RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Camilo Andrés Navarro Rodríguez
FACULTAD	**Ingenierías**
PLAN DE ESTUDIOS	**Ingeniería Mecánica**
DIRECTOR	PhD. Carlos Javier Noriega Sánchez
TÍTULO DE LA TESIS	Diseño de un sistema de conducción de gases de combustión de una caldera pirotubular para la empresa QUIMICOLOR S.A.S ubicada en GUARNE-ANTIOQUIA.
TITULO EN INGLES	Design of a flue gas conduction system for a thermal oil boiler for the company QUIMICOLOR S.A.S. located in Guarne-Antioquia.

RESUMEN
(70 palabras)

Se realizó un análisis detallado de las necesidades de la empresa y se desarrolló un sistema que mejora la eficiencia energética y cumple con los estándares de seguridad y medioambientales. El proceso incluyó el diseño de ductos, la selección de materiales resistentes a altas temperaturas, y la implementación de mecanismos de control y monitoreo. Además, se realizaron simulaciones para validar el desempeño del sistema y se elaboraron recomendaciones para su mantenimiento y operación óptima.

RESUMEN EN INGLES

A detailed analysis of the company's needs was conducted and a system was developed that improves energy efficiency and meets safety and environmental standards. The process included duct design, selection of high temperature resistant materials, and implementation of control and monitoring mechanisms. In addition, simulations were carried out to validate the system's performance and recommendations were developed for its maintenance and optimal operation.

PALABRAS CLAVES	Diseño, eficiencia, monitoreo, materiales, sistema de conducción, gases, proceso
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Design, efficiency, monitoring, materials, piping system, gases, process

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 112	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 26	CD-ROM: 0

Diseño de un sistema de conducción de gases de combustión de una caldera pirotubular para la empresa QUIMICOLOR S.A.S ubicada en GUARNE-ANTIOQUIA

Camilo Andrés Navarro Rodríguez

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingeniería Mecánica

PhD. Carlos Javier Noriega Sánchez

22 de agosto de 2024

Índice

Capítulo 1. Diseño de un sistema de conducción de gases de combustión de una caldera pirotubular para la empresa QUIMICOLOR S.A.S ubicada en GUARNE-ANTIOQUIA..... 9

1.1 Descripción de la empresa..... 9

1.1.1 Misión..... 9

1.1.2 Visión 10

1.1.3 Objetivo de la empresa 10

1.1.4 Estructura organizacional de la empresa. 10

1.1.5 Descripción del área de mantenimiento..... 11

1.2 Diagnóstico inicial del área de mantenimiento..... 12

1.2.1 Planteamiento del problema 15

1.3 Objetivos de la pasantía..... 16

1.3.1 Objetivo General..... 16

1.3.2 Objetivos Específicos. 16

1.4 Descripción de las actividades a desarrollar..... 17

Capítulo 2. Enfoques referenciales..... 19

2.1 Enfoque conceptual 19

2.1.1 ¿Qué es una caldera? 19

2.1.2 Tipos de calderas 19

2.1.3 Según el tipo de fluido que circula. 20

2.1.4 Según la presión de trabajo..... 20

2.1.5 Según la generación de calor. 20

2.1.6 Según la aplicación y diseño. 20

2.1.7 ¿Qué es un sistema de conducción de gases? 21

2.2 Enfoque legal 22

Capítulo 3. Informe de cumplimiento de trabajo 25

3.1 Presentación de resultados 25

3.1.1 Desarrollo del objetivo específico 1. 25

3.1.2 Desarrollo de la actividad 1 31

3.1.3 Desarrollo de la actividad 2. 37

3.1.4 Desarrollo de la actividad 3. 46

3.1.5 Desarrollo del objetivo específico 2 53

3.1.6 Desarrollo de la actividad 1. 54

3.1.7 Desarrollo de la actividad 3. 62

3.1.8. Diseño y cálculo de una chimenea para caldera de calentamiento 76

3.1.9 Desarrollo del objetivo específico 3 89

4. Diagnostico final 102

5. Conclusiones 104

6. Recomendaciones 106

Referencias 108

Lista de figuras

Figura 1 Estructura organizacional de la empresa Qumicolor S.A.S. **11**

Figura 2 Proceso de integración de los componentes de la crema. **26**

Figura 3 Tanques de almacenamiento y calentamiento..... **27**

Figura 4 Mezcla terminada. **28**

Figura 5 Recorrido del aceite **29**

Figura 6 Envasado de cremas. **30**

Figura 7 Caldera de aceite térmico **48**

Figura 8 Catálogo de calderas de aceite térmico **49**

Figura 9. Caldera seleccionada **50**

Figura 10 Acción del viento sobre el tipo de las chimeneas **60**

Figura 11. Distancias mínimas para el correcto funcionamiento de la chimenea. **61**

Figura 12. Distancias mínimas por criterios ambientales **62**

Figura 13. Coeficientes de las pérdidas de presión localizadas **74**

Figura 14. Caldera aceite térmico **76**

Figura 15. Identificación de los datos para la solucion de la formula **78**

Figura 16. Proceso de rolado de la lamina **91**

Figura 17. Ensamble de la corona del ducto **92**

Figura 18. Construcción del ducto **93**

Figura 19. Construcción de la abrazadera **94**

Figura 20. Corte del ducto a la medida requerida **95**

Figura 21. Corte de laminas **96**

Figura 22. Unión del ducto a la caldera **97**

Figura 23. Cambio de dirección en el ducto **98**

Figura 24. Pendiente en el ducto horizontal **99**

Figura 25. Proceso de montaje del sistema **100**

Figura 26. Montaje final del sistema **101**

Tabla de Tablas

Tabla 1 Matriz DOFA **13**

Tabla 2 Estrategias FO, FA, DO, DA **14**

Tabla 3 Descripción de actividades **17**

Tabla 4 Tipos de calderas **40**

Tabla 5 Criterios de materiales **45**

Tabla 6 Tipos de instalaciones **46**

Tabla 7. Coeficiente de forma de sección **70**

Tabla 8. Coeficiente β. **71**

Tabla 9 Rugosidad de materiales empleados **73**

Tabla 10. Características de la caldera seleccionada **77**

Tabla 11. Determinación de las características de los combustibles gaseosos empleados .. **77**

Tabla 12. Determinación del rendimiento el generador (%) **78**

Tabla 13. Temperatura de los humos en salida de generador **79**

Tabla 14. Presión disponible a la salida del generador **81**

Tabla 15 Especificaciones finales de la caldera **103**

Resumen

Este proyecto de grado ofrece un análisis detallado y exhaustivo de los aspectos fundamentales involucrados en la construcción y cálculo térmico de chimeneas para calderas de calefacción de tamaño medio. El estudio se centra en la selección de un método de cálculo específico, el cual se desarrolla de manera práctica y detallada a través de un caso concreto, demostrando su aplicabilidad y eficacia.

En el marco de este trabajo, se abordan los distintos parámetros y consideraciones técnicas que son esenciales para asegurar un rendimiento óptimo y una eficiencia energética máxima en estas instalaciones. Se analiza cómo la correcta elección de materiales, el diseño estructural, y el dimensionamiento preciso de la chimenea contribuyen no solo al funcionamiento eficiente del sistema de calefacción, sino también al cumplimiento de las normativas ambientales.

El proyecto no solo busca proporcionar una guía técnica para la construcción y evaluación de chimeneas de calderas, sino también resaltar la importancia de un enfoque integrado que considere tanto los aspectos termodinámicos como los ambientales.

Introducción

En muchos proyectos de calefacción, frecuentemente no se incluyen las especificaciones técnicas detalladas para el cálculo y diseño de la chimenea de la caldera. Esto se debe a la ausencia de normativas específicas en Colombia sobre este tema, lo que conduce a que la elaboración e instalación de la chimenea dependa en gran medida de las recomendaciones del fabricante, proveedor o instalador de las calderas, quienes a menudo se basan en su experiencia laboral, especialmente en el caso de las calderas a leña.

Por lo tanto, el objetivo de este proyecto es establecer un procedimiento de cálculo para las chimeneas que permita una evacuación eficaz de los gases generados por la combustión de los equipos de calefacción, así como desarrollar criterios adecuados para el diseño del sistema. Este estudio se enfoca en generadores de calor utilizados en sistemas de calentamiento de aceites con potencia superior a 10 kW. Se analizan los diferentes tipos constructivos de chimeneas, considerando aspectos generales como forma y materiales, así como la ingeniería detallada de su conexión a la caldera.

Capítulo 1. Diseño de un sistema de conducción de gases de combustión de una caldera pirotubular para la empresa QUIMICOLOR S.A.S ubicada en GUARNE-ANTIOQUIA

Descripción de la empresa

Quimicolor es una empresa dedicada a la fabricación de productos cosméticos, de aseo personal y aseo de hogar por más de 15 años. Cuentan en sus instalaciones con líneas de producción completas para la fabricación, envasado, etiquetado y acondicionamiento de los productos, que garantizan una respuesta rápida y eficaz a los incrementos en la demanda, generando esto como una solución al desabastimiento de dichos productos, cuentan con valores como la calidad, ética, compromiso, calidad, seguridad e integridad los cuales hacen que la empresa sea un lugar seguro y confortable (Quimicolor S.A.S, 2023).

Adicionalmente, se enfocan en que sus consumidores sean las poblaciones de bajos recursos sin afectar la calidad de los productos, transformando materia prima con una relación beneficio-costo favorable.

En sus líneas de producción se encuentran diferentes productos y marcaras entre las cuales resalta una marca propia conocida como Dailyn y demás marcas de proveedores las cuales son envasadas y despechadas en la empresa como las son Quimic Secure Home QSH filyn y BQX.

1.1.1 Misión

Somos una empresa orientada a la fabricación de productos cosméticos y adhesivos tanto de marca propia como maquilas, con productos de la más alta calidad a un

bajo precio para la industria y el hogar, ofreciendo soluciones confiables en formulación, investigación y desarrollo. (Quimicolor S.A.S, 2023)

1.1.2 Visión

Nuestra estrategia está dirigida a triplicar para el año 2023 las ventas del año 2018 manteniendo la rentabilidad y calidad de nuestros productos; a su vez posicionándonos como la empresa maquiladora más eficiente en el mercado colombiano, apalancados en el constante desarrollo tecnológico y humano.

1.1.3 Objetivo de la empresa

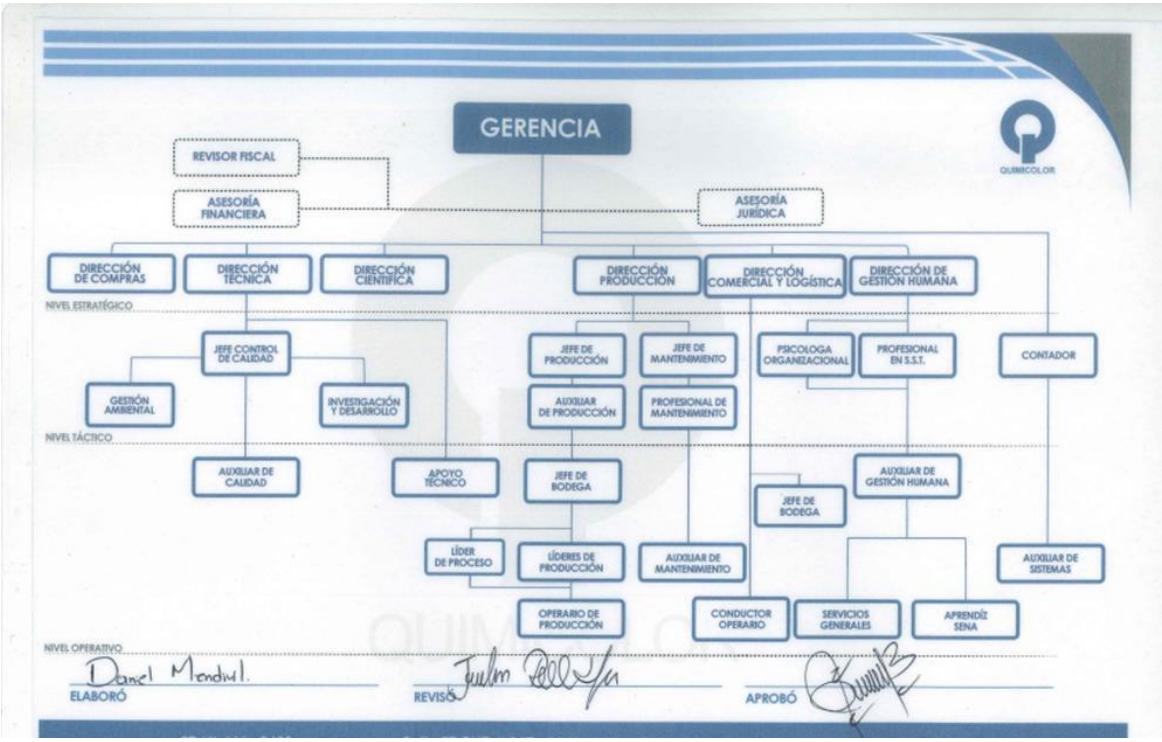
Ser una empresa productora de cosméticos marca propia y maquilas, con productos de excelente calidad a un bajo precio, a su vez posicionándonos como la empresa maquiladora más eficiente en el mercado colombiano, apalancados en el constante desarrollo tecnológico y humano. (Quimicolor S.A.S, 2023)

1.1.4 Estructura organizacional de la empresa.

La estructura organizacional de la empresa está constituida en primer lugar por la gerencia y luego por las diferentes direcciones de compras, técnica, científica, producción comercial y logística y gestión humana, como se puede evidenciar en la Figura 1. En la estructura organizacional de la empresa, se muestra el área en el que se desarrollará el proyecto la cual se desprende desde la coordinación de producción. En esta dependencia se

encuentra el jefe de mantenimiento seguido de los profesionales en mantenimiento y por último a los auxiliares de mantenimiento.

Figura 1
Estructura organizacional de la empresa Qumicolor S.A.S.



Nota. Fuente: Quimicolor SAS

1.1.5 Descripción del área de mantenimiento.

La dependencia en la que está asignado el proyecto corresponde a la de mantenimiento, la cual está dirigida por el ingeniero Leonardo Aguirre, jefe de mantenimiento general de la empresa Quimicolor S.A.S, el cual está encargado de dirigir,

supervisar e intervenir en las diferentes actividades realizadas a los activos físicos de la empresa al momento de que presenten las fallas, responsable de las metas establecidas por la gerencia y la utilización de los recursos disponibles que permitan corregir los equipos en el menor tiempo posible.

En este departamento se presentan diferentes actividades del área de mantenimiento en las cuales no se llevan un control adecuado, de acuerdo a los requerimientos que exige el área administrativa, ya que en la actualidad se está llevando a cabo nuevas metas en diferentes ámbitos, en función del cambio de sede que viene adelantado la empresa.

Diagnóstico inicial del área de mantenimiento

El diagnóstico del área de mantenimiento se hará por medio de la matriz DOFA donde se representarán debilidades oportunidades fortalezas y amenazas, bajo la cual se pueden obtener elementos que brindarán una visión global e integral al respecto de la situación real de la empresa, (Amaya Correa, 2006). A continuación, se muestra la Tabla 1 con el análisis DOFA y la Tabla 2 con las estrategias FO, FA, DO, DA

Tabla 1
Matriz DOFA

Matriz Dofa		
Factores	**Debilidades**	**Oportunidades**
Internos	● Falta de un sistema de conducción de gases para la combustión de la caldera. Ausencia de un instructivo de lubricación específico para la maquinaria. Insuficiencia de pausas activas durante la jornada laboral, afectando la productividad y el bienestar de los empleados. ● Desigualdades jerárquicas que generan tensiones internas y afectan la cohesión del equipo. ● Estrategias publicitarias limitadas, lo que reduce la captación de nuevos clientes.	● Disponibilidad y disposición de la empresa para implementar un sistema de conducción de gases, mejorando la eficiencia y cumplimiento normativo. ● Aparición de nuevos sistemas de distribución que facilitan la expansión a nuevas zonas geográficas, aumentando la cobertura de mercado. ● Expansión del mercado, ofreciendo oportunidades para aumentar la cuota de mercado y diversificar la cartera de clientes.
Externos	● Regulación estricta de normas ambientales vigentes, lo que podría dificultar la operación sin la adecuación necesaria.	● Disponibilidad de amplios espacios en las instalaciones para la correcta conducción de gases generados por la caldera, facilitando la adaptación de nuevas tecnologías.
Factores	● **FORTALEZAS**	● **AMENAZAS**
Internos	● Ingenieros altamente capacitados con habilidades en resolución de problemas técnicos, lo que facilita la implementación de mejoras operativas y el mantenimiento eficiente de la maquinaria.	● Emisión de gases contaminantes provenientes de la caldera, que podría generar sanciones regulatorias y afectar la reputación de la empresa.
Externos	● Desafíos en la implementación de un sistema de conducción de gases, que podrían requerir inversiones significativas y ajustes operativos complejos.	● Riesgo de enfermedades ocupacionales o multas debido a la falta de un sistema de conducción de gases, lo que podría aumentar los costos y disminuir la moral del equipo

Tabla 2.
Estrategias FO, FA, DO, DA

Estrategias FO	**Estrategias FA**
● Diseñar e implementar un sistema de conducción de gases para la combustión de la caldera, aprovechando la disponibilidad de espacios y la capacidad técnica del equipo. ● Aprovechar el crecimiento del mercado para expandir la base de clientes y diversificar las fuentes de ingresos, apoyándose en estrategias publicitarias mejoradas.	● Colaborar estrechamente con los ingenieros del área de mantenimiento para asegurar el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes, minimizando los riesgos de sanciones y mejorando la sostenibilidad operativa.
Estrategias DO	**Estrategias DA**
● Desarrollar e implementar un plan integral de mantenimiento preventivo que incluya un instructivo detallado de lubricación para toda la maquinaria, garantizando su correcto funcionamiento y prolongando su vida útil. ● Promover la equidad en la jerarquía y la realización de pausas activas regulares, mejorando el bienestar y la cohesión del equipo.	● Realizar el acondicionamiento necesario para la implementación eficaz del sistema de conducción de gases, priorizando la salud y seguridad del personal, y cumpliendo con las regulaciones ambientales para evitar sanciones. ● Implementar campañas internas de concienciación sobre la importancia de la correcta conducción de gases y los riesgos asociados a la falta de este sistema, para fomentar una cultura organizacional comprometida con la seguridad y el medio ambiente.

1.2.1 Planteamiento del problema

La empresa Quimicolor SAS, dedicada a la producción de una variedad de productos industriales, cuenta con una caldera pirotubular como parte crucial de su infraestructura. Esta caldera es responsable de generar la energía térmica necesaria para diversos procesos de producción mediante la combustión de gas. El proceso de combustión, indispensable para el funcionamiento de la caldera, genera gases residuales que, si no se manejan adecuadamente, pueden ser peligrosos para la salud humana y el medio ambiente.

En el contexto actual, la caldera pirotubular de Quimicolor SAS no está equipada con un sistema eficiente de conducción de gases de combustión. Como resultado, los gases generados durante el proceso de combustión se dispersan de manera no controlada en áreas cercanas a las zonas de trabajo. Estas áreas son frecuentadas por operarios y otros trabajadores que desempeñan funciones esenciales para la producción. La exposición continua a estos gases puede tener consecuencias adversas para la salud, como problemas respiratorios, irritaciones, y otros efectos negativos a largo plazo. Además, el riesgo de incidentes relacionados con la acumulación de gases no controlados aumenta significativamente.

La falta de un sistema de conducción de gases también plantea problemas operacionales. La presencia de gases en el entorno de trabajo puede afectar la concentración y el rendimiento de los empleados, lo que, a su vez, puede disminuir la eficiencia del proceso productivo. La empresa se enfrenta, por tanto, a un doble desafío: proteger la salud de sus trabajadores y mantener la eficiencia operativa en sus procesos de producción.

Este escenario crítico ha puesto de relieve la necesidad de una intervención urgente para mitigar los riesgos asociados con la exposición a los gases de combustión. La implementación de un sistema de conducción de gases que dirija estos subproductos hacia un espacio abierto, lejos de las áreas de trabajo, es esencial para garantizar un entorno de trabajo seguro y saludable. Además, este sistema debe ser diseñado de manera que sea económicamente viable, manteniendo los costos operativos dentro de límites aceptables para la empresa.

La problemática descrita conduce a la formulación de una pregunta de investigación central: ¿Cómo se puede diseñar e implementar un sistema de conducción de gases para la caldera pirotubular que garantice la seguridad de los trabajadores y sea económicamente sostenible? Este interrogante no solo busca una solución técnica eficiente, sino que también considera los aspectos económicos y operacionales, fundamentales para la viabilidad del proyecto.

Objetivos de la pasantía

1.1.6 Objetivo General

Diseñar un sistema de conducción de gases de combustión de una caldera pirotubular para la empresa QUIMICOLOR S.A.S ubicada en GUARNE-ANTIOQUIA

1.1.7 Objetivos Específicos.

- Seleccionar la caldera de aceite térmico adecuada teniendo en cuenta las variables críticas que intervienen en el proceso con el fin de integrar correctamente los aspectos técnicos más relevantes en el diseño del sistema.

- Diseñar un sistema de conducción de gases para la caldera de aceite térmico mediante un análisis cuantitativo del flujo de los gases y la evaluación técnica de los materiales más adecuados, con el fin de garantizar un flujo eficiente de gases y el buen rendimiento del sistema.
- Construir el sistema de conducción de gases para la caldera de aceite térmico utilizando los materiales seleccionados y las técnicas de construcción apropiadas, siguiendo las normativas y estándares de seguridad vigentes, con el propósito de garantizar la seguridad operativa y la evacuación segura de los gases de combustión.

Descripción de las actividades a desarrollar

En la Tabla 3 se describen las actividades respectivas para dar cumplimiento a cada objetivo específico.

Tabla 3
Descripción de actividades

OBJETIVO GENERAL	OBJETIVOS ESPECIFICOS	ACTIVIDADES PARA CUMPLIR CADA OBJETIVO
Diseñar un sistema de conducción de gases de combustión de una caldera pirotubular para la empresa QUIMICOLOR S.A.S ubicada en Guarne-Antioquia	Identificar las variables que intervienen en un sistema de conducción de gases en una caldera pirotubular a través de manuales técnicos y bases de datos para conocer aspectos técnicos a ser considerados en el diseño del sistema.	Realizar un estado del arte sobre las normas que regulan el empleamiento de calderas y los sistemas utilizados para la conducción de gases de combustión en calderas.
		Identificar variables que intervienen en el proceso de conducción de gases para calderas.
		Identificar para las normas rigentes el diseño del sistema de conducción de gases de combustión para la caldera utilizada.
	Diseñar el sistema de conducción de gases para una caldera pirotubular analizando las necesidades de la caldera, evaluando las opciones de diseño disponibles y seleccionando la configuración más adecuada para garantizar un flujo eficiente de gases para optimizar el funcionamiento y la eficiencia de la caldera pirotubular.	Realizar un estado del arte sobre los diferentes diseños de chimenea, estandarizados para calderas pirotubulares.
		Seleccionar el sistema con mejores características para emplear en la caldera.
		Realizar el diseño con los cálculos correspondientes para la adaptación del diseño seleccionado a la caldera utilizada en la empresa.
	Construir un sistema de conducción de gases para una caldera pirotubular empleando materiales y técnicas adecuadas de construcción, siguiendo normativas y estándares de seguridad pertinentes, y coordinando eficientemente el proceso de instalación para la evacuación segura de los gases de combustión producidos por la caldera pirotubular.	Selección de materiales adecuados de acuerdo al sistema seleccionado.
		Construir el sistema de conducción de gases para una caldera pirotubular.
		Realizar el montaje del sistema construido en la caldera pirotubular utilizada en la empresa.

Capítulo 2. Enfoques referenciales

2.1 Enfoque conceptual

2.1.1 ¿Qué es una caldera?

Las calderas son dispositivos diseñados para generar vapor o calentar agua mediante la combustión de combustibles como gas, petróleo, biomasa o carbón, o mediante fuentes de energía eléctrica. Según (Hernández, P. 2021) las calderas son ampliamente utilizadas en diversas industrias para aplicaciones de calefacción, generación de energía eléctrica, procesos industriales y climatización, entre otros usos

Durante la investigación (Pérez, J. C., & Rodríguez, M. A. 2015), lograron establecer diferentes tipos de caldera como se mostraran a continuación:

2.1.2 Tipos de calderas

Calderas pirotubulares. En estas calderas, los gases calientes de la combustión circulan por tubos inmersos en el agua, que se convierte en vapor. Son robustas y versátiles, adecuadas para diferentes tipos de combustibles.

Calderas acuotubulares. El agua circula por dentro de los tubos y los gases calientes de la combustión circulan por fuera de los mismos. Son eficientes y utilizadas en aplicaciones industriales y de generación de energía.

Calderas de tubos de humo. Similar a las pirotubulares pero con tubos de mayor diámetro, diseñadas para operar con presiones más bajas y flujos de vapor moderados.

Asimismo, las clasifica en tipo de fluido presión de trabajo y generación de calor como se evidencia a continuación

2.1.3 Según el tipo de fluido que circula.

Calderas de agua caliente. Generan agua caliente para calefacción o procesos industriales.

Calderas de vapor. Producen vapor para alimentar turbinas de generación eléctrica, procesos industriales o calefacción a vapor.

2.1.4 Según la presión de trabajo.

Calderas de baja presión. Operan a presiones inferiores a 15 psi (libras por pulgada cuadrada).

Calderas de media presión. Operan entre 15 y 150 psi**.**

Calderas de alta presión. Operan a presiones superiores a 150 psi.

2.1.5 Según la generación de calor.

Calderas de combustión. Utilizan la combustión directa de un combustible para calentar el fluido.

Calderas de recuperación de calor. Utilizan fuentes de calor residuales (como gases de escape) para calentar el fluido.

2.1.6 Según la aplicación y diseño.

Calderas industriales. Grandes y robustas, utilizadas en industrias para procesos continuos y de alta demanda.

Calderas comerciales. Más pequeñas y diseñadas para aplicaciones comerciales, como calefacción de edificios, hoteles, etc.

Calderas residenciales: Diseñadas para uso doméstico, proporcionando calefacción y agua caliente sanitaria.

2.1.7 ¿Qué es un sistema de conducción de gases?

Un sistema de conducción de gases es la red de ductos, tuberías y componentes diseñados para transportar los gases de combustión desde el equipo de generación (como una caldera pirotubular) hasta el punto de salida al ambiente exterior o a sistemas de tratamiento de gases.

Funciones principales de un sistema de conducción de gases. Evacuación de gases de combustión. Transportar los gases generados por la combustión desde la caldera u otro equipo de generación de calor hasta el exterior.

Control de emisiones. Minimizar las emisiones de gases contaminantes al ambiente mediante sistemas de tratamiento adecuados y el cumplimiento de normativas ambientales.

Seguridad operativa. Garantizar que los gases de combustión sean evacuados de manera segura para prevenir riesgos de explosión, incendio o contaminación ambiental.

Eficiencia energética. Diseñar el sistema para optimizar la transferencia de calor y reducir pérdidas energéticas durante el transporte de los gases.

Dimensionamiento adecuado. Se debe calcular el tamaño de los conductos de acuerdo con la capacidad de la caldera y las especificaciones del fabricante. Esto implica tener en cuenta el volumen y la temperatura de los gases de combustión, así como la pérdida de carga a lo largo del sistema.

Selección de materiales. Los materiales utilizados en la construcción de los conductos deben ser resistentes a altas temperaturas y corrosión. El acero al carbono es comúnmente utilizado, aunque en ciertos casos puede ser necesario el uso de acero inoxidable u otros materiales especiales.

Rutas de escape seguras. Se deben diseñar rutas de escape para los gases de combustión que minimicen el riesgo de exposición a personas y propiedades. Esto implica evitar puntos de congestión, asegurar una adecuada ventilación y cumplir con las normativas de seguridad pertinentes.

Dispositivos de control de emisiones. Dependiendo de la normativa ambiental aplicable, puede ser necesario incluir dispositivos de control de emisiones, como filtros de partículas o sistemas de reducción de óxidos de nitrógeno (nox).

Mantenimiento y accesibilidad. El diseño debe facilitar el acceso para inspección, limpieza y mantenimiento de los conductos y dispositivos asociados. Esto garantiza un funcionamiento seguro y eficiente a lo largo del tiempo.

2.2 Enfoque legal

En Colombia, el diseño e instalación de sistemas de conducción de gases de combustión están regulados por diversas normativas que abarcan aspectos ambientales, de seguridad, y de construcción como las que se presentan a continuación:

Normativas Ambientales:

Decreto 1076 de 2015: Este decreto establece los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera y otros requisitos ambientales para evitar la contaminación del aire, obligando a la instalación de equipos de control de emisiones y la obtención de permisos y licencias ambientales correspondientes (Decreto 1076 de 2015).

Reglamento técnico de construcción sostenible para edificaciones: Promueve el uso eficiente de recursos naturales y puede incluir requisitos sobre la gestión de emisiones

Normas de Seguridad:

Reglamento Técnico de Instalaciones Internas de Gas Combustible: Regula la seguridad en la instalación y el uso de gas combustible en edificaciones, garantizando que los sistemas de conducción cumplan con altos estándares de seguridad (Ministerio de Minas y Energía, 2021)

Normativa sobre la Evacuación de Humos y Gases de Combustión: Esta normativa indica que todos los sistemas de evacuación de humos y gases deben cumplir con las especificaciones técnicas, tales como la norma UNE-EN 12101 para la instalación de aireadores y otros dispositivos de extracción de humo (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Normas de Construcción:

Código Colombiano de Construcción Sismorresistente (NSR-10): Establece las directrices para el diseño y construcción de edificaciones, asegurando que sean seguras y resistentes a sismos, lo que incluye la infraestructura necesaria para la conducción de gases.

Reglamento Técnico de Construcción: Contempla las especificaciones para materiales y métodos de instalación que deben cumplir los conductos de gases de combustión (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021)

Inspecciones y Certificaciones:

Es probable que se requieran inspecciones periódicas por parte de autoridades competentes como el Ministerio de Minas y Energía, para asegurar que las instalaciones cumplen con todas las normativas vigentes (Ministerio de Minas y Energía, 2023)

Estas normativas deben cumplirse estrictamente para asegurar tanto la seguridad como el cumplimiento legal en la instalación de sistemas de conducción de gases de combustión en Colombia.

Capítulo 3. Informe de cumplimiento de trabajo

Presentación de resultados

A continuación, se muestra el informe de cumplimiento de trabajo enfocado a los objetivos específicos y a las actividades formuladas para dar el cumplimiento a los mismos y de esa forma, lograr el objetivo general el cual es diseñar un sistema de conducción de gases de combustión de una caldera pirotubular de la empresa Quimicolor S.A.S en Guarne Antioquia.

3.1.1 Desarrollo del objetivo específico 1.

La identificación de las variables es un aspecto crítico para asegurar un diseño eficiente y confiable del sistema de conducción de gases. Las normas que rigen y regulan este tipo de instalaciones están comprometidas con el correcto funcionamiento de las calderas. Las calderas son dispositivos diseñados para generar vapor o calentar agua mediante la combustión de combustibles como gas, petróleo, biomasa o carbón, o mediante fuentes de energía eléctrica. Son ampliamente utilizadas en diversas industrias para aplicaciones de calefacción, generación de energía eléctrica, procesos industriales y climatización.

La selección adecuada de una caldera pirotubular es un paso crucial en el diseño de sistemas de conducción de gases, fundamental para asegurar eficiencia operativa, seguridad y cumplimiento de normativas técnicas. Las calderas pirotubulares, reconocidas por su robustez y capacidad para generar vapor mediante la combustión de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos, requieren de un análisis detallado de variables técnicas y características específicas. Este proceso de selección, basado en la revisión exhaustiva de

manuales técnicos y datos especializados, es esencial para integrar la caldera de manera efectiva en el diseño del sistema, garantizando así un funcionamiento óptimo y confiable. En este contexto, explorar las variables clave para la selección adecuada de una caldera pirotubular es fundamental para maximizar su rendimiento y contribuir al éxito del proceso requerido.

En el proceso para el cual la caldera es requerida tiene una importancia significativa dentro de las actividades a las cuales se dedica la empresa QUIMICOLOR S.A.S; El sistema de calentamiento por medio de una caldera pirotubular requiere de una temperatura estable y que pueda variar según la necesidad. Para el éxito del producto, es necesario que el sistema de almacenamiento y de mezclado alcance una temperatura de entre 110 y 120 °C, en el recipiente de almacenamiento se vierten cantidades exactas de vaselina, óxido de zinc, lanolin, aceite mineral, aloe vera, vitamina E como se evidencia en la figura 2. Para que los elementos alcancen un punto de fusión o puedan mezclarse de la manera ideal requerida por los estándares de calidad deben alcanzar la temperatura antes mencionada, por lo que los directores del proceso sugieren que la caldera ideal sería una caldera de aceite térmico, ya que estas alcanzan fácilmente altas temperaturas a muy poca presión como se puede observar en la figura 3.

Figura 2

Proceso de integración de los componentes de la crema.



Nota. Fuente. Quimicolor S.A.S

Figura 3

Tanques de almacenamiento y calentamiento.



Nota. Fuente: Quimicolor S.A.S

El sistema de calentamiento diseñado es un sistema cerrado, por lo que consta de dos tanques para el almacenamiento del aceite térmico, una caldera pirotubular que deberá

ser seleccionada, un quemador, un sistema de conducción de gases, una electrobomba, entre otros componentes, como se evidencia en la figura 4.

Figura 4

Mezcla terminada.

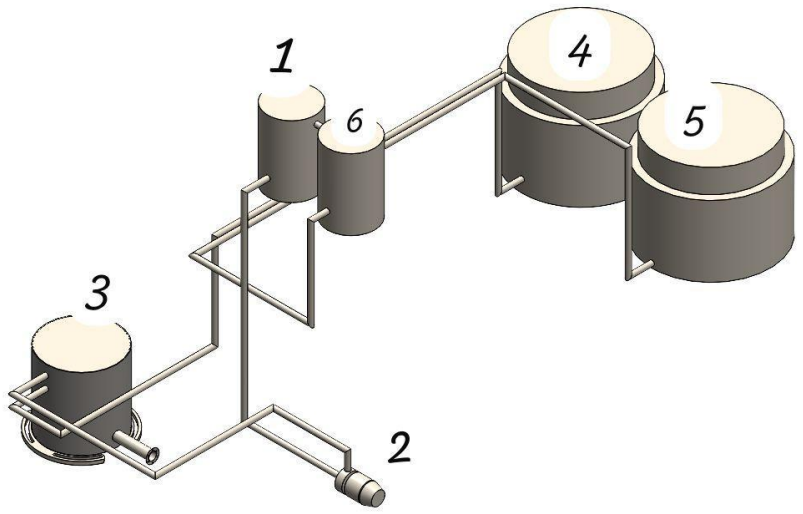


Nota. Fuente: Quimicolor S.A.S

La secuencia del recorrido del aceite en el sistema de calentamiento comienza con la succión del aceite desde los tanques de almacenamiento, ubicados a unos 8 metros sobre el nivel del suelo, mediante una electrobomba situada al nivel del suelo. El aceite es luego bombeado a través de tuberías hacia la caldera, donde se calienta a las altas temperaturas requeridas para su posterior uso en el proceso de fusión de elementos. Tras recorrer el trayecto hacia el recipiente donde se lleva a cabo este proceso, el aceite llega a la temperatura necesaria. En dicho recipiente, los elementos son mezclados y alcanzan su punto de fusión, ayudados por un motoreductor, como se muestra en la figura 5.

Figura 5

Recorrido del aceite



Este proceso forma parte de un sistema cerrado de circulación de aceite. El aceite es transportado inicialmente desde el tanque principal (punto uno) hacia la bomba (punto dos), y luego es impulsado hacia la caldera (punto tres) a través de una tubería superior. En la caldera, el aceite se calienta y, al salir por la tubería inferior, se dirige al tanque número cuatro. Existe una interconexión entre los tanques cuatro y cinco, que permite el paso del aceite bajo condiciones de presión controlada. Dado que el sistema está cerrado, el aceite circula continuamente entre los tanques y la caldera, manteniendo una presión constante en todo el circuito. Finalmente, desde el tanque cinco, el aceite retorna al tanque número seis, cerrando así el ciclo y asegurando la continuidad del proceso sin pérdidas significativas, en el proceso siguiente de envasado como se muestra en la figura 6

Figura 6

Envasado de cremas.



Nota. Fuente: Quiimicolor S.A.S

Selección de la caldera. La serie de calderas de aceite caliente opera a alta temperatura y baja presión utilizando combustibles sólidos. El fluido de transferencia de calor empleado en este sistema no causa problemas como solidificación o acumulación de cal en la caldera, lo que garantiza su uso prolongado. No se requiere unidad de acondicionamiento para el fluido de transferencia de calor y, bajo condiciones normales, no existe riesgo de congelación en el sistema.

El calentador de aceite caliente se puede utilizar como un fluido térmico para producir vapor, agua caliente o agua hirviendo. La temperatura de salida del aceite caliente se controla con un dispositivo de control PID, mientras que la temperatura de retorno del aceite caliente se controla con termostatos digitales.

3.1.2 Desarrollo de la actividad 1

En Colombia, el diseño e instalación de chimeneas está regido por normas y estándares técnicos que aseguran la seguridad y eficiencia de estos dispositivos. A continuación, se mencionan algunas normas relevantes:

Norma Técnica Colombiana NTC 3833 (Icontec, 2007)

La Norma Técnica Colombiana NTC 3833 establece los requisitos y especificaciones técnicas para la instalación, operación y mantenimiento de calderas y generadores de vapor en Colombia. Aquí te proporciono un resumen detallado sobre esta normativa

Objetivo de la Norma

La NTC 3833 tiene como objetivo principal establecer los criterios y requisitos mínimos que deben cumplir las calderas y generadores de vapor para garantizar su seguridad operativa, eficiencia energética y cumplimiento ambiental en Colombia.

Contenido y Aspectos Cubiertos

Definiciones y Ámbito de Aplicación: 1. Define claramente los términos técnicos y conceptos utilizados en la norma.2. Establece el ámbito de aplicación, especificando qué tipos de calderas y generadores de vapor están cubiertos por la norma.

Requisitos Generales: Especifica los requisitos mínimos de diseño, fabricación, instalación y puesta en marcha de las calderas y generadores de vapor. Incluye aspectos como materiales de construcción, dimensiones mínimas, métodos de ensayo y criterios de seguridad.

Requisitos de Seguridad: Detalla las medidas de seguridad que deben implementarse para prevenir accidentes y proteger al personal que opera y mantiene las calderas. Considera aspectos como la presión máxima de operación, dispositivos de seguridad, sistemas de alivio de presión, y protecciones contra sobrecalentamiento y fallos.

Eficiencia Energética y Operativa: Establece criterios para mejorar la eficiencia energética de las calderas y generadores de vapor, promoviendo prácticas de operación eficientes. Incluye recomendaciones para la optimización del rendimiento térmico y la reducción de pérdidas energéticas.

Para implementar la NTC 3833 correctamente, es crucial contar con la orientación de profesionales y consultores especializados en ingeniería mecánica y normativas técnicas colombianas. Estos profesionales pueden proporcionar asesoramiento específico sobre el diseño, instalación, operación y mantenimiento de calderas y generadores de vapor conforme a los requisitos de la norma, garantizando así la seguridad y eficiencia de las instalaciones industriales que utilizan estos equipos.

La Norma Técnica Colombiana NTC 3631 (Icontec, 2005)

Titulada "Conductos de evacuación de gases combustibles para chimeneas de calderas", establece los requisitos técnicos y especificaciones para el diseño, instalación y mantenimiento de los conductos utilizados para la evacuación segura de gases de combustión en chimeneas de calderas en Colombia. Aquí te proporciono un detalle completo sobre esta normativa:

Objetivo y Ámbito de Aplicación

La NTC 3631 tiene como objetivo principal asegurar la adecuada evacuación de gases de combustión generados por calderas, garantizando la seguridad operativa, la eficiencia y el cumplimiento normativo. Esta norma se aplica a los conductos que conectan las calderas con la chimenea, asegurando que los gases se eliminen correctamente al exterior sin riesgos para la salud y el medio ambiente.

Contenido Detallado

Definiciones y Términos Utilizados: Define términos técnicos específicos relacionados con los conductos de evacuación y los sistemas de chimenea.

Requisitos de Diseño: Especifica los materiales adecuados para la construcción de conductos de evacuación, considerando factores como resistencia a la corrosión, temperatura máxima de servicio y durabilidad. Establece dimensiones mínimas y recomendaciones para la configuración y el trazado de los conductos, asegurando un flujo de gases eficiente y seguro.

NUEVA UNE 123001:2009 (AENOR 2009)

La norma UNE 123001:2009 es una norma española que establece los requisitos técnicos para la instalación de sistemas de evacuación de productos de la combustión en aparatos de calefacción y agua caliente sanitaria. A continuación, te proporciono una información detallada sobre esta norma

Objetivo y Ámbito de Aplicación

La UNE 123001:2009 tiene como objetivo principal garantizar la correcta evacuación de los productos de la combustión generados por aparatos de calefacción y agua caliente sanitaria, minimizando riesgos para la seguridad y la salud de las personas, así

como para el medio ambiente. Esta norma es aplicable a instalaciones tanto residenciales como comerciales e industriales en España.

Contenido Detallado

Definiciones y Términos Utilizados: Define términos técnicos específicos relacionados con sistemas de evacuación, aparatos de calefacción y agua caliente, así como componentes asociados.

Requisitos de Diseño e Instalación: Especifica los materiales adecuados para la construcción de conductos y sistemas de evacuación, considerando factores como resistencia a la corrosión, temperatura máxima de servicio y durabilidad. Establece dimensiones mínimas y recomendaciones para el trazado y la configuración de los conductos, asegurando un flujo de gases eficiente y seguro.

Instalación y Montaje: Detalla los procedimientos correctos para la instalación de sistemas de evacuación, incluyendo métodos de fijación, sellado de juntas y protección contra daños mecánicos. Especifica requisitos para la instalación de soportes y anclajes que aseguren la estabilidad y durabilidad de los conductos.

Seguridad y Protección Contra Incendios: Establece medidas de seguridad para prevenir la propagación de incendios a través de los sistemas de evacuación. Define requisitos para la protección pasiva y activa contra incendios, como materiales ignífugos y dispositivos de cierre automático en caso de fuego.

Mantenimiento e Inspección: Indica los procedimientos recomendados para el mantenimiento periódico de los sistemas de evacuación, incluyendo la limpieza y revisión

de posibles obstrucciones. Establece intervalos de inspección para verificar el estado y la integridad estructural de los conductos y componentes.

Normativa Ambiental y Cumplimiento Regulatorio: Asegura el cumplimiento de normativas ambientales relacionadas con la emisión de gases de combustión y la calidad del aire. Puede hacer referencia a otras normativas nacionales o locales que complementen las medidas de control ambiental.

Instalación y Montaje: Detalla los procedimientos correctos para la instalación de los conductos, incluyendo métodos de fijación, sellado de juntas y protección contra daños mecánicos. Especifica requisitos para la instalación de soportes y anclajes que aseguren la estabilidad y durabilidad de los conductos.

Seguridad y Protección Contra Incendios: Establece medidas de seguridad para prevenir la propagación de incendios a través de los conductos de evacuación. Define requisitos para la protección pasiva y activa contra incendios, como materiales ignífugos y dispositivos de cierre automático en caso de fuego.

Mantenimiento e Inspección: Indica los procedimientos recomendados para el mantenimiento periódico de los conductos, incluyendo la limpieza y revisión de posibles obstrucciones. Establece intervalos de inspección para verificar el estado y la integridad estructural de los conductos.

Normativa Ambiental y Cumplimiento Regulatorio: Asegura el cumplimiento de normativas ambientales relacionadas con la emisión de gases de combustión y la calidad del aire. Puede hacer referencia a otras normativas nacionales o locales que complementen las medidas de control ambiental.

UNE-EN 1856-1 (AENOR, 2009)

La norma UNE-EN 1856-1 pertenece a la serie de normas europeas que especifican los requisitos para los sistemas de evacuación de productos de la combustión de aparatos domésticos y comerciales. A continuación, te proporciono información detallada sobre esta norma:

Objetivo y Ámbito de Aplicación

La UNE-EN 1856-1 establece los requisitos para los conductos de evacuación de gases de combustión que operan bajo presión negativa y presión positiva, utilizados en sistemas de calefacción y aparatos de gas en edificios residenciales y comerciales. Esta norma es aplicable en toda Europa y tiene como objetivo garantizar la seguridad, eficiencia y calidad de los sistemas de evacuación.

Contenido Detallado

Definiciones y Términos Utilizados: Define términos técnicos específicos relacionados con los conductos de evacuación, incluyendo componentes como tubos, codos, terminales y accesorios.

Requisitos de Diseño y Fabricación: Especifica los materiales adecuados para la construcción de conductos de evacuación, teniendo en cuenta factores como la resistencia a la corrosión, temperatura máxima de servicio y durabilidad. Establece dimensiones mínimas y recomendaciones para la configuración y el trazado de los conductos, asegurando un flujo de gases eficiente y seguro.

Instalación y Montaje: Detalla los procedimientos correctos para la instalación de conductos de evacuación, incluyendo métodos de fijación, sellado de juntas y protección

contra daños mecánicos. Especifica requisitos para la instalación de soportes y anclajes que aseguren la estabilidad y durabilidad de los conductos.

Seguridad y Protección Contra Incendios: Establece medidas de seguridad para prevenir la propagación de incendios a través de los conductos de evacuación. Define requisitos para la protección pasiva y activa contra incendios, como materiales ignífugos y dispositivos de cierre automático en caso de fuego.

Mantenimiento e Inspección: Indica los procedimientos recomendados para el mantenimiento periódico de los conductos de evacuación, incluyendo la limpieza y revisión de posibles obstrucciones. Establece intervalos de inspección para verificar el estado y la integridad estructural de los conductos y componentes.

Normativa Ambiental y Cumplimiento Regulatorio: Asegura el cumplimiento de normativas ambientales relacionadas con la emisión de gases de combustión y la calidad del aire. Puede hacer referencia a otras normativas europeas o nacionales que complementen las medidas de control ambiental.

3.1.3 Desarrollo de la actividad 2.

La conducción de gases en calderas es un aspecto crucial en la operación eficiente y segura de estos sistemas de generación de calor. Este proceso implica la gestión y dirección de los gases de combustión desde el punto de generación hasta su evacuación segura hacia el exterior, asegurando al mismo tiempo un aprovechamiento óptimo del calor producido.

Numerosas variables juegan roles fundamentales en este proceso, cada una con impactos significativos en la eficiencia operativa, la seguridad y la sostenibilidad ambiental

de las calderas. Identificar y comprender estas variables es esencial para diseñar, operar y mantener sistemas de calderas que cumplan con normativas rigurosas y optimicen el rendimiento energético.

1. Temperatura de los gases

La temperatura de los gases de combustión es determinante no solo para la eficiencia térmica de la caldera, sino también para la formación de condensación en sistemas de alta eficiencia como las calderas de condensación. Un control preciso de esta temperatura es crucial para prevenir daños en los equipos y maximizar la eficiencia energética.

2. Composición de los gases

La composición de los gases de combustión, que incluye elementos como CO2, CO, nox y partículas sólidas, tiene un impacto directo en la eficiencia energética y en las emisiones contaminantes. Normativas ambientales y de seguridad establecen límites para estos gases, lo que hace necesario el monitoreo constante y el uso de tecnologías de control de emisiones.

3. Velocidad y volumen de los gases

La velocidad y el volumen de los gases de escape afectan la eficiencia del intercambio de calor en el sistema de caldera. Un flujo adecuado garantiza una transferencia eficiente de calor y previene problemas como la formación de depósitos y la corrosión en los conductos.

4. Presión y flujo de los gases

La presión dentro del sistema de conducción de gases y el flujo de los mismos son críticos para asegurar una evacuación eficaz y segura. Diseñar adecuadamente los conductos y los sistemas de ventilación es esencial para evitar retrocesos de llama y mantener condiciones operativas estables.

N1, N2, P1, P2, H1 y H2 se refieren a niveles de estanqueidad a los gases, específicamente relacionados con la presión que pueden soportar las chimeneas bajo diferentes condiciones. Aquí te explico cada una de estas categorías:

N1 y N2 (Tiro Natural - Presión Negativa):

N1: Se refiere a chimeneas diseñadas para resistir una presión negativa moderada, típicamente asociada con sistemas de tiro natural donde el flujo de gases de combustión es impulsado por el efecto de la convección térmica.

N2: Indica una mayor capacidad para resistir presiones negativas comparado con N1. Estas chimeneas están diseñadas para aplicaciones donde se requiere una resistencia adicional a la presión negativa generada por el tiro natural.

P1 y P2 (Presión Positiva hasta 200 Pa):

P1: Se refiere a chimeneas diseñadas para resistir una presión positiva moderada, hasta aproximadamente 200 Pa. Estas presiones positivas pueden ser generadas por sistemas de ventilación mecánica, como extractores o ventiladores auxiliares.

P2: Indica una mayor capacidad para resistir presiones positivas en comparación con P1. Estas chimeneas están diseñadas para aplicaciones donde se utiliza ventilación mecánica para impulsar el flujo de gases hacia el exterior.

H1 y H2 (Alta Presión Positiva hasta 5.000 Pa):

H1: Se refiere a chimeneas diseñadas para resistir alta presión positiva, hasta aproximadamente 5.000 Pa. Estas chimeneas son adecuadas para aplicaciones industriales donde se requiere una evacuación de gases con presiones positivas significativas.

H2: Indica una mayor capacidad para resistir presiones positivas en comparación con H1. Estas chimeneas están diseñadas para aplicaciones industriales exigentes, donde se manejan grandes volúmenes de gases y se generan altas presiones positivas.

Estas clasificaciones son importantes para garantizar que las chimeneas cumplan con los requisitos específicos de estanqueidad y seguridad en diferentes entornos y aplicaciones. La elección del nivel adecuado de estanqueidad depende del tipo de sistema de ventilación y de las condiciones operativas previstas para la chimenea como se evidencia en la tabla 4.

Tabla 4

Tipos de calderas

Aplicación					Nivel de presión
Chimenea individual	Tiro natural	Tramo horizontal	Calderas estándar o baja temperatura		N1
			Calderas condensación		P1, H1
		Tramo vertical			N1
	Sobrepresión	Tramo horizontal		P≤200Pa	P1, H1
				P>200Pa	H1
		Tramo vertical	Instalación interior	P≤0 Pa	N1
				P≤200Pa	P1, H1
				P>200Pa	H1
			Instalación exterior	P≤0Pa	N1
				P≤200Pa	P1, P2, H1, H2
				P>200Pa	H1, H2

Nota. Fuente: NUEVA UNE 123001:2009

5. Diseño y material de los conductos

El diseño y los materiales utilizados en los conductos de gases influyen en la resistencia a la corrosión, la durabilidad y la eficiencia energética. Factores como la resistencia a altas temperaturas y la facilidad de limpieza son consideraciones clave en la selección de materiales.

6. Sistemas de control y monitoreo

Los sistemas de control automatizado y los dispositivos de monitoreo permiten ajustar y optimizar continuamente el proceso de conducción de gases. Esto no solo mejora la eficiencia energética, sino que también garantiza el cumplimiento de normativas ambientales y de seguridad.

7. Resistencia a los condensados

Es la capacidad del sistema para soportar y manejar adecuadamente los efectos del condensado que se forma cuando los gases de combustión se enfrían por debajo de su punto de rocío. Este fenómeno es especialmente relevante en calderas de condensación y otros equipos que operan a temperaturas más bajas, donde los gases de combustión contienen humedad que puede condensarse dentro de la chimenea o el sistema de evacuación.

Algunos de los aspectos clave a considerar sobre la resistencia a los condensados en chimeneas son:

- Material de Construcción

Es crucial seleccionar materiales resistentes a la corrosión por condensación ácida. Los gases de combustión contienen productos ácidos como el ácido sulfúrico y el ácido clorhídrico, que pueden corroer materiales como el acero al carbono si no están protegidos adecuadamente.

- Diseño de la Chimenea

Un diseño adecuado de la chimenea incluye la pendiente correcta para facilitar el drenaje de los condensados hacia el exterior. Además, debe incorporar trampas de

condensado y otros dispositivos para capturar y evacuar el agua de condensación de manera segura.

- Aislamiento Térmico

Es importante que la chimenea esté adecuadamente aislada térmicamente para evitar que los gases de combustión se enfríen demasiado rápido y se produzca condensación dentro de la estructura. El aislamiento térmico ayuda a mantener la temperatura de los gases dentro de un rango seguro y minimiza la formación de condensados.

8. Sistemas de Drenaje

Los sistemas de drenaje deben estar diseñados para permitir la evacuación eficiente de los condensados sin obstrucciones ni acumulaciones que puedan afectar el flujo de gases o comprometer la integridad estructural de la chimenea.

9. Resistencia al fuego de hollín

Es la capacidad de los materiales utilizados en sistemas de chimeneas y conductos de evacuación de gases para resistir el riesgo de incendio causado por la acumulación y la combustión del hollín. El hollín es un residuo carbonoso que se forma durante la combustión incompleta de materiales orgánicos como madera, carbón, aceite y otros combustibles. Este material se acumula naturalmente en las superficies internas de los conductos de gases de combustión y, si no se gestiona adecuadamente, puede representar un riesgo significativo de incendio.

- Importancia de la Resistencia al Fuego de Hollín

La resistencia al fuego de hollín es crucial para prevenir incendios potencialmente catastróficos en sistemas de chimeneas y conductos de evacuación de gases. Un diseño adecuado, la selección de materiales resistentes al calor, el cumplimiento de normativas y un mantenimiento regular son componentes clave para garantizar la seguridad y la eficiencia de estos sistemas en una amplia gama de aplicaciones industriales, comerciales y residenciales.

10. Resistencia a la corrosión ambiental de las chimeneas

La resistencia a la corrosión ambiental de las chimeneas se refiere a la capacidad de los materiales utilizados en su construcción para resistir los efectos adversos de la exposición a diferentes condiciones atmosféricas y ambientales. Las chimeneas están expuestas a una variedad de factores corrosivos que pueden afectar su integridad estructural y funcionalidad a lo largo del tiempo. Esta resistencia es crucial para garantizar la seguridad, la durabilidad y el rendimiento continuo del sistema de evacuación de gases.

- Importancia de la Resistencia a la Corrosión Ambiental

La resistencia a la corrosión ambiental es esencial para garantizar la seguridad operativa y la longevidad de las chimeneas utilizadas en una amplia gama de aplicaciones industriales, comerciales y residenciales. Proteger adecuadamente estos sistemas de evacuación de gases no solo asegura su funcionamiento eficiente, sino que también minimiza los costos de mantenimiento y reparación a lo largo del tiempo.

La normativa también especifica los materiales permitidos para utilizar como revestimiento interior de las chimeneas metálicas. Estos materiales se dividen en 4 categorías identificadas como MI3, MI2, MI1 y MI0, las cuales representan combinaciones específicas de materiales y espesores mínimos que ofrecen características comparables de resistencia a la corrosión. Esta información detallada se presenta en la tabla 7:

Tabla 5

Criterios de materiales

Clase de material según UNE 123001:2009	Tipo de material	Denominación		Espesor mínimo rígido
		AISI	Europea	
ME3	Acero inoxidable	904L	1.4539	0.4
ME2	Acero inoxidable	316L	1.4432	0.4
	Acero inoxidable	316L	1.4404	0.4
	Acero inoxidable	316Ti	1.4571	0.4
	Acero inoxidable	316	1.4401	0.4
ME1	Acero inoxidable	304L	1.4307	0.4
	Acero inoxidable	304	1.4301	0.4
	Acero inoxidable	444	1.4521	0.4
	Cobre	--	--	0.5
ME0	Acero aluminizado	--	1.0226 AS120	0.4
	Aluzinc	--	1.0226 AZ150	0.4
	Acero galvanizado	--	1.0226 Z275	0.4
	Aluminio	--	EN AW - 6060	0.8
	Aluminio	--	EN AW - 1200 A	0.8
	Aluminio	--	EN AW - 4047 A	0.8

Nota. Fuente: NUEVA UNE 123001:2009

Tabla 6

Tipos de instalaciones

Condiciones del entorno	Clase de material exterior según une 123001:2009
Instalación interior en ambiente no contaminado	ME0
Instalación exterior en zona alejada de la costa y poco contaminada	ME1
Instalación exterior en zona costera o en zona industrial con ambiente contaminado	ME2
Instalación interior y ambiente contaminado con presencia de Cl u otros agentes corrosivos (piscinas, lavanderías, …)	ME2
Instalación en ambientes especialmente agresivos	ME3

Nota. Fuente: NUEVA UNE 123001:2009

3.1.4 Desarrollo de la actividad 3.

El sistema propuesto en la empresa para el proceso, requiere una caldera de aceite térmico ya que esta proporciona altas temperaturas a bajas presiones, además a esto, con ese tipo de calderas exigen muy poco mantenimiento, es necesario un quemador incorporado a la caldera por parte de su fabricante, un sistema de conducción de gases que pueda conllevar los gases de combustión de la caldera al ambiente donde pueda ser expulsado según requiere la norma, es necesario un sistema de control automatizado que pueda generar indicadores de temperatura y presión en el sistema que permita al personal

encargado conocer la condición del aceite (Temperatura de entrada. Temperatura de salida), Temperatura de los gases en la salida del ducto de salida.

3.1.4.1 Selección de la caldera. Para la selección de la caldera es necesario conocer el parámetro requerido por el proceso de Crema Little Angels, una temperatura constante por un tiempo necesario, es decir una temperatura de 110-120 °C, el proceso que se manejaba anteriormente para un solo tanque de mezcla está instalado de una manera en la que la temperatura era suministrada por una caldera de aceite térmico con una capacidad de 400.000 Btu/hr.

El sistema actual contiene dos tanques de la misma capacidad por lo que se debería duplicar la capacidad del suministro de temperatura; En el mercado actual se encontró una caldera que cumple con los requerimientos que son capacidad, temperatura, presión, costo.

La capacidad de la caldera requerida por el sistema es de 1.000.000 Btu/hr ya que en la empresa es de preferencia manejar un margen de seguridad y la caldera no trabaje en su punto máximo, con estos parámetros se revisaron algunos catálogos en el mercado y como se evidencia en la imagen 7:

Figura 7

Caldera de aceite térmico



Nota. Fuente: Catalogo ft caldera aceite térmico

Asimismo, se las características de la caldera se evidencian en la figura 8

Figura 8

Catálogo de calderas de aceite térmico

	POTENCIA TÉRMICA			DIFERENCIAL TÉRMICO ESTANDAR	CAUDAL BOMBA	CONSUMO DE COMBUSTIBLE				SOBREPRESIÓN HOGAR		DIMENSIONES					VOLUMEN ACEITE	ENTRADA/ SALIDA ACEITE
						Gas natural (10,83 kWh/ Nm³)	Propano LPG (12,86 kWh/ kg)	Gasóleo Light Oil (10,28 kWh/l)	Fuelóleo Heavy Oil (11,08 kWh/ kg)			A Alto con quemador	B Alto	C Ancho con accesorios	D Diámetro	G Diámetro chimenea		
MODELO	kW	kCal/h	Btu x 1000	°C	m³/h	Nm³/h	kg/h	l/h	kg/h	mbar	mm.c.a.	mm	mm	mm	mm	mm	L	V
FT-100	116	100.000	397	20	11	12	10	13	12	0,1	1	1.550	1.250	1.470	870	150	62	DN 32
FT-200	232	200.000	794	20	22	24	19	26	24	0,3	3	1.950	1.350	1.550	950	200	97	DN 50
FT-300	348	300.000	1.190	20	32	36	29	39	36	0,3	3	2.170	1.570	1.670	1.070	250	120	DN 65
FT-400	465	400.000	1.587	20	43	48	38	52	48	0,7	7	2.410	1.810	1.670	1.070	250	174	DN 65
FT-500	581	500.000	1.984	20	54	60	48	65	60	0,6	6	2.850	1.950	1.870	1.270	300	394	DN 80
FT-600	697	600.000	2.381	20	65	72	57	78	72	1,1	11	3.070	2.170	1.870	1.270	300	351	DN 80
FT-800	930	800.000	3.174	20	86	96	76	103	96	1,5	15	3.480	2.580	2.010	1.410	350	727	DN 100
FT-1.000	1.162	1.000.000	3.968	20	108	120	96	129	120	2,3	23	3.790	2.890	2.010	1.410	400	569	DN 100
FT-1.250	1.453	1.250.000	4.960	20	135	150	119	162	150	1,5	15	3.830	2.930	2.450	1.750	450	941	DN 125
FT-1.500	1.744	1.500.000	5.952	20	162	180	143	194	180	3,1	31	4.330	3.430	2.450	1.750	500	1.142	DN 125
FT-1.750	2.035	1.750.000	6.944	20	190	209	167	226	209	3,5	35	4.365	3.465	2.475	1.775	500	1.418	DN 150
FT-2.000	2.325	2.000.000	7.936	22	172	239	191	258	239	3,6	36	4.400	3.500	2.500	1.800	550	1.695	DN 150
FT-2.500	2.906	2.500.000	9.920	25	216	299	239	323	299	4,0	40	5.860	4.460	2.690	1.990	600	2.117	DN 150
FT-3.000	3.488	3.000.000	11.904	26	245	359	287	388	359	3,7	37	6.220	4.820	3.120	2.320	650	2.690	DN 150
FT-3.500	4.069	3.500.000	13.888	30	244	419	334	452	419	3,6	36	7.140	5.540	3.230	2.430	700	3.242	DN 150
FT-4.000	4.651	4.000.000	15.872	30	289	479	382	517	479	3,8	38	7.340	5.540	3.480	2.630	800	3.578	DN 200
FT-4.500	5.232	4.500.000	17.856	30	325	538	430	581	539	5,6	56	7.840	6.040	3.480	2.630	800	5.294	DN 200
FT-5.000	5.813	5.000.000	19.840	30	361	598	478	646	599	5,8	58	8.190	6.390	3.560	2.710	800	5.842	DN 200
FT-6.000	6.976	6.000.000	23.808	30	430	718	573	775	718	5,7	57	8.870	7.070	3.830	2.830	850	5.350	DN 200
FT-7.000	8.000	7.000.000	27.776	30	500	869	669	903	838	6,5	65	10.500	9.100	4.200	3.250	850	6.050	DN 250
FT-8.000	9.302	8.000.000	31.744	40	434	957	764	1.033	958	6,8	68	9.670	7.870	4.230	3.230	1.000	9.024	DN 250
FT-10.000	11.627	10.000.000	39.680	40	543	1.196	955	1.292	1.197	7,9	79	11.580	9.780	4.470	3.470	1.150	15.296	DN 250
FT-12.000	13.953	12.000.000	47.616	40	651	1.435	1.146	1.550	1.437	8,5	85	12.000	10.500	4.300	3.550	1.200	18.355	DN 300
FT-14.000	16.279	14.000.000	55.552	40	760	1.674	1.337	1.809	1.676	9,0	90	12.250	10.750	4.350	3.650	1.200	21.414	DN 300
FT-16.000	18.605	16.000.000	63.488	40	868	1.914	1.528	2.067	1.916	9,5	95	12.450	10.950	4.400	3.750	1.200	24.474	DN 300

Nota. Fuente: Attsu

La caldera seleccionada (Figura 9) es el equipo FT-300, esta cumple con los requerimientos de potencia, y temperatura para el proceso.

Figura 9.

Caldera seleccionada



Nota. Fuente: Quimicolor S.A.S

Selección del sistema de conducción de gases

Las chimeneas metálicas son estructuras diseñadas para la evacuación de humos y gases generados por la combustión de diversos tipos de combustibles, como leña, gas, o aceite, en edificaciones residenciales o industriales. Aquí tienes información detallada sobre ellas:

Componentes y estructura:

Tubo interior: Suele ser de acero inoxidable u otro metal resistente al calor y a la corrosión, formando el conducto por donde se expulsan los humos.

Aislamiento: Algunas chimeneas metálicas tienen un espacio entre el tubo interior y exterior relleno de material aislante, que ayuda a mantener la temperatura de los gases y evitar la condensación.

Tipos de chimeneas metálicas:

Chimeneas de tiro natural: Funcionan por el principio de que el aire caliente tiende a subir, creando un vacío parcial que arrastra los humos hacia arriba.

- **Chimeneas de tiro forzado:** Utilizan ventiladores o extractores para forzar la salida de los humos, especialmente útiles en instalaciones industriales o en sistemas donde se necesita mayor control del flujo de gases.

Instalación y mantenimiento:

- La instalación debe ser realizada por profesionales, siguiendo normativas específicas para asegurar la seguridad y la eficiencia del sistema.

- El mantenimiento incluye la limpieza periódica del conducto para prevenir la acumulación de residuos que puedan obstruir la salida de humos.

Ventajas:

- **Eficiencia:** Proporcionan un método seguro y eficaz para la evacuación de gases de combustión.

- **Durabilidad:** Los materiales utilizados son resistentes al calor y a la corrosión, lo que prolonga su vida útil.

- **Versatilidad:** Pueden adaptarse a diferentes tipos de combustibles y a diversas configuraciones arquitectónicas.

Consideraciones adicionales:

- **Normativas locales:** Es importante cumplir con las regulaciones locales respecto a la instalación y mantenimiento de chimeneas, para garantizar la seguridad y evitar problemas legales.

- **Diseño estético:** Las chimeneas metálicas también pueden contribuir al diseño estético de un espacio, ya que hay diversas opciones de acabados y diseños disponibles en el mercado.

3.1.5 Desarrollo del objetivo específico 2

El diseño adecuado del sistema de conducción de gases para una caldera pirotubular es fundamental para asegurar su eficiencia operativa y cumplir con los estándares ambientales exigidos. Las calderas pirotubulares son ampliamente utilizadas en diversas industrias debido a su capacidad para generar vapor mediante la combustión de diferentes tipos de combustibles. La correcta evacuación de los gases de combustión es crucial no solo para mantener un entorno de trabajo seguro, sino también para optimizar el rendimiento térmico del sistema y cumplir con las regulaciones ambientales vigentes.

Este objetivo específico se centra en analizar exhaustivamente las necesidades particulares de la caldera pirotubular en términos de capacidad de producción de vapor, tipo de combustible utilizado y requerimientos de tiro. Además, se evaluarán las diversas opciones de diseño disponibles para el sistema de conducción de gases, considerando aspectos como la eficiencia del tiro, la minimización de pérdidas de calor y el control de emisiones contaminantes. Finalmente, se seleccionará la configuración más adecuada que garantice un flujo eficiente de gases, optimizando así el funcionamiento y la eficiencia global de la caldera pirotubular.

Este proceso de diseño no solo se enfoca en la ingeniería estructural y funcional del sistema de conducción de gases, sino también en asegurar la compatibilidad con las

normativas y estándares internacionales, así como en la implementación de prácticas de mantenimiento preventivo para asegurar la durabilidad y el rendimiento a largo plazo de la instalación.

A través de este trabajo, se espera proporcionar una guía clara y sistemática para diseñar sistemas de conducción de gases eficientes y sostenibles para calderas pirotubulares, contribuyendo así al mejoramiento continuo de la eficiencia energética y ambiental en el sector industrial.

3.1.6 Desarrollo de la actividad 1.

Tipos de Calderas Pirotubulares:

Según García, E. (2023) Las calderas pirotubulares son dispositivos de generación de vapor ampliamente utilizados en diversas industrias. Se caracterizan por tener tubos a través de los cuales circula el agua que se convierte en vapor, mientras que los gases calientes generados por la combustión circulan por fuera de estos tubos. Este diseño permite una transferencia eficiente de calor desde los gases calientes hacia el agua, lo que resulta en la generación de vapor utilizado para diversas aplicaciones industriales como la generación de electricidad, calefacción industrial, procesos químicos, entre otros

Por su parte (Pérez, 2023) manifiesta que existen dos tipos principales de calderas pirotubulares las cuales se clasifican de la siguiente manera.

- ***Calderas de tubos de humo:*** En este tipo, los gases calientes pasan a través de los tubos y el agua está en el exterior de los tubos. Este diseño es común en aplicaciones donde se requiere una producción de vapor relativamente baja y donde las emisiones de gases no son críticas.

- ***Calderas de tubos de agua:*** Aquí, el agua circula a través de los tubos y los gases calientes están en el exterior de los tubos. Este diseño se utiliza en aplicaciones donde se requiere una producción de vapor mayor y donde el control de emisiones es más estricto.

Cada tipo de caldera tiene ventajas y limitaciones específicas en términos de eficiencia energética, capacidad de producción de vapor, adaptabilidad a diferentes tipos de combustible y requerimientos ambientales.

función de la Chimenea:

Un artículo publicado por GEMLSA. (s.f.) manifiesta que la chimenea en una caldera pirotubular cumple varias funciones esenciales tales como:

- *Evacuación de gases:* La función principal de la chimenea es permitir la salida segura de los gases de combustión desde la caldera hacia el exterior. Esto ayuda a mantener un ambiente seguro dentro de la instalación industrial, evitando la acumulación de gases tóxicos o peligrosos.

- *Generación de tiro:* La chimenea también facilita la creación del tiro necesario para la combustión eficiente dentro de la caldera. El tiro es la diferencia de presión que asegura que los gases de combustión sean correctamente extraídos de la cámara de

combustión, lo que mejora la eficiencia del proceso de combustión y la transferencia de calor.

Asi mismo García, E. (2023) afirma que una chimenea bien diseñada no solo cumple con estas funciones básicas, sino que también contribuye a la eficiencia general del sistema de caldera y puede influir en la reducción de emisiones contaminantes.

3. Diseños estándar de chimeneas: Los diseños estándar de chimeneas para calderas pirotubulares han evolucionado significativamente para optimizar tanto la eficiencia operativa como la seguridad. Algunos aspectos destacados incluyen:

- ***Chimeneas simples:*** Este es el diseño más básico, consistente en una estructura vertical que actúa como un conducto para los gases de combustión. La altura y el diámetro de la chimenea se dimensionan según las características específicas de la caldera y las regulaciones locales.
- ***Chimeneas con aislamiento térmico:*** Para mejorar la eficiencia energética, algunas chimeneas están equipadas con materiales aislantes que reducen la pérdida de calor hacia el entorno circundante. Esto no solo optimiza el uso de la energía, sino que también puede prolongar la vida útil de la estructura al reducir el estrés térmico.

Sistemas de limpieza y mantenimiento: Las chimeneas pueden diseñarse con acceso para facilitar la inspección, limpieza y mantenimiento de los conductos internos. Esto es crucial para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente de la caldera a lo largo del tiempo, minimizando los riesgos asociados con la acumulación de residuos o la obstrucción de los conductos.

3. Materiales y Construcción: Los materiales utilizados en la construcción de chimeneas para calderas pirotubulares deben cumplir con requisitos rigurosos de resistencia térmica, resistencia a la corrosión y durabilidad. Los materiales comúnmente utilizados incluyen:

- ***Acero al carbono***: Es el material estándar debido a su capacidad para soportar altas temperaturas y su resistencia mecánica adecuada. El acero al carbono es económico y se adapta bien a una variedad de condiciones operativas.

- ***Acero inoxidable:*** Se utiliza en aplicaciones donde se requiere una resistencia superior a la corrosión, especialmente en ambientes industriales agresivos o donde la chimenea está expuesta a la intemperie o a productos químicos corrosivos.

Además de la selección del material, la construcción de la chimenea debe considerar técnicas avanzadas de soldadura y montaje para garantizar la integridad estructural y la seguridad operativa.

4. Innovaciones Recientes: La investigación y el desarrollo en el diseño de chimeneas para calderas pirotubulares han llevado a varias innovaciones que mejoran la eficiencia y la sostenibilidad:

- ***Sistemas de reducción de emisiones:*** Incluyen tecnologías avanzadas de control de contaminantes como filtros de partículas, sistemas de reducción catalítica selectiva (SCR) para nox y sistemas de desulfuración de gases de combustión.

- ***Integración con sistemas de recuperación de calor:*** Permite aprovechar el calor residual de los gases de combustión para el precalentamiento del agua de alimentación u otros procesos industriales, mejorando así la eficiencia energética global de la instalación.

- ***Avances en materiales y técnicas de fabricación:*** Como el uso de materiales compuestos y recubrimientos cerámicos que mejoran la resistencia a la corrosión y reducen los costos de mantenimiento a largo plazo.

5. Consideraciones de Diseño: Al diseñar chimeneas para calderas pirotubulares, es crucial considerar varios factores para asegurar su eficiencia y seguridad operativa:

- ***Diseño aerodinámico:*** Para optimizar el tiro y minimizar la resistencia al flujo de gases de combustión, lo que mejora la eficiencia del sistema.

- ***Dimensionamiento correcto***: Tanto en términos de altura como de diámetro de la chimenea, para asegurar un flujo adecuado de gases y cumplir con los requisitos de tiro.

- ***Accesibilidad y mantenimiento:*** Con accesos adecuados para facilitar la inspección, limpieza y reparación de la chimenea y sus componentes, garantizando así una operación segura y continua.

Desarrollo de la actividad 2. Seleccionar el sistema con mejores características para emplear en la caldera.

El adecuado funcionamiento de una caldera no solo depende de su diseño y construcción, sino también de la elección acertada del sistema que la controlará y gestionará. En este sentido, el objetivo específico a continuación se enfoca en seleccionar el sistema con las mejores características para integrar en el funcionamiento óptimo de la

caldera. Esta elección no solo garantiza la eficiencia energética y operativa, sino también la seguridad y fiabilidad del sistema en su conjunto.

Este objetivo se abordará considerando diversos criterios técnicos y prácticos, evaluando las opciones disponibles en el mercado actual y asegurando que el sistema seleccionado no solo cumpla con los requisitos operativos específicos, sino que también optimice los recursos y minimice los costos asociados al mantenimiento y operación de la caldera.

A continuación, se detallará el proceso de evaluación y selección del sistema, destacando los parámetros clave que guiarán esta decisión estratégica.

1. Altura de la Chimenea

La altura de una chimenea se determina principalmente por la altura del edificio y su ubicación en la planta. Según **Heinrich-Schmitt (1998),** la altura mínima recomendada es de 4 metros (4.50 metros para hogares abiertos), y en ningún caso debe exceder 187.5 veces su diámetro. Es responsabilidad del especialista dimensionar adecuadamente la chimenea como parte integral del sistema global, considerando los requisitos mencionados y la influencia de la instalación de combustión.

La altura mínima se establece según la resistencia necesaria para la instalación de combustión, que varía según la "necesidad de tiro" (entre 5 y 40 Pa), el tipo de combustible y la superficie a calentar. En edificios de varias plantas, la altura efectiva de las chimeneas de hogares individuales difiere entre cada piso. Los pisos inferiores suelen experimentar una depresión demasiado elevada, mientras que en los superiores puede ser adecuada o insuficiente, aunque el consumo de calor es uniforme en todos los pisos. Esto requiere la

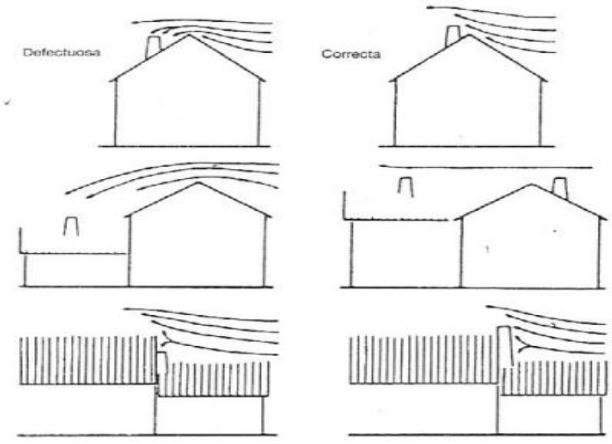
instalación de estufas o fogones que funcionen eficientemente en un amplio rango de depresión y con máxima economía posible.

Para contrarrestar una depresión demasiado fuerte, causada por un exceso de tiro en una caldera de calefacción central conectada a la chimenea, se puede regular el flujo de aire mediante válvulas o compuertas automáticas para ajustarlo a niveles deseados. Por otro lado, una depresión insuficiente puede mejorarse elevando la temperatura de los gases de humo o ajustando el diseño de la chimenea para mejorar la succión.

Es recomendable que las chimeneas sean verticales y salgan por la cumbrera o cerca de ella, ya que esto optimiza la succión aerodinámica de los gases de combustión. Ubicar la chimenea cerca de la cumbrera también minimiza la cantidad de agua de lluvia desviada como se evidencia en la figura 9.

Figura 10

Acción del viento sobre el tipo de las chimeneas



Nota. Fuente: Heinrich – Schmitt. Tratado de Construcción; chimeneas e instalaciones de calefacción.

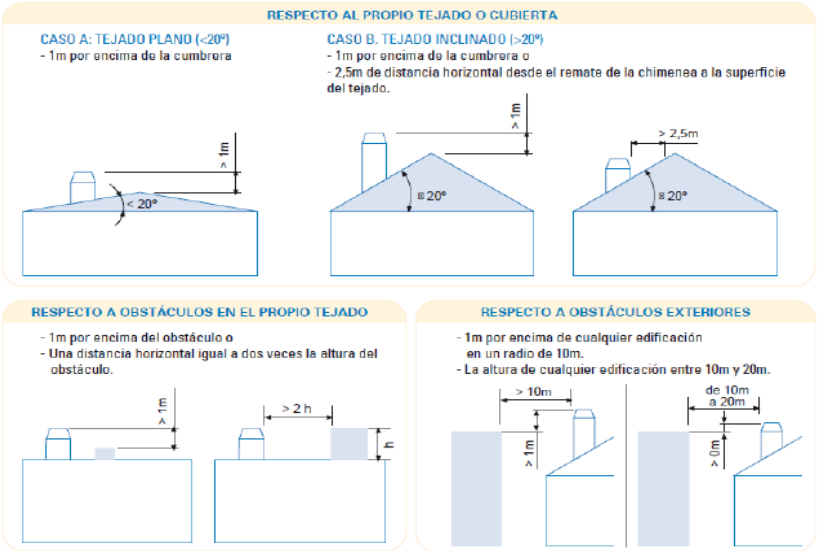
Ubicación Óptima de la Chimenea en la Cubierta

Es ideal que una chimenea atraviese la cubierta por el centro de la cumbrera. Sin embargo, en este escenario, es probable que se requiera modificar la estructura de la cubierta para asegurar su integridad. Estas consideraciones técnicas deben tenerse en cuenta durante la planificación y distribución del diseño de la planta.

Para asegurar un funcionamiento seguro y eficiente, las chimeneas deben sobresalir al menos 40 cm por encima de la cumbrera o de los edificios adyacentes si la pendiente de la cubierta es superior a 20 grados. En el caso de cubiertas menos inclinadas, la altura necesaria es de al menos 1 metro sobre la superficie de la cubierta, medida en paralelo. En cubiertas planas, la altura mínima también debe ser de 1 metro, medida desde el borde superior en el borde de la cubierta. Estos criterios aseguran que las chimeneas puedan operar eficientemente sin interferencias y cumpliendo con los requisitos de seguridad establecidos como se evidencia en la figura 11 y 12.

Figura 11.

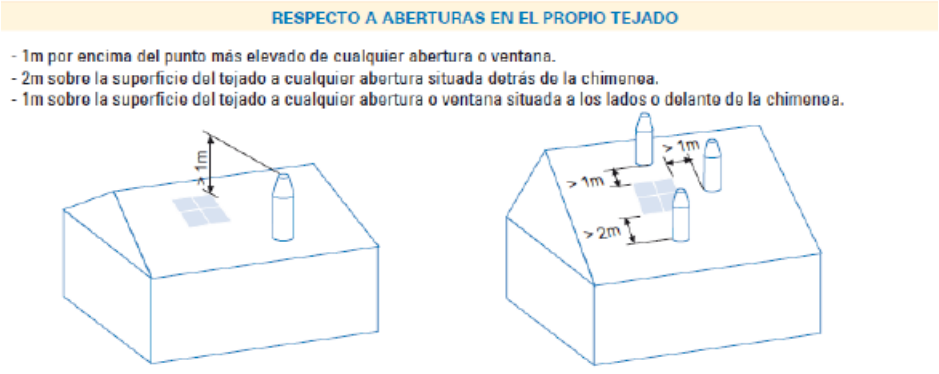
Distancias mínimas para el correcto funcionamiento de la chimenea.



Nota. Fuente: NUEVA UNE 123001:2009

Figura 12.

Distancias mínimas por criterios ambientales



Nota. Fuente: NUEVA UNE 123001:2009

3.1.7 Desarrollo de la actividad 3.

- Datos de proyecto: Los datos requeridos para realizar el cálculo de la sección de una chimenea o para verificar un sistema existente bajo condiciones operativas distintas son los siguientes:

  - Características geométricas del trazado de la chimenea (longitud, tipo y cantidad de elementos especiales, restricciones en altura y anchura).

  - Materiales constituyentes de la chimenea y sus propiedades térmicas (conductividad a la temperatura media de funcionamiento y espesor) e hidráulicas (rugosidad).

- Altitud sobre el nivel del mar del emplazamiento de la central térmica (o presión barométrica).
- Temperatura ambiental seca promedio durante el período de operación de la central.
- Dirección predominante de los vientos para la correcta orientación de la salida de la chimenea.
- Características del combustible utilizado (poder calorífico inferior y superior, poder de combustión, poder fumígeno).
- Potencia térmica efectiva del generador y eficiencia (entendiendo por generador la combinación de caldera y quemadores).
- Caudal másico de los productos de la combustión.
- Temperatura de los gases de combustión a la salida del generador.
- Concentración de dióxido de carbono en los gases.
- Presión disponible a la salida del generador (negativa, nula o positiva).
- La potencia efectiva, la eficiencia, la temperatura de los gases, la concentración de CO2 y la presión disponible son datos que debe proporcionar el fabricante del generador y/o quemador. El caudal másico puede calcularse según se indicará más adelante o también puede ser proporcionado por el fabricante.

caudal de los productos de la combustión: El caudal másico de los productos de la combustión puede estimarse con precisión utilizando la siguiente fórmula:

Ecuación 1.
Caudal de los productos de la combustión

$$\dot{M} = 1{,}2 \cdot (PF + e \cdot PC) \cdot \frac{P}{\eta \cdot PCI}$$

Donde:

- Ṁ representa el caudal másico, expresado en kilogramos por segundo (Kg/s).

- PF es el poder fumígeno, que indica la cantidad de gases resultantes de la combustión con aire estequiométrico por unidad de masa o volumen de combustible, referido a condiciones normalizadas. Se mide en Nm^3/Kg o Nm^3/Nm^3, dependiendo de si se trata de combustible líquido, sólido o gaseoso, respectivamente.

- PC Es el poder comburívero (cantidad estequiométrica de aire seco necesario para la combustión completa de una unidad de masa o volumen de combustión, referidas a las condiciones normalizadas), medido en Nm3/Kg. O Nm3/Nm3, según se trate de combustible líquido o sólido o bien gaseoso, respectivamente.

- Ƞ Es el rendimiento total del generador, referido al PCI del combustible (adimensional).

- PCI se refiere al poder calorífico inferior del combustible, expresado en kj/kg o kj/Nm^3 dependiendo del tipo de combustible (líquido, sólido o gaseoso).

- P Es la potencia térmica útil del generador, expresada en kw.

- E Es el exceso de aire que se calcula con la expresión:

Ecuación 2.

Exceso de aire

$$e = \left(\frac{(CO2\ máx.)}{(CO2)} - 1\right) \cdot CC$$

Donde:

- CO2 máx. Es el contenido máximo teórico de dióxido de carbono en los humos, que depende del tipo de combustible.

- CO2 Es el contenido medio de dióxido de carbono en los humos, que depende del régimen de funcionamiento del generador.

- CC Es un coeficiente corrector del exceso de aire.

Para calcular el flujo volumétrico de los gases de combustión en metros cúbicos por segundo (m^3/s), es necesario dividir el flujo másico, definido por la ecuación (1), entre la densidad promedio de los gases, ajustada adecuadamente por temperatura y altitud.

Ecuación 3.

Flujo volumétrico de los gases de combustión

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\text{Phm}}$$

Donde: la densidad media de los humos, en kg / m3, es:

Ecuación 4.

Densidad promedio de los gases

$$\rho hm = \frac{101325 \cdot (1 - 0{,}00012 \cdot A)}{R \cdot Thm}$$

Donde:

- A Es la altitud sobre el nivel del mar, expresada en (m).

- R Es la constante de elasticidad de los humos, expresada en J/ (kg · K).

- Th Es la temperatura de los humos, en K.

La constante de elasticidad de los humos, definida como relación entre la constante universal de los gases y el peso medio ponderal molecular del gas.

- Temperaturas de los productos de combustión: Conocida la temperatura de entrada de los humos en un tramo de una chimenea The, pueden calcularse la temperatura a la salida del tramo en cuestión Ths y la temperatura media Thm en el tramo, mediante las ecuaciones:

Ecuación 5.

Temperatura a la salida del tramo

$$Ths = Ta + (The - Ta) \cdot e^{-fe}$$

Ecuación 6.

Temperatura media en el tramo

$$Thm = Ta + \frac{The - Ta}{fe} \cdot (1 - e^{-fe})$$

Donde: las temperaturas pueden expresarse en k o en °C.

El factor de enfriamiento fe se calcula con la ecuación 7:

Ecuación 7.

Factor de enfriamiento

$$fe = \frac{U \cdot Si}{Cp \cdot \dot{m}}$$

Donde:

- U Es el coeficiente global de transmisión de calor de la pared de la chimenea, expresado en W/(m2 · K).

- Si Es el área de la superficie interior de la chimenea, en m2.

- Cp Es el calor especifico a presión constante de los humos, expresados en J/(kg ·K), que puede calcularse por medio de las ecuaciones indicadas, más adelante en función de la temperatura media y del contenido de CO2 de los humos.

- Coeficiente global de transmisión de calor: El coeficiente global de transmisión de calor de la pared de la chimenea se calcula mediante la conocida expresión 8

Ecuación 8.

Coeficiente global de transmisión de calor

$$U = \frac{1}{\left[\frac{1}{hi} + \beta \cdot \left(R + \frac{Dhi}{Dhx} \cdot \frac{1}{hx}\right)\right]}$$

Los diversos parámetros se determinan siguiendo las instrucciones detalladas en las secciones siguientes:

- Coeficiente superficial interior hi: hi Coeficiente superficial interior, expresado en W/(m2·K), se calcula con la ecuación 9:

Ecuación 9.

Coeficiente superficial interior

$$\text{Hi} = \frac{\lambda h \cdot Nu}{Dhi}$$

Donde:

- Λh Es la conductividad térmica de los humos [W/(m·K)] que, con buena Aproximación, podrá calcularse con la ecuación 10:

Ecuación 10.

Conductividad térmica de los humos

$$\lambda h = 0{,}023 + 8{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot (Thm - 273)$$

- Nu Es el número de Nusselt (adimensional), función del coeficiente de fricción, el número de Prandtl, la esbeltez de la chimenea y la viscosidad dinámica del gas, que puede calcularse con la expresión 11:

Ecuación 11.

Número de Nusselt (adimensional)

$$\text{Nu} = 0{,}0354 \cdot \text{a} \cdot (Re^{0.75} - 180)$$

- El coeficiente “a” (adimensional), función de la rugosidad del material “r”, expresada en (mm), vale:

Ecuación 12.

Coeficiente “a” (adimensional)

$$a = 1{,}011665 + 0{,}152502 \cdot r - 0{,}014167 \cdot r2$$

- El número de Reynolds (adimensional), se calcula con la ecuación 13:

Ecuación 13.

Número de Reynolds (adimensional)

$$Re = \frac{v \cdot Dhi}{vc}$$

Donde:

- V Es la velocidad media de los humos en la chimenea (m/s), que se calcula dividiendo el caudal volumétrico por el área de la sección transversal.

- Dhi Es el diámetro hidráulico interior (m).

- Vc Es la viscosidad cinemática de los gases (m2/s), se calcula con el polinomio mostrado en la ecuación 14:

Ecuación 14.

Viscosidad cinemática

$$vc = -6{,}361 \cdot 10^{-6} + 4{,}426 \cdot 10^{-8} \cdot Thm + 7{,}523 \cdot 10^{-11} \cdot Thm^2$$

La ecuación que define el número de Nusselt es aplicable cuando el número de Reynolds está en el rango de 3,000 a 1,000,000. Si el cálculo arroja un valor de hi < 5 W / (m²·K), se considerará hi = 5 W / (m²·K).

- Resistencia térmica de la pared R: La resistencia térmica de la pared de la chimenea R, expresada en (m2·K)/ W, se calcula como suma de la relación entre espesores equivalente del material y conductividad térmica de cada capa que constituye la pared de la chimenea, según la Siguiente expresión 15:

Ecuación 15.

Resistencia térmica de la pared

$$R = s \cdot Dhi \cdot \sum \left[\frac{1}{2 \cdot \lambda n} \cdot \mathrm{Ln} \left(\frac{D\ hin + 2 \cdot \varepsilon n}{Dhin} \right) \right]$$

Donde:

- El subíndice “n” indica los valores de la capa enésima, mientras que el coeficiente “s” depende de la forma de la sección y vale

Tabla 7.

Coeficiente de forma de sección

Seccion	S
Circular	1
Cuadrada	1.27
Rectangular	1.3

Nota. Fuente: AENOR. Une 123-001-94. Chimeneas: Cálculo y Diseño.

- Coeficiente superficial exterior hx:

Para chimeneas ubicadas dentro de un edificio, se puede usar un coeficiente de 8 W/ (m²·K), mientras que para las chimeneas ubicadas fuera del edificio se puede emplear un coeficiente de 25 W / (m²·K). En el caso de chimeneas que atraviesen tanto el interior como

el exterior del edificio, el coeficiente hx se calculará como media ponderal en base a las superficies interior y exterior.

La resistencia superficial exterior 1/hx se multiplica por la relación entre los diámetros hidráulicos interior y exterior para ajustarla a la superficie interior de la chimenea.

- Coeficiente β.

Las ecuaciones mencionadas son aplicables en situaciones de temperaturas estables a largo plazo. Sin embargo, cuando se trata de condiciones de régimen transitorio, influenciadas por la regulación del quemador mediante pasos o modulación, el coeficiente β variará según las circunstancias específicas, adoptando el valor que se indica a continuación:

Tabla 8.

Coeficiente β.

Chimenea	Todo-nada	Todo-poco-nada	Modulante
Metalica	0.5	0.6	0.8
De obra	0.8	0.85	0.9

Nota. Fuente: AENOR. Une 123-001-94. Chimeneas: Cálculo y Diseño.

En caso de funcionamiento en régimen estacionario se tomará “β” igual a la unidad.

- Diámetros hidráulicos. Los diámetros hidráulicos se calcularán de acuerdo a la definición, mediante las siguientes expresiones:

- Para chimeneas circulares: Dh = D.

- Para chimeneas rectangulares de lados a y b: Dh = 2 · a · b/(a+b).
- Para chimeneas cónicas de diámetros Ds y De

- Caídas de presión por resistencia al movimiento

La caída de presión por resistencia al movimiento de los humos en las chimeneas, expresadas en Pa (N/m2), se calcula con la siguiente ecuación 16:

Ecuación 16.

Caída de presión por resistencia al movimiento de los humos en las chimeneas

$$\Delta p = \left[\sum \left[\mathrm{Phm} \cdot \frac{{v_m}^2}{2} \cdot \left(\mathrm{F} \cdot \frac{L}{Dhi} + \Sigma\, \xi\right)\right] + \Delta\mathrm{pd}\right] \cdot \mathrm{fs}$$

En la que el primer sumatorio se refiere a los diferentes tramos de la Chimenea.

En la ecuación anterior los diferentes parámetros que entran en juegos tienen el siguiente significado:

- Phm Es la densidad media de los humos (kg/m3) en el tramo considerado, que se calculará con la ecuación (4).

- Vm Es la velocidad media de los humos (m/s) en le tramo considerado, que se calcula mediante la ecuación 17, Siendo S el área de la sección transversal de la chimenea (m2).

Ecuación 17.

Velocidad media de los humos

$$\mathrm{Vm} = \frac{\dot{m}}{\rho hm \cdot S}$$

- F Es el factor de fricción, que podrá obtenerse, de forma exacta, de la ecuación de Colebrook o, también, con su suficiente precisión, mediante ecuaciones aproximadas de solución directa en función de la rugosidad de la superficie interior "r" (mm), del diámetro hidráulico "Dh" (m) y del número de Reynolds "Re"(adimensional). Una expresión muy simple, válida para rugosidades entre 0,5 mm. Y 5 mm. Y números de Reynolds entre 3.000 y 1.000.000, es la siguiente:

Ecuación 18.

Factor de fricción

$$\mathrm{F} = 0{,}118 \cdot \frac{r^{0.25}}{D_{hi}{}^{0.40}}$$

Tabla 9

Rugosidad de materiales empleados

Materiales	Rugosidad mm
Acero sin revestir y aceros inoxidables	
- Sección circular	0.5 A 1
- Sección rectangular	1 a 2
Hormigón o revoco en cemento	1.5 a 3
Muros de ladrillos	3 A 5

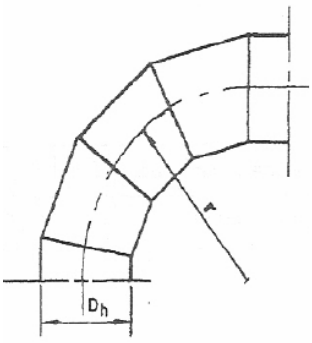
Nota. Fuente: AENOR. Une 123-001-94. Chimeneas: Cálculo y Diseño

- Longitud del tramo considerado (m).

- Σ ξ Es la suma de los coeficientes de las pérdidas de presión localizadas (adimensional).

Figura 13.

Coeficientes de las pérdidas de presión localizadas



2 gajos	$1{,}25\ D_h \leq r \leq 4\ D_h$	$\xi = 0{,}6$
3 ó 4 gajos	$2\ D_h \leq r \leq 8\ D_h$	$\xi = 0{,}4$

Nota. Fuente: AENOR. Une 123-001-94. Chimeneas: Cálculo y Diseño

- Δpd Es la variación de presión dinámica desde la entrada a la salida de la chimenea que se halla mediante la expresión 19:

Ecuación 19.

Variación de la presión dinámica

$$\Delta pd = \rho hm \cdot \frac{v^2{}_{ms} - v^2{}_{me}}{2}$$

- Fs Es un factor de seguridad que es necesario considerar para tener en cuenta los siguientes factores:

  - Problemas en la construcción de la chimenea, como dimensiones transversales incorrectas, rugosidad superficial elevada, baja resistencia térmica y falta de estanqueidad.

  - Impacto de condiciones climáticas desfavorables.

  - Irregularidades en el funcionamiento del generador de calor, como el exceso de aire más allá de lo previsto y sobrecargas operativas.

El uso de chimeneas prefabricadas ayuda a minimizar las imperfecciones de construcción, asegurando una calidad garantizada por el fabricante.

El técnico puede elegir, según su criterio, un factor de seguridad fs para multiplicar Δp, dependiendo de las condiciones específicas de la obra. A modo de referencia, se sugieren los siguientes valores:

- Para conducciones prefabricadas fs = 1.2

- Para conducciones construidas en el lugar:
  - Metálicas fs = 1.3
  - De obra fs = 1.5

- Tiro térmico

El efecto de tiro térmico (o natural), generado por la diferencia de densidades entre el gas dentro de la chimenea y el ambiente exterior, se calcula en (Pa) mediante la siguiente ecuación 20:

Ecuación 20.

Efecto de tiro térmico (o natural)

$$t = g \cdot H \cdot (\rho a - \rho hm)$$

La magnitud H, conocida como altura efectiva, representa la distancia vertical entre la salida de humos del generador (su eje, si la boca es vertical) y la salida de la chimenea. En el cálculo, la altura H se divide en dos secciones: Hh para la parte horizontal (conexión con la sección vertical) y Hv para la sección vertical de la chimenea.

3.1.3. Diseño y cálculo de una chimenea para caldera de calentamiento

Cálculo sección transversal

- Determinación de la potencia térmica útil del generador

Figura 14.

Caldera aceite térmico



Nota. Fuente : QUIMICLOR S.A.S

Tabla 10.

Características de la caldera seleccionada

Código	32780
Potencia térmica útil	251995.8 Kcal/hr
Presión máxima de servicio	17.2 Bar
Volumen caldera	107 L

Tabla 11.

Determinación de las características de los combustibles gaseosos empleados

	PCS Kj/Nm3	PCI Kj/Nm3	CO2 max %	P Kj/Nm3	PC Kj/Nm3	PF Kj/Nm3
Gas natural	44000	39600	12.1	0.75	11.2	11.9

Gas manufacturado	17600	15700	12.8	0.65	3.7	4
Propano comercial	93300	85750	13.9	1.85	24	25
Butano comercial	119700	110350	14.1	2.41	31.1	32.7

Nota. Fuente: AENOR. Une 123-001-94. Chimeneas: Cálculo y Diseño

1. Los datos de gas natural y gas manufacturado son aproximados
2. La constante de elasticidad de los humos vale 300 J/(kg*K)

- Determinación del rendimiento el generador

La potencia útil de la caldera es de 259.995,8 Kcal/hr, que equivalen a 302 kw,según (AENOR 2003) el rendimiento del generador es de 80.9% para gas propano.

Tabla 12.

Determinación del rendimiento el generador (%)

Potencia termica kw	Gasoleo	Gas natural	Propano natural	Carbon alimentacion automatica	Carbon alimentacion manual
10	79	79	77	70	73
100	82	82	80	74	78
1000	85	85	84	79	82

Nota.Fuente: AENOR. Une 123-001-94. Chimeneas: Cálculo y Diseño

- Medición del Nivel de Dióxido de Carbono en Emisiones Gaseosas, estimación del Exceso de Aire Utilizando la Ecuación (2) y el Coeficiente de Ajuste.

Figura 15.
identificación de los datos para la solucion de la formula

$$e = \left(\frac{CO2max}{CO2} - 1\right) \cdot Cc \qquad Cc = 0.91$$

$$\frac{CO2max}{CO2} = 1.63$$

Se interpola para los valores entre 100 y 100 kW para hallar el valor a 300kw para gas propano

Contenido Corrector C_c del exceso de aire

Tipo de Combustible	C_c
Gaseoso	0,91
Líquido	0,94
Sólido	0,98

2.- Contenido en volumen de CO_2 en los humos (%) y relación $CO_{2máx}/CO_2$:

Potencia térmica kW	Gasóleo	Gas Natural	Propano Natural	Carbón Alimentación Manual	Carbón Alimentación Automática
10	10,1 1,54	8,6 1,41	8,0 1,74	8,0 2,58	8,5 2,42
100	11,4 1,37	9,5 1,27	8,2 1,70	9,0 2,29	9,9 2,08
1.000	12,8 1,22	10,0 1,21	10,0 1,39	11,8 1,75	11,9 1,73

$$\boldsymbol{e = 0.573 \quad /adimensional}$$

- Determinación de la temperatura de los humos a la salida del generador

Tabla 13.

Temperatura de los humos en salida de generador

Potencia termica nominal kw	Temperatura de los humos °C
10	240
100	230
1000	210

Nota.Fuente: AENOR. Une 123-001-94. Chimeneas: Cálculo y Diseño

La potencia térmica de la caldera seleccionada es de 302 kw, por lo que debemos interpolar entre los valores de la tabla, por lo que el valor es = 225.5 °C.

- Determinación del caudal másico de los humos mediante la ecuación (21)

Ecuación 21.

Caudal másico de los humos

$$\dot{m} = 1{,}2 \cdot (PF + e \cdot PC) \cdot \frac{P}{\eta \cdot PCI}$$

1.- Combustibles Gaseosos:

	PCS	PCI	$CO_{2máx.}$	ρ	PC	PF
	kJ/Nm³	kJ/Nm³	%	kJ/Nm³	kJ/Nm³	kJ/Nm³
Gas Natural	44.000	39.600	12,1	0,75	11,2	11,9
Gas Manufacturado	17.600	15.700	12,8	0,65	3,7	4,0
Propano Comercial	93.300	85.750	13,9	1,85	24	25,
Butano Comercial	119.700	110.350	14,1	2,41	31,1	32,7

Notas: 1.Los datos de gas natural y gas manufacturado son aproximados.
2. La constante de elasticidad de los humos vale 300 J/(kg·K).

PF= 25 kj/Nm3

PC= 24 kj/Nm3

P= 302 KW

PCI = 85.750 kj/Nm3

Ƞ = 80.9%

E = 0.573 /adimensional

$$\dot{m} = 1.2(25 + 0.573x24)x\frac{302}{0.80x85.750}$$

$$\dot{m} = 0.20471\ kg/seg/$$

- Determinación de la presión disponible a la salida del generador Δpgen
    - Generadores con hogar en sobre presión = cero
    - Generadores con hogar en depresión

Tabla 14.

Presión disponible a la salida del generador

Potencia nominal (kw)	Depresion (Pa)
P≤120	15*log(P)-1.2
120<P≤700	39.2*log(P)-51.4
700<P	19.4*log(P)+4.9

Nota. Fuente: AENOR. Une 123-001-94. Chimeneas: Cálculo y Diseño

Como:

P= 302 Kw

Δpgen = 39,2·log **P** – 51,4

Δpgen = 45.8162 Pa

- Estimación de la Temperatura del Aire Exterior (Ta) y Altitud sobre el Nivel del Mar en el Sitio de la Central.

Guarne Antioquia está ubicado a 2,150 m… Por lo tanto, A= 2,150 m, Ta = 22 °C, ya que la temperatura media de las máximas en Guarne es de 22 °C, entonces:

Ta = 22°C + 273.15k

Ta= 295.15 k

Cálculo tramo horizontal

1. Se determinan las características geométricas del conjunto, incluyendo las medidas máximas transversales, la longitud, así como el número y tipo de piezas especiales y la pendiente del terreno.

- Medidas máximas transversales: 0.3 mt
- Longitud máxima: 1.5 mt
- Una pieza de unión al generador

1. En una primera aproximación, se considerará que la velocidad promedio de los gases está relacionada con el caudal másico según la siguiente fórmula:

Ecuación 22.

Velocidad promedio de los gases

$$V = 7{,}1 + (2{,}03 \cdot x) + (0{,}25 \cdot x2) - (0{,}526 \cdot 10 - 3 \cdot x3) - (3{,}109 \cdot 10 - 3 \cdot x4)$$

Donde: $X = Ln\,(\dot{m})$

$$\dot{m} = 0.20471\ \frac{Kg}{seg} \qquad X = Ln\,(\,0.20471\,) \qquad X = -1.5861$$

$$V = 7.1 + \big(2.03 \cdot (-1.5861)\big) + (0.25 \cdot (-1.5861)^2) - (0.526 \cdot 10^{-3} \cdot (-1.5861)^3) - (3.109 \cdot 10^{-3} \cdot (-1.5861)^4)$$

$$V_{me} = 4.491615 \frac{m}{seg}$$

2. En una primera aproximación, se considerará que la temperatura promedio de los gases es igual a la temperatura de salida del generador

Temperatura de los humos en salida de generador:

Potencia Térmica Nominal (kW)	Temperatura de los Humos ˚C
10	240
100	230
1.000	210

Para hallar el valor para una potencia térmica de 300 Kw se interpoló entre los valores de la tabla; por lo tanto Tm= 225.5 0ºc Tm = 273.15 k + 225.5 ºc

Tm= 498.65 K

3. Se calcula la densidad media mediante la ecuación nº 4.

R= 300 J/(Kg· K) A= 2.150 m Thm= 498.65

$$\text{Phm} = \frac{101.325 \cdot (1 - 0{,}00012 \cdot A)}{R \cdot Thm}$$

$$\text{Phm} = \frac{101.325 \cdot (1 - 0{,}00012 \cdot 2.150)}{300x498.65}$$

$\boldsymbol{\rho hm = 5.025x10 - 4}$

4. Se calcula el caudal volumétrico mediante la ecuación nº 3.

$\dot{m} = 0.20471\ \frac{Kg}{seg}$ $\rho hm = 5.025x10 - 4$

$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho hm} = \frac{0.20471}{5.025x10 - 4} = 0{,}114\frac{m3}{seg}$

5. Se calcula el área de la sección transversal de la chimenea mediante la expresión

Ecuación 23.*Área de la sección transversal*

$A_s = \frac{\dot{V}}{v} = \frac{0{,}114}{4.491615} = 0.025\ m2$

$As = \pi \cdot (\frac{d}{2})^2$

$d = 0.165m$

6. Para determinar el coeficiente global de transmisión de calor U siguiendo las directrices del punto 5.6 del documento de AENOR de 2003, se procede inicialmente calculando la temperatura media de los materiales de la pared de la chimenea. Esta temperatura se estima como la media aritmética entre la temperatura media de los humos y la temperatura del aire exterior:

$$U = \frac{1}{\left[\frac{1}{hi} + \beta\ x\ \left(\frac{Dhi}{Dhx}\ x\ \frac{1}{hx}\right)\right]}$$

Donde:

$$hi = \frac{\lambda h \cdot\ Nu}{Dhi}\ ;\ \lambda h\ =\ 0{,}023\ +\ 8{,}5 \cdot 10 - 6\ \cdot\ (Thm - 273); Nu = 0{,}0354 \cdot a \cdot (Re0{,}75 - 180)$$

$$a\ =\ 1{,}011665\ +\ 0{,}152502\ \cdot\ r - 0{,}014167\ \cdot\ r2$$

$$r\ =\ 0{,}7mm\ (rugosidad\ del\ material)$$

$$Re = \frac{v\ \cdot\ Dhi}{vc}$$

$$vc\ =\ -6{,}361 \cdot 10 - 6\ +\ 4{,}426 \cdot 10 - 8\ \cdot\ Thm\ +\ 7{,}523 \cdot 10 - 11\ \cdot\ Thm^2$$

7. Cálculo de la conductividad térmica “λh”; para ello, primero calculamos Thm

$$Thm = 498.65\ k;\quad Ta = 295.15\ k$$

$$Thm = \frac{498.65 + 295.15}{2}\ ; Thm = 396.9\ k$$

$Entonces: \lambda h = 0{,}023 + 8{,}5 \cdot 10 - 6 \cdot (Thm - 273)$ $reemplazamos$

$Tenemos: \lambda h = 0{,}023 + 8{,}5 \cdot 10 - 6 \cdot (396{,}9 - 273)$

$\lambda h = 0{,}024\ (W/m \cdot K)$

8. Cálculo de la viscosidad cinética de los gases "vc" (m2/seg)

$vc = -6{,}361 \cdot 10 - 6 + 4{,}426 \cdot 10 - 8 \cdot Thm + 7{,}523 \cdot 10 - 11 \cdot Thm^2$

$vc = 2.30 \cdot 10 - 5 \frac{m2}{seg}$

9. Cálculo del número de Reynolds

$Re = \frac{v \cdot Dhi}{vc}; v = 4.4916 \frac{m}{seg}; Dhi = 0{,}165m;\ vc = 2{,}30 \cdot 10 - 5\ m2/seg$

$Re = \frac{4.4916\ x\ 0.165}{2.30 \bullet 10 - 5} = 32.222{,}34$

10. Cálculo del coeficiente "a"

$a = 1{,}011665 + 0{,}152502 \cdot r - 0{,}014167 \cdot r2$

$tenemos\ r = 0{,}7\ ;\ reemplazamos$

$a = 1{,}011665 + 0{,}152502 \cdot 0{,}7 - 0{,}014167 \cdot 0{,}72;\ a = 1{,}111$ adimensional

11. Número de Nusselt "Nu"

$$Nu = 0{,}0354 \cdot a \cdot (Re^{0.75} - 180)$$

$$Nu = 87.508\ adimensional$$

12. Coeficiente superficial interior “hi”

$$hi = \frac{\lambda h \cdot Nu}{Dhi} = 12.728 \left(\frac{W}{m2} \bullet K\right)$$

13. Resistencia térmica de la pared “R”

Tenemos:

- Dhi= 0.165 m
- S = 1 seccion circular (Diseño U. 1.-0.-9.)
- Conductividad térmica materiales:

  λn(acero) = 45 (W/m·K)
  λn(lana mineral) = 0,042 (W/m·K)
- Espesor equivalente materiales:

  En(acero) = 4mm.
  En (lana mineral) = 50mm

$$R = 1 \cdot 0{,}20 \left[\left(\frac{1}{2x45} \cdot \ln\left(\frac{0{,}20 + 2 \cdot 4}{0{,}20}\right)\right) + \left(\frac{1}{2x \cdot 0{,}042} \cdot \ln\left(\frac{0{,}20 + 2 \cdot 50}{0.20}\right)\right) \right]$$

$$R = 14{,}8\ (m2 \bullet K/W)$$

14. Coeficiente global de transmisión de calor “U”

Tenemos:

- β = 0,8 (AENOR)
- hx = 8 (AENOR)
- R = 14,8 (m2•K/W)
- Dhi = 0,16m ; Dhx = 0,165m ; hi = 12,728 (W/m2•K)

$$U = \frac{1}{\left[\frac{1}{12.728} + 0.8\ x\ \left(14.8\ x\ \frac{0.16}{0.165}\ x\ \frac{1}{8}\right)\right]} = 0.660\ (W/m2 \cdot K)$$

15. Área de la superficie interior de la chimenea Si.

Si = Perímetro · Largo ; diámetro = 0,165 mt. ; Largo = 1m ; perímetro = 2·π·d/2

Si = 0.518 m2

16. Densidad del aire exterior según la ecuación

$$\rho a = \frac{101.325\ \cdot\ (1 - 0{,}00012\ \cdot\ A)}{R\ \cdot\ Ta}$$

Donde : Para el aire se asumirá R = 287J/(kg·K)

$$\rho a = \frac{101.325\ \bullet\ (1 - 0{,}00012\ \bullet\ 2150)}{287x295.15} = 8.875x10 - 4Kg/m3$$

17. Tiro térmico

$$thor = g\ \cdot\ H\ \cdot\ (\rho a - \rho hm)$$

$$thor = 9.81 \frac{m}{s^2}\ x\ 1.0\ x\ \left(\ 8.875x10 - 4 \frac{kg}{m^3} - 5.025x10 - 4 \frac{kg}{m^3}\right)$$

$$thor = 3.776x10 - 3\ Pa$$

$$tver =\ 9.81\ m/s\text{^}2\ \ x\ 15\ x\ (\ 8.875x10 - 4\ kg/m\text{^}3\ -5.025x10 - 4\ kg/m\text{^}3\ )$$

$$Tver = 0.5557\ Pa$$

3.1.8 Desarrollo del objetivo específico 3

Para la construcción del sistema de conducción de gases se tuvieron en cuenta varios aspectos y métodos de diseño. El siguiente objetivo nos permite ejecutar el diseño propuesto con ayuda de las instalaciones y buenas prácticas de construcción en la empresa Quimicolor sas respetando parámetros de diseño y normas ambientales anteriormente indicados.

3.1.9.1 Actividad 1. Selección del material

Las conexiones transversales del sistema de ventilación estarán equipadas con juntas especializadas diseñadas para asegurar la hermeticidad y evitar cualquier fuga de gases. Estas juntas también están diseñadas para absorber las expansiones térmicas provocadas por las variaciones de temperatura que se producen durante el funcionamiento del sistema. Esto es esencial para mantener la integridad del sistema y prevenir problemas de seguridad.

En cuanto a las chimeneas metálicas, su fabricación puede llevarse a cabo mediante el proceso de calandrado, que permite formar las láminas metálicas en una forma cilíndrica continua. Las uniones de estas láminas pueden soldarse a lo largo de toda su longitud para

garantizar una estructura robusta y uniforme. Alternativamente, también se pueden utilizar láminas engatilladas

Las chimeneas prefabricadas, por su parte, deben ser ensambladas siguiendo estrictamente las directrices proporcionadas por el fabricante. Esto incluye la correcta elección del método de fijación, que debe ser el especificado por el fabricante, así como el uso de los accesorios recomendados, como abrazaderas, soportes y selladores.

Todos los componentes que forman parte de la chimenea estarán fabricados en acero galvanizado. Este material se ha seleccionado por su alta resistencia a la acción corrosiva de los ácidos presentes en los gases de combustión y su baja capacidad de absorción de humedad, lo cual es crucial para evitar la oxidación y prolongar la vida útil de la chimenea.

Además, toda la estructura de la chimenea quedará aislada térmicamente a lo largo de su recorrido. Para ello, se utilizará lana mineral, un material que no solo ofrece excelentes propiedades de aislamiento térmico, sino que también es resistente al fuego y a la absorción de humedad. Este aislamiento es crucial para evitar la pérdida de calor, reducir la condensación interna y proteger las superficies circundantes de posibles daños por calor. Las propiedades específicas de la lana mineral, como su densidad, conductividad térmica y espesor, han sido detalladamente calculadas en los estudios previos, asegurando que el aislamiento cumple con los requisitos.

3.1.9.1 Actividad 2. Construir el sistema de conducción de gases para una caldera pirotubular.

En la figura 16 se ve reflejado el proceso de rolado de las láminas utilizadas para la creación de los accesorios implementados en el diseño del sistema de conducción para el cambio de dirección del ducto.

Figura 16.

Proceso de rolado de la lamina



El proceso mediante el cual se unieron las piezas que hacen parte del diseño, se realizaron por medio de un proceso solado para evitar fugas de los gases y estos sean

expulsados al medio ambiente de una manera más eficaz y segura tal cual se observa en la figura 17.

Figura 17.

Ensamble de la corona del ducto



La figura 18 evidencia la manera en que el ducto fue construido, el ducto es de manera espiralado y trocados entre laminas para así aumentar la rigidez del material utilizado para la fabricación del sistema de conducción de gases.

Figura 18.

Construcción del ducto



La figura 19 evidencia la manera en que se unieron los diferentes tramos del ducto. Por medio de abrazaderas construidas específicamente en el taller de la empresa para el diámetro requerido.

Figura 19.

Construcción de la abrazadera



Para el corte del ducto a la medida requerida fue necesario respetar el diseño antes indicado y obedecer las circunstancias de la instalación ya que no se contaba con mucho espacio y la altura de la fachada de la empresa donde estaría ubicada la caldera con el sistema de conducción (Figura 20).

Figura 20.

Corte del ducto a la medida requerida



La construcción del codo utilizado para el cambio de dirección del ducto se realizó por medio de la plantilla que se muestra en la figura 21.

Figura 21.

Corte de laminas



Actividad 3. Realizar el montaje del sistema construidos en la caldera utilizada por la empresa

Para la realización del montaje del sistema construido es necesario el cuidado y el respeto a los cálculos antes mencionados para garantizar el éxito de la construcción del sistema.

En la figura 22 se demuestra el primer paso en el montaje, se instala el tramo horizontal del ducto utilizado; el codo también fue instalado fijamente al tramo horizontal ya que estos iban a soportar el peso del ducto vertical.

Figura 22.

Unión del ducto a la caldera



De esta manera se realizó el cambio de dirección de los ductos para lograr aprovechar los espacios en el entorno establecido para la caldera, tal cual se muestra en la figura 23.

Figura 23.

Cambio de dirección en el ducto



Es necesario que el tramo horizontal mantenga una pendiente para minimizar la estanqueidad de los gases en el ducto de conducción tal cual se muestra en la figura 24.

Figura 24.

Pendiente en el ducto horizontal



El proceso de montaje del sistema de conducción de gases de la caldera se llevó a cabo gracias a los recursos y la iniciativa de la empresa. El proceso puso a prueba competencias e ingenio de las personas que llevaron a cabo dicha actividad, en la figura 25 se puede apreciar el proceso.

Figura 25.

Proceso de montaje del sistema



El montaje final del sistema de conducción de gases, su apariencia y estética estructural puede verse reflejada en la figura 26; de esa manera se finaliza el proyecto propuesto al inicio de las pasantías.

Figura 26.

Montaje final del sistema



4. Diagnostico final

El diseño del sistema de conducción de gases ha sido desarrollado considerando exhaustivamente las normativas locales e internacionales aplicables. Este aspecto es fundamental para garantizar la aceptación del proyecto por parte de las autoridades competentes y para asegurar que el sistema opere dentro de los parámetros legales y de seguridad establecidos. El cumplimiento normativo no solo respalda la seguridad operativa, sino que también refuerza la viabilidad técnica del proyecto en escenarios reales.

Las especificaciones técnicas del sistema incluyen una selección cuidadosa de materiales, con énfasis en la resistencia a la corrosión y durabilidad frente a las condiciones de operación esperadas. Los materiales seleccionados son compatibles con los tipos de gases que el sistema transportará, lo cual es crucial para evitar reacciones indeseadas y prolongar la vida útil del sistema. Asimismo, las dimensiones de los conductos han sido calculadas para optimizar el flujo de gases, reduciendo al mínimo las pérdidas de presión y garantizando una distribución uniforme. Los métodos de instalación propuestos son robustos, permitiendo una instalación segura y manteniendo la integridad del sistema a largo plazo.

Un componente clave del fue la realización de los cálculos para el uso adecuado de la caldera el cual ha sido dimensionado para garantizar una evacuación eficiente y segura de los gases. Este sistema está diseñado para prevenir la acumulación de gases peligrosos, protegiendo tanto al personal como a las instalaciones donde se implemente el sistema; para el diseño del sistema se realizaron los cálculos correspondientes por lo cual se obtuvo como resultado las especificaciones finales de la caldera como se evidencia en la tabla 15:

Tabla 15

Especificaciones finales de la caldera

1	Longitud tramo horizontal	1	Mt
2	Longitud tramo vertical	15	Mt
3	Área superficie interior	0.51	M^2
4	Área sección transversal	0.025	M^2
5	Coeficiente global de transferencia de calor	0.660	(W/m2•K)
6	Conductividad térmica	0.024	(W/m2•K)
7	Temperatura de los humos	396.9	k
8	Velocidad de los gases	4.491	M/seg
9	Diámetro del ducto	0.17	M
10	Tiro térmico	0.5557	Pa
11	Presión disponible en la salida del generador	45.81	Pa
12	Material de construcción	Acero galvanizado	
13	Aislante térmico	Fibra de vidrio	

El diseño no solo es viable desde un punto de vista técnico, sino que también garantiza la seguridad y eficiencia necesarias para su aplicación. Se recomienda proceder con la implementación del diseño, ya que este ha sido fundamentado en principios sólidos de ingeniería y cumple con las expectativas de seguridad y durabilidad.

5. Conclusiones

El diseño correcto de chimeneas en sistemas de calentamiento de aceite es fundamental para asegurar tanto la eficiencia energética como la seguridad operativa. Un diseño inapropiado puede provocar problemas significativos, como un tiro insuficiente, que impide una combustión completa y eficiente. Esto no solo afecta negativamente el rendimiento de la caldera, sino que también contribuye al aumento de emisiones contaminantes, lo cual es contrario a los objetivos de sostenibilidad y cumplimiento normativo.

Las metodologías tradicionales, como la propuesta por el manual de Hütte (1957), aunque ofrecen una base útil para el cálculo del tiro en puntos específicos, presentan limitaciones importantes. Estas metodologías no abordan aspectos críticos del diseño, como la determinación del diámetro de la chimenea o la selección de materiales adecuados.

En contraste, el método propuesto por AENOR en "Instalaciones Térmicas en Edificios" ofrece un enfoque más completo y aplicable para el diseño de chimeneas. Este método, basado en la mecánica de fluidos aplicada a gases, aborda de manera integral los diferentes factores que influyen en el rendimiento de la chimenea, incluyendo el tiro natural, las pérdidas de calor y las características de los humos generados. Aunque requiere un proceso más detallado, la información necesaria es generalmente accesible, y este enfoque permite un diseño más preciso y eficiente.

por otra parte, la puesta en marcha de la caldera y la implementación del sistema de conducción de gases han demostrado ser efectivas en la evacuación de los gases de combustión hacia áreas más seguras, ubicadas en la parte superior de la empresa, la

incorporación del aislante térmico ha contribuido significativamente a la concentración del calor en la chimenea, lo cual ha favorecido el entorno de trabajo al reducir los riesgos asociados a la dispersión del calor.

Además, se realizaron los análisis pertinentes para detectar posibles pérdidas de gases de combustión, como monóxido y dióxido de carbono, en los alrededores. Los resultados de estos análisis confirman la ausencia de dichas pérdidas, lo que valida la eficiencia del sistema de conducción de gases en la resolución de los principales problemas planteados en el proyecto.

6. Recomendaciones

Se recomienda implementar un sistema de monitoreo continuo del rendimiento y estado del sistema de conducción de gases. Este monitoreo debe incluir la recopilación de datos sobre el flujo, la presión, y la calidad de los gases en tiempo real, lo que permitirá la detección temprana de posibles anomalías o fallos. La adopción de herramientas de diagnóstico avanzado contribuirá a identificar tendencias que puedan indicar la necesidad de intervenciones preventivas, minimizando así el riesgo de interrupciones en el servicio o daños mayores al sistema.

Es fundamental organizar capacitaciones periódicas y programas de actualización para el personal encargado del mantenimiento del sistema. Estas sesiones deben abarcar no solo las prácticas de mantenimiento estándar, sino también las últimas innovaciones tecnológicas y metodologías emergentes en la gestión de sistemas de conducción de gases. Al asegurar que el personal esté al tanto de las mejores prácticas y nuevas herramientas, se garantiza un mantenimiento más eficiente y una prolongación significativa de la vida útil del sistema. Además, se sugiere evaluar el desempeño del equipo técnico regularmente, para identificar oportunidades de mejora y promover una cultura de excelencia operativa.

Asimismo, se recomienda mantener una documentación detallada de todas las intervenciones de mantenimiento realizadas, así como un registro histórico del rendimiento del sistema. Esta información debe estar fácilmente accesible para el equipo técnico, y ser actualizada regularmente. Establecer procedimientos operativos estándar (SOPs) para el mantenimiento del sistema, incluyendo protocolos de emergencia, también es clave para asegurar una respuesta rápida y efectiva ante cualquier incidente.

Adicionalmente, se sugiere realizar evaluaciones periódicas del desempeño global del sistema de conducción de gases. Estas revisiones deben considerar tanto el estado físico del sistema como su eficiencia operativa. Con base en los resultados, se pueden planificar mejoras y optimizaciones que incrementen la confiabilidad del sistema y reduzcan costos a largo plazo.

Referencias

ACTA 151 CAP. (2018). Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes (Creada por la Ley 400 de 1997). 84, 3.

AENOR. (2005). Une 123-001-94. Chimeneas: Cálculo y Diseño. AENOR. https://tienda.aenor.com/norma-une-123001-1994-n0008138

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). Norma Colombiana de Construcción Sismorresistente NSR-10 (1ª ed.). AIS. https://asosismica.org.co/nsr-10/

Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. https://asosismica.org.co/actas-de-la-comision/

Del Rio, K. (2018). Calderas: Clasificación, Usos Y Mecanismos De Transferencia De Calor. Researchgate, Researchgate.

Estefanía, G. (2023). Ventajas de calderas pirotubulares en la industria: eficiencia y adaptabilidad. Ecovis México. https://www.ecovismexico.com/blog/ventajas-de-las-calderas-pirotubulares-en-la-industria-eficiencia-y-adaptabilidad

Google Earth. (06 de 02 de 2024). Google Earth. Obtenido de Google Earth: https://www.google.com/maps?q=6.2560193,-75.4280652&z=17&hl=es

Hernández, P. (2021). Clasificación y tipos de calderas industriales. Ingeniería y Energía. https://www.ingenieriayenergia.com/clasificacion-calderas

Icontec. (1996). NTC 3853 - Equipo, accesorios, manejo y transporte de G.L.P. Icontec, 117. http://web.mintransporte.gov.co/consultas/mercapeli/Reglamento/Anexos/NTC3853

.pdf

Icontec. (2003). Norma Técnica Colombiana NTC3631: Ventilación de Recintos Interiores. http://www.llanogas.com/resources/uploaded/files/NTC_3631_Ventilacion_Recintos_Interiores.pdf

Infraestructura, A. N. de. (2022). Especificaciones Técnicas Etapa de Operación y Mantenimiento.

Martinez, D. E. O. (2017). Diseño de una caldera de generación de vapor pirotubular de 10 BHP a 25 BHP mediante módulos. 2–4.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Decreto 1076 de 2015 por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Diario Oficial No. 49.523.

Ministerio de Minas y Energía. (2021). Reglamento Técnico de Instalaciones Internas de Gas Combustible (Resolución 03189 de 2021). Diario Oficial No. 52.017.

Ministerio de minas y Energías. (2017). Resolución 41385 de 2017. https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=73195&dt=S

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2021). Reglamento Técnico de Construcción (Resolución 549 de 2021). Diario Oficial No. 52.134.

Norma Técnica Colombiana NTC 3631: Conductos de evacuación de gases combustibles para chimeneas de calderas. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

Norma Técnica Colombiana NTC 3833: Calderas y generadores de vapor. Requisitos y especificaciones técnicas para instalación, operación y mantenimiento. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

Ponce Talancón, H. (2007). La matriz FODA: alternativa de diagnóstico y determinación

de estrategias de intervención en diversas organizaciones. Enseñanza e Investigación en Psicología, 12(1), 113-130.

QUIMICOLOR SAS. (2023). QUIMICOLOR SAS. Obtenido de QUIMICOLOR SAS: https://www.quimicolorsas.com/

Sanhueza Rios, G. A. (2007). Diseño y Cálculo De Chimeneas Para Calderas De Calefacción. Universidad Autral de Chile, 1–128. http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2014/bmfciu.41i/doc/bmfciu.41i.pdf