado, se utilizó un *diario de campo*, elemento que (Alzate, 2008) define como: “Un instrumento de recolección de datos usado especialmente en las actividades de investigación lejanas a localidades con comodidad de análisis. Su nombre se debe a que el registro de los hechos se efectúa directamente en el espacio físico donde acontecen. Los datos recopilados a través del diario de campo son de diversa índole.”. Este elemento debe utilizarse con el fin del registro, organización y tabulación durante la toma cíclica de datos en la localidad de la actividad (Zona de calderas), sumado a comentarios y observaciones del proceso.

- **Entrevista estructurada:** Es una técnica que, según es planteado por Arias, (2012), puede definirse como: “Un simple interrogatorio, es una técnica basada en un diálogo o conversación "cara a cara", entre el entrevistador y el entrevistado acerca de un tema previamente determinado, de tal manera que el entrevistador pueda obtener la información requerida”; Esta técnica debe disponer de dos instrumentos principales: Una *guía de preguntas*, y una *grabadora*. Es importante enfatizar en que, la entrevista que se busca realizar presenta una estructura determinada, ya que esta se realiza a partir de una guía prediseñada que contiene las preguntas que serán formuladas al entrevistado.
- **Revisión documental:** Es una técnica naturalmente implementada, Valencia, (2016), comenta que la revisión documental: “permite identificar las investigaciones elaboradas con anterioridad, las autorías y sus discusiones; delinear el objeto de estudio; construir premisas de partida; consolidar autores para elaborar una base teórica; hacer relaciones entre trabajos; rastrear preguntas y objetivos de investigación; observar las estéticas de los procedimientos (metodologías de abordaje); establecer semejanzas y diferencias entre los trabajos”. La resolución de esta técnica amerita de un instrumento que permita visualizar cada antecedente encontrado, para el estudio a realizar se contará con una *computadora*.

3.6 Técnicas de análisis de resultados

En este punto se debe describir las distintas operaciones a las que fueron sometidos los datos que se obtengan a partir de las técnicas e instrumentos involucrados en el estudio. En lo referente al análisis, se deben definir técnicas lógicas (inducción, deducción, análisis-síntesis), o estadísticas (descriptivas o inferenciales), para descifrar lo que revelan los datos recolectados.

El presente estudio implementada dos (2) técnicas de análisis de resultados, estas son:

- **Matriz FODA:** Un análisis FODA o DAFO es una herramienta diseñada para comprender la situación de un negocio a través de la realización de una lista completa de sus fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas. Resulta fundamental para la toma de decisiones actuales y futuras. Puede ser aplicada a cualquier situación, individuo, producto, o empresa. La matriz FODA crea un diagnóstico certero y útil para detectar problemas internos y externos, determinar el curso que deberá seguir el proyecto en cuestión.
- **Diagrama de Ishikawa:** Por otra parte, el diagrama de Ishikawa o Causa-Efecto, es una técnica de análisis implementada para establecer cuáles han sido las posibles causas o

raíces de un error y, de esta manera, poder solventarlo. En este diagrama de pescado el cuerpo central representa el problema que ha surgido y las diferentes espinas hacen referencia a las posibles razones; El Diagrama de Pescado se basa en una verdad fundamental: si se consiguen detectar y eliminar las raíces, desaparecerá el fallo.

El desarrollo de dicha técnica rige sus posibles vertientes en seis (6) parámetros, para definir el origen de cada posible causa, estos parámetros son: Medio ambiente, Maquinaria, Material, Mano de obra, Método y Medición.

3.7 Fases de la investigación

- **Fase I: Diagnóstico de la condición actual del consumo de combustible durante el proceso de generación de vapor en las calderas de la empresa.** En esta etapa se realizó la observación necesaria para establecer la investigación de campo donde se diagnosticó el proceso de generación de vapor en las calderas de Alimentos Heinz de Venezuela C.A. Dicha fase se debe llevar a cabo bajo la implementación de herramientas de recolección de datos como lo son la observación directa, la entrevista estructurada y la revisión documental.
- **Fase II. Definición de los parámetros que intervienen en el diseño de un sistema de precalentamiento de aire para combustión.** Es donde se realiza el estudio de lo encontrado en contraste a la investigación documental necesaria para establecer las bases teóricas que sustentan el trabajo para así desarrollar una serie de parámetros necesarios para visualizar un aumento en la eficiencia del proceso de generación de vapor en las calderas.
- **Fase III. Elaboración de la propuesta del diseño, funcionamiento, mantenimiento y control del precalentador de aire para la combustión de las calderas.** Se procede a plantear un diseño que cumpla con los parámetros anteriormente encontrados, con el fin de plasmar en el desarrollo, un aumento visible en la eficiencia energética en el proceso de generación de vapor de la caldera #1 y #2. Para, ello, se utilizó la herramienta digital SolidWorks, y su componente llamado Flow Simulation, esta herramienta puede simular con eficacia el flujo de fluidos, así como la transferencia de calor y las fuerzas de esos fluidos fundamentales para realizar un diseño exitoso.

- **Fase IV. Evaluación mediante un análisis predictivo, la factibilidad de la propuesta desde el punto de vista económico, ambiental, y operativo.** En esta fase se debe tomar en consideración todos los costos operacionales, materiales y técnicos presentes en la propuesta elaborada, con la finalidad de compararlos con los beneficios que esta genere y así demostrar su viabilidad.

3.8 Cuadro de operacionalización de variables

OBJETIVO ESPECÍFICO 1	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEM	FUENTE DE INFORMACIÓN
Diagnosticar la condición actual del consumo de combustible durante el proceso de generación de vapor en las calderas de la empresa.	Diagnóstico del proceso	Generación de vapor	Cantidad de vapor de agua generado	1, 2	Entrevista estructurada
			Suministro de agua y aire	3, 4, 5	
			Pérdidas de energía	6	
			Temperatura de los gases de escape	7	
		Consumo de combustible	Gestión del recurso	8	
			Consumo mensual	9	
			Eficiencia	10, 11	

Fuente: Rosales, D. (2023)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de la investigación realizada para realizar la propuesta de diseño de un sistema de precalentamiento del aire para la combustión en las calderas de Alimentos Heinz de Venezuela C.A. La investigación se dividió en cuatro fases principales, cada una de las cuales se llevó a cabo con el objetivo de lograr un diseño eficiente y efectivo.

En la primera fase, se realizó un diagnóstico de la condición actual del consumo de combustible durante el proceso de generación de vapor en las calderas de la empresa, mediante la implementación de herramientas de recolección de datos como la observación directa, la entrevista estructurada y la revisión documental. En la segunda fase, se definieron los parámetros relevantes para el diseño del precalentador, a través de la revisión de la literatura existente sobre el tema y el análisis de los datos obtenidos en la fase anterior. En la tercera fase, se planteó la propuesta de diseño, funcionamiento, mantenimiento y control del precalentador de aire para la combustión de las calderas, utilizando la herramienta digital Flow Simulation. Finalmente, en la cuarta fase, se evaluó la factibilidad de la propuesta desde el punto de vista económico, ambiental, técnico y operativo, a través de un análisis predictivo.

En cada una de estas fases, se utilizaron diversas técnicas y herramientas de recolección y análisis de datos para obtener información precisa y confiable. Los resultados obtenidos de cada fase se presentan en subsecciones en este capítulo, que incluyen una descripción detallada de los hallazgos y resultados manifestados.

4.1 Fase I: Diagnóstico de la condición actual del consumo de combustible durante el proceso de generación de vapor en las calderas de la empresa

La finalidad de esta fase es identificar las acciones operativas y técnicas para hallar las causas que originan la situación problemática actual, esto se llevó a cabo mediante la ejecución de herramientas para la recolección de datos como lo son la observación directa, la entrevista estructurada a empleados relacionados, y la revisión documental. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

4.1.1 Descripción del proceso de generación de vapor

Para dar inicio con la elaboración de las fases, se da noción de los pasos que se llevan a cabo para lograr generar vapor de agua saturado, por lo que se plantea un plano de la sala de calderas. Este plano permite tener una comprensión clara y detallada de la disposición de la planta o instalación, además de identificar la ubicación y el flujo de los equipos y materiales utilizados en el proceso (Ver Figuras de la 14 a la 21).

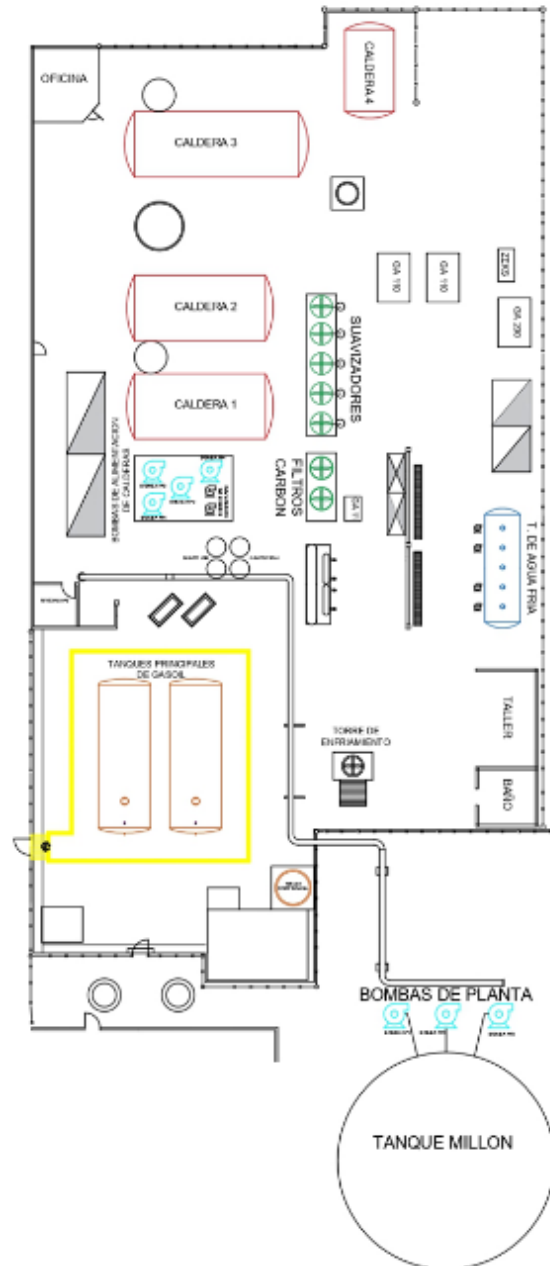


Figura 14: Plano de la sala de calderas de Alimentos Heinz de Venezuela C.A.
Fuente: Departamento de Mantenimiento. Alimentos Heinz de Venezuela C.A. (2023)

Sala de calderas



Figura 15: Tanque Millón de agua general de Alimentos Heinz de Venezuela C.A
Fuente: Rosales, D (2023)



Figura 16: Distribución de entrada de gas natural a las calderas
Fuente: Rosales, D. (2023)



Figura 17: Zona de tratamiento de agua para las calderas (suavización)
Fuente: Rosales, D. (2023)



Figura 18: Zona de desaieramiento y precalentamiento de agua suavizada
Fuente: Rosales, D. (2023)



Figura 19: Suministro de gas para cada caldera
Fuente: Rosales, D. (2023)



Figura 20: Caldera #1, domo inferior, superior y cámara de combustión
Fuente: Rosales, D. (2023)



Figura 21: Chimenea de gases de escape de las calderas 1 y 2.
Fuente: Rosales, D. (2023)

Tomando en cuenta cada figura anteriormente mostrada, puede darse noción respecto a las principales etapas para poder generar vapor de agua saturado, en resumen:

Al momento de encender la caldera, las bombas principales de la planta envían un caudal específico para llenar los tanques de suavización, donde se procede a hacer un ataque y análisis fisicoquímico donde se busca reducir lo más posible la dureza del agua, se retienen partículas y minerales que puedan afectar el proceso de generación de vapor o incluso corroer anticipadamente

la estructura interna de la caldera, para ello se aplican tratamientos con sal, sulfito y fosfato para eliminar estas impurezas.

Posterior a esto, un actuador de nivel solicita esta agua ya tratada para mantenerla precalentada y desairada para que pueda entrar a la caldera, al estar el nivel óptimo del desairador, la caldera envía una señal solicitando un volumen específico de agua que esta monitoreado en los paneles de control de la oficina principal de la sala de calderas (Monitoreado por los operarios), cuando esto ocurre, las bombas de alimentación de las calderas envían dicho volumen requerido al domo inferior y superior de la caldera. En paralelo a esto, el quemador con una apertura específica y una relación aire-gas específica, genera una flama para combustionar y así generar una precisa cantidad y calor y elevar la temperatura de la cámara de combustión a una temperatura de trabajo específica dependiendo de la carga térmica exigida por las líneas productivas (40, 60, 80%...). Al momento de generar la cantidad de vapor necesaria para las líneas, la cámara de combustión libera gases de combustión esparcidos al ambiente por las chimeneas a presión levemente mayor a la atmosférica y alta temperatura.

4.1.2 Análisis de respuestas de la entrevista estructurada

Con la finalidad de obtener más información, referente a las debilidades observadas en el proceso, se realizó una entrevista a los operarios y gerentes que intervienen en el funcionamiento de las calderas. Las preguntas realizadas al personal del área son preguntas estructuradas en orden y sin opciones ya estructuradas para las respuestas.

Las preguntas fueron realizadas a tres (3) empleados de la planta de San Joaquín de Alimentos Heinz de Venezuela C.A, un operario de las calderas, el actual jefe de servicios básicos, y el gerente de mantenimiento (antiguo jefe de servicios básicos).

Tabla 1: Entrevista #1 - Operario de la Sala de Calderas.

ITEM	Respuesta
¿Qué capacidad de producción de vapor de agua tiene cada caldera de la empresa?	20000 lb/h y 50000 lb/h
¿Se monitorea la presión y temperatura de este recurso al generarse?	Si, se monitorea periodicamente
¿De qué manera se gestiona el consumo de agua suministrada para las calderas?	Monitoreado en los pánels

¿Se conoce la presión, temperatura y volumen de este recurso?	Si, se conocen
¿Cuál es el volumen de aire que admite la cámara de combustión de la caldera?	Se desconoce
¿Existe un control de las pérdidas de energía durante el proceso de generación de vapor?	No, sin embargo hay contratistas que han hecho análisis
¿Se tiene algún registro de las propiedades de los gases de escape de las calderas?	No se conocen los valores actuales, se tienen registros viejos
¿Cómo se gestiona el combustible utilizado (Composición, poder calorífico, proveedor y costos)?	Se desconoce información referente al PC y composición del Gas natural de PETROVAL.
¿En qué valores oscila el consumo mensual de combustible en las calderas de la empresa?	Valores altamente cambiantes dependiendo de la demanda de las líneas que estén activas
¿Existe un monitoreo o registro de la eficiencia de cada caldera?	No se dispone información referente a la eficiencia
¿En términos generales, consideras viable la implementación de un sistema de precalentamiento del aire de combustión para las calderas?	Tomando como punto crítico, el espacio, si, es factible

Fuente: Rosales, D. (2023)

Tabla 2: Entrevista #2 - Jefe de Servicios Básicos

ITEM	Respuesta
¿Qué capacidad de producción de vapor de agua tiene cada caldera de la empresa?	La caldera #1 y #2 tienen una capacidad de 20000 lb/h, la caldera #3 está activa solo 3 meses al año aproximadamente, tiene capacidad de 50000 lb/h
¿Se monitorea la presión y temperatura de este recurso al generarse?	Si, se monitorean sus datos

¿De qué manera se gestiona el consumo de agua suministrada para las calderas?	Mediante los paneles de control de nivel en la oficina de la sala de calderas.
¿Se conoce la presión, temperatura y volumen de este recurso?	En efecto, se lleva un control detallado de este recurso
¿Cuál es el volumen de aire que admite la cámara de combustión de la caldera?	Solo se disponen valores estandarizados de apertura de boquillas, del quemador y admisión de aire
¿Existe un control de las pérdidas de energía durante el proceso de generación de vapor?	No, no se han realizado análisis de pérdidas hace varios años
¿Se tiene algún registro de las propiedades de los gases de escape de las calderas?	Se desconocen los valores actuales, los equipos que capturaban dicha información se deterioraron y no se les dio continuidad
¿Cómo se gestiona el combustible utilizado (Composición, poder calorífico, proveedor y costos)?	El poder calorífico actual no se dispone, sin embargo, el PCI del gas suele ser de 38000 kJ/kg
¿En qué valores oscila el consumo mensual de combustible en las calderas de la empresa?	Valores altamente cambiantes dependiendo de la demanda de las líneas que estén activas
¿Existe un monitoreo o registro de la eficiencia de cada caldera?	No, se desconocen valores respecto a la eficiencia
¿En términos generales, consideras viable la implementación de un sistema de precalentamiento del aire de combustión para las calderas?	El espacio sería la única limitación

Fuente: Rosales, D. (2023)

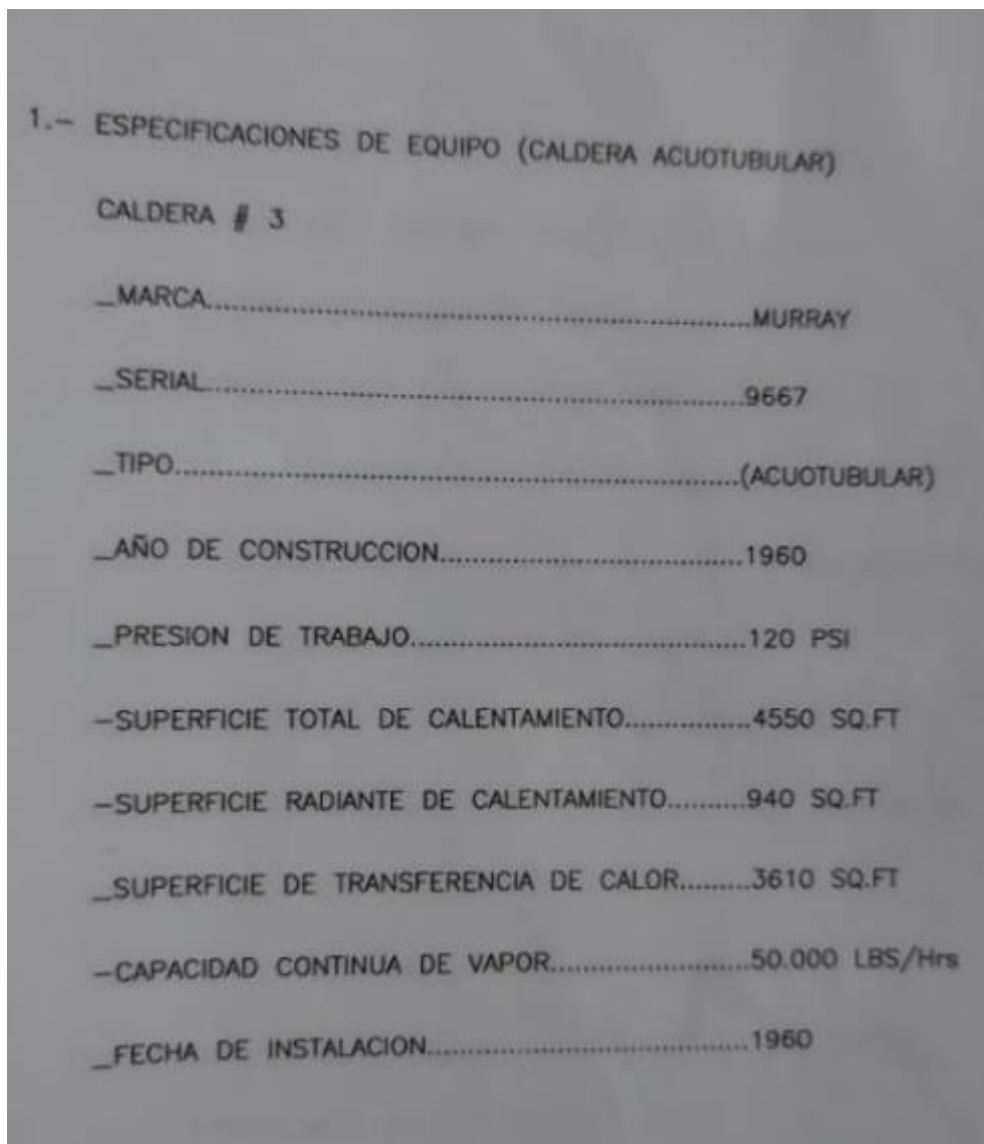
Tabla 3: Entrevista #3 - Gerente de mantenimiento.

ITEM	Respuesta
¿Qué capacidad de producción de vapor de agua tiene cada caldera de la empresa?	20000 lb/h las 2 calderas encargadas del suministro de vapor saturado a líneas principales, 50000 lb/h la caldera encargada de suministrar vapor a la línea de zafra de tomate.
¿Se monitorea la presión y temperatura de este recurso al generarse?	Si, se monitorean sus datos
¿De qué manera se gestiona el consumo de agua suministrada para las calderas?	Se en los datos en el panelview de la sala de calderas
¿Se conoce la presión, temperatura y volumen de este recurso?	Se controlan sus propiedades
¿Cuál es el volumen de aire que admite la cámara de combustión de la caldera?	Solo se disponen valores estandarizados de apertura de boquillas
¿Existe un control de las pérdidas de energía durante el proceso de generación de vapor?	No, no se han realizado análisis de pérdidas desde hace un prolongado tiempo
¿Se tiene algún registro de las propiedades de los gases de escape de las calderas?	Se desconocen los valores actuales, equipos fuera de servicio
¿Cómo se gestiona el combustible utilizado (Composición, poder calorífico, proveedor y costos)?	Conocimientos de PCI de referencia y composiciones antiguas
¿En qué valores oscila el consumo mensual de combustible en las calderas de la empresa?	Dependerá de la exigencia y continuidad de las líneas actias
¿Existe un monitoreo o registro de la eficiencia de cada caldera?	No, se desconocen valores respecto a la eficiencia
¿En términos generales, consideras viable la implementación de un sistema de precalentamiento del aire de combustión para las calderas?	Factible

Fuente: Rosales, D. (2023)

ITEM N°1: ¿Qué capacidad de producción de vapor de agua tiene cada caldera de la empresa?

Interpretación: En función a las respuestas de los tres empleados, logra concluirse que existen tres (3) calderas acuotubulares a disposición, dos (2) de ellas son calderas tipo D con capacidad de 20.000 lb/h (Ver Figura 22), encargadas del abastecimiento de vapor de agua saturado a las principales líneas productivas de la planta; la otra caldera es al igual que las otras dos de tipo D, sin embargo, consta de una capacidad de 50.000 lb/h (Ver Figura 23), esta caldera es la encargada de suministrar vapor saturado a la línea de zafra de tomate, la cual solo se encuentra operativa en un periodo de tres meses por año (desde febrero a finales de abril aproximadamente).



1.- ESPECIFICACIONES DE EQUIPO (CALDERA ACUOTUBULAR)

CALDERA # 3

_MARCA.....	MURRAY
_SERIAL.....	9667
_TIPO.....	(ACUOTUBULAR)
_AÑO DE CONSTRUCCION.....	1960
_PRESION DE TRABAJO.....	120 PSI
-SUPERFICIE TOTAL DE CALENTAMIENTO.....	4550 SQ.FT
-SUPERFICIE RADIANTE DE CALENTAMIENTO.....	940 SQ.FT
_SUPERFICIE DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	3610 SQ.FT
-CAPACIDAD CONTINUA DE VAPOR.....	50.000 LBS/Hrs
_FECHA DE INSTALACION.....	1960

Figura 22: Especificaciones técnicas de la caldera #3.

Fuente: Manual de la caldera, Departamento de Mantenimiento.

1.- ESPECIFICACIONES DE EQUIPO (CALDERA ACUOTUBULAR)

CALDERA # 2

_MARCA.....MURRAY

_SERIAL.....9671

_TIPO.....(ACUOTUBULAR)

_AÑO DE CONSTRUCCION.....1960

_PRESION DE TRABAJO.....120 PSI

-SUPERFICIE TOTAL DE CALENTAMIENTO.....2210 SQ.FT

-SUPERFICIE RADIANTE DE CALENTAMIENTO.....510 SQ.FT

_SUPERFICIE DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....1700 SQ.FT

-CAPACIDAD CONTINUA DE VAPOR.....20.000 LBS/Hrs

_FECHA DE INSTALACION.....1960

Figura 23: Especificaciones técnicas de la caldera #2 (Iguales a la #1).

Fuente: Manual de caldera, Departamento de Mantenimiento.

ITEM N°2: ¿Se monitorea la presión y temperatura de este recurso al generarse?

Interpretación: En función a las tres respuestas obtenidas de distintos empleados capacitados en el área, logra concluirse que se disponen de valores referenciales al momento de suministrar este recurso a distintos puntos de la planta, mediante caudalímetros, manómetros y termómetros ubicados en la salida del área de calderas, sin embargo, es importante dejar claro que el valor obtenido de caudal de vapor saturado fluctúa considerablemente en función a la demanda de la planta, es decir, de la cantidad de líneas productivas activas. Los valores de presión del vapor saturado esta estandarizado, a 110 Psi aproximados, la temperatura es proporcional a este valor, por lo que suele mantenerse en los 175 °C aproximadamente.

ITEM N°3: ¿De qué manera se gestiona el consumo de agua suministrada para las calderas?

Interpretación: El nivel de agua suministrada a las calderas es regulada por bombas ubicadas entre el desairador y cada caldera, el nivel de agua del desairador se regula de igual manera a partir del agua tratada en los suavizadores, que a su vez constantemente solicitan agua del tanque principal de agua de la planta. El nivel de agua en cada caldera se monitorea por el operador en la oficina principal (Ver Figura 24).



Figura 24: Monitor Honeywell para control de agua.

Fuente: Rosales, D. (2023)

ITEM N°4: ¿Se conoce la presión, temperatura y volumen de este recurso?

Interpretación: Para cada caso se obtuvo una respuesta positiva, se conocen estos valores a la entrada de cada caldera, se monitorean a través de instrumentos como válvulas de control, manómetros y caudalímetros (Ver Figura 25).



Figura 25: Panel Autonics para control de temperatura del agua de alimentación.
Fuente: Rosales, D. (2023)

ITEM N°5: ¿Cuál es el volumen de aire que admite la cámara de combustión de la caldera?

Interpretación: Si bien no se conoce el valor exacto del volumen de aire admisible de la caldera, esta entrada si se regula en función a la potencia térmica a la que esté funcionando el quemador, recordemos que deben ser valores siempre equivalentes para que la combustión que se realice sea lo más completa posible, las equivalencias de apertura tanto de la entrada de aire como de apertura de la boquilla del quemador están estandarizadas. (Ver Figura 26)

RELACION AIRE-GAS DE CALDERAS DE ALIMENTOS HEINZ ACTUALIZADO EN EL AÑO 2021.											
ANALISIS DE COMBUSTION CALDERA N° 1 EJECUTADO EL 4 DE JUNIO DEL 2021											
POSICION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
AIRE	0	4	15	18	23	25	28	35	35	35	35
GAS	0	10	20	22	25	35	38	40	40	40	40
ANALISIS DE COMBUSTION CALDERA N° 2 EJECUTADO EL 08 DE OCTUBRE DEL 2020											
POSICION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
AIRE	0	3	6	8	9	12	14	16	17	17	17
GAS	0	5	10	15	25	30	35	36,5	38	38	38
ANALISIS DE COMBUSTION CALDERA N° 3 EJECUTADO EL 15 DE FEBRERO DEL 2021											
POSICION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
AIRE	0	25	50	55	60	70	80	90	95	98	99
GAS	0	5	25	30	35	40	45	50	60	70	90

Figura 26: Tabla de relación aire-gas de las calderas de la empresa.

Fuente: Rosales, D. (2023)

ITEM N°6: ¿Existe un control de las pérdidas de energía durante el proceso de generación de vapor?

Interpretación: Actualmente la empresa Alimentos Heinz de Venezuela C.A no dispone de ningún estudio de pérdidas en las calderas disponibles; los estudios realizados son referentes a la calidad del agua de alimentación de las calderas realizadas por la empresa NALCO.

ITEM N°7: ¿Se tiene algún registro de las propiedades de los gases de escape de las calderas?

Interpretación: Las respuestas obtenidas de los empleados otorga un panorama difuso referente a estos valores, el control de caudal, presión y temperatura de los gases de escape eran parte del control que hacían los operarios de las calderas, sin embargo, esto se dejó de realizar a causa del deterioro de los instrumentos de medición requeridos y la falta de reparación de estos. No obstante, se disponen de valores referenciales de antiguos valores obtenidos en rutinas de monitoreo. Además, este valor es sencillo de referenciar puesto que, a nivel teórico, los valores de temperatura de los gases de escape suelen encontrarse unos 25 °C mayor a la temperatura del vapor saturado generado, si la caldera actualmente trabaja a 110 Psi, la temperatura del vapor será de 181°C aproximadamente, por consecuente, la temperatura de los gases de escape puede estandarizarse en 200 °C. y el valor de la presión será levemente mayor a la presión atmosférica (15 Psi). Por otra parte, para el caudal, se reflejarán distintos valores de anteriores monitoreos de esta variable.

ITEM N°8: ¿Cómo se gestiona el combustible utilizado para la combustión (Composición, poder calorífico, proveedor y costos)?

Interpretación: Actualmente el combustible utilizado para las calderas es gas natural, este recurso es suministrado directamente de la empresa PETROVAL, la cual otorga planes de tarifas de acceso a gas personalizadas a Heinz en función a su uso mensual. Los valores de las propiedades de este recurso no están disponibles por lo que se deben tomar valores de referencia para la composición y poder calorífico del gas natural.

ITEM N°9: ¿En qué valores oscila el consumo mensual de combustible en las calderas de la empresa?

Interpretación: Los valores presentan un alto grado de fluctuación, esto a causa de la variante demanda de la planta, las líneas no están activas todas las semanas, y la producción no siempre es en la misma magnitud, por lo que este valor puede variar mucho, sin embargo, se lleva un control mensual del consumo general de la sala de calderas, y si se estratifica en tres posibles tasas de consumo en función a la demanda de las líneas, el consumo mensual puede ir desde los 50.000 a 180.000 m³ de gas natural (Ver Figura 27), de igual manera, para segregarse los posibles escenarios del consumo diario, se plantean 3 casos, con un consumo mínimo (2 líneas productivas activas), un consumo medio (3 líneas productivas activas), y por último con la máxima carga térmica posible (4 líneas activas). Respectivamente los valores del consumo para estos casos suelen estar alrededor de los 600 m³, 1200 m³, y hasta 3000 m³ de gas natural por día.

	ene-22	feb-22	mar-22	abr-22	may-22	jun-22	jul-22	ago-22	sept-22	oct-22	nov-22	dic-22
Gas [M ³]	113.574	196.719	821.928	722.499	247.020	169.740	253.230	286.143	172.224	190.785	183.747	169.326

Figura 27: Tabla de Consumo mensual de gas natural en las calderas, año 2022.

Fuente: Departamento de Mantenimiento.

ITEM N°10: ¿Existe un monitoreo o registro de la eficiencia de cada caldera?

Interpretación: Las tres respuestas obtenidas dictan que no se tiene ningún registro del valor aproximado de la eficiencia de las calderas.

ITEM N°11: ¿En términos generales, consideras viable la implementación de un sistema de precalentamiento del aire de combustión para las calderas?

Interpretación: Las respuestas obtenidas conducen a una total viabilidad de la implementación de este sistema en las calderas de la empresa, en todos los casos se coincidía a que la implementación de un precalentador de aire permite tener beneficios reflejados tanto en

operatividad de la caldera, como en ahorro económico de la empresa, sin embargo, el principal punto que puede dificultar su implementación es la disposición de espacio de la sala.

Un precalentador tiene la capacidad de aumentar la eficiencia de la caldera, y aunque sea un valor mínimo, este aumento representa a mediano plazo un ahorro considerable de combustible, además de reducir las emisiones contaminantes de dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno.

4.1.3 Resumen del diagnóstico del consumo de combustible durante el proceso de generación de vapor

El diagnóstico del consumo de combustible de las calderas es un proceso crucial para garantizar la eficiencia energética y la reducción de costos en cualquier sistema de calefacción o producción de vapor. El diagnóstico realizado tuvo como prioridad analizar cada etapa involucrada en el proceso de generación de vapor saturado en la sala de calderas en conjunto con una descripción de este, se aplicaron tres técnicas de recolección de datos para obtener una visión completa y detallada del funcionamiento de la caldera y de los valores de consumo actuales.

La primera técnica utilizada fue la *observación directa*, que permitió recopilar información sobre variables clave como la temperatura, presión y volumen de agua, aire, vapor y combustible. Además, se observó el comportamiento del personal responsable de la operación de la caldera y se identificaron posibles áreas de mejora en términos de eficiencia energética y seguridad.

La segunda técnica fue la *entrevista estructurada*, que se llevó a cabo con el personal encargado de la operación, mantenimiento y gerencia de las calderas. A través de preguntas específicas, se recopiló información sobre los procedimientos de operación y mantenimiento utilizados, las dificultades encontradas y las posibles soluciones para mejorar el rendimiento de la caldera.

Por último, se realizó una *revisión documental* de los registros de operación de cada caldera, lo que permitió identificar patrones de consumo de combustible y posibles problemas no detectados previamente. Además, se revisaron los manuales digitales del fabricante y las regulaciones pertinentes para asegurar el cumplimiento de estándares de funcionamiento.

En conjunto, estas tres técnicas de recolección de datos permitieron obtener una imagen completa del funcionamiento de la caldera y las posibles causas del actual consumo de combustible. Como resultado del diagnóstico, se da sentido y coherencia a la necesidad de la implementación de un sistema de precalentamiento de aire suministrado para la combustión en las calderas de la empresa, con el fin de aumentar la eficiencia y disminuir el consumo excesivo de

este recurso.

4.2 Fase II. Definición de los parámetros que intervienen en el diseño de un sistema de precalentamiento de aire para combustión

Posterior a la realización del diagnóstico de consumo de combustible y valores importantes durante el proceso de generación de vapor, crucial definir los parámetros que intervienen en el diseño del sistema de precalentamiento, para garantizar un funcionamiento eficiente y óptimo de la caldera. Este proceso consiste en identificar y establecer los parámetros clave que intervienen en el diseño del sistema, considerando factores como la capacidad de la caldera, la temperatura de entrada del aire, el tipo de combustible utilizado y la tasa de flujo de aire requerida. Además, se deben tener en cuenta aspectos como la eficiencia energética, la seguridad, las regulaciones ambientales y las necesidades específicas del proceso de combustión. La fase de definición de parámetros sienta las bases para un diseño adecuado del sistema de precalentamiento de aire, que permitirá optimizar la eficiencia, minimizar el consumo de combustible y disminuir el impacto ambiental que implica el generar vapor de agua saturado.

Para iniciar con la definición de parámetros de diseño, es ideal sentar bases de la actual disposición de datos, propiedades y condiciones de trabajo de la caldera, por lo que se resume en la tabla 1 los datos más importantes de la entrevista realizada.

Tabla 4: Valores de variables importantes en el proceso de generación de vapor.

Variable	Caldera N.º1 y N.º2
Capacidad de generación de vapor (lb/h)	20.000
Temperatura de entrada del agua (°C)	90
Temperatura de aire entrante (°C)	30
Temperatura de vapor saturado (°C)	168 – 175
Presión del agua entrante (Psi)	15
Presión del vapor saturado (Psi)	110
Superficie de calentamiento (m ²)	2210
...Relación aire-gas	0,4-0,92
PCI-Gas natural (kJ/m ³)	38000
Densidad del gas natural (kg/m ³)	0,737
Flujo másico de aire entrante estimado (lb/h)	300,86 – 2334,31
Flujo másico de gases de escape (lb/h)	328,21 – 2546,52
Temperatura de gases de escape (°C)	193 – 200
Presión de gases de escape (Psi)	15
Flujo másico de combustible (m ³ /h)	16,83 – 130,58
Flujo másico de vapor saturado (lb/h)	353,46 – 2765,11

Fuente: Rosales, D. (2023)

4.2.1 Presentación de debilidades

Partiendo del análisis realizado en la anterior fase, y de los datos obtenidos, se posee noción de la condición general del estado actual del proceso de generación de vapor en la empresa Alimentos Heinz de Venezuela C.A; se postula la realización de un diagrama de Ishikawa (También conocido como Diagrama Causa-Efecto o Espina de Pescado), el cual permitirá visualizar y simplificar cada una de las debilidades encontradas en la revisión general de la sala de calderas. Estas debilidades pueden direccionar el rumbo del diseño para evitar todo tipo de desviaciones, diseño que será especificado en la Fase III (Ver Figura 28).

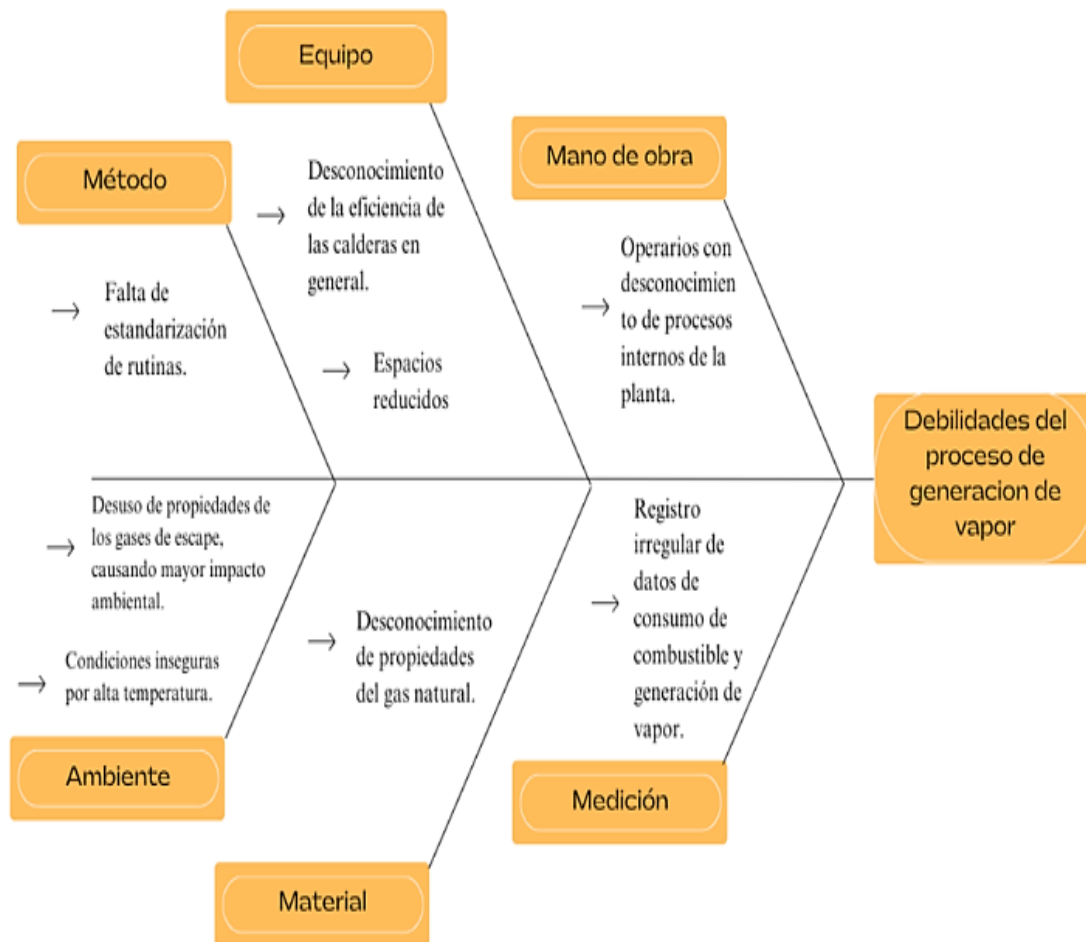


Figura 28: Diagrama de Ishikawa.
Fuente: Rosales, D. (2023)

4.2.2 Eficiencia de la caldera

A partir de las problemáticas manifestadas, y los valores de distintas variables tabuladas, es factible obtener un valor referencial de la eficiencia de las calderas para las situaciones posibles

que fueron elegidas para el trabajo (uso mínimo, uso medio y uso máximo).

Cabe resaltar que, actualmente ambas calderas tienen el mismo grado de atención, a nivel operativo y en aspectos de mantenimiento, para agilizar el actual cálculo referencial de la eficiencia de las calderas, se hará toma de datos de las últimas semanas donde corrieron distintas cantidades de líneas, sin considerar cuál de las 2 calderas estaba activa. Es decir, por la similitud de las características de ambos equipos, se hará toma de los datos sin considerar cuál de las dos calderas produjo dichos resultados.

4.2.2.1 Eficiencia durante un uso mínimo de las calderas (2 líneas activas)

Siguiendo lineamientos de la ecuación postulada en el marco teórico, resulta lo siguiente:

$$\eta = \frac{m_v \cdot (h_g - h_i)}{m_c \cdot PCI} \times 100$$

El valor de las entalpías se tomará de una tabla de propiedades termodinámicas del agua (Anexo A), en función a las temperaturas y presiones resultantes.

a) Entalpia del vapor de agua

$$110 \text{ Psi} = 7,72 \text{ kg/cm}^2$$

Interpolando:

$$h_g \left(7,72 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right) = 660,83 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = 2764,91 \text{ kJ/kg}$$

b) Entalpia del agua de alimentación

$$h_g(90^\circ\text{C}) = 90,04 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = 376,72 \text{ kJ/kg}$$

El último valor tabulado del consumo de combustible en un día con 2 líneas activas es de:

$$404 \frac{\text{m}^3}{24} = 16,83 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

El último valor tabulado de producción de vapor saturado en una hora y dos líneas activas es de:

$$353,46 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Sustituyendo:

$$\eta = \frac{353,46 \frac{lb}{h} \left(\frac{0,4535 \text{ kg}}{1 \text{ lb}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) \cdot (2764,91 - 376,72) \text{ kJ/kg}}{16,83 \frac{m^3}{h} \left(0,737 \frac{\text{kg}}{m^3} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 38000 \text{ kJ/kg}} \times 100$$

$$\eta = 81,23\%$$

4.2.2.2 Eficiencia a un uso medio de las calderas (3 líneas activas)

Para este caso, los valores de la entalpia son iguales, sin embargo, los valores del flujo masico de vapor y combustible varían en función al actual caso, resultando en la fórmula de la siguiente manera:

El último valor tabulado de producción de vapor saturado en una hora y tres líneas activas es de:

$$1293,61 \frac{lb}{h}$$

Sustituyendo:

$$\eta = \frac{1293,61 \frac{lb}{h} \left(\frac{0,4535 \text{ kg}}{1 \text{ lb}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) \cdot (2764,91 - 376,72) \text{ kJ/kg}}{61,45 \frac{m^3}{h} \left(0,737 \frac{\text{kg}}{m^3} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 38000 \text{ kJ/kg}} \times 100$$

$$\eta = 81,41 \%$$

4.2.2.3 Eficiencia a un uso máximo de las calderas (5 líneas activas)

Por último, para el caso del uso máximo a las calderas en función a la actual demanda de las líneas productivas de la empresa, se sustituyen datos:

El último valor tabulado de producción de vapor saturado en una hora y cinco líneas activas es de:

$$2765,11 \frac{lb}{h}$$

Sustituyendo

$$\eta = \frac{2765,11 \frac{lb}{h} \left(\frac{0,4535 \text{ kg}}{1 \text{ lb}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) \cdot (2764,91 - 376,72) \text{ kJ/kg}}{130,58 \frac{m^3}{h} \left(0,737 \frac{\text{kg}}{m^3} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 38000 \text{ kJ/kg}} \times 100$$

$$\eta = 81,97 \%$$

De esta manera, se logra disponer de un valor estimado de la eficiencia de ambas calderas, este dato será vital para determinar el porcentaje de mejora en el consumo de combustible,

recordando que el sistema de precalentamiento permitirá la disminución del flujo másico de combustible, esto se logrará a partir de un balance de energía entre el intercambiador de calor del sistema y el sistema de admisión de aire.

4.2.3 Temperatura objetivo de precalentamiento

En un sistema de precalentamiento, la temperatura objetivo se refiere al valor de esta propiedad a la cual se desea elevar el aire antes de que ingrese a la caldera para la combustión. Esta temperatura objetivo puede variar según las necesidades y requisitos específicos de la caldera y el proceso.

La temperatura del aire precalentado está relacionada con la eficiencia y el rendimiento de la caldera. Al precalentar el aire, se reduce la carga térmica requerida para alcanzar la temperatura de combustión deseada, lo que puede mejorar la eficiencia energética de la caldera y reducir el consumo de combustible. Además, un aire precalentado adecuadamente puede mejorar la combustión, aumentando la estabilidad y la eficacia de la llama.

En este contexto, el objetivo principal alcanzar la temperatura más alta posible que sea técnica y económicamente factible para las calderas en cuestión. La no definición de este valor se justifica por la naturaleza del objetivo principal del diseño planteado.

4.2.4 Fuente de calentamiento del sistema

La fuente de alimentación del sistema de precalentamiento en un sistema de precalentamiento de aire para calderas se refiere a la fuente de calor utilizada para elevar la temperatura del aire antes de que ingrese a la cámara de combustión. En este caso específico, la fuente de alimentación se basa en los gases de escape generados por la caldera. Estos gases vienen contenidos con las propiedades mencionadas en secciones anteriores del trabajo y actualmente no se dispone de la composición de estos, por esta razón, el trabajo no dispone de una sección enfocada a la mejoría de la combustión en la cámara de las calderas y la mejoría respecto al impacto ambiental a partir de la implementación de dicho sistema.

4.2.5 Intercambiador de calor y selección de materiales

El intercambiador de calor es un componente clave en un sistema de precalentamiento de aire para calderas, encargado de transferir calor entre los gases de escape y el aire que se precalienta. En el diseño de sistema, es fundamental considerar la selección de materiales adecuados. Para dicha selección, deben tomarse en cuenta parámetros como la eficiencia de

transferencia de calor, el tipo de intercambiador, la resistencia a la corrosión y la resistencia a altas temperaturas.

La selección de materiales debe garantizar una operación segura y confiable, teniendo en cuenta la composición química de los gases de escape, la temperatura de los gases y el entorno de trabajo del intercambiador. Un diseño adecuado del intercambiador de calor y la elección correcta de materiales permiten optimizar el rendimiento del sistema de precalentamiento y garantizar una transferencia de calor eficiente y segura entre los gases de escape y el aire precalentado.

4.2.6 Consideraciones de seguridad y espacio

Las consideraciones de seguridad son de vital importancia en el diseño y operación de un sistema de precalentamiento de aire para calderas. Estas consideraciones se refieren a las medidas y precauciones necesarias para garantizar un entorno de trabajo seguro, proteger la integridad del sistema y evitar riesgos potenciales. Entre las principales consideraciones de seguridad se encuentran la protección contra sobretensión, el control de presión, la prevención de fugas de gases y la implementación de sistemas de control y monitoreo adecuados. Además, es esencial seguir las normativas y regulaciones de seguridad aplicables, así como contar con personal capacitado y una planificación de emergencias en caso de situaciones imprevistas. Estas consideraciones de seguridad se deben integrar en todas las etapas del diseño y operación del sistema, garantizando así la protección de los trabajadores, la integridad del equipo y la mitigación de riesgos en todo momento.

De igual manera y no menos importante, durante el diseño debe tenerse idea clara respecto a la disposición de espacio para el dimensionamiento y ubicación del sistema. Una ubicación adecuada implica identificar el lugar óptimo para su instalación, teniendo en cuenta factores como la accesibilidad, la proximidad a la caldera y la facilidad de mantenimiento, incluyendo las distancias mínimas de seguridad establecidas por las regulaciones y normativas aplicables.

4.3 Fase III. Elaboración de la propuesta del diseño, funcionamiento, mantenimiento y control del precalentador de aire para la combustión de las calderas

En esta fase se procedió a elaborar la propuesta de diseño, funcionamiento, mantenimiento y control de un sistema de precalentamiento de aire para la combustión en las calderas de la empresa Alimentos Heinz de Venezuela C.A, a partir de cada una de las fases anteriores, donde se obtuvo una visión clara del funcionamiento de las calderas, sus debilidades y principales parámetros a tomar en cuenta para poder diseñar el sistema de manera la manera más eficiente.

La propuesta del sistema se encuentra dividido en cuatro principales etapas: **El diseño y distribución del sistema de precalentamiento**, donde se toma como punto de partida la distribución real de la caldera, y en función a esto se selecciona una correcta disposición de las tuberías en la salida de gases en la chimenea, paso por el intercambiador y retorno. Además se tomaron en cuenta los componentes auxiliares que ayudaran al correcto funcionamiento del precalentador; **Selección, modelado y simulación del intercambiador de calor**, etapa donde se analizó las condiciones de trabajo presentes en la caldera para seleccionar un tipo de intercambiador de calor idóneo para cumplir con el objetivo de aumentar la eficiencia durante el proceso de generación de vapor, se modeló y simuló el diseño seleccionado, para así obtener un valor concreto de transferencia de calor, magnitud que se considera como valor agregado al aire de alimentación de la cámara de combustión; **El aumento de eficiencia**, donde se utilizan los datos obtenidos en el análisis térmico de Flow Simulation para realizar un balance de energía y estimar el valor de la mejora de la eficiencia de la caldera; por último; la etapa de **mantenimiento y control**, establece distintas pautas recomendaciones a considerar para un correcto uso del sistema y su adecuado mantenimiento (Ver Figura 29).

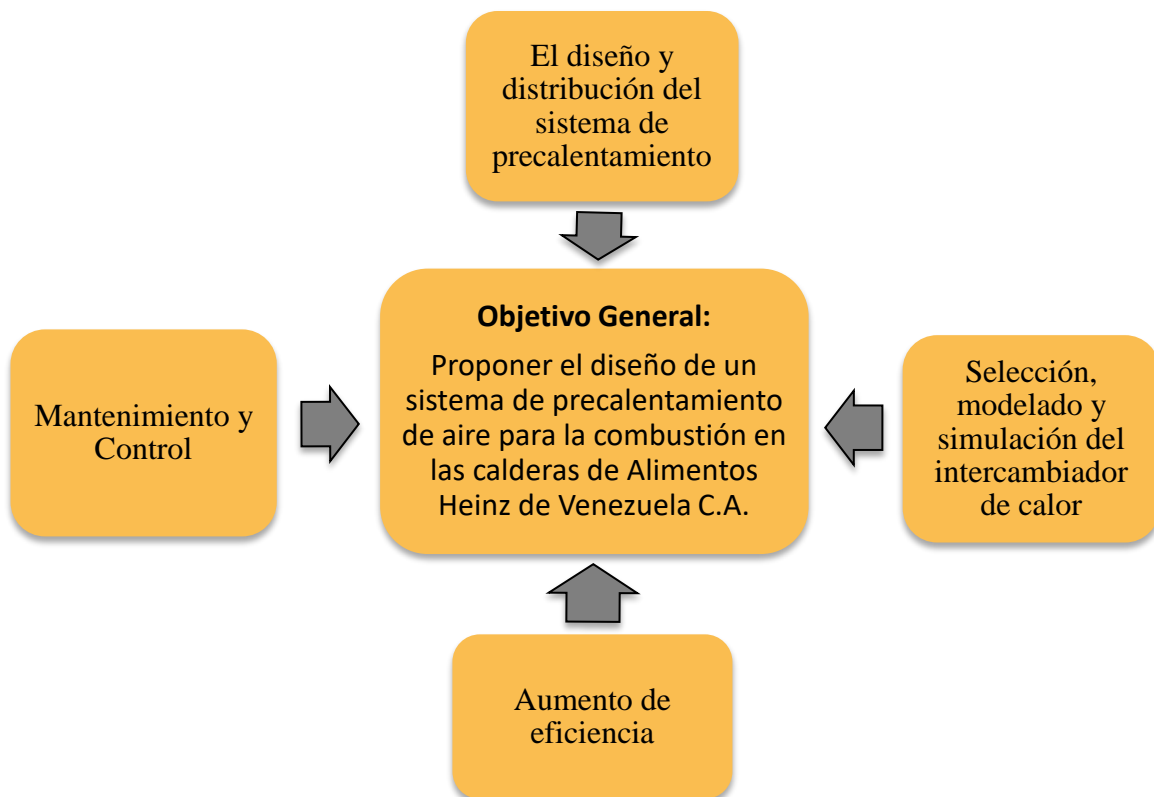


Figura 29: Diagrama de etapas de la fase 3.
Fuente: Rosales, D. (2023)

4.3.1 Selección, modelado y simulación del intercambiador de calor

La segunda etapa del diseño implica la correcta selección del tipo de intercambiador de calor y capacidad de transferencia de calor del sistema. Los intercambiadores de calor son componentes clave que facilitan la transferencia eficiente de calor entre el aire de escape y el aire de combustión. Utilizando un diseño adecuado de intercambiador de calor, Se puede maximizar la transferencia de calor y aprovechar al máximo la energía térmica contenida en los gases de escape. Esto no solo mejora la eficiencia energética, sino que también reduce la carga térmica sobre las calderas, prolongando su vida útil y disminuyendo los costos de mantenimiento.

Para esta etapa se dispuso de la segunda técnica de análisis de resultados, La **Matriz FODA**, donde se logra observar en función a distintas condiciones actuales del entorno de la caldera. La matriz FODA proporciona una visión integral de las características, ventajas y limitaciones de cada tipo de intercambiador de calor. Al identificar las fortalezas y debilidades internas, así como las oportunidades y amenazas externas, se puede evaluar qué intercambiador de calor se adapta mejor a los requisitos específicos de un sistema dado.

En el presente caso, se estudiaron tres (3) posibles diseños de intercambiadores de calor con capacidades y características distintivas. Cada diseño fue sometido a un análisis exhaustivo utilizando la matriz FODA para evaluar sus fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas. Este enfoque permitió tener una visión clara de las ventajas y limitaciones de cada diseño en relación con los requisitos del sistema.



Figura 34: Matriz FODA – Intercambiador de calor de placas.
Fuente: Rosales, D.



Figura 35: Matriz FODA – Intercambiador de calor de tubos y carcasa.
Fuente: Rosales, D.



Figura 36: Matriz FODA – Termosifones aletados.
Fuente: Rosales, D.

Después de completar la matriz FODA para cada diseño, se procedió a realizar una **ponderación** de cada variable que intervino de manera positiva o negativa. Esto implicó asignar un peso relativo a cada factor en función de su importancia y el impacto que tendría en el rendimiento del intercambiador de calor.

Esta herramienta ayuda a evitar la toma de decisiones subjetivas o basadas en la intuición. Al asignar pesos a cada criterio, se asegura que los criterios más importantes tengan un mayor impacto en la evaluación general de las alternativas. Además, la matriz de ponderación proporciona una forma estructurada y sistemática de analizar y comparar alternativas, lo que puede ayudar a los tomadores de decisiones a tomar decisiones más informadas y objetivas.

Una vez completada la ponderación, se procedió a comparar los puntajes totales de cada diseño y se seleccionó el que obtuvo la puntuación más alta como el más adecuado para el sistema en cuestión. Esta selección se basó en un análisis integral que tuvo en cuenta tanto los aspectos positivos como los desafíos potenciales de cada diseño (Ver tabla 2).

Tabla 5: Ponderaciones

Criterio	Tipo de intercambiador		
	Placas	Tubos y carcasa	Termosifones A.
Eficiencia térmica	5	5	3
Tamaño	5	1	5
Peso	3	1	5
Resistencia a alta temperature	5	5	1
Resistencia a alta presión	5	5	1
Durabilidad	3	5	3
Facilidad de mantenimiento	3	3	3
Resistencia a la corrosion	3	5	3
Ponderación total	32	30	24

Fuente: Rosales, D.

El **intercambiador de placas** ha sido seleccionado como la opción ganadora a partir de la tabla de ponderación debido a una serie de factores que lo hacen altamente ventajoso en comparación con las otras alternativas.

En primer lugar, el intercambiador de placas ha demostrado ofrecer una alta eficiencia térmica. Esto se debe a su diseño, que consiste en una serie de placas en paralelo que permiten el paso de 2 fluidos sin mezclarse. Este diseño permite una transferencia de calor óptima, ya que el fluido caliente fluye a través del exterior de las placas, mientras que el fluido frío circula en su interior, lo que maximiza la superficie de intercambio térmico.

Por otro lado, un factor que favoreció al intercambiador de placas en la tabla de ponderación es su durabilidad y resistencia. Las placas están hechas de materiales resistentes, como acero inoxidable o aleaciones especiales, lo que le provee una gran resistencia a la corrosión y a las altas presiones y temperaturas. Esto asegura una larga vida útil del intercambiador y reduce la necesidad de mantenimiento frecuente, lo que se traduce en ahorros significativos a largo plazo.

Habiéndose mencionado esto, se debe resaltar que, el diseño térmico de un intercambiador es un **proceso iterativo**, es decir, se suponen unas dimensiones iniciales, se realizan los cálculos con estas y se itera hasta que los resultados tienden a los objetivos planteados modificando las dimensiones. Este predimensionamiento puede hacerse escogiendo las dimensiones necesarias para el cálculo una por una, o utilizando valores de coeficientes globales de transferencia de calor típicos en función del tipo de intercambiador y de los fluidos con los que trabaje (Ver tabla 3).

Tabla 6: Predimensionamiento del intercambiador de placas

Variable	Unidad	Valor
Temperatura de entrada del fluido frío	°C	30
Temperatura de entrada del fluido caliente	°C	200
Presión de entrada del fluido frío	Psi	15,42
Presión de entrada del fluido caliente	Psi	15
Distancia entre la salida de gases y la chimenea	m	2,5
Número de placas	-	21
Espesor de la placa	mm	2
Distancia entre placas	mm	12
Tipo de juntas	-	Soldadas
Material de las placas	-	AISI 316L

Fuente: Rosales, D.

Tomando en referencia los datos tabulados, se procedió a modelar el intercambiador de calor en la plataforma SolidWorks, para así posteriormente simular el equipo bajo las condiciones anteriormente establecidas, el fluido caliente (gases de escape a 200° C y 15 Psi de presión) y el fluido frío (aire de alimentación de la caldera a temperatura ambiente), durante la simulación, se realizó una serie específica de iteraciones para evaluar y comprender el comportamiento del equipo bajo esta condición de trabajo.

Se resalta que, En el modelado del intercambiador, se utilizaron las normas y estándares establecidos por la American Society of Mechanical Engineers (ASME) y el Tubular Exchanger Manufacturers Association (TEMA). Estas normas garantizan la seguridad, la calidad y la eficiencia del producto al cumplir con estándares reconocidos internacionalmente en el diseño de equipos mecánicos (Ver Figuras de la 37 a la 40).

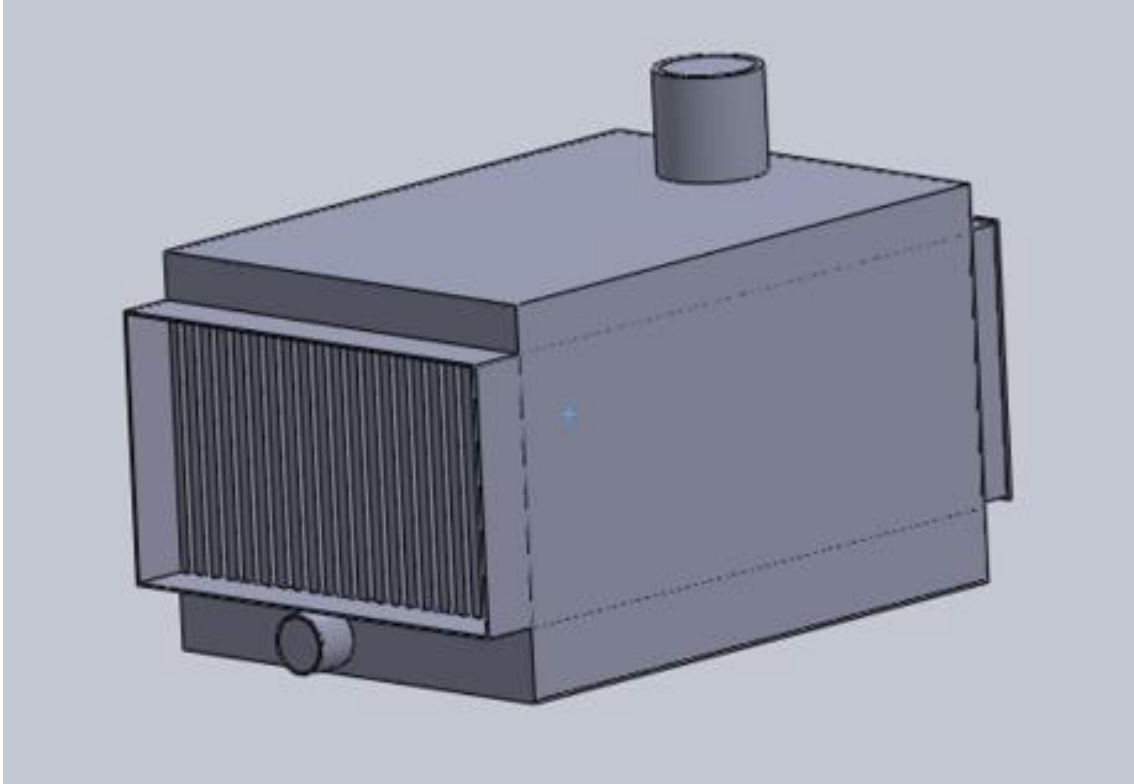


Figura 37: Vista isométrica del intercambiador de calor de placas (Flujo cruzado).
Fuente: Rosales, D. (2023)

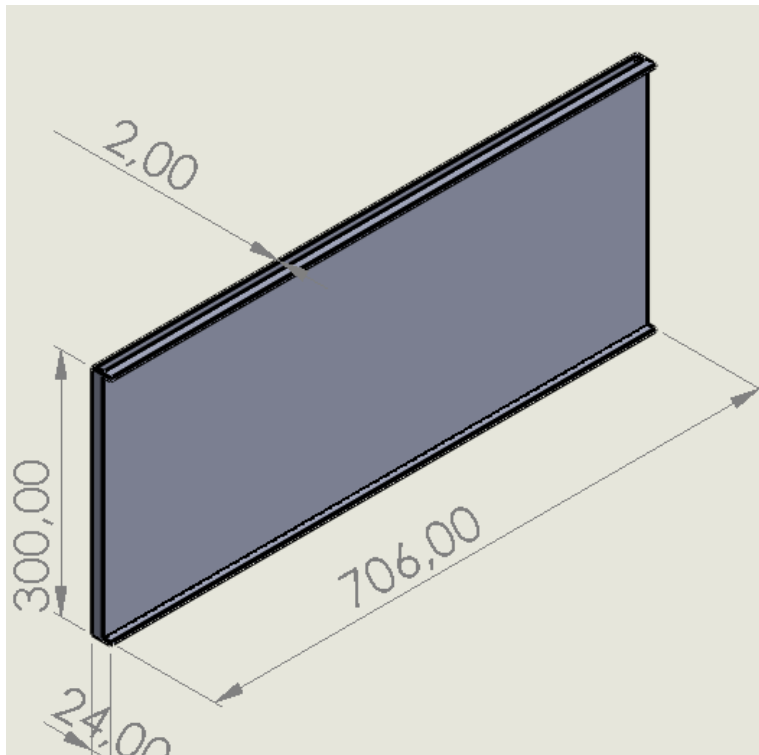


Figura 38: Placa del intercambiador de calor
Fuente: Rosales D. (2023)

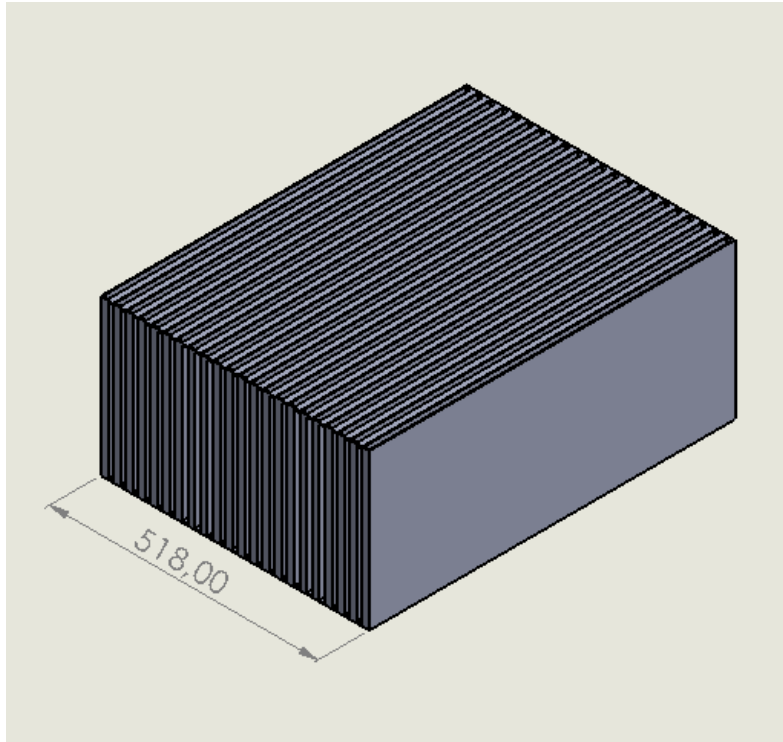


Figura 39: Arreglo de placas del intercambiador
Fuente: Rosales D. (2023)

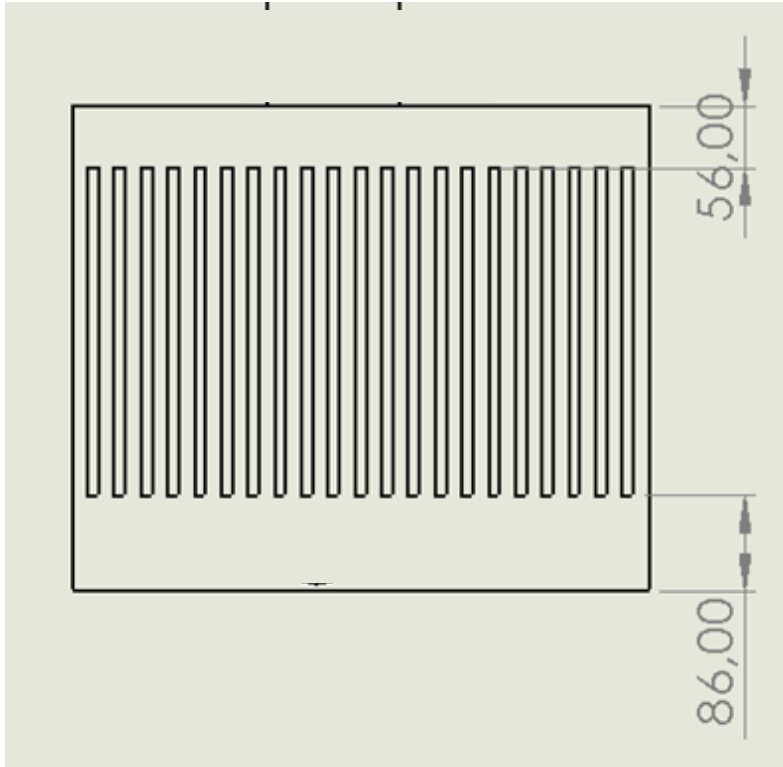


Figura 40: Disposición de la carcasa del intercambiador.
Fuente: Rosales D. (2023)

Con los datos preestablecidos del diseño se procedió a modelar el intercambiador, se fabricó en acero inoxidable AISI 316L para maximizar su resistencia a la corrosión generada por altas temperaturas de trabajo. Luego de modelar el intercambiador, se creó un “Wizard”, herramienta que permite realizar análisis térmicos en fluidos que pasen a través del diseño creado, se ubicación las entradas y salidas, y por último se crearon las condiciones de limite (Valores de los flujos entrantes al sistema).

Al haber creado las condiciones de entrada al intercambiador, se usó una malla, función que crea una estructura tridimensional compuesta por pequeños elementos finitos que se utilizan para dividir una geometría compleja en pequeñas partes más manejables de la constitución del intercambiador. Al haber colocado la malla se lanzó el diseño, al iniciarse Flow Simulation somete al equipo a indefinidas iteraciones, La función principal de la iteración en el contexto de la simulación numérica es mejorar la precisión de la solución obtenida. Esto se logra mediante el cálculo repetido de la solución utilizando valores actualizados o ajustados de entrada. En total se realizaron 101 Iteraciones al sistema, obteniendo resultados manifestados en el apéndice (Ver apéndice A).

4.3.2 Aumento de eficiencia

La plataforma SolidWorks (y su componente Flow Simulation) tiene como principal función en el actual trabajo el poder definir la efectividad de la transferencia de calor en el sistema, este fenómeno determina la sumatoria de energía a hogar o cámara de combustión de la caldera es decir, mientras mayor sea la eficiencia de transferencia de calor del intercambiador, mayor será su aporte térmico en la cámara, repercutiendo en la disminución del combustible requerido para estabilizar la temperatura de trabajo de la caldera.

Es primordial, para abarcar cuantitativamente el ahorro de combustible de la caldera, el definir el valor medio de transferencia de calor en el intercambiador. Para tener referencia de cada uno de los valores de las propiedades de trabajo del intercambiador, se ilustra la Tabla 4.

Tabla 7: Magnitudes de temperatura del intercambiador

Variable	Unidad	Valor
Temperatura de entrada del fluido frío	° C	30
Temperatura de entrada del fluido caliente		200
Temperatura de salida del fluido frío		87,6
2Temperatura de salida del fluido caliente		132,53

Fuente: Rosales D.

Basándose en los datos obtenidos en la simulación, es factible calcular la temperatura media logarítmica.

$$\Delta T_{ML} = \frac{(200 - 87,6) - (132,53 - 30)}{\ln \left[\frac{(200 - 87,6)}{(132,53 - 30)} \right]}$$

$$\Delta T_{ML} = 107,38 \text{ °C}$$

Tomando en cuenta este valor, se poseen valores necesarios para determinar el aporte a la caldera, para ellos se realiza el balance de energía.

Uso mínimo de las calderas

$$m_g * C_{p \text{ gases}} * (T_i - T_f)_{\text{gases}} = m_a * C_{p \text{ aire}} * (T_i - T_f)_{\text{aire}}$$

$$C_{p \text{ gases}} = 0,26 \quad C_{p \text{ aire}} = 0,24$$

$$328,21 * 0,26 * (200 - 132,53)_{\text{gases}} = 300,86 * 0,24 * (87,6 - 30)_{\text{aire}}$$

Cálculo del flujo de calor sin precalentamiento

$$\text{Flujo de calor suministrado} = m_c * PCI$$

$$\text{Flujo de calor suministrado} = 16,83 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \left(0,737 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 38000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 130,92 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

Igualando con la temperatura agregada

$$\text{Flujo de calor suministrado} = m_{cPA} * PCI + m_a * C_{p \text{ aire}} * T_{\text{Aire}}$$

$$130,92 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = m_{cPA} * 38000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 300,86 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \left(\frac{0,4535}{1 \text{ lb}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) \text{kg/s} * 0,24 * 87,6$$

$$m_{cPA} = 3,424 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 16,726 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

El ahorro de combustible es igual a:

$$16,83 - 16,726 = 0,104 \frac{m^3}{h}$$

Por lo tanto, el aumento de eficiencia para un uso mínimo de la caldera es igual a:

$$\eta = \frac{353,46 \frac{lb}{h} \left(\frac{0,4535 \text{ kg}}{1 \text{ lb}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) \cdot (2764,91 - 376,72) \text{ kJ/kg}}{16,726 \frac{m^3}{h} \left(0,737 \frac{\text{kg}}{m^3} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 38000 \text{ kJ/kg}} \times 100$$

$$\eta = 81,72 \%$$

Uso medio de las calderas

$$m_g * C_p \text{ gases} * (T_i - T_f)_{\text{gases}} = m_a * C_p \text{ aire} * (T_i - T_f)_{\text{aire}}$$

$$C_p \text{ gases} = 0,26 \quad C_p \text{ aire} = 0,24$$

$$1437,365 * 0,26 * (200 - 132,53)_{\text{gases}} = 1317,585 * 0,24 * (87,6 - 30)_{\text{aire}}$$

Cálculo del flujo de calor sin precalentamiento

$$\text{Flujo de calor suministrado} = m_a * PCI$$

$$\text{Flujo de calor suministrado} = 61,45 \frac{m^3}{h} \left(0,737 \frac{\text{kg}}{m^3} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 38000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 478,04 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

Igualando con la temperatura agregada

$$\text{Flujo de calor suministrado} = m_{cPA} * PCI + m_a * C_p \text{ aire} * T_{\text{Aire}}$$

$$478,04 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = m_{cPA} * 38000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 1317,585 \frac{lb}{h} \left(\frac{0,4535}{1 \text{ lb}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) \text{kg/s} * 0,24 * 87,6$$

$$m_{cPA} = 0,0124 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 60,56 \frac{m^3}{h}$$

El ahorro de combustible es igual a:

$$61,45 - 60,56 = 0,88 \frac{m^3}{h}$$

Por lo tanto, el aumento de eficiencia para un uso medio de la caldera es igual a:

$$\eta = \frac{1293,61 \frac{lb}{h} \left(\frac{0,4535 \text{ kg}}{1 \text{ lb}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) \cdot (2764,91 - 376,72) \text{ kJ/kg}}{60,56 \frac{m^3}{h} \left(0,737 \frac{\text{kg}}{m^3} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 38000 \text{ kJ/kg}} \times 100$$

$$\eta = 82,56 \%$$

Uso máximo de las calderas

$$m_g * C_p \text{ gases} * (T_i - T_f)_{\text{gases}} = m_a * C_p \text{ aire} * (T_i - T_f)_{\text{aire}}$$

$$C_p \text{ gases} = 0,26 \quad C_p \text{ aire} = 0,24$$

$$2546,52 * 0,26 * (200 - 132,53)_{\text{gases}} = 2334,31 * 0,24 * (87,6 - 30)_{\text{aire}}$$

Cálculo del flujo de calor sin precalentamiento

$$\text{Flujo de calor suministrado} = m_a * PCI$$

$$\text{Flujo de calor suministrado} = 130,58 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \left(0,737 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 38000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 1015,8 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

Igualando con la temperatura agregada

$$\text{Flujo de calor suministrado} = m_{cPA} * PCI + m_a * C_p \text{ aire} * T_{\text{Aire}}$$

$$1015,8 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = m_{cPA} * 38000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 2334,31 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \left(\frac{0,4535}{1 \text{ lb}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) \text{kg/s} * 0,24 * 87,6$$

$$m_{cPA} = 0,026 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 127 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

El ahorro de combustible es igual a:

$$130,58 - 127 = 3,58 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Por lo tanto, el aumento de eficiencia para un uso máximo de la caldera es igual a:

$$\eta = \frac{2765,11 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \left(\frac{0,4535 \text{ kg}}{1 \text{ lb}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) \cdot (2764,91 - 376,72) \text{ kJ/kg}}{127 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \left(0,737 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 38000 \text{ kJ/kg}} \times 100$$

$$\eta = 84,19 \%$$

Análisis de los resultados

La serie de cálculos obtenidos de la eficiencia de la caldera con el nuevo consumo estimado, son reflejo de la implementación del sistema y los beneficios que representan, puesto que se logró aumentar el valor de 0,42 a 2,22%, este valor aunque parezca mínimo, implica un ahorro considerable para la empresa, puesto que en el mejor de los casos el ahorro es de 3,5 metros cúbicos de gas natural, esta cifra por el precio al que se compra da lugar a un beneficio de alta magnitud. Si bien no se ha definido una meta precisa a la cual aumentar la eficiencia de la caldera, los valores obtenidos pueden considerarse como exitosos, ya que permiten dar cifras razonables al

tiempo de reinversión posible, y satisfacen la necesidad de mejorar la etapa de disipación de gases contaminantes a alta temperatura al ambiente.

4.3.3 Diseño y distribución del sistema de precalentamiento

Para dar culminar el diseño, es crucial considerar la distribución del sistema para garantizar una eficiente transferencia de calor. La distribución del sistema de recuperación de calor abarca la ubicación estratégica del intercambiador de calor, la disposición de las tuberías y los componentes auxiliares, y la optimización del flujo de los fluidos involucrados.

Un diseño bien planificado de la distribución del sistema permitirá maximizar la recuperación de calor, minimizar las pérdidas y asegurar un rendimiento óptimo del sistema. Se deben tener en cuenta factores como: la accesibilidad para el mantenimiento, la minimización de la resistencia al flujo y la minimización de las caídas de presión.

Como el precalentador de aire es un dispositivo de recuperación de energía, su ubicación de instalación debe estar a la salida de los gases de escape de la caldera, el espacio entre la salida de gases de escape de la caldera y la chimenea es un factor clave para definir el tipo de intercambiador más adecuado.

Se utilizó el software SolidWorks para la construcción de la sección que une al precalentador de aire con la caldera y la chimenea, esto también sirve de referencia para el costo estimado del ensamblaje.

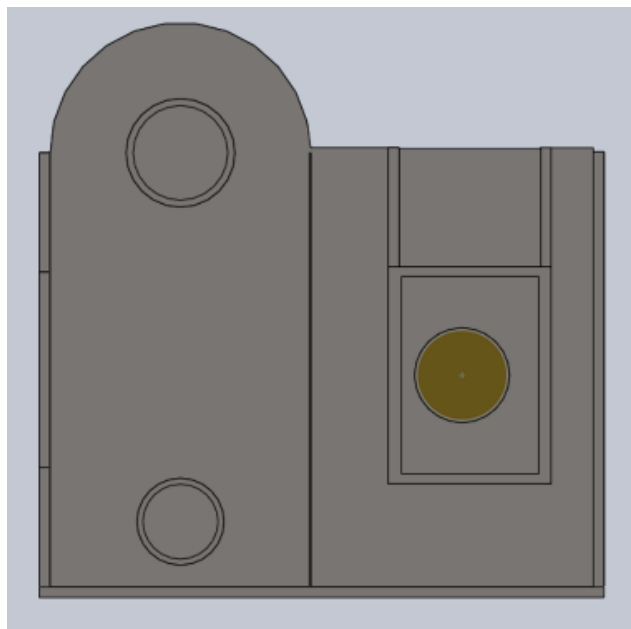


Figura 30: Vista frontal de la caldera #1.

Fuente: Rosales, D. (2023)

En la figura 30 se puede observar un layout del exterior de la caldera #1 de la empresa, he de considerarse la disposición de espacio en la zona de la salida de los gases de escape en un lateral de la caldera.



Figura 31: Vista lateral de la caldera #1.

Fuente: Rosales, D. (2023)

De igual forma, se observa en la figura 31 la vista lateral del exterior de la caldera. Se aprecia la sección de salida de los gases de escape de la cámara de combustión. Esta sección cuenta con una disposición cónica hacia la entrada del precalentador, para que luego los gases lleguen a la chimenea, a una menor presión y menor temperatura.

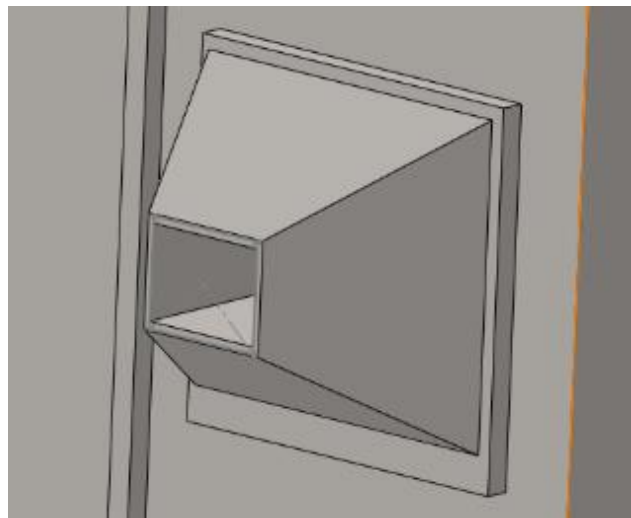


Figura 32: Sección cónica en la salida de gases de escape

Fuente: Rosales, D. (2023)

Para redirigir el aire de combustión hacia la cámara debe modelarse un arreglo de tuberías que haga llegar el aire precalentado hacia la entrada de la caldera de manera más eficiente posible, para evitar la mayor cantidad de pérdidas de presión y temperatura.

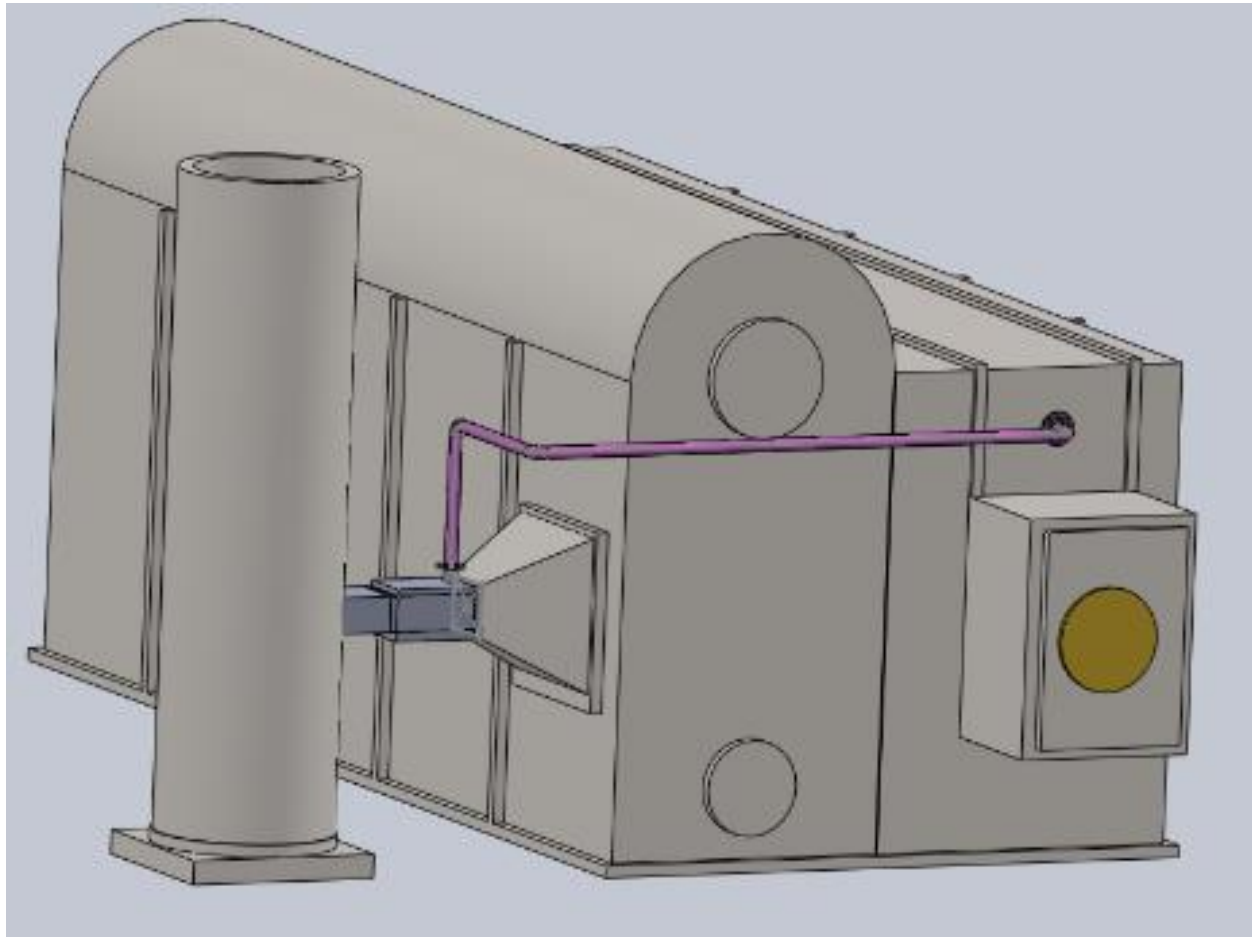


Figura 33: Sistema de tuberías intercambiador-admisión (Diámetro=180 mm)
Fuente: Rosales, D. (2023)

Por otra parte, debe señalarse que para la selección de accesorios deben tomarse en cuenta la selección común de válvulas, ventiladores y sensores a través del sistema con el fin de tener un control y monitoreo general de todo el flujo de trabajo del precalentador.

Algunos accesorios que tomar en cuenta son:

- **Válvula reguladora de presión:** Encargada de regular el paso de aire a la caldera, debe sincronizarse con el ventilador que se seleccione.
- **Sensores de presión y temperatura:** Encargados de capturar ambas propiedades, Componentes críticos debido a su función. Estos se encargan de regular el caudal del fluido

en el sistema, detectan fugas, y monitorean magnitudes fuera de parámetros que puedan representar un riesgo en el sistema.

- **Ventiladores:** Encargados de suministrar aire al intercambiador y posteriormente a la admisión de aire de la caldera. Debido a la criticidad de este elemento en el sistema y su repercusión en el funcionamiento óptimo del mismo. Se propone un modelo específico de un ventilador radial de la marca Elektror (Ver Anexo B).
- **Recubrimiento de tuberías:** El recubrimiento utilizado para todo el arreglo de tuberías del sistema es de fibra de vidrio.

4.3.4 Mantenimiento y control

La última etapa del diseño comprende a todas las pautas, rutinas y monitoreos que deben considerarse posterior a la instalación del sistema, he de resaltar que un correcto plan de mantenimiento y un buen monitoreo de las condiciones de trabajo del sistema son los dos factores fundamentales para asegurar un óptimo desempeño del precalentador a lo largo del tiempo. En esta fase, se busca optimizar el funcionamiento del sistema, teniendo en cuenta aspectos técnicos, operativos y de seguridad. Para lograrlo, se pautaron estrategias de mantenimiento que permitan garantizar un rendimiento óptimo a lo largo del tiempo, minimizando las posibles fallas y maximizando la vida útil del sistema.

Plan de mantenimiento recomendado

1. Inspección mensual:

- Verificar visualmente el estado de los conductos de aire, buscando signos de obstrucciones o daños.
- Inspeccionar los ventiladores y limpiar las aspas si es necesario.
- Comprobar el estado de las válvulas y asegurarse de que se abren y cierran correctamente.
- Verificar el funcionamiento de los sensores de temperatura y calibrarlos si es necesario.
- Realizar una inspección visual detallada de las placas del intercambiador de calor para identificar cualquier signo de corrosión. Examina tanto las superficies internas

como externas de las placas. Evalúa el grado de corrosión y registra las áreas afectadas.

2. Limpieza trimestral

- Limpiar y lubricar los ventiladores, asegurándose de que estén en buen estado de funcionamiento y libres de obstrucciones.
- Inspeccionar y limpiar las válvulas, eliminando cualquier residuo que pueda afectar su rendimiento.

3. Reemplazo de componentes

- Reemplazar los filtros de aire según las recomendaciones del fabricante o cuando estén sucios.
- Reemplazar cualquier ventilador, válvula o sensor defectuoso o dañado de inmediato.
- Verificar el estado de las juntas y reemplazarlas si están desgastadas o deterioradas.

4. Registro de datos

- Mantener un registro de las lecturas de temperatura, presión y flujo de aire, así como de cualquier otro dato relevante.
- Realizar un análisis periódico de los datos registrados para detectar posibles problemas o tendencias.

5. Programa de capacitación

- Proporcionar capacitación regular al personal encargado del mantenimiento del sistema de precalentamiento de aire.
- Actualizar al personal sobre los procedimientos de mantenimiento, las pautas de seguridad y las mejores prácticas de operación.

6. Mantenimiento preventivo anual

- Realizar un mantenimiento preventivo más exhaustivo, que puede incluir el desmontaje y limpieza completa de los componentes, la revisión de la instalación eléctrica y la comprobación de la integridad de las conexiones.

Control del sistema de precalentamiento

1. Arranque del Sistema

- Asegurarse de que el suministro de combustible esté disponible y en funcionamiento.
- Activar el sistema de precalentamiento de aire y asegurarse de que todos los componentes estén operando correctamente.

2. Monitoreo continuo

- Supervisar regularmente durante el turno los indicadores y sensores de temperatura, presión y flujo de aire para asegurarse de que estén dentro de los rangos normales.
- Realizar un seguimiento de cualquier lectura inusual o anormal y tomar medidas adecuadas si es necesario.
- Comprobar una vez por turno que los ventiladores estén funcionando correctamente y que el flujo de aire sea constante.

3. Verificación de las válvulas

- Inspeccionar y verificar regularmente el estado de las válvulas del sistema de precalentamiento de aire.
- Asegurarse de que las válvulas se abran y cierren correctamente sin bloqueos ni fugas.
- Comprobar que los dispositivos de control de las válvulas estén funcionando adecuadamente.

4. Tracking de información

- Mantener un registro detallado de las lecturas y mediciones tomadas durante los controles periódicos.
- Registrar cualquier cambio o problema identificado, así como las acciones tomadas para resolverlo.
- Registrar también las fechas y los resultados de las inspecciones, limpiezas y reemplazos de componentes realizados.

5. Capacitación y comunicación

- Proporcionar capacitación adecuada al personal encargado del control del sistema de precalentamiento de aire.
- Establecer un sistema de comunicación efectivo para reportar cualquier problema o anomalía detectada.
- Fomentar la colaboración y el intercambio de información entre los miembros del equipo encargados del control y mantenimiento del sistema.

4.4 Fase IV. Evaluación mediante un análisis predictivo, de la viabilidad de la propuesta desde el punto de vista económico, ambiental, y operativo

La última fase de la propuesta toma en consideración todos los costos operacionales, materiales y técnicos presentes en la propuesta elaborada, con la finalidad de compararlos con los beneficios que esta genere a lo largo del tiempo.

4.4.1 Viabilidad económica

La actual etapa de la fase representa la condición más importante del trabajo, ya que se encarga de estudiar el capital inicial para dar luz verde al proyecto y posteriormente ayudará si los costos superan a los beneficios y si se recuperará la inversión inicial además del riesgo de la inversión financiera.

En este sentido, se calcula el presupuesto total estimado para la instalación del sistema, contando con montos de mano de obra y material (depreciación del equipo y consumibles se excluyen del presupuesto).

Se debe contar como mínimo para la instalación, de 4 personas:

- **Electricista:** Un electricista será necesario para conectar el recuperador a la red eléctrica y asegurarse de que el sistema esté funcionando correctamente.
- **Instalador de tuberías:** Un instalador de tuberías será necesario para conectar el recuperador a las tuberías de la caldera y garantizar el flujo adecuado de agua.
- **Técnico HVAC:** Un técnico de HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado) será necesario para instalar y configurar el sistema de ventilación, asegurándose de que el aire circule adecuadamente a través del sistema.

- **Soldador:** Si se requiere la soldadura de piezas para la instalación, se necesitará un soldador.

Se asume un pago mensual a cada trabajador de 400\$; Para estimar el monto total de mano de obra, se plantea el cuadro 8:

Cuadro 1: Plan de trabajo para instalación del sistema de precalentamiento.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Lunes
Planificación							
Preparación del sitio							
Instalación							
Config. de accesorios							
Pruebas y ajustes							

Fuente: Rosales D. (2023)

Considerando el plan de trabajo de 7 días, el monto de mano de obra estimado es de:

$$20\$ * 4 * 7 = 560\$$$

Los materiales y equipos a implementar en el sistema se estimaron basado en información recolectada en distintos medios de internet, sin embargo, el precio depende netamente de la empresa que se encargue de su instalación, siendo esto una total incógnita, de igual forma, se plantea lo siguiente:

Cuadro 2: Materiales y equipos para la instalación.

Material	Unidades	Precio unitario	Precio total
Intercambiador de calor de flujo cruzado	1	1200\$	1500\$
Tubería de acero inoxidable D = 4 in L = 1 m	8	20\$	160\$
Recubrimiento de fibra de vidrio (m ²)	1	50\$	50\$

Válvula de control de aire	1	150\$	150\$
Sensores de presión y temperatura	2	150\$	300\$
Ventilador radial Elektror RD-10	1	400\$	400\$
Brida 4 in	2	25\$	50\$
Monto total			2610 \$

Fuente: Rosales D.

Monto total de instalación del sistema de precalentamiento = 2610 + 560 = 3160 \$

Debido a que la directriz del uso de las calderas viene definido por la producción de la planta, los ciclos de uso y beneficio vienen dados por la planificación semanal de la producción, mientras mayor sea la exigencia a las calderas, mayor será el beneficio a partir de precalentamiento de aire de alimentación.

Se calculó el ahorro total de combustible por semana dependiendo de cuantas líneas se activen en la planificación (Uso mínimo, medio o máximo). Luego, se traduce el ahorro de gas natural en dólares con la referencia de precios de la empresa PETROVAL C.A, siendo 8 Bs. Por kg en la última actualización de pago.

El beneficio económico por metro cúbico ahorrado es igual a:

$$8 \frac{\text{Bs.}}{\text{kg de Gas}} * 0,737 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 5,896 \frac{\text{Bs.}}{\text{m}^3 \text{ de Gas}}$$

Ahorro semanal con un uso mínimo de la caldera

$$\text{Beneficio} = 0,104 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 24 \text{ horas} * 7 \text{ días} * 5,896 \frac{\text{Bs.}}{\text{m}^3 \text{ de Gas}} * \frac{1 \$}{28 \text{ Bs.}} = 3,67 \$$$

Ahorro semanal con un uso medio de la caldera

$$\text{Beneficio} = 0,88 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 24 \text{ horas} * 7 \text{ días} * 5,896 \frac{\text{Bs.}}{\text{m}^3 \text{ de Gas}} * \frac{1 \$}{28 \text{ Bs.}} = 31,13 \$$$

Ahorro semanal con un uso máximo de la caldera

$$\text{Beneficio} = 3,58 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 24 \text{ horas} * 7 \text{ días} * 5,896 \frac{\text{Bs.}}{\text{m}^3 \text{ de Gas}} * \frac{1 \$}{28 \text{ Bs.}} = 126,6 \$$$

La amortización del sistema se rige por la planificación de la producción, sin embargo, estimando un uso medio a lo largo de los meses posteriores a su implementación, el tiempo de amortización sería:

$$\text{Tiempo estimado de amortización} = \frac{3160 \$}{(31,13 \$ * 52 \text{ semanas})} = 1,95 \text{ años (o 102 semanas)}$$

4.4.2 Viabilidad ambiental

La instalación de un sistema de precalentamiento de aire para las calderas recuperando gases de escape presenta varios beneficios ambientales, entre los que se encuentran:

1. Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero: El uso de un sistema de precalentamiento de aire permite recuperar la energía de los gases de escape de la caldera y utilizarla para precalentar el aire que se utiliza en el proceso de combustión. Esto reduce la cantidad de combustible necesario para generar el mismo nivel de calor, lo que a su vez reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, como el CO₂. La reducción de estas emisiones tiene un impacto positivo en el medio ambiente, ya que contribuye a disminuir el calentamiento global y sus efectos asociados.
2. Reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos: La recuperación de energía de los gases de escape también puede reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos, como los óxidos de nitrógeno (NO_x) y las partículas (PM). Estos contaminantes pueden tener efectos negativos en la salud humana y en el medio ambiente, por lo que su reducción es importante para mejorar la calidad del aire.
3. Ahorro de recursos naturales: La recuperación de energía de los gases de escape reduce la cantidad de combustible necesario para generar el mismo nivel de calor. Esto significa que se utilizan menos recursos naturales, como el petróleo o el gas, para producir la misma cantidad de calor. La reducción del consumo de estos recursos puede ayudar a disminuir la huella ecológica de la operación.
4. Cumplimiento de regulaciones ambientales: La implementación de un sistema de precalentamiento de aire puede ayudar a las empresas a cumplir con las regulaciones ambientales aplicables. Muchos países tienen regulaciones que establecen límites a las

emisiones de gases contaminantes y requieren la implementación de tecnologías de control de emisiones. La instalación de un sistema de precalentamiento de aire puede ser una forma efectiva de cumplir con estas regulaciones y reducir el riesgo de sanciones o multas por no cumplir con ellas.

4.4.3 Viabilidad Operativa

La viabilidad operativa de un sistema de precalentamiento de aire para la combustión en las calderas de la empresa Alimentos Heinz de Venezuela C.A se justifica mediante diversos aspectos importantes.

1. En primer lugar, el sistema optimiza el proceso de combustión al elevar la temperatura del aire de entrada a las calderas. Esto mejora la eficiencia térmica y estabiliza la combustión, lo que resulta en un rendimiento más eficiente de las calderas y un menor consumo de combustible.
2. En términos de seguridad operativa, el sistema reduce el riesgo de formación de gases no deseados, como el monóxido de carbono. Esto crea un entorno de trabajo más seguro para los operarios y minimiza los peligros asociados con la combustión incompleta
3. El sistema se integra fácilmente con las calderas existentes en Alimentos Heinz, utilizando tecnología y componentes ampliamente disponibles en el mercado. Esto simplifica la adquisición, instalación y puesta en marcha del sistema.
4. Se cuenta como punto de recomendación el entrenar a empleados para operar y mantener el sistema de precalentamiento de aire. A través de programas de capacitación y formación, se garantizará que el equipo responsable posea los conocimientos técnicos necesarios para operar el sistema de manera efectiva y realizar un adecuado mantenimiento preventivo y correctivo.

CONCLUSIONES

Una vez desarrollada la presente investigación, la cual se basó en la propuesta de diseño de un sistema de precalentamiento de aire para la combustión en las calderas de la empresa Alimentos Heinz de Venezuela C.A; se llegó a lo siguiente:

- El diagnóstico de consumo de combustible durante el proceso de generación de vapor fue una labor que ameritó de un análisis profundo en la comprensión del funcionamiento de los equipos involucrados en la generación de vapor saturado, como intervienen en el consumo de combustible, y que tan pertinente y valiosa es la información recolectada a partir de la entrevista estructurada y la observación directa del proceso, la entrevista fue una herramienta vital para comprender el estado actual, consiguiendo datos de alto valor como el consumo medio por mes de gas natural, las capacidades de generación de las calderas, y valores de propiedades de los principales recursos que intervienen en la sala de calderas de la empresa.
- El estatus actual del consumo de combustible, y la viabilidad operativa confirmada por los empleados encuestados, se ratificó la viabilidad de la implementación de un sistema de recuperación de calor de gases de escape de las calderas #1 y #2 (ambas de igual capacidad y diseño), resultando en una definición de parámetros que deben tomarse en cuenta al momento de ser diseñado. Las debilidades observadas fueron segregadas en un diagrama de Ishikawa y por último se estimó un valor base de la eficiencia de la caldera en función a cuanto se le exige por parte de la planta.
- Con los parámetros definidos y las condiciones de trabajo establecidas, se factibilizó la propuesta de diseño, funcionamiento, mantenimiento y control del sistema de precalentamiento, dividiéndose en etapas de diseño de la distribución; Selección del intercambiador de calor a partir del uso de matrices FODA y una tabla de ponderación, el modelado y simulación del diseño propuesto del intercambiador seleccionado, y normativas para el correcto mantenimiento y control del sistema en general. Posterior a esto, en función al resultado obtenido en la simulación de 87,6°C de sumatoria de calor en el aire de alimentación de la cámara de combustión, se logró establecer el ahorro estimado de combustible y su consecuente aumento en la eficiencia de las calderas. En un uso

mínimo, el sistema de precalentamiento logra aumentar un 0,42% la eficiencia con un uso mínimo de la caldera; un 1,15% con un uso medio de la caldera; y un 2,22% usando al máximo la caldera con las líneas actualmente operativas.

- Seguidamente, al considerar la evaluación de la factibilidad de la propuesta desde el punto de vista económico, ambiental, y operativo, demuestra que es posible la implementación del sistema de precalentamiento de aire en las calderas de la empresa. Enfocándose en el punto de vista económico, la amortización del equipo dependerá netamente de la producción de la planta, mientras mayor sea la producción, mayor será el ahorro y por consiguiente, menor será el tiempo estimado de retorno de inversión, de igual manera, estableciendo un punto medio en la fluctuación de la planificación de producción, se estimó un retorno de inversión de 2 años aproximadamente (102 semanas).

RECOMENDACIONES

Conforme con los resultados obtenidos a lo largo de la investigación, se realizan las siguientes recomendaciones para la empresa Alimentos Heinz de Venezuela C.A; respecto a puntos que deben tomarse en consideración si se lleva a cabo la instalación del sistema.

En dado caso, se deben tomar en cuenta los siguientes puntos:

- Diseñar un plan de capacitación al personal para poder realizar las rutinas de monitoreo y control del sistema de precalentamiento.
- Realizar un estudio de combustión en caso de ser implementado, esto con la intención de cuantificar el beneficio que representa la inclusión del aire precalentado.
- Diseñar un plan formal de mantenimiento en conjunto con los empleados involucrados y las fechas de inspección.
- Llevar registro de la planificación de la producción y el combustible que se consume en dicha semana, para llevar contado el ahorro continuo que se genera por semana hasta recuperar la inversión.
- Diseñar un flujograma detallado de funcionamiento posterior a su implementación que sirva de información general de la planta.

REFERENCIAS

- Aletar (2019). “**Intercambiador de calor tipo casco y tubo**”
<https://aletar.com.ar/intercambiadores-tipo-casco-y-tubo.html>
- Alzate (2008). “**El diario de Campo**”, Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, Puebla, México
American Society of Mechanical Engineers (ASME)
- Arcay (2005). “**Metodología de la Investigación Cuantitativa**”. (2ª. Edición). Caracas:
FEDUPEL.
- Arias F. (2006-2012). El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica. (1era
a 5ta Edición). Caracas: Editorial Episteme
- Balestrini, M. (2006). “**Cómo se Elabora el Proyecto de Investigación**”. 7ma Edición.
BL Consultores. Caracas, Venezuela.
- Bocanegra, A. (2018). “**Influencia de los parámetros de operación en el rendimiento de la
caldera pirotubular en una planta de harina**” Universidad Politécnica Nacional, Trujillo
– Perú.
- Boixac (2023). “**Intercambiadores de tubos y aletas**”. [https://boixac.com/es/productos-
intercambio-calor/intercambiador-de-tubos/](https://boixac.com/es/productos-intercambio-calor/intercambiador-de-tubos/)
- Castro, L. G. (2021). “**Mejoramiento de los parámetros de operación del precalentador de
aire en la caldera**”. Universidad Politécnica Nacional, Trujillo – Perú.
- Cengel, Y. (2012). Transferencia de calor de masa. 2da Edición
- Connor. (2019). “**Thermal Engineering**” [https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-el-
intercambiador-de-calor-definicion/](https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-el-intercambiador-de-calor-definicion/).
- Comercial Foisa Web (2020). “**Calderas acuotubulares**” <https://comercialfoisa.com/>
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (CONVENIN)
- Gaona, D. A. (2017). “**Aumento de la eficiencia térmica de una caldera industrial de 94 CC**”
Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México – México.
- García, I. (2014). “**Flujo másico**”. Universidad Tecnológica Metropolitana. Santiago – Chile.
- Kemppi (2020). “**Soldadura**”. <https://www.kemppi.com/en-US/>
- Lasso (2021). “**Diseño y simulación de un intercambiador de calor de tubo y coraza con una
capacidad de 31 m³/h para el proceso de enfriamiento de agua hasta 16 °C en la planta
Sigmplast**” Universidad Politécnica Salesiana – Quito.

- Martínez (2006-2012). “**Aprende a Investigar**”. Icfet. Colombia
- Mendoza (2011). “**Diseño y construcción de intercambiadores aletados a flujo cruzado**”.
Universidad de Guanajuato – México.
- Nava, Mejía, (2018). “**Metodología de la investigación**”. Universidad Francisco Gavidia. San Salvador – El Salvador.
- Negre (2020). “**Intercambiadores tubulares**” <https://jnegre.com/producto/intercambiadores-tubulares>
- NGF (2023). “**Intercambiadores de calor**” <http://www.ngfsl.com/equipos-ac-s-agua-caliente-intercambiador-calor>
- Oelker. (2007). “**Análisis de la eficiencia en calderas**”. Providencia 2133, Of. 207, Santiago, Chile.
- Palella y Martins (2012), “**Metodología de la investigación cuantitativa**”. 3era Edición.
- Planas, O. (2016). “**Solar Energía**”. <https://solar-energia.net/termodinamica/propiedades-termodinamicas/temperatura>.
- Ramirez (2012). “**Metodología de la investigación**”
<https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/administer/article/view/1344>
- Rice, U. (2019). OpenStax, Sección “**Termodinamica**”. Universidad William Rice. Texas – Estados Unidos
- Sabino (2007). “**Poblaciones y Muestras para los Análisis científicos**”. LIMUSA. México.
- Salvi (1975). “**La combustión: teoría y aplicaciones**” 2da Edición
- Sampieri, (2008). “**Metodología de la investigación**”. Escuela Superior de Comercio y Administración Instituto Politécnico Nacional
- Tamayo y Tamayo (2005). “**Metodología de la Investigación y sus Procesos**”. Cuarta Edición. México
- Tubular Exchanger Manufacturers Association (**TEMA**)
- UPEL (2016). “**Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales**” 5ta Edición. Universidad Pedagógica Experimental
- Valencia (2016), “**Revisión documental en el proceso de investigación**”, Universidad Tecnológica de Pereira.
- Villanueva, (2017). “**Intercambiadores de calor**”.

<https://sites.google.com/site/201702josevillanueva/apuntes/8>.

Welty, J. (1996).” **Fundamentos de transferencia de momento y calor**”. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad de Oregón. Oregón – Estados Unidos.

APÉNDICES

APÉNDICE A:
VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUION DE LA ENTREVISTA)



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESTIMADO PROFESOR (A): Manuel Cuadrado

Seguidamente se le presenta un guión de entrevista que va dirigido a un panel de expertos de diferentes áreas de trabajo en la Empresa **Alimentos Heinz de Venezuela C.A.**; ubicada en **San Joaquin, Estado Carabobo**, para un total de dos (02) personas; las respuestas que se obtendrán de la aplicación de este instrumento de recolección de datos va a permitir dar respuesta al objetivo específico número uno (01) de la investigación, que se denomina: Diagnosticar la condición actual del consumo de combustible durante el proceso de generación de vapor en las calderas de la empresa; de tal manera que permita obtener información de una fuente confiable. Por lo que se solicita a usted de sus buenos oficios para la validación de este instrumento dada su formación académica y experiencia en el ramo industria y académico.

A tal efecto se anexa el cuadro técnico metodológico, el guión de entrevista y el formato de validación.

AUTOR:

Rosales, Dylan

C.I.: 28.246.836

TUTOR:

Barragán, Fredy

C.I.: 11.151.678



CUADRO TÉCNICO METODOLÓGICO

- **OBJETIVO GENERAL:** Proponer el diseño de un sistema de precalentamiento de aire para la combustión en las calderas de Alimentos Heinz de Venezuela C.A.

Objetivo específico	Variable	Dimensiones	Indicadores	Ítem	Fuente de información
Diagnosticar la condición actual del consumo de combustible durante el proceso de generación de vapor en las calderas de la empresa.	Diagnóstico del proceso	Generación de vapor	Cantidad de vapor de agua generado	1, 2	- Entrevista estructurada - Ficha técnica
			Suministro de agua y aire	3, 4, 5	
			Pérdidas de energía	6	
			Temperatura de los gases de escape	7	
		Consumo de combustible	Gestión del recurso	8	
			Consumo mensual	9	
			Eficiencia	10, 11	



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

INSTRUCCIONES PARA LA GUÍA DE ENTREVISTA

- Indique su función dentro de la empresa
- Proceda a leer detenidamente cada una de las preguntas
- Responda de manera objetiva
- En caso de dudas, consulte con la persona encargada de aplicar el cuestionario

Nº	Guión de entrevista
1	¿Qué capacidad de producción de vapor de agua tiene cada caldera de la empresa?
2	¿Se monitorea la presión y temperatura de este recurso al generarse?
3	¿De qué manera se gestiona el consumo de agua suministrada para las calderas?
4	¿Se conoce la presión, temperatura y volumen de este recurso?
5	¿Cuál es el volumen de aire que admite la cámara de combustión de la caldera?
6	¿Existe un control de las pérdidas de energía durante el proceso de generación de vapor?
7	¿Se tiene algún registro de las propiedades de los gases de escape de las calderas?
8	¿Cómo se gestiona el combustible utilizado (Composición, poder calorífico, proveedor y costos)?
9	¿En qué valores oscila el consumo mensual de combustible en las calderas de la empresa?
10	¿Existe un monitoreo o registro de la eficiencia de cada caldera?
11	¿En términos generales, consideras viable la implementación de un sistema de precalentamiento del aire de combustión para las calderas?



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
 UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	✓			✓		
2	✓			✓		
3	✓			✓		
4	✓			✓		
5	✓			✓		
6	✓			✓		
7	✓			✓		
8	✓			✓		
9	✓			✓		
10	✓			✓		
11	✓			✓		

Fecha: 13/04/2023

Manuel Andrade S
 Firma del Especialista:
 Manuel Andrade S

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	<i>ingeniero industrial</i>
--	-----------------------------

APÉNDICE B:
INFORME DE SIMULACIÓN EN FLOW SIMULATION



Universidad José Antonio Páez San Diego,
Carabobo



SOLIDWORKS Flow Simulation Project Report

July 28, 2023

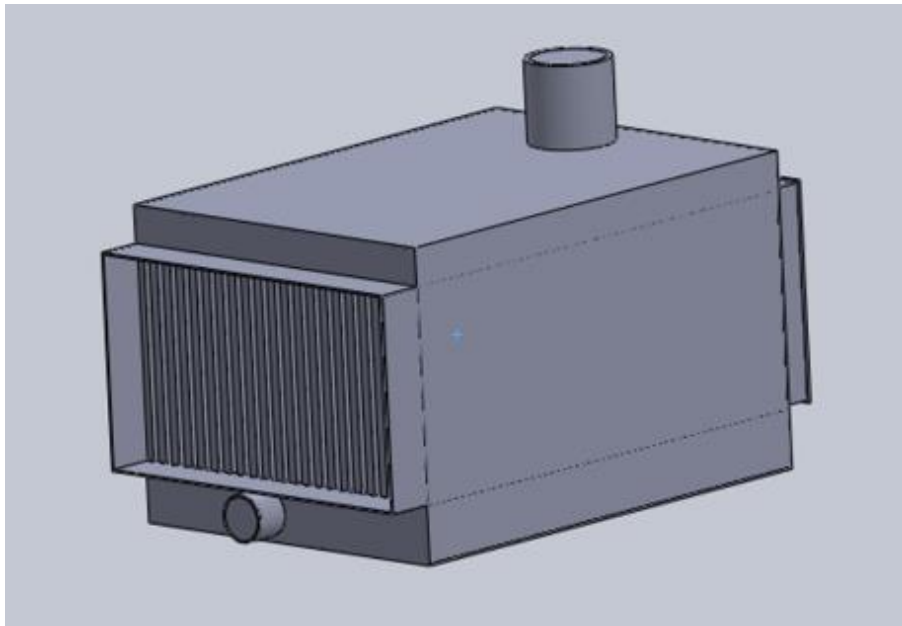


Table of Contents

1	General Information.....	3
1.1	Analysis Environment.....	3
1.2	Model Information.....	3
1.3	Project Comments:.....	4
1.4	Size of Computational Domain.....	5
1.5	Simulation Parameters.....	5
1.5.1	Mesh Settings.....	6
1.5.2	Material Settings.....	6
1.5.3	Initial Conditions.....	7
1.5.4	Boundary Conditions.....	8
1.5.5	Volumetric Heat Sources.....	8
1.5.6	Engineering Goals.....	8
1.6	Analysis Time.....	9
2	Results.....	9
2.1	Analysis Goals.....	10
2.2	Global Min-Max-Table.....	12
2.3	Results.....	13
2.4	Conclusion.....	14
3	Appendix.....	15
3.1	Material Data.....	16

1 General Information

Objetivo: Modelar, acotar y simular un intercambiador de calor de placas de flujo cruzado con el fin de obtener valores concretos de transferencia de calor y factibilizar su proposito como precalentador de aire para la combustión en las calderas de la empresa Alimentos Heinz de Venezuela C.A.

1.1 Analysis Environment

Software Product: Flow Simulation 2018 SP5.0. Build: 4373
CPU Type: Intel(R) Core(TM) i3-2100 CPU @ 3.10GHz
CPU Speed: 3100 MHz
RAM: 3986 MB / 134217727 MB
Operating System: Windows 10 (or higher) (Version 10.0.18362)

1.2 Model Information

Model Name: INTERCAMBIADOR DE PLACAS.SLDPRT
Project Name: TESIS

1.3 Project Comments:

Unit System: SI (m-kg-s)
Analysis Type: Internal

1.4 Size of Computational Domain

Size

X min	-0.507 m
X max	0.017 m
Y min	-0.384 m
Y max	0.169 m
Z min	-0.054 m
Z max	0.770 m

1.5 Simulation Parameters

1.5.1 Mesh Settings

1.5.1.1 Basic Mesh

Basic Mesh Dimensions

Number of cells in X	10
Number of cells in Y	10
Number of cells in Z	16

1.5.1.2 Analysis Mesh

Total Cell count: 205181
Fluid Cells: 122502

Solid Cells: 82679
 Partial Cells: 58109
 Trimmed Cells: 0

1.5.1.3 Additional Physical Calculation Options

Heat Transfer Analysis: Heat conduction in solids: OnHeat conduction in solids only: Off
 Flow Type: Laminar and turbulent
 Time-Dependent Analysis: Off
 Gravity: Off
 Radiation: Off
 Humidity: Off
 Default Wall Roughness: 0 micrometer

1.5.2 Material Settings

Material Settings

Fluids

[Air](#)

[Butane](#)

Solids

[Steel \(Mild\)](#)

1.5.3 Initial Conditions

Initial Conditions

Thermodynamic parameters	Static Pressure: 101325.00 Pa Temperature: 20.05 °C
Velocity parameters	Velocity vector Velocity in X direction: 0 m/s Velocity in Y direction: 0 m/s Velocity in Z direction: 0 m/s
Solid parameters	Default material: Steel (Mild) Initial solid temperature: 20.05 °C
Concentrations	Substance fraction by mass Air 0.5000 Butane 0.5000
Turbulence parameters	

1.5.4 Boundary Conditions

Boundary Conditions

Inlet Mass Flow 1

Type	Inlet Mass Flow
Faces	LID1//Face

Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Flow parameters	Flow vectors direction: Normal to face Mass flow rate: 358.6000 lb/h Fully developed flow: No Inlet profile: 0
Thermodynamic parameters	Approximate pressure: 111325.00 Pa Temperature type: Temperature of initial components Temperature: 30.05 °C
Concentrations	Substance fraction by mass Air 1.0000 Butane 0
Turbulence parameters	Boundary layer parameters
Boundary layer type: Turbulent	

Environment Pressure 1

Type	Environment Pressure
Faces	LID4//Face
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Thermodynamic parameters	Environment pressure: 101325.00 Pa Temperature type: Temperature of initial components Temperature: 20.05 °C
Concentrations	Substance fraction by mass Air 0.5000 Butane 0.5000
Turbulence parameters	Boundary layer parameters
Boundary layer type: Turbulent	

Inlet Mass Flow 2

Type	Inlet Mass Flow
Faces	LID3//Face
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Flow parameters	Flow vectors direction: Normal to face Mass flow rate: 376.0000 lb/h Fully developed flow: No Inlet profile: 0
Thermodynamic parameters	Approximate pressure: 103421.00 Pa Temperature type: Temperature of initial components Temperature: 200.00 °C
Concentrations	Substance fraction by mass Air 0.5000

	Butane 0.5000
Turbulence parameters	Boundary layer parameters
Boundary layer type: Turbulent	

Environment Pressure 2

Type	Environment Pressure
Faces	LID2//Face
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Thermodynamic parameters	Environment pressure: 101325.00 Pa Temperature type: Temperature of initial components Temperature: 20.05 °C
Concentrations	Substance fraction by mass Air 0.5000 Butane 0.5000
Turbulence parameters	Boundary layer parameters
Boundary layer type: Turbulent	

1.5.5 Volumetric Heat Sources

1.5.6 Engineering Goals

Goals

Global Goals

GG Av Total Pressure 1

Type	Global Goal
Goal type	Total Pressure
Calculate	Average value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Max Total Pressure 1

Type	Global Goal
Goal type	Total Pressure
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Av Temperature (Fluid) 1

Type	Global Goal
Goal type	Temperature (Fluid)
Calculate	Average value
Coordinate system	Global coordinate system

Use in convergence	On
--------------------	----

GG Max Temperature (Fluid) 1

Type	Global Goal
Goal type	Temperature (Fluid)
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Av Total Temperature 1

Type	Global Goal
Goal type	Total Temperature
Calculate	Average value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Max Total Temperature 1

Type	Global Goal
Goal type	Total Temperature
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Av Velocity 1

Type	Global Goal
Goal type	Velocity
Calculate	Average value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Max Velocity 1

Type	Global Goal
Goal type	Velocity
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Av Heat Transfer Coefficient 1

Type	Global Goal
Goal type	Heat Transfer Coefficient
Calculate	Average value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Max Heat Transfer Coefficient 1

Type	Global Goal
Goal type	Heat Transfer Coefficient
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Av Heat Flux 1

Type	Global Goal
Goal type	Heat Flux
Calculate	Average value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Max Heat Flux 1

Type	Global Goal
Goal type	Heat Flux
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Av Surface Heat Flux (Convective) 1

Type	Global Goal
Goal type	Surface Heat Flux (Convective)
Calculate	Average value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Max Surface Heat Flux (Convective) 1

Type	Global Goal
Goal type	Surface Heat Flux (Convective)
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Heat Transfer Rate 1

Type	Global Goal
Goal type	Heat Transfer Rate
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Heat Transfer Rate (Convective) 1

Type	Global Goal
Goal type	Heat Transfer Rate (Convective)
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Mass (Solid) 1

Type	Global Goal
Goal type	Mass (Solid)
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

1.6 Analysis Time

Calculation Time: 1090 s

2 Results

2.1 Analysis Goals

Goals

Name	Unit	Value	Progress	Criteria	Delta	Use in convergence
GG Av Total Pressure 1	Pa	101348.93	17	0.749540148	4.29243275	On
GG Max Total Pressure 1	Pa	101491.13	100	8.60443968	7.30051578	On
GG Av Temperature (Fluid) 1	°C	132.53	12	3.17787563	27.1128399	On
GG Max Temperature (Fluid) 1	°C	200.04	22	0.00294446183	0.0134171626	On
GG Av Total Temperature 1	°C	132.53	12	3.17793649	27.1132668	On
GG Max Total Temperature 1	°C	200.04	22	0.00294453671	0.0134154868	On
GG Av Velocity 1	m/s	1.287	20	0.0274818944	0.134559813	On
GG Max Velocity 1	m/s	14.724	100	0.10004805	0.0966941511	On
GG Av Heat Transfer Coefficient 1	W/m ² /K	3.800	100	14.0729761	2.55654174	On
GG Max Heat Transfer Coefficient 1	W/m ² /K	103.491	100	173202.621	10.2575051	On
GG Av Heat Flux 1	W/m ²	-0.016	100	0.520993505	0.318041515	On
GG Max Heat Flux 1	W/m ²	5762.975	14	229.513138	1652.59839	On
GG Av Surface Heat Flux (Convective) 1	W/m ²	-0.018	100	0.573662497	0.350193405	On

GG Max Surface Heat Flux (Convective) 1	W/m ²	5762.975	14	229.513138	1652.59839	On
GG Heat Transfer Rate 1	W	-0.365	100	11.5831356	7.07094802	On
GG Heat Transfer Rate (Convective) 1	W	-0.365	100	11.5831356	7.07094802	On
GG Mass (Solid) 1	kg	201.811	100	2.01810801	2.64037681e-11	On

2.2 Global Min-Max-Table

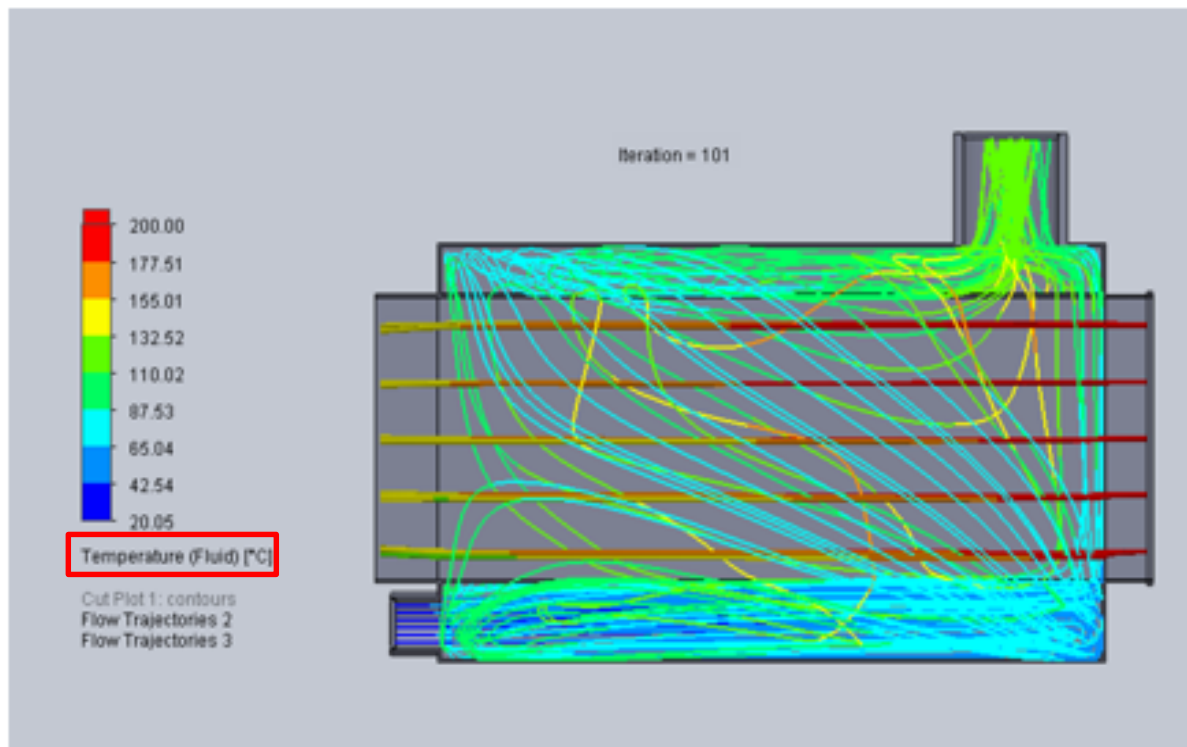
Min/Max Table

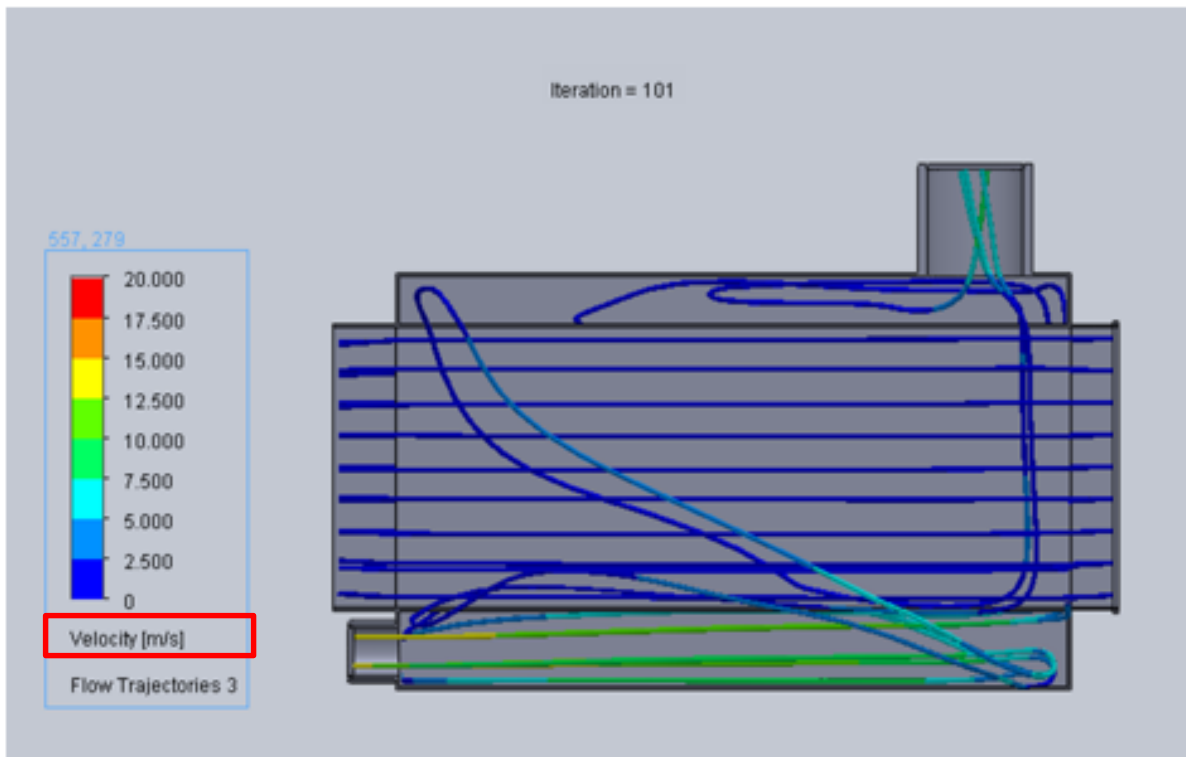
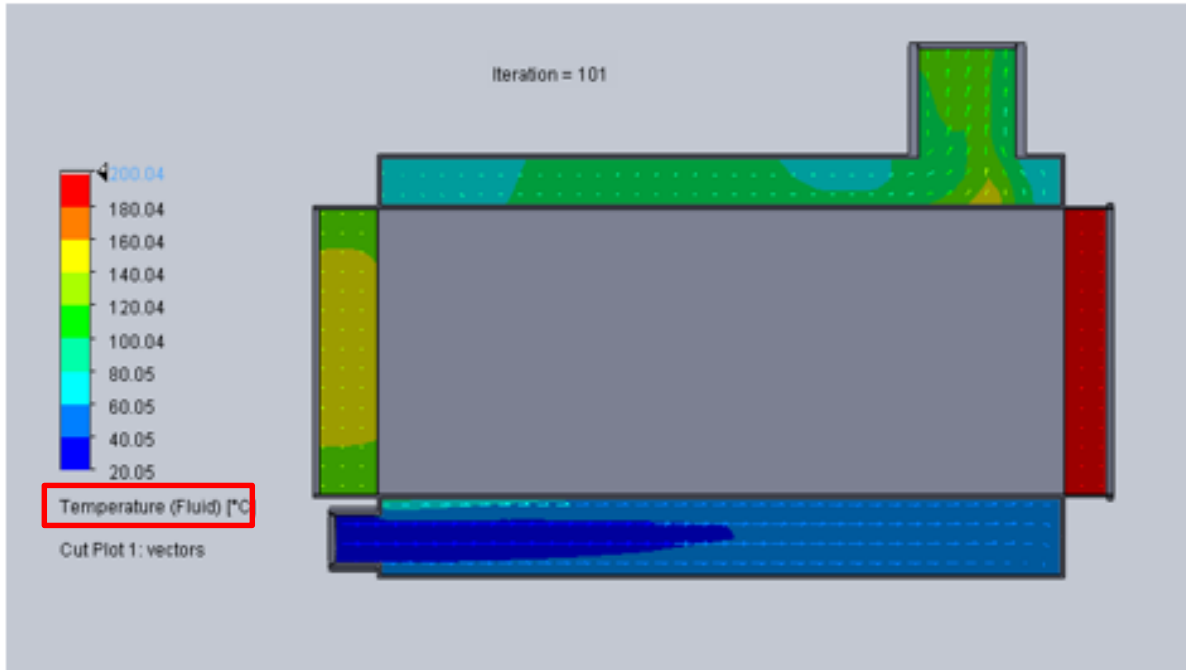
Name	Minimum	Maximum
Density (Fluid) [kg/m ³]	0.81	1.61
Density (Solid) [kg/m ³]	7870.00	7870.00
Mass Fraction of Air []	0.5000	1.0000
Mass Fraction of Butane []	-4.0115e-07	0.5000
Pressure [Pa]	101306.72	101416.86
Temperature [°C]	20.05	200.04
Temperature (Fluid) [°C]	20.05	200.04
Temperature (Solid) [°C]	67.08	179.29
Velocity [m/s]	0	14.726
Velocity (X) [m/s]	-7.907	7.922
Velocity (Y) [m/s]	-4.159	8.726
Velocity (Z) [m/s]	-14.725	7.023
Volume Fraction of Air []	0.6674	1.0000
Volume Fraction of Butane []	-1.9988e-07	0.3326
Aspect Ratio CV []	1.0219959	268.9174063
Gap Size [m]	0.010	0.511
Normal (X) []	-1.0000000	1.0000000
Normal (Y) []	-1.0000000	1.0000000
Normal (Z) []	-1.0000000	1.0000000
Wall Distance [m]	0.005	0.057
Axial Velocity [m/s]	-14.725	7.023
Circumferential Velocity [m/s]	-8.442	7.661
Lambda2-Criterion [1/s ²]	-25155.05	21494.73
Mach Number []	0	0.04
Normal Velocity [m/s]	-14.726	14.726
Radial Velocity [m/s]	-5.015	7.133
Relative Velocity (M*) []	0	0.0462070
Tangential Velocity [m/s]	0	14.726
Velocity RRF (X) [m/s]	-7.907	7.922

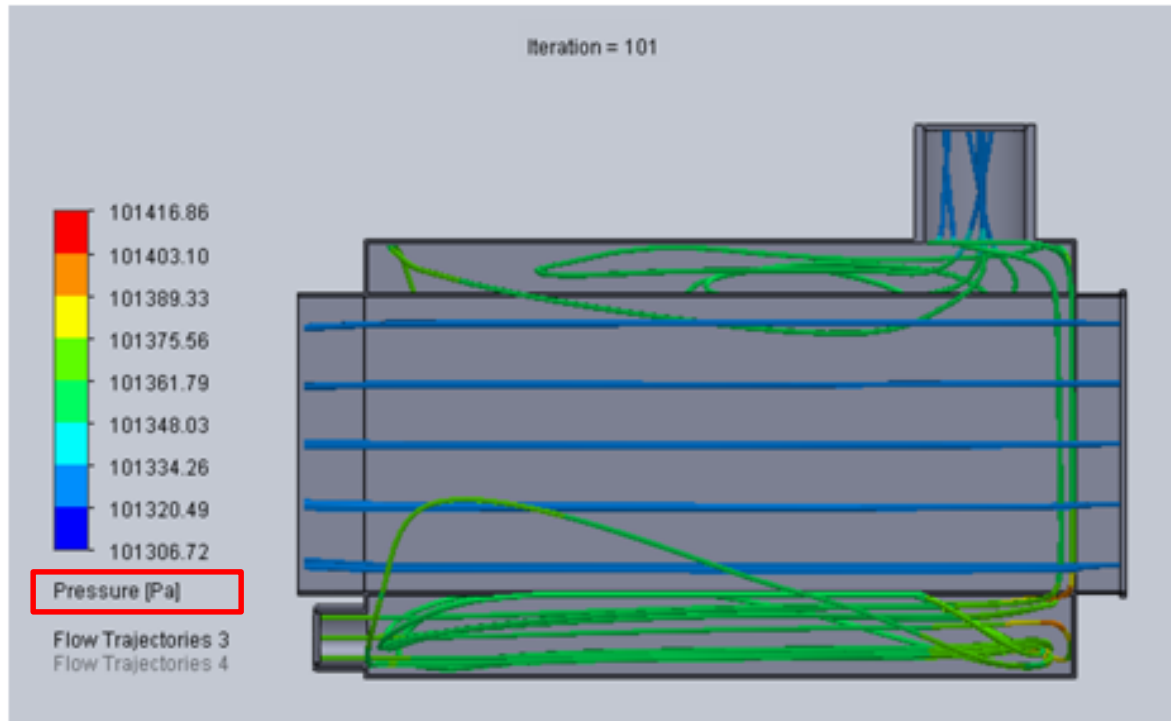
Velocity RRF (Y) [m/s]	-4.159	8.726
Velocity RRF (Z) [m/s]	-14.725	7.023
Vorticity (X) [1/s]	-838.13	476.99
Vorticity (Y) [1/s]	-517.93	495.06
Vorticity (Z) [1/s]	-529.09	431.19
Dynamic Pressure [Pa]	0	126.24
Friction Coefficient []	0	1.5817
Reference Density [kg/m ³]	0.81	1.55
Reference Pressure [Pa]	101325.00	101325.00
Reference Velocity [m/s]	0	14.408
Relative Pressure [Pa]	-18.28	91.86
Shear Stress [Pa]	0	0.74
Shear Stress (X) [Pa]	-0.37	0.35
Shear Stress (Y) [Pa]	-0.30	0.42
Shear Stress (Z) [Pa]	-0.74	0.44
Total Pressure [Pa]	101306.72	101489.08
Dynamic Viscosity [Pa*s]	1.4558e-05	2.4495e-05
Fluid Thermal Conductivity [W/(m*K)]	0.0233	0.0387
Prandtl Number []	0.6928113	0.9508051
Solid Thermal Conductivity (X) [W/(m*K)]	51.9000	51.9000
Solid Thermal Conductivity (Y) [W/(m*K)]	51.9000	51.9000
Solid Thermal Conductivity (Z) [W/(m*K)]	51.9000	51.9000
Sonic Speed [m/s]	274.227	406.894
Specific Heat (Cp) [J/(kg*K)]	1007.1	1730.4
Stagnation Density [kg/m ³]	0.81	1.61
Absolute Total Enthalpy [J/kg]	308184.126	643596.089
Adiabatic Fluid Temperature [°C]	30.05	200.00
Bottleneck Number []	1.0226308e-09	1.0000000
Heat Flux (X) [W/m ²]	-53340.424	34463.898
Heat Flux (Y) [W/m ²]	-41264.773	20628.917
Heat Flux (Z) [W/m ²]	-22395.614	48935.988
Heat Transfer Coefficient [W/m ² /K]	2.620e-05	103.491
Heat Transfer Coefficient (Adiabatic Temperature) [W/m ² /K]	0.005	1.023e+07
Overheat above Melting Temperature [°C]	-1332.925	-1220.706
Reference Fluid Temperature [°C]	20.05	20.05
ShortCut Number []	9.7112149e-11	1.0000000
Stanton Number []	-0.0358	0.0505
Surface Heat Flux [W/m ²]	-2296.434	5762.975
Surface Heat Flux (Conductive) [W/m ²]	0	0
Surface Heat Flux (Convective)	-3294171.454	5124090.048

[W/m ²]		
Total Temperature [°C]	20.05	200.04
Wall Temperature [°C]	67.08	179.29
Turbulence Intensity [%]	0.18	1000.00
Turbulence Length [m]	4.630e-05	0.010
Turbulent Dissipation [W/kg]	1.93e-09	2279.16
Turbulent Energy [J/kg]	1.054e-07	13.142
Turbulent Time [s]	0.005	80.753
Turbulent Viscosity [Pa*s]	3.0001e-10	0.0115
Boundary Layer Thickness [m]	6.500e-04	0.019
Boundary Layer Thickness (Thermal) [m]	7.398e-04	0.021
Boundary Layer Type []	0	1.0000000
Thin Channel Mode []	0	1
Acoustic Power [W/m ³]	1.348e-39	1.286e-07
Acoustic Power Level [dB]	0	51.09

2.3 Results







3 Appendix

3.1 Material Data

Engineering Database

Gases

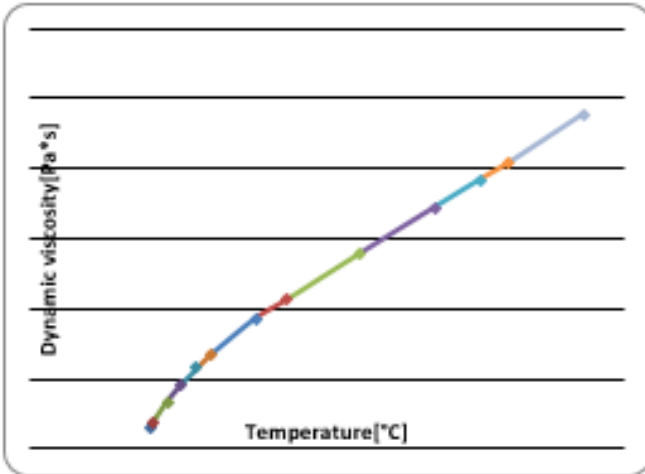
Air

Path: Gases Pre-Defined

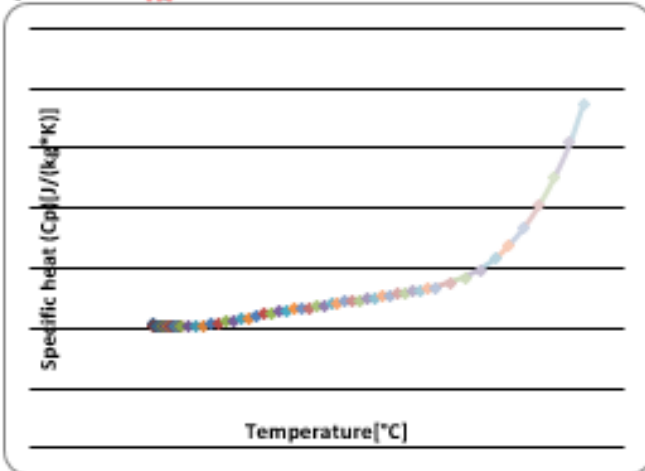
Specific heat ratio (C_p/C_v): 1.399

Molecular mass: 0.0290 kg/mol

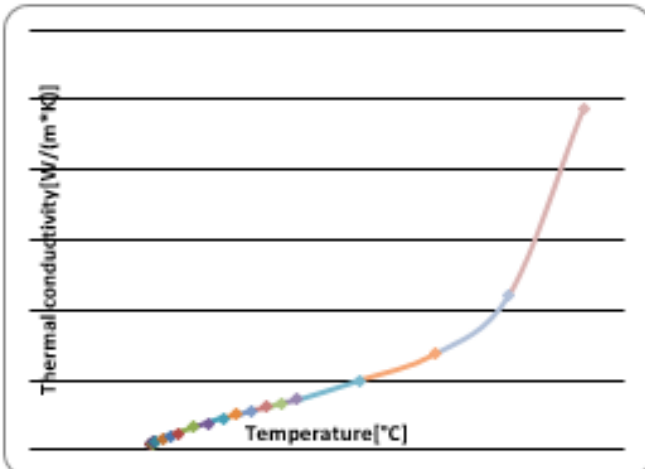
Dynamic viscosity



Specific heat (C_p)



Thermal conductivity



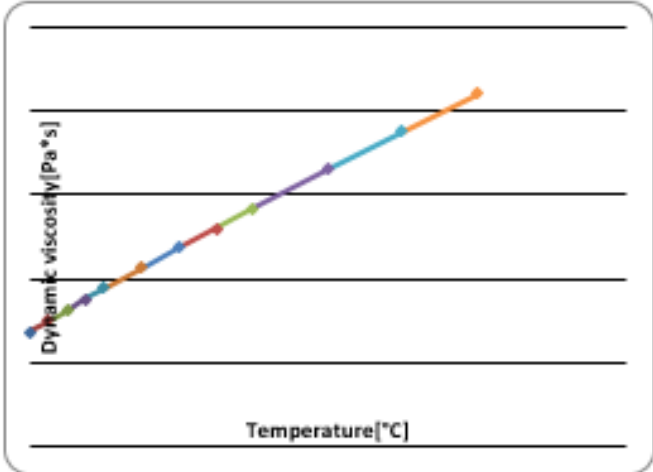
Butane

Path: Gases Pre-Defined

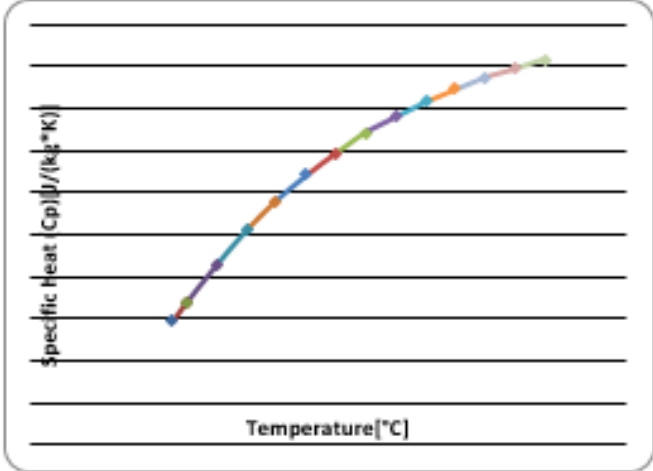
Specific heat ratio (C_p/C_v): 1.093

Molecular mass: 0.0581 kg/mol

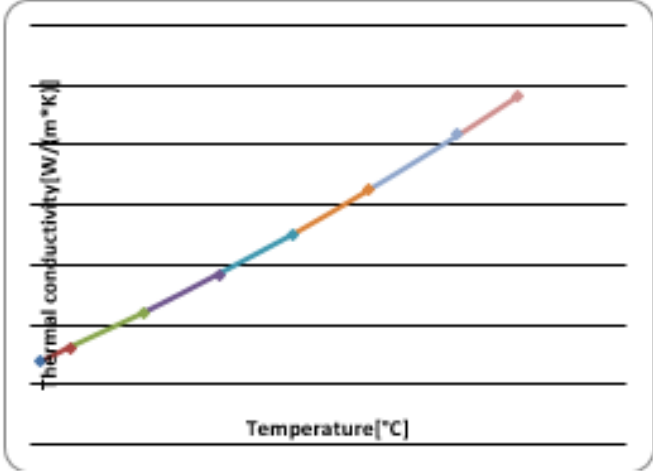
Dynamic viscosity



Specific heat (Cp)



Thermal conductivity



Solids

Steel (Mild)

Path: Solids Pre-Defined \ Alloys

ANEXOS

ANEXO A
TABLA TERMODINÁMICA DE VAPOR SATURADO



CATEDRA DE INTEGRACION III



TABLAS DE VAPOR DE AGUA

TABLA DE VAPOR DE AGUA SATURADO

Presión	Temperatura de saturación	Volumen específico		Densidad vapor saturado y seco	Entalpia del líquido	Entalpia del vapor saturado y seco	Calor latente de vaporización
		Líquido	Vapor saturado				
Kg/cm ²	°C	Litro/kg	m ³ /kg	kg/m ³	kcal/kg	kcal/kg	kcal/kg
0,010	6,7	1,000	131,6	0,007599	6,73	600,2	593,5
0,020	17,2	1,001	68,25	0,01465	17,25	604,9	587,6
0,030	23,7	1,003	46,52	0,02150	23,81	607,8	584,0
0,035	26,4	1,003	40,22	0,02486	26,39	608,9	582,5
0,040	28,6	1,004	35,46	0,02820	28,67	609,8	581,1
0,050	32,6	1,005	28,72	0,03482	32,57	611,5	578,9
0,075	40,0	1,008	19,69	0,05105	39,96	614,7	574,7
0,10	45,5	1,010	14,95	0,06689	45,45	617,0	571,6
0,15	53,6	1,014	10,20	0,09804	53,59	620,5	566,9
0,20	59,7	1,017	7,789	0,1284	59,65	623,1	563,4
0,25	64,6	1,020	6,318	0,1583	64,54	625,0	560,5
0,30	68,7	1,022	5,324	0,1878	68,66	626,8	558,1
0,40	75,4	1,026	4,066	0,2459	75,41	629,5	554,1
0,60	85,4	1,033	2,782	0,3595	85,47	633,5	548,0
0,80	93,0	1,038	2,125	0,4706	93,05	636,4	543,3
1,00	99,1	1,043	1,725	0,5797	99,19	638,8	539,6

Presión	Temperatura de saturación	Volumen específico		Densidad vapor saturado y seco	Entalpia del líquido	Entalpia del vapor saturado y seco	Calor latente de vaporización
		Líquido	Vapor saturado				
Kg/cm ²	°C	Litro/kg	m ³ /kg	kg/m ³	kcal/kg	kcal/kg	kcal/kg
1,50	110,8	1,052	1,181	0,8467	110,99	643,1	532,1
2,00	119,6	1,060	0,9018	1,109	119,94	646,3	526,4
2,50	126,8	1,067	0,7318	1,367	127,2	648,7	521,5
3,00	132,9	1,073	0,6169	1,621	133,4	650,7	517,3
3,50	138,2	1,078	0,5338	1,873	138,9	652,4	513,5
4,00	142,9	1,083	0,4709	2,124	143,7	653,9	510,2
4,60	147,2	1,087	0,4215	2,373	148,1	655,2	507,1
5,00	151,1	1,092	0,3817	2,620	152,1	656,3	504,2
6,00	158,1	1,100	0,3213	3,111	159,3	658,3	498,9
7,00	164,2	1,107	0,2778	3,600	165,7	659,9	494,2
8,00	169,6	1,114	0,2448	4,085	171,4	661,2	489,8
9,00	174,5	1,120	0,2189	4,568	176,5	662,3	485,8
10,0	179,0	1,126	0,1980	5,051	181,3	663,3	482,1
11,0	183,2	1,132	0,1808	5,531	185,7	664,1	478,4
12,0	187,1	1,137	0,1663	6,013	189,8	664,9	475,1
13,0	190,7	1,143	0,1540	6,494	193,6	665,6	472,0
14,0	194,1	1,148	0,1434	6,974	197,3	666,2	468,9
15,0	197,4	1,153	0,1342	7,452	200,7	666,7	465,9
16,0	200,4	1,157	0,1261	7,930	204,0	667,1	463,1
17,0	203,3	1,162	0,1189	8,410	207,2	667,5	460,3
18,0	206,1	1,166	0,1125	8,889	210,2	667,8	457,6
19,0	208,8	1,171	0,1067	9,372	213,1	668,2	455,1

Presión	Temperatura de saturación	Volumen específico		Densidad vapor saturado y seco	Entalpia del líquido	Entalpia del vapor saturado y seco	Calor latente de vaporización
		Líquido	Vapor saturado				
Kg/cm ²	°C	Litro/kg	m ³ /kg	kg/m ³	kcal/kg	kcal/kg	kcal/kg
160,0	345,7	1,693	0,009625	103,9	391,1	618,9	227,8
170,0	360,7	1,748	0,008681	115,2	400,4	611,5	211,1
180,0	365,3	1,812	0,007803	128,2	410,1	602,8	192,7
190,0	359,8	1,890	0,00697	143,5	420,4	593,0	172,6
200,0	364,1	1,967	0,00618	161,9	431,3	581,4	150,1
212,0	369,0	2,17	0,00517	193,2	447,6	562,2	114,6
224,0	373,6	2,67	0,00373	268	479	520,7	45,7

Presión	Temperatura de saturación	Volumen específico		Densidad vapor saturado y seco	Entalpia del líquido	Entalpia del vapor saturado y seco	Calor latente de vaporización
		Líquido	Vapor saturado				
Kg/cm ²	°C	Litro/kg	m ³ /kg	kg/m ³	kcal/kg	kcal/kg	kcal/kg
20,0	211,4	1,175	0,1015	9,852	215,9	668,5	452,8
25,0	222,9	1,195	0,08150	12,27	228,6	669,3	440,7
30,0	232,8	1,214	0,06797	14,71	239,6	669,6	430,0
35,0	241,4	1,232	0,05819	17,18	249,5	669,5	420,0
40,0	249,2	1,249	0,05077	19,70	258,4	669,0	410,6
45,0	256,2	1,266	0,04495	22,25	266,6	668,4	401,8
50,0	262,7	1,282	0,04026	24,84	274,3	667,5	393,2
55,0	268,7	1,299	0,03639	27,48	281,5	666,6	385,1
60,0	274,3	1,315	0,03313	30,18	288,3	665,4	377,1
68,0	279,5	1,331	0,03036	32,94	294,8	664,0	369,2
70,0	284,5	1,347	0,02798	35,74	301,0	662,6	361,6
75,0	289,2	1,363	0,02589	38,63	307,0	661,0	364,0
80,0	293,6	1,379	0,02405	41,58	312,8	659,3	346,5
85,0	297,9	1,395	0,02243	44,58	318,4	657,6	319,2
90,0	301,9	1,412	0,02096	47,71	323,8	655,7	331,9
95,0	306,6	1,428	0,01965	50,89	329,1	653,8	324,7
100,0	309,5	1,445	0,01846	54,17	334,2	651,7	317,5
110,0	316,6	1,480	0,01636	61,05	344,2	647,2	303,0
120,0	323,2	1,517	0,01483	68,35	353,9	642,5	288,6
130,0	329,3	1,557	0,01318	76,16	363,4	637,2	273,8
140,0	335,1	1,600	0,01182	84,60	372,7	631,7	269,0
150,0	340,6	1,644	0,01086	93,81	381,9	625,6	243,7

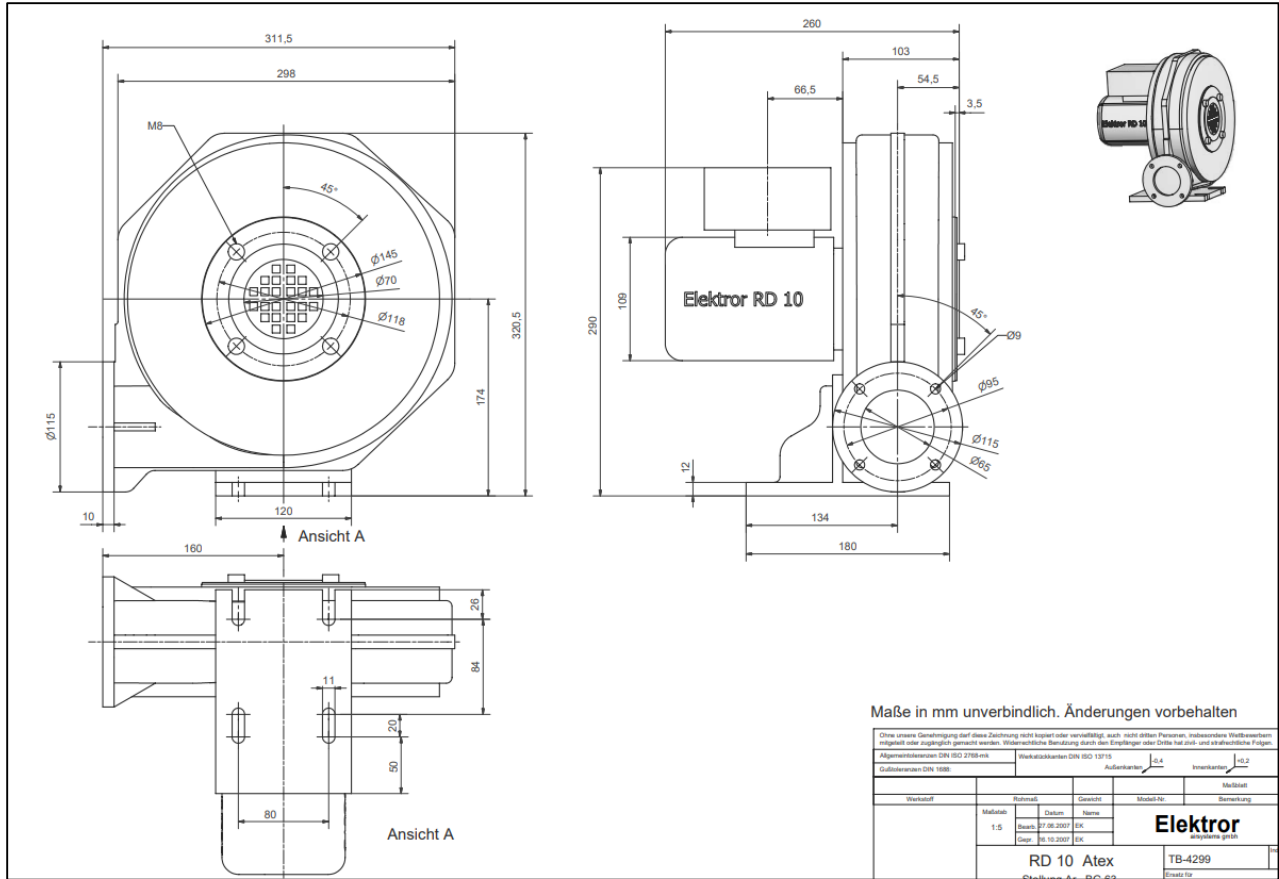
Presión Kg/cm	200°	230°	260°	300°	320°	350°	370°	400°	420°	450°	470°	500°	520°	550°	600°	650°	700°
19,0	---	682,1	699,7	722,0	732,9	749,2	759,9	775,8	786,4	802,2	812,7	826,8	839,1	855,0	881,5	908,3	935,6
20,0	---	681,0	696,9	721,3	732,4	748,8	759,4	775,5	786,1	801,9	812,4	826,3	838,8	854,7	881,3	908,2	935,5
25,0	---	674,5	694,1	717,8	729,1	746,1	757,1	773,4	784,2	800,4	811,0	827,0	837,6	853,7	880,5	907,5	934,8
30,0	---	---	688,9	714,2	726,1	743,5	754,8	771,4	782,4	798,7	809,5	825,7	836,5	852,6	879,6	906,7	934,1
35,0	---	---	683,8	710,5	722,8	740,7	752,3	769,3	780,4	797,0	808,0	824,4	835,3	851,5	878,7	905,9	933,4
40,0	---	---	678,0	706,6	719,6	737,9	749,7	767,2	778,5	795,4	806,5	823,0	834,0	850,4	877,7	905,1	932,7
46,0	---	---	671,6	702,5	716,0	735,0	747,3	765,1	776,6	793,7	804,9	821,7	832,8	849,3	876,8	904,3	932,0
50,0	---	---	---	688,4	712,5	732,2	744,7	762,9	774,7	792,0	803,4	820,3	831,5	848,2	875,8	903,4	931,3
56,0	---	---	---	682,8	708,2	728,7	741,6	760,4	772,3	789,9	801,5	818,7	830,0	846,8	874,6	902,4	930,5
60,0	---	---	---	689,0	705,1	726,4	739,7	758,7	770,9	788,5	800,1	817,5	828,9	845,8	873,8	901,7	929,9
66,0	---	---	---	683,1	700,3	722,9	736,7	756,0	768,3	786,5	798,3	815,9	827,4	844,5	872,7	900,9	929,2

TABLA DE VAPOR DE AGUA RECALENTADO

Presión Kg/cm ²	100°	120°	150°	170°	200°	230°	260°	300°	320°	350°	400°	450°	500°	550°	600°	650°	700°
0,10	642,0	651,0	664,7	673,9	687,7	701,6	715,7	734,8	744,4	758,9	783,4	808,3	833,6	859,3	885,4	912,0	938,9
0,400	641,1	650,3	664,2	673,4	687,4	701,4	715,5	734,7	744,3	758,8	783,3	808,2	833,8	859,3	885,4	911,9	938,9
0,700	640,2	649,7	663,7	673,0	687,0	701,1	715,3	734,5	744,1	758,7	783,2	808,1	833,5	859,2	885,4	911,9	938,8
1,00	639,2	649,0	663,0	672,5	686,6	700,7	714,9	734,0	743,6	758,0	782,6	807,6	833,0	858,6	884,8	911,1	938,0
1,50	---	647,8	662,3	671,8	686,0	700,2	714,5	733,7	743,3	758,0	782,6	807,6	833,0	858,6	884,8	911,1	938,0
2,00	---	646,5	661,5	671,2	685,4	699,7	714,1	733,4	743,1	757,9	782,6	807,6	833,0	858,6	884,8	911,1	937,9
2,50	---	---	660,6	670,4	684,8	699,2	713,7	733,0	742,8	757,6	782,4	807,5	832,9	858,7	884,7	911,0	937,8
3,00	---	---	659,7	669,6	684,2	698,7	713,2	732,7	742,5	757,4	782,2	807,3	832,7	858,5	884,5	910,8	937,7
3,60	---	---	658,6	668,8	683,5	698,1	712,7	732,3	742,2	757,1	782,0	807,2	832,6	858,4	884,4	910,8	937,7
4,00	---	---	657,9	668,2	683,0	697,7	712,4	732,1	742,0	756,9	781,8	807,1	832,5	858,4	884,4	910,7	937,6
4,60	---	---	656,6	667,3	682,3	697,2	711,9	731,7	741,7	756,5	781,7	806,9	832,3	858,2	884,2	910,7	937,6
5,00	---	---	---	666,6	681,7	696,8	711,5	731,4	741,4	756,4	781,5	806,7	832,1	858,0	884,1	910,6	937,5
6,00	---	---	---	664,8	680,6	695,7	710,7	730,7	740,8	755,9	781,1	806,4	831,9	857,6	884,0	910,5	937,4
7,00	---	---	---	663,2	679,4	694,7	709,9	730,1	740,2	755,3	780,6	806,1	831,7	857,6	883,8	910,3	937,3
8,00	---	---	---	661,5	678,2	693,8	709,2	729,4	739,5	754,9	780,3	805,7	831,4	857,4	883,6	910,1	937,1
9,00	---	---	---	---	676,8	692,7	708,4	728,7	739,0	754,3	779,9	805,4	831,2	857,2	883,4	909,9	936,9
10,00	---	---	---	---	675,4	691,9	707,6	728,0	738,4	753,8	779,5	805,1	830,9	856,9	883,2	909,8	936,8
11,00	---	---	---	---	674,1	690,9	706,8	727,3	737,7	753,2	779,1	804,8	830,7	856,7	883,0	909,6	936,6
12,0	672,9	690,0	705,9	726,7	737,1	752,8	768,1	778,7	788,9	804,5	814,9	830,5	840,9	856,5	882,8	909,4	936,5
13,0	671,5	689,0	705,1	726,0	736,5	752,2	767,7	778,2	788,6	804,2	814,6	830,2	840,6	856,3	882,7	909,4	936,5
14,0	670,0	688,0	704,2	725,1	735,8	751,7	767,2	777,9	788,3	803,9	814,3	829,9	840,3	856,0	882,5	909,2	936,3
15,0	668,4	686,9	703,4	724,7	735,2	751,2	766,8	777,5	787,9	803,5	813,9	829,6	840,0	855,8	882,3	909,0	936,1
16,0	---	685,8	702,3	724,0	734,7	750,7	766,3	777,1	787,5	803,2	813,6	829,4	839,8	855,6	882,1	908,9	936,0
17,0	---	684,5	701,5	723,3	733,9	750,2	765,8	776,7	787,2	802,9	813,3	829,1	839,5	855,4	881,9	908,7	935,9
18,0	---	683,3	700,6	722,8	733,6	749,7	765,3	776,2	786,7	802,5	812,9	828,8	839,3	855,2	881,7	908,5	935,7

ANEXO B:
FICHA TÉCNICA Y PLANOS DEL VENTILADOR RD-10

Datos de potencia		RD 10 ATEX
Clase de eficiencia	-	-
Flujo volumétrico	m ³ /min	4,9
Diferencia de presión total	Pa	1000
Tensión	V	230/400
Frecuencia	Hz	50
Consumo de corriente	A	0,92/0,53
Potencia	kW	0,18
Velocidad del ventilador	min-1	2870
Peso	kg	10,1



Maße in mm unverbindlich. Änderungen vorbehalten

Ohne unsere Genehmigung darf diese Zeichnung nicht kopiert oder vervielfältigt, auch nicht abfotografiert werden, insbesondere Weiterverkauf, Mithilfe oder zugänglich gemacht werden. Weiterverbreitung durch den Empfänger oder Dritte ist zul- und strafrechtliche Folgen.

Allgemeinstandards DIN ISO 2768-mk Werkstoffangaben DIN ISO 13715
Toleranzen DIN 1875 Auflockerung $\pm 0,4$ Innenkerne $\pm 0,2$

Werkstoff	Reinrad	Geometrie	Montage	Material
	Maßstab	Datum	Name	 elektrotechnik gmbh
	1:5	27.08.2007	EK	
		10.12.2007	EK	
	RD 10 Atex			TB-4299