



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

“ANÁLISIS DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS PARA MEJORA DE EFICIENCIA EN EL SISTEMA CABINA DE PINTURA AUTOMOTRIZ DE LA EMPRESA CIAUTO-AMBATO”

AUTOR: Luis Sebastián Lozada Martínez

TUTOR: Ing. Mg. Santiago Paúl Cabrera Anda

AMBATO - ECUADOR

Marzo - 2022

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“ANÁLISIS DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS PARA MEJORA DE EFICIENCIA EN EL SISTEMA CABINA DE PINTURA AUTOMOTRIZ DE LA EMPRESA CIAUTO-AMBATO”**, elaborado por el Sr. Luis Sebastián Lozada Martínez, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1804896536, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente proyecto experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Marzo 2022

Ing. Mg. Santiago Paúl Cabrera Anda
TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Luis Sebastián Lozada Martínez, con C.I. 1804896536 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el desarrollo del presente trabajo experimental con el tema: **“ANÁLISIS DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS PARA MEJORA DE EFICIENCIA EN EL SISTEMA CABINA DE PINTURA AUTOMOTRIZ DE LA EMPRESA CIAUTO-AMBATO”**, así como también las tablas, los criterios, ideas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo experimental, a excepción de la referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Marzo 2022



Luis Sebastián Lozada Martínez

C.I. 1804896536

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Marzo 2022



Luis Sebastián Lozada Martínez

C.I. 1804896536

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Luis Sebastián Lozada Martínez de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“ANÁLISIS DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS PARA MEJORA DE EFICIENCIA EN EL SISTEMA CABINA DE PINTURA AUTOMOTRIZ DE LA EMPRESA CIAUTO-AMBATO”**.

Ambato, Marzo 2022

Para constancia firman:

Ing. Mg. Luis Eduardo Escobar Luna
Miembro Calificador

Ing. Mg. José Luis Yunapanta Velasteguí
Miembro Calificador

DEDICATORIA

El presente trabajo y logro se lo dedico a Dios, por brindarme salud en todos los momentos de mi vida.

A mi padre Estalín por incentivar me a superarme cada día más y de manera especial a mi madre Graciela por inculcarme su sabiduría, amor y apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida brindándome todo lo necesario para conseguir mis metas.

A mi hermana Anita que me ha ayudado en situaciones complicadas que se han presentado en el trayecto de toda mi vida.

A mi tío Gabriel, Mayra, Gabriela y Michelle por ayudarme incondicionalmente en toda mi vida estudiantil y por sus consejos para ser una buena persona.

A mi amiga especial Isabel quien me ha apoyado en los momentos buenos y malos en mi vida universitaria.

Sebastián Lozada

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por ser los pilares fundamentales en mi educación acompañada de buenos valores y principios que me han motivado a cumplir este gran objetivo de vida de mis estudios universitarios, gracias por apoyarme incondicionalmente e incentivar me cada día a ser un mejor ser humano.

A mi tutor Ing. Santiago Cabrera por sus conocimientos impartidos en clases, por la confianza y apoyo brindado en el transcurso de este trabajo de titulación.

A mi tutor en la empresa Ing. Miguel Ángel Taipe por ser una excelente persona que supo compartirme sus conocimientos y consejos para lograr la culminación de este proyecto y motivarme a ser un excelente profesional para la sociedad.

Un agradecimiento afectuoso a mis amigos de universidad, Alex, Juan Carlos, Liliana y Santiago, por el apoyo mutuo brindado en todo el transcurso de nuestra etapa universitaria, acompañado de buenos y malos momentos pero que lo superamos de la mejor manera para salir adelante.

Y finalmente un agradecimiento fraterno a la empresa CIAUTO por abrirme las puertas para realizar mis practicas pre-profesionales y posteriormente mi trabajo de titulación.

Sebastián Lozada

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes investigativos	1
1.2 Objetivos.	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 Fundamentación teórica	3
1.3.1 Cabina de pintura automotriz	3
1.3.2 Intercambiador de calor de flujo cruzado.....	4
1.3.3 Transferencia de calor	5
1.3.3.1 Conducción	6
1.3.3.2 Convección.....	6
1.3.3.3 Radiación.....	7
1.4 Ventilador centrífugo	8

1.4.1 Características de funcionamiento de ventiladores	10
1.4.2 Flujo de aire en ductos.....	12
1.4.2.1 Ductos rectangulares	14
1.5 Termografía.....	15
1.5.1 Cámara termográfica	16
1.5.2 Software de análisis de imágenes térmicas	16
1.6 Anemómetro.....	17
1.7 Eficiencia energética	17
1.7.1 Índice de eficiencia energética	18
1.7.1.1 Cultura energética	18
1.7.1.2 Mantenimiento	18
1.7.1.3 Control energético.....	18
1.7.1.4 Innovación tecnológica	19
1.7.2 Medidas para la eficiencia energética.....	19
1.7.2.1 Optimización tarifaria	21
1.7.2.2 Optimización de instalaciones.....	22
1.7.3 Estrategias y medidas de ahorro energético en instalaciones industriales	24
CAPÍTULO II	26
METODOLOGÍA	26
2.1 Materiales.....	26
2.1.1 Equipos para detección de datos.....	26
2.2 Métodos 28	
2.2.1 Nivel o tipo de investigación - enfoque.....	28
2.2.1.1 Bibliográfico	28
2.2.1.2 Exploratorio.....	29
2.2.1.3 Descriptiva	29
2.2.2 Hipótesis a comprobar	29

2.2.2.1	Identificación y operacionalización de variables	30
2.2.2.1.1	Variable independiente: Pérdidas energéticas en el sistema cabina de pintura	30
2.2.2.1.2	Variable dependiente: Eficiencia del sistema cabina de pintura	31
2.3	Plan de recolección de información	32
2.3.1	Toma de datos de flujo de aire	33
2.3.2	Toma de datos de temperatura.....	33
2.3.2.1	Detección de posibles fallos en motores	34
2.3.3	Toma de datos de electricidad	35
2.4	Plan de procesamiento de análisis de datos.....	35
2.5	Medidas de prevención para pinza amperimétrica.....	38
CAPÍTULO III.....		40
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		40
3.1	Análisis y discusión de los resultados.....	40
3.1.1	Análisis de resultados	40
3.1.2	Análisis de inspección termográficos de la empresa.....	40
3.1.3	Análisis de imágenes termográficas	41
3.2	Energía consumida por el sistema.....	52
3.2.1	Costes de energía empleada por el sistema	52
3.2.2	Esquema de energías	53
3.3	Determinación de pérdidas térmicas en el sistema	53
3.3.1	Pérdidas de calor por convección.....	53
3.3.1.1	Pérdidas de calor a través de las paredes de los intercambiadores de calor.....	53
3.3.1.2	Pérdidas de calor a través de las paredes de la chimenea	55
3.4	Cálculo del calor de entrada en el quemadores diésel.....	58

3.4.1 Cálculo de relación aire-combustible aplicado al quemador del intercambiador	58
3.4.2 Primera ley para reacciones de combustión	59
3.4.3 Balance de masa y energía en la climatización del aire	63
3.4.4 Balance de masa y energía en la climatización del aire	65
3.4.5 Estimaciones de eficiencia	67
3.4.5.1 Cálculo de eficiencia térmica	67
3.4.5.2 Cálculo de eficiencia mecánica de ventiladores.....	67
3.4.5.3 Eficiencia de caudal volumétrico ventilador 1	73
3.4.5.4 Eficiencia de caudal volumétrico ventilador 2.....	74
3.4.5.5 Cálculo de la eficiencia eléctrica.....	74
3.4.5.5.1 Eficiencia motor eléctrico 1	74
3.4.5.5.2 Eficiencia motor eléctrico 2	76
3.5 Línea de base para determinación actual de consumos energéticos	77
3.6 Alternativas de optimización de aprovechamiento energético.....	77
3.7 Propuesta para aprovechamiento de calor residual de gases de chimenea.....	78
3.7.1 Aprovechamiento del calor residual de los gases de escape para precalentamiento del aire para combustión en quemadores	78
3.7.2 Aprovechamiento del calor residual de los gases de escape para retornarlo al túnel de secado	81
CAPITULO IV	82
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
4.1 Conclusiones	82
4.2 Recomendaciones.....	84
BIBLIOGRAFÍA.....	85
ANEXOS.....	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Cabina de pintura Cabycal [9].....	4
Figura 2.	Configuraciones de flujo en intercambiadores de flujo cruzado [11]....	5
Figura 3.	Ejemplo de ventilador centrífugo con aspas tipo hoja de aire [14].....	8
Figura 4.	Tipos de aspas de rotores para ventiladores centrífugos [14].	9
Figura 5.	Tipos actuales de rotores en ventiladores centrífugos [13].....	10
Figura 6.	Curvas características de un ventilador centrífugo con aspas curvas hacia delante [14].....	11
Figura 7.	Curvas características de un ventilador centrífugo con aspas curvas hacia atrás [14].....	11
Figura 8.	Gráfica de pérdidas por fricción en ductos (Unidades del Sistema Internacional) [13].....	13
Figura 9.	Esquema de diámetros equivalentes circulares de ductos rectangulares [13].....	13
Figura 10.	Factores de pérdida para acoplamiento de ductos [13].	15
Figura 11.	Ejemplo de informe generado con un programa eBuilding [16].....	16
Figura 12.	Rango de trabajo y precisiones [17].....	17
Figura 13.	Factores de análisis de índice de eficiencia energética [18].	18
Figura 14.	Sector industrial con su diversidad de instalaciones [18].	19
Figura 15.	Estructura de una factura eléctrica [18].	21
Figura 16.	Términos de una factura eléctrica [18].....	21
Figura 17.	Vista superior del sistema cabina de pintura.....	32
Figura 18.	Toma de datos de velocidad del aire del ventilador.....	33
Figura 19.	Toma de datos de temperatura.	33
Figura 20.	Toma de datos de temperatura en intercambiadores de calor.	34
Figura 21.	Toma de datos en equipos eléctricos y mecánicos.....	34

Figura 22.	Toma de datos en motor trifásico.....	35
Figura 23.	Fuentes de energía del sistema.....	52
Figura 24.	Costes anuales de fuentes de energía.....	52
Figura 25.	Costes anuales de fuentes de energía.....	63
Figura 26.	Balance de pérdidas térmicas en el sistema de calentamiento (intercambiadores y chimenea).....	65
Figura 27.	Balance de pérdidas de masa cuantificadas en el sistema intercambiadores y chimenea.....	66
Figura 28.	Diagrama Sankey de pérdidas, energía útil y almacenada del sistema.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Simbología básica de ventiladores.	11
Tabla 2.	Unidades y condiciones estándares de gráficas de pérdidas por fricción.....	12
Tabla 3.	Parámetros energéticos de una nave industrial.	20
Tabla 4.	Esquema de optimización tarifaria.....	20
Tabla 5.	Esquema de optimización de instalaciones.....	22
Tabla 6.	Mejoras potenciales y estimación del ahorro en sistemas, equipos y máquinas.....	24
Tabla 7.	Equipos.....	26
Tabla 8.	Operacionalización de variable independiente.....	30
Tabla 9.	Operacionalización de variable dependiente.....	31
Tabla 10.	Rangos de temperatura de mantenimiento según norma ASNT – TC – 1A.....	41
Tabla 11.	Intercambiador de calor #1 de la casa de aire de la cabina de pintura.	41
Tabla 12.	Chimenea de intercambiador de calor #1 de la casa de aire de la cabina de pintura.....	43
Tabla 13.	Intercambiador de calor #2 de la casa de aire de la cabina de pintura.	44
Tabla 14.	Chimenea de intercambiador de calor #2 de la casa de aire de la cabina de pintura.....	45
Tabla 15.	Motor trifásico #1 de la casa de aire de la cabina de pintura.	46
Tabla 16.	Motor trifásico #2 de la casa de aire de la cabina de pintura.	47
Tabla 17.	Chumacera del ventilador #1 de la casa de aire de la cabina de pintura.....	48
Tabla 18.	Chumacera del ventilador #2 de la casa de aire de la cabina de pintura.....	49

Tabla 19.	Interpretación de datos térmicos según normativa ASNT – TC – 1A.	50
Tabla 20.	Cálculo de pérdidas de calor a través de las paredes de intercambiadores.....	54
Tabla 21.	Cálculo de pérdidas de calor por convección chimenea 1.	55
Tabla 22.	Cálculo de pérdidas de calor por convección chimenea 2.	56
Tabla 23.	Cálculo de pérdidas totales de calor en chimeneas.	56
Tabla 24.	Cálculo de pérdidas por flujo de gases en chimenea.....	57
Tabla 25.	Cálculo de variación de energía almacenada en el aire interior.	57
Tabla 26.	Cálculo de pérdida por convección en puerta de la cabina de pintura.	58
Tabla 27.	Cálculo de calor ganado en unidad de carrocería.....	58
Tabla 28.	Cálculo de temperaturas máximas de los productos.	60
Tabla 29.	Cálculo en la cámara de la temperatura de productos.....	61
Tabla 30.	Cálculo del calor de reacción para combustible (diésel).....	62
Tabla 31.	Datos de energía almacenada, útil y de pérdidas.	65
Tabla 32.	Datos técnicos de ventilador centrífugo.	68
Tabla 33.	Cálculo de caudal y pérdida en el tramo de entrada de aire.....	68
Tabla 34.	Cálculo de caudal y pérdida en la zona de intercambiadores de calor.	69
Tabla 35.	Cálculo de caudal y pérdida en la zona de rompegotas.	70
Tabla 36.	Cálculo de caudal y pérdida en la zona de inyección de aire.....	70
Tabla 37.	Cálculo de caudal y pérdida en la zona de ductos de descarga.....	71
Tabla 38.	Cálculo de caudal y pérdida en la zona de cabina de pintura.....	72
Tabla 39.	Resultados de pérdidas en tramo y presión en el sistema.	72
Tabla 40.	Resultados caudales y velocidades de operación en el sistema.	73
Tabla 41.	Datos técnicos de motor trifásico 1 y mediciones experimentales.	74
Tabla 42.	Datos técnicos de motor trifásico 2 y mediciones experimentales.	76
Tabla 43.	Datos de consumo del sistema.	77
Tabla 44.	Alternativas viables de aplicación.....	77

Tabla 45.	Síntesis de pérdidas y energía aprovechable.....	78
Tabla 46.	Cálculo de la potencia térmica estimada precalentando el aire a 60 °C.....	79
Tabla 47.	Potencia actual y estimada de aprovechamiento.....	80
Tabla 48.	Ahorro estimado en consumo de diésel por precalentamiento de aire.	80
Tabla 49.	Ahorro estimado en consumo de diésel por aprovechamiento de calor residual de los gases de escape.....	81

RESUMEN

El presente trabajo experimental se desarrolla debido a las necesidades de mejora de eficiencia que requiere el sistema de la casa de aire de la cabina de pintura de la empresa CIAUTO. Para dicho estudio, se inició con un análisis que enfoca el reconocimiento del funcionamiento del sistema de inyección de aire; posteriormente se determinaron cuáles son las máquinas o equipos mecánicos, eléctricos y térmicos que conforman el sistema de la casa de aire, esto con la finalidad de identificar los posibles fallos.

Se utilizó termografía infrarroja para el análisis de mantenimiento del sistema, de esta manera se realizó fichas de análisis termográfico de evaluación de los equipos y máquinas conforme a los lineamientos que rigen la Norma ASNT – TC – 1A (Lineamientos de cualificación y certificación de personal de ensayos no destructivos). Para la mejora de costos y eficiencia de equipos, se utilizó las recomendaciones de la Guía de Ahorro Energético en Instalaciones Industriales de FENERCOM. Se evaluaron dos alternativas de aprovechamiento energético, la primera trata de optimizar el proceso de combustión de los quemadores, precalentado el aire a 60 grados centígrados resultando en un aumento la eficiencia térmica de 87,4 a 88,5 por ciento obteniendo un incremento de potencia de hasta 10 kW. La segunda alternativa, reutiliza los gases de escape de la chimenea, donde se podría redirigir 37,05 kW para el proceso de secado.

Palabras clave: Cabina de pintura, Mantenimiento industrial, Termografía infrarroja, Análisis termográfico, FENERCOM.

ABSTRACT

The present experimental work is developed due to the efficiency improvement needs required by the air house system of the paint booth of the CIAUTO company. For this study, it began with an analysis that focuses on the recognition of the operation of the air injection system; Subsequently, the machines or mechanical, electrical and thermal equipment that make up the air house system were determined, this in order to identify possible failures.

Infrared thermography was used for the maintenance analysis of the system, in this way thermographic analysis sheets were made for the evaluation of the equipment and machines in accordance with the guidelines that govern the ASNT - TC - 1A Standard (Qualification and Certification Guidelines for nondestructive essays). To improve equipment costs and efficiency, the recommendations of the FENERCOM Guide for Energy Saving in Industrial Installations were used. Two alternatives for energy use were evaluated, the first one tries to optimize the combustion process of the burners, preheating the air to 60 degrees centigrade resulting in an increase in thermal efficiency from 87,4 to 88,5 percent obtaining an increase in power up to 10 kW. The second alternative reuses the exhaust gases from the chimney, where 37,05 kW could be reused for the drying process.

Keywords: Paint booth, Industrial maintenance, Infrared thermography, Thermographic analysis, FENERCOM.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

Mediante el estudio realizado por Edwin Reginaldo en 2018, se evaluó la eficiencia energética de las máquinas-herramientas del taller automotriz del Instituto de Educación Superior Tecnológico Público “Mario Gutiérrez López” situado en la ciudad de Orcotuna en Perú, y se determinaron los consumos energéticos de dichos elementos para posteriormente calcular la eficiencia mecánica de operación, las pérdidas de energía y pudo proponer un plan para reducir dicho consumo [1].

En la tesis realizada por Néstor Caiza en 2015, se determinó índices de sobrecalentamiento en distintos puntos de los motores eléctricos mediante la utilización de termografía industrial, verificó que las temperaturas de funcionamiento son mayores a las establecidas en los catálogos de dichos equipos, deteriorando los componentes internos notablemente. Luego del análisis, se verificó que disminuye la eficiencia del motor cuando se aumentaba la carga considerablemente y a la vez la temperatura de funcionamiento aumentó hasta un 60% en comparación a las condiciones iniciales. Las pérdidas de calor indujeron a elevadas pérdidas económicas para la empresa [2].

El análisis energético realizado por Christian Velasteguí en 2017, en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato se basó en normativas nacionales (INEN 2506) e internacionales (ISO 50001) que controlan los estándares de calidad de la energía eléctrica. Aplicó parámetros de eficiencia energética logrando una reducción hasta del 20% en cuanto a consumo energético, permitiendo así un ahorro anual estimado de 1694,62 KWh/año lo que tiene un costo de 110,15 \$ dólares [3].

En el estudio de Arellano Olguer se determinó la demanda de consumos de energía eléctrica en el hospital IESS de Ibarra, donde se encontró que la mayor tasa de

consumo es la iluminación con un 57,14 % entre los años 2013 y 2014. Para la mejora del rendimiento energético propuso trabajar en el sistema de iluminación, específicamente reemplazó casi la totalidad de las luminarias por la tecnología LED; reduciendo así el consumo de la zona de iluminación en un 28,37% de la energía diaria empleada o necesaria en el hospital y con un 29,36% en el sistema general eléctrico [4].

En la investigación de evaluación de pérdidas térmicas en el sistema de generación y distribución de vapor del Hospital “Dr. Julio Enrique Paredes” Unidad Oncológica SOLCA TUNGURAHUA, año 2014. Propuesta para optimización del aprovechamiento energético realizado por Santiago Cabrera determinó que las pérdidas mediante energía térmica tienen un valor de 1,41 KW en las paredes de la caldera, un 4,6 KW en las paredes de la chimenea y un 88,6 KW en los gases de escape de la chimenea. La eficiencia térmica global de generación de vapor tiene un 71% en cuanto a su aprovechamiento y que la caldera alcanza un 53% en eficiencia exergética. Para mejorar la eficiencia térmica hasta un 75% propuso utilizar hasta un 25% del calor residual total de los gases de combustión de la chimenea (88,6 KW), donde se utilizaría hasta un máximo de 22 KW para el precalentamiento de agua sanitaria o en el calentamiento de aire para calefacción [5].

“En el diseño e implementación de una cabina de pintura automotriz controlada electrónicamente, para los Talleres Multimarcas MOSCOSO” realizado por Diego Moscoso y Milton Quinga se determinó que para un secado óptimo de la pintura de un automóvil con su cabina se trabaja una temperatura de 40°C y alcanza una temperatura máxima de 60°C si las necesidades del proceso lo requieren. El intercambiador de calor conjuntamente con el quemador fue diseñado para que el flujo de calor mínimo necesario sea de 54,79 KW para obtener una temperatura constante al interior de la cabina de pintura para un óptimo proceso de pintado [6].

En el estudio y análisis de eficiencia energética en los principales sistemas energéticos del Hospital Vicente Corral Moscoso realizado por Edgar Becerra y Carlos Riquetti se comprobó que una buena gestión de la energía mediante nuevas tecnologías ayudó a mejorar el rendimiento tanto en la disminución del consumo de energía eléctrica en los

equipos y en el consumo de diésel en la caldera que abastece a todo el sistema térmico [7].

En la guía de ahorro energético de instalaciones industriales de FENERCOM nos ayuda con conceptos esenciales de eficiencia energética y nos explica puntos claves para poder intervenir en equipos industriales mediante parámetros técnicos para reducir el consumo energético tanto de diésel como de energía eléctrica.

1.2 Objetivos:

1.2.1 Objetivo General:

- Analizar pérdidas energéticas para mejorar la eficiencia en el sistema cabina de pintura automotriz de la empresa CIAUTO-Ambato

1.2.2 Objetivos Específicos:

- Recopilar información técnica de consumos energéticos.
- Evaluar cuantitativa y cualitativamente pérdidas energéticas en equipos mecánicos y térmicos.
- Diagnosticar posibles fallos en el funcionamiento de equipos mecánicos y térmicos.
- Determinar eficiencia energética en el sistema de la cabina de pintura.
- Proponer alternativas de eficiencia energética para el sistema cabina de pintura.

1.3 Fundamentación teórica

1.3.1 Cabina de pintura automotriz

Las cabinas de pintura son recintos o cámaras que están diseñadas con el propósito de renovar el aire en su parte interior, con lo cual se retiran la totalidad de partículas volátiles ayudando a mantener un ambiente seguro para la aplicación de las diferentes clases de pintura. Se debe considerar: la presurización, calefacción y ventilación para aplicar la pintura, y así optimizar las condiciones ergonómicas del operario, evitando

un ambiente dañino para la salud del personal y a la vez mejorando la calidad en el terminado final del producto [8].

Las cabinas de pintura presurizadas tienen una sección o entrada de aire del exterior, y luego posteriormente existe la repartición del flujo en el plenum (filtro de aire), el fluido cruza una sección filtrante en la parte superior que cubre completamente el espacio de la cabina, con lo cual provee un flujo de ventilación homogénea [9].

Debe existir una recirculación del fluido (aire) en toda la cabina que se lo realiza gracias a la ayuda de ventiladores de extracción, el aire se dirige a una cortina de agua ubicada en la parte inferior, ayuda a una filtración óptima de las partículas que se dispersan en el proceso de aplicación de la pintura. Las cabinas de pintura existen para diferentes instalaciones dependiendo de las necesidades de producción, de uno o varios elementos que necesiten un proceso de pintado de calidad como metal, aluminio o polímeros. [9]



Figura 1. Cabina de pintura Cabycal [9].

1.3.2 Intercambiador de calor de flujo cruzado

El desarrollo de intercambio de calor mediante dos fluidos que se encuentran a distintas temperaturas y separadas por una pared sólida, se producen en muchas aplicaciones de la ingeniería. El dispositivo que se usa para lograr este proceso de variación de calor se denomina intercambiador de calor, donde existen aplicaciones específicas como calefacción de lugares con acondicionamiento de aire, generación de potencia, restablecimiento de calor de desecho y en determinados procesos químicos [10].

En intercambiadores compactos, generalmente los 2 fluidos se mueven con una configuración perpendicular entre sí, donde a esa disposición de flujo se la denomina flujo cruzado. Esta configuración se clasifica también en dos tipos de flujo: mezclado y no mezclado [11].

Se conoce que el flujo cruzado es no mezclado, ya que, sus aletas de placa inducen al fluido a moverse por una sección o espacio determinado entre ellas y a la vez imposibilita el sentido del movimiento en una dirección transversal.

Se entiende que el flujo cruzado es mezclado cuando el fluido posee libertad para moverse en dirección transversal [11].

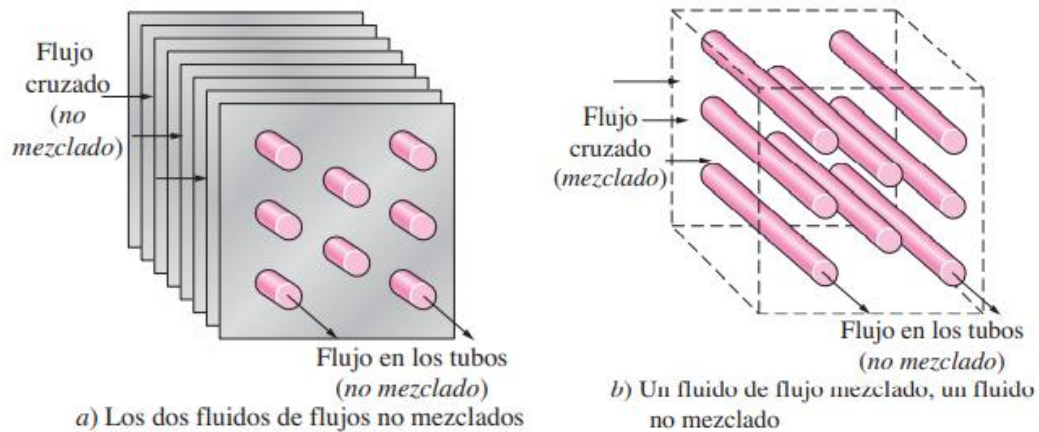


Figura 2. Configuraciones de flujo en intercambiadores de flujo cruzado [11].

1.3.3 Transferencia de calor

Es la ciencia que busca predecir el intercambio de calor que se puede dar entre cuerpos materiales, mediante el resultado de una diferencia de temperatura. Esta ciencia no sólo se enfoca en tratar de explicar cómo se transfiere la energía calorífica, sino también ayuda a estimar la velocidad de intercambio bajo determinadas condiciones especificadas [12].

Existen ecuaciones que ayudan a estimar las pérdidas de calor por conducción, convección y radiación, que se pueden aplicar en paredes de intercambiadores de calor, chimeneas y en ductos de sistemas de ventilación de sección rectangular.

1.3.3.1 Conducción

Tanto la transferencia de calor como sus pérdidas se entiende que la rapidez o razón de la conducción de calor a través de un elemento o medio obedece a su configuración geométrica, espesor, su material de fabricación y la diferencia de temperatura que pasa en él [11]. Se puede determinar mediante la utilización de la siguiente:

$$\dot{Q} = k * A * \frac{T_2 - T_1}{L} \quad [W]$$

En donde:

k: es la conductividad térmica del elemento o material [W/m.°K]

A: es el área de transferencia de calor [m²]

L: es el espesor de la pared plana [m]

T₂-T₁: es el gradiente de temperaturas entre 2 puntos (alta y baja) [°K o °C]

1.3.3.2 Convección

Es el tipo de transferencia de calor entre una superficie sólida y puede ser un líquido o determinado gas adyacente que está en movimiento, donde se encuentra aspectos combinados de conducción y movimiento del fluido. Se entiende que la transferencia de energía por convección se da desde una superficie sólida que posee una determinada área y temperatura, que atraviesa un fluido a cierta temperatura en un punto lejano de dicha superficie [10], [11].

Existen 2 tipos de convección, la forzada se da cuando el fluido es forzado u obligado a fluir sobre la superficie con la ayuda de medios o equipos externos como ventiladores, bombas y el mismo viento. La convección es natural o libre cuando el movimiento del fluido es provocado por fuerzas de empuje que son generadas por la diferencia de densidad inducidas a la variación de temperaturas de dicho fluido. [11]

Se puede determinar mediante la utilización de la ley de enfriamiento de Newton:

$$\dot{Q}_{conv} = h_c * A_{conv} * (T_s - T_\infty) \quad [W]$$

En donde:

h_c : es el coeficiente de transferencia de calor por convección [W/m.°K]

A_{conv} : es el área de transferencia de calor por convección [m²]

T_s : es la temperatura de la superficie [°K o °C]

T_∞ : es la temperatura del fluido [°K o °C]

1.3.3.3 Radiación

La transferencia de calor por radiación se entiende a la energía emitida por la materia que se da en forma de ondas electromagnéticas o conocida como fotones que es el resultado de cambios en la configuración electrónicas de las moléculas o átomos. Otra definición de radiación dice que el mecanismo de emisión se encuentra relacionada mediante la energía liberada como consecuencia de oscilaciones o transiciones de los variados electrones que componen la materia.

Es de mucha importancia el estudio de la radiación térmica en el campo de la transferencia de calor, ya que es la forma de radiación que emiten los diferentes tipos de cuerpos debido a su temperatura. Se pueden utilizar las siguientes ecuaciones para estimar el calor transferido o perdido:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{rad} &= h_{rad} * A_s * (T_s - T_{alrededor}) & [W] \\ \dot{Q}_{rad} &= \varepsilon * A_s * \sigma * (T_s^4 - T_{alrededor}^4) & [W]\end{aligned}$$

En donde:

h_{rad} : es el coeficiente de transferencia de calor por radiación [W/m.°K]

A_s : es el área de transferencia de calor de la superficie [m²]

T_s : es la temperatura de la superficie [°K o °C]

T_∞ : es la temperatura de los alrededores [°K o °C]

ε : es la emisividad de la superficie

σ : es la constante de Stefan Boltzman [5,67x10⁻⁰⁸ W/m². °K⁴]

1.4 Ventilador centrífugo

Un ventilador se emplea para aumentar la presión y provocar un flujo de aire como también de otro tipo de gases en sistemas de ductos o de tuberías. Específicamente se utilizan para que circule el aire dentro de un lugar, para ingresarlo o evacuarlo; como también para dirigirlo a través de ductos de ventilación, aire acondicionado y calefacción [13].

Los ventiladores generalmente se clasifican en 2 grupos: ventiladores centrífugos y ventiladores de flujo axial, en donde su diferencia principal es la dirección del flujo volumétrico de aire que atraviesa por ellos. Un ventilador centrífugo impulsa el aire a lo largo del eje de dicho ventilador, y posteriormente el flujo de aire es direccionado de manera radial del mismo eje. El flujo de aire se congrega o acumula en una carcasa o también conocido como caracol concentrándose en 1 dirección [14].

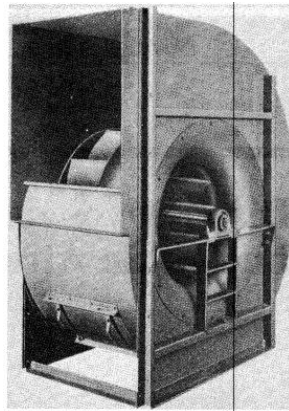


Figura 3. Ejemplo de ventilador centrífugo con aspas tipo hoja de aire [14].

Los ventiladores centrífugos tienen una subclasificación dependiendo su arreglo o configuración en: radiales, curvados hacia atrás, curvados hacia delante, inclinados hacia atrás y como última la que depende de la forma de las aspas del impulsor. La configuración que posee las aspas curvadas hacia atrás con doble espesor se denominan “hoja de aire” [14].

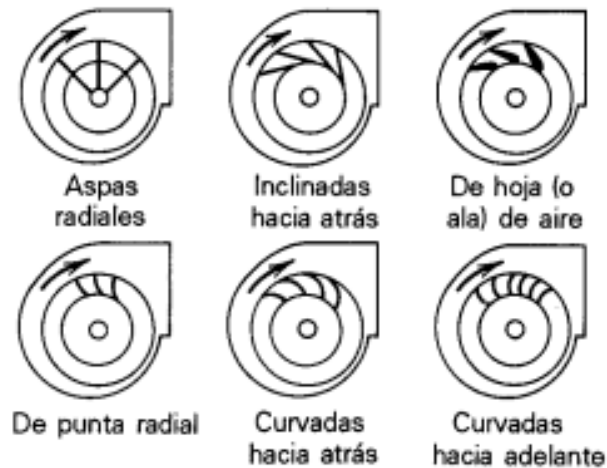


Figura 4. Tipos de aspas de rotores para ventiladores centrífugos [14].

En la actualidad es normal ver que en la fabricación del rotor cuentan con uno de los 4 diseños básicos como se muestra en la figura 5. Generalmente el tipo aspa inclinada hacia atrás son confeccionadas con aspas planas sencillas o comunes, cuando el impulsor gira, el flujo de aire desarrolla una tendencia a salir paralelo al aspa y a lo largo del vector v_b . Este vector v_b se adiciona de manera vectorial a la velocidad tangencial de la hoja en sí (v_t), lo que genera una velocidad resultante especificada como v_R . [13].

Las aspas con una configuración de curvas hacia delante generan una gran velocidad, ya que las 2 componentes de los vectores se encuentran muy cerca en la misma dirección. Por tal motivo, este tipo de aspas funcionarán a una velocidad más baja que uno similar con aspas inclinadas hacia atrás, con las mismas condiciones de presión y flujo de aire. El ventilador que posee aspas hacia atrás generalmente necesita una menor potencia para entregar el mismo trabajo. Los ventiladores que cuentan con aspas en forma de aeroplano inclinadas hacia atrás trabajan con poco ruido, pero con una mayor eficiencia en comparación con los ventiladores de aspas planas e inclinadas hacia atrás. La mayoría de estos ventiladores descritos se utilizan en sistemas de ventilación y en muchos procesos industriales como en las cabinas de pintura automotriz. Finalmente, los ventiladores que poseen aspas radiales tienen variadas aplicaciones industriales, ya que proveen de elevados volúmenes de flujo de aire a presiones módicas para equipos como calderas, transporte de materiales a granel, secadores de material y en torres de enfriamiento [13].

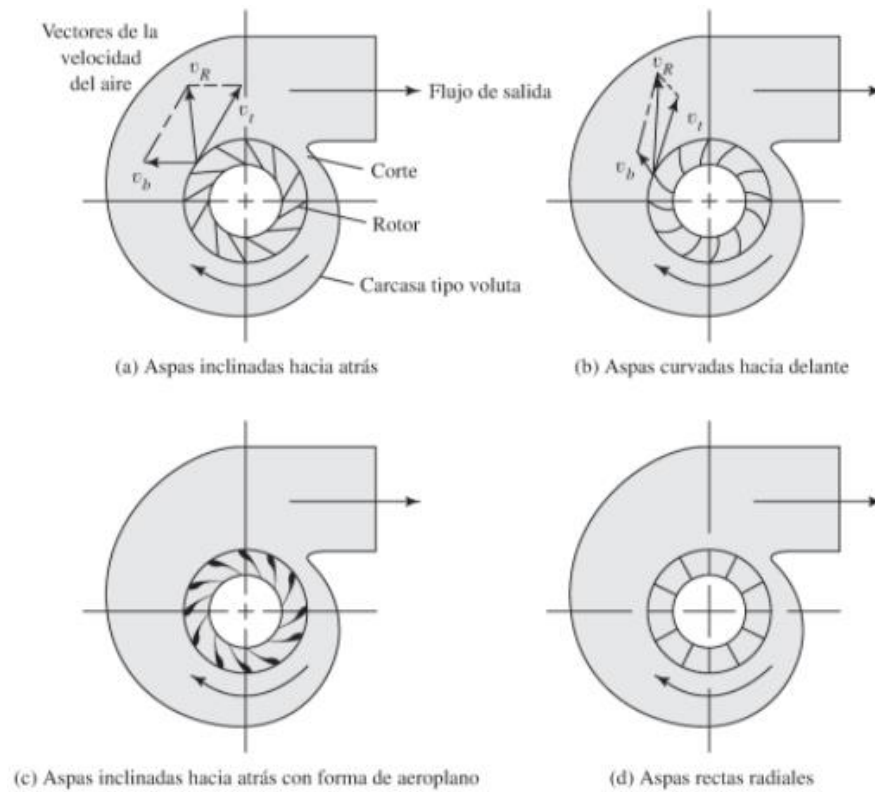


Figura 5. Tipos actuales de rotores en ventiladores centrífugos [13].

1.4.1 Características de funcionamiento de ventiladores

Generalmente los flujos de aire poseen una resistencia, ocasionada por la fricción que genera el fluido al momento que atraviesa por el sistema de ductos. Todo esto es posible por el empleo del impulsor rotatorio que tiene el ventilador, donde genera fuerza sobre el aire y ocasiona mayor circulación del flujo volumétrico del aire como la elevación de la presión [14].

Comúnmente se denomina características de funcionamiento al flujo volumétrico de aire que sale del rotor o impulsor y a la presión que genera dicho ventilador. Otros aspectos esenciales son la eficiencia mecánica y la potencia al freno (BHP-brake horsepower). Es muy ventajoso entender el funcionamiento del ventilador ya que con una acertada selección y oportunos procedimientos de mantenimiento se pueden localizar fallas [14].

Para entender el funcionamiento de dichos ventiladores se emplean los siguientes símbolos y definiciones:

Tabla 1. Simbología básica de ventiladores.

CFM:	Flujo volumétrico, ft ³ /min
H_s:	Presión estática, Pa o pulgadas de columna de agua (pca)
H_v:	Presión de velocidad, Pa o pulgadas de columna de agua (pca)
H_t:	Presión total, Pa o pulgadas de columna de agua (pca)
BHP:	Caballos de potencia al freno
N:	Velocidad, número de revoluciones por minuto (RPM)
d:	Densidad del aire, Kg/m ³ o lb/ft ³
ME:	Eficiencia mecánica = potencia del aire de salida /BHP (caballos de potencia)

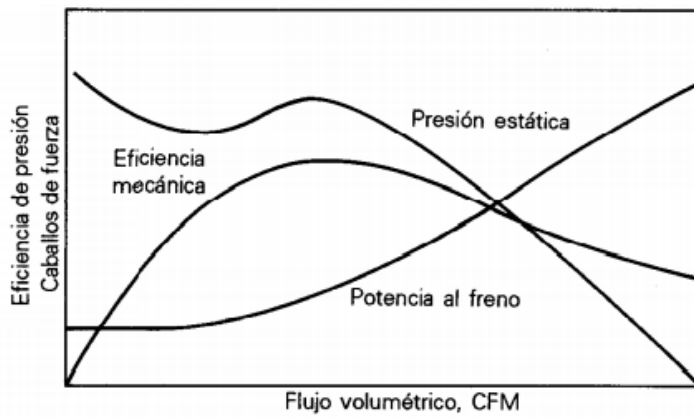


Figura 6. Curvas características de un ventilador centrífugo con aspas curvas hacia delante [14].

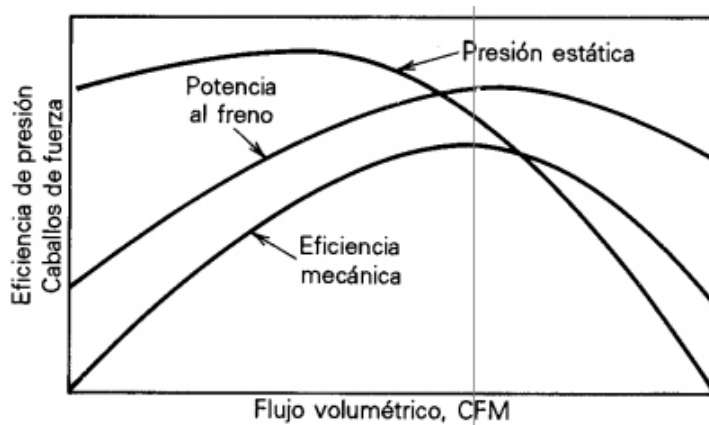


Figura 7. Curvas características de un ventilador centrífugo con aspas curvas hacia atrás [14].

1.4.2 Flujo de aire en ductos

Los sistemas de ventilación de aire acondicionado, calefacción distribuyen el flujo del aire a bajas presiones a través de ductos cuadrangulares, rectangulares o circulares. Cuando se emplean ventiladores es muy importante conocer las presiones de funcionamiento en dicho sistema de ductos para certificar la cantidad correcta de aire y así poder equilibrar el flujo en las diferentes partes de dicho sistema.

Pérdidas de energía en el sistema

Generalmente cuando se trabajan con sistema de ductos existen 2 clases de pérdidas de energía que ayudan a que la presión decaiga en el trayecto del flujo.

Pérdidas por fricción: este tipo de pérdidas se dan cuando el aire circula a través de secciones rectas.

Pérdidas dinámicas: este tipo de pérdidas ocurren cuando el flujo de aire pasa a través de acoplamientos, tales como:

- Tes [T]
- Yes [Y]
- Dispositivos de control de flujo volumétrico

La sociedad americana de ingenieros de calefacción, refrigeración y aire acondicionado (ASHRAE) es un grupo de profesionales que han desarrollado gráficas especiales para estimar las pérdidas por fricción en ductos. Las pérdidas por fricción se denotan con h_L que se encuentran en función del flujo de aire y que trabajan con 2 conjunto de líneas diagonales que enfocan el diámetro del ducto circular con su respectiva velocidad de flujo.

Tabla 2. Unidades y condiciones estándares de gráficas de pérdidas por fricción.

Flujo volumétrico	pie ³ /min (pcm)	m ³ /s
Pérdida por fricción h_L	in de agua por cada 100 pies (pulg H ₂ O/ 100 ft)	Pa/m
Velocidad	Pies/min	m/s
Diámetro del ducto	pulg	mm
Peso específico de aire	0,075 lb/pie ³	11,81 N/m ³

Rugosidad de la superficie del ducto	5×10^{-4} pies	$1,5 \times 10^{-4}$ m
Condiciones del aire	14,7 psia; 68 °F	101,3 kPa; 20°C

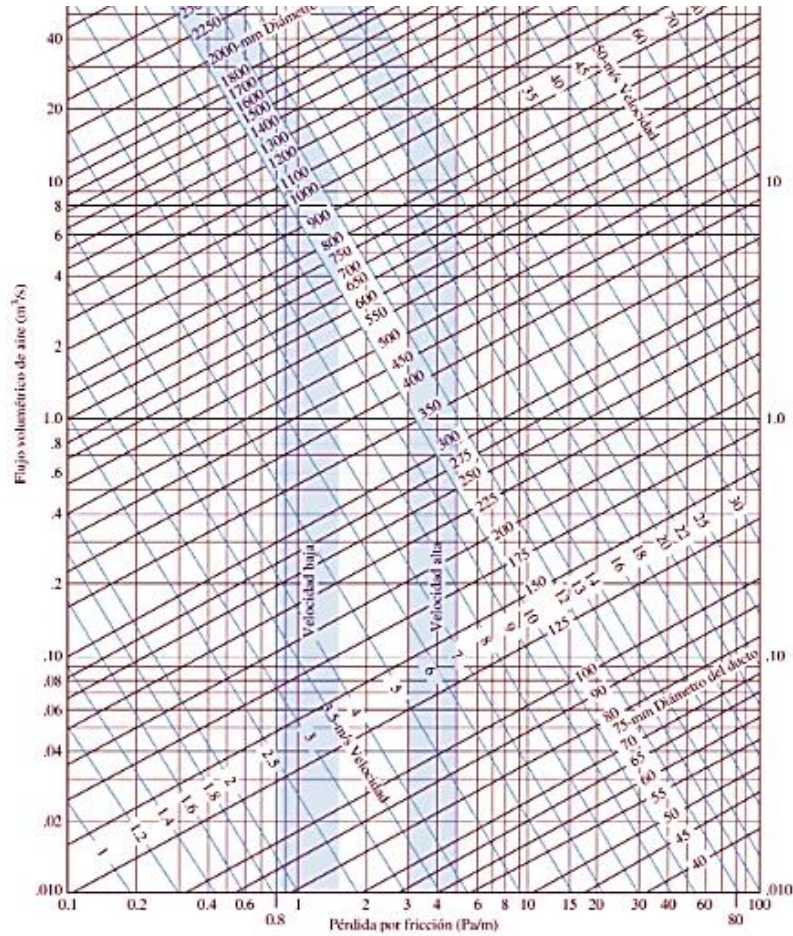


Figura 8. Gráfica de pérdidas por fricción en ductos (Unidades del Sistema Internacional) [13].

Lado a (pulg)	Lado b (pulg)												
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
6	6.6												
8	7.6	8.7											
10	8.4	9.8	10.9										
12	9.1	10.7	12.0	13.1									
14	9.8	11.5	12.9	14.2	15.3								
16	10.4	12.2	13.7	15.1	16.4	17.5							
18	11.0	12.9	14.5	16.0	17.3	18.5	19.7						
20	11.5	13.5	15.2	16.8	18.2	19.5	20.7	21.9					
22	12.0	14.1	15.9	17.6	19.1	20.4	21.7	22.9	24.0				
24	12.4	14.6	16.5	18.3	19.9	21.3	22.7	23.9	25.1	26.2			
26	12.8	15.1	17.1	19.0	20.6	22.1	23.5	24.9	26.1	27.3	28.4		
28	13.2	15.6	17.7	19.6	21.3	22.9	24.4	25.8	27.1	28.3	29.5	30.6	
30	13.6	16.1	18.3	20.7	22.0	23.7	25.2	26.6	28.0	29.3	30.5	31.7	32.8

Figura 9. Esquema de diámetros equivalentes circulares de ductos rectangulares [13].

La simbología h_L significa la pérdida por fricción por cada 100 m de ducto, así que a la pérdida total de energía para una distancia determinada de ducto L se le denota con la letra H_L . Y se determina mediante la siguiente ecuación

$$H_L = h_L * \left(\frac{L}{100} \right)$$

1.4.2.1 Ductos rectangulares

Comúnmente se emplean ductos circulares para distribuir un flujo de aire mediante sistemas de calefacción, ventilación o de refrigeración. Es muy útil trabajar con ductos rectangulares, ya que existen muchas limitaciones en cuanto a las dimensiones del espacio a utilizar, específicamente sobre techos de edificios, estructuras metálicas, entre otras. Empleando el radio hidráulico del ducto se puede determinar un diámetro equivalente de un ducto rectangular, que engloba relaciones de velocidad, rugosidad relativa, factor de fricción y número de Reynolds.

$$D_e = \frac{1,3 * (ab)^{5/8}}{(a + b)^{1/4}}$$

En donde las letras a y b son las dimensiones de los lados del rectángulo.

La pérdida dinámica de un acoplamiento se estima mediante la siguiente ecuación

$$H_L = C * (H_v)$$

En donde:

C : es el coeficiente de pérdida

H_v : es la presión de la velocidad o carga de velocidad

Cuando se emplea el sistema inglés es frecuente expresar los niveles y pérdidas de presión en pulgadas de agua.

$$H_v = \frac{\gamma_a * v^2}{2g * \gamma_w}$$

En donde:

γ_a : es el peso específico del aire

v : es la velocidad del flujo

γ_w : es el peso específico del agua

objeto o estructura a analizar ni tampoco un intervalo de tiempo para la estabilización de temperaturas. Entonces es factible para realizar mediciones en ambientes no convencionales, ya que no se sería muy eficiente con la utilización de termómetros ordinarios [15].

1.5.1 Cámara termográfica

Es un dispositivo que ayuda a medir la temperatura de un elemento u objeto mediante la energía radiante que emite. Emplea la medición con un campo bidimensional, donde proporciona una fotografía de la distribución de temperaturas de un elemento u objeto [15].

1.5.2 Software de análisis de imágenes térmicas

Comúnmente el termógrafo posee el conocimiento y la cámara termográfica, pero cuando lo adquirió, el fabricante le ayudara con el software para el tratamiento de imágenes. Dicho software en la mayoría de casos es apto para analizar las imágenes térmicas y poder encontrar información más relevante cuando se tomó la termografía en el lugar de inspección; también ayudará a enfocar y localizar el problema para que el usuario o cliente tome las medidas necesarias para un mantenimiento óptimo [16].

Todos los softwares permiten generar un informe modelo, que utilizan los datos de la imagen, el logo de la empresa, entre otros. También permite solo copiar la imagen cuando ya se exprimió toda la información necesaria, y pegarla en el informe modelo y detallar las conclusiones que se consideren adecuadas [16].

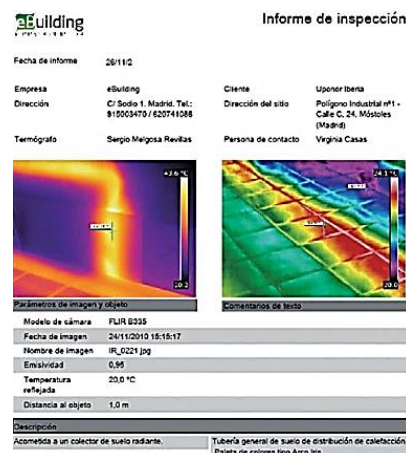


Figura 11. Ejemplo de informe generado con un programa eBuilding [16].

1.6 Anemómetro

Es un instrumento o dispositivo que se emplea en la medición de la velocidad del aire en ductos de ventilaciones o en ambientes. Existen dos tipos principalmente:

Anemómetro de paletas: el cual posee una hélice polimérica o metálica conjuntamente con un generador electromagnético, que emite una señal eléctrica proporcional o similar a la velocidad de paso del aire [17].

Anemómetro de hilo caliente: dicho dispositivo utiliza el principio de enfriamiento que ejecuta un flujo de aire al pasar un cuerpo u objeto caliente [17].

Anemómetro	Margen de trabajo	Precisión
De paletas	0,50 - 15 m/s	5 - 20%
De hilo caliente*	0,05 - 50 m/s	1 - 10%
* Estos tipos de anemómetros pueden llegar a medir velocidades del orden de 0,005 m/s		

Figura 12. Rango de trabajo y precisiones [17].

1.7 Eficiencia energética

La eficiencia energética es un elemento esencial para poder entregar respuestas a los 4 grandes desafíos del sector energético global, los cuales son: el cambio climático, la calidad y seguridad del abastecimiento, la evolución de los mercados industriales y finalmente la disponibilidad de recursos de generación de energía [18].

Generalmente el concepto de eficiencia energética es aplicado al conjunto de actividades enfocadas a disminuir el consumo de energía en términos unitarios, ayudando a mejorar u optimizar dicho consumo, con la finalidad de proteger el medio ambiente, fortalecer la seguridad del suministro y generar una política energética sostenible en el tiempo. El objetivo primordial de una política de eficiencia energética es utilizar de una manera adecuada la energía, en donde se incentive comportamientos, métodos de trabajo y técnicas de procesos de producción que consuman menos energía [18].

1.7.1 Índice de eficiencia energética

Según la Naturgy Energy Group existen parámetros de estudio que ayudan a las empresas a conocer, gestionar y planificar su perfil de eficiencia. Donde se ha enfocado dicho estudio mediante un análisis detallado de los siguientes factores que lo conforman.

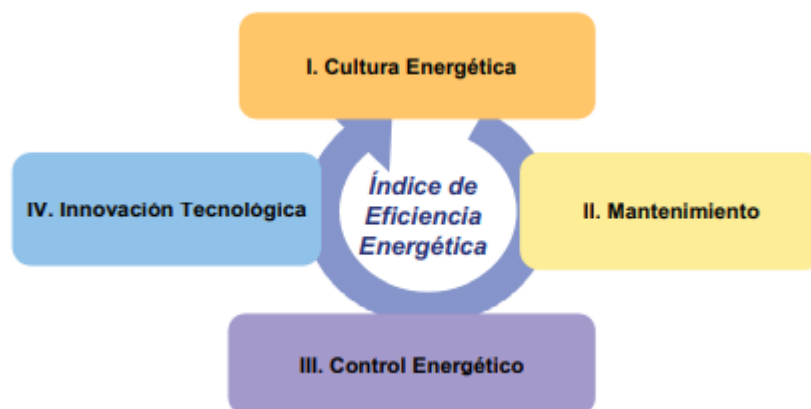


Figura 13. Factores de análisis de índice de eficiencia energética [18].

Los cuatro los factores de análisis son:

1.7.1.1 Cultura energética

Principalmente se analiza el nivel de información que posee la empresa en la organización, la formación interna y su política en el aspecto de la eficiencia energética.

1.7.1.2 Mantenimiento

Se analiza el nivel de sensibilidad que existe en la empresa en cuanto al mantenimiento de los diferentes equipos, máquinas e instrumentos utilizados, con el objetivo de obtener un óptimo rendimiento desde una perspectiva en cuanto a la eficiencia energética [18].

1.7.1.3 Control energético

Se determina el nivel de gestión del gasto energético, mediante el empleo de diferentes métodos de medición y la implementación de procesos administrativos propicios para cada equipo o máquina [18].

1.7.1.4 Innovación tecnológica

En este aspecto se aprecia la categoría de actualización de una empresa enfocándose a los medios técnicos empleados en las instalaciones como de procesos de producción y servicios generales [18].

1.7.2 Medidas para la eficiencia energética

En el sector industrial para una acertada gestión de la energía, es importante conocer y determinar los aspectos que influyen en el consumo para lograr una optimización energética, con lo cual contar con el conocimiento para poder obtener un mejor aprovechamiento de los recursos y una reducción en dos puntos esenciales tanto en el consumo como en el dimensionamiento o estructuramiento de las instalaciones [18].



Figura 14. Sector industrial con su diversidad de instalaciones [18].

Comúnmente las aplicaciones de elevado consumo energético se concentran en maquinaria, equipos e iluminación. Donde el consumo energético es considerado como una variable en el estudio de la gestión de una empresa o negocio, donde posee una importancia cuando dicha gestión ayuda a obtener ventajas, específicamente en la reducción de costos en la factura o planilla de energía [18].

Tabla 3. Parámetros energéticos de una nave industrial.

NAVE INDUSTRIAL	
INSTALACIONES	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Maquinaria ➤ Equipos ➤ Ventilación ➤ Transporte
APLICACIONES ENERGÉTICAS	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Producción ➤ Aire acondicionado (ACS) ➤ Climatización ➤ Iluminación
ENERGÍA	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Electricidad ➤ Gas ➤ Diésel
CONSUMO	<ul style="list-style-type: none"> • Varía dependiendo el tipo de empresa KWh/año
COSTE	<ul style="list-style-type: none"> • Varía dependiendo el tipo de empresa \$ (Dólares)/año

En una nave industrial existen 2 aspectos esenciales que ayudan a mejorar u optimizar el coste de la energía y en consecuencia extender el beneficio.

Tabla 4. Esquema de optimización tarifaria.

Concepto	Características
Revisión de contratos y planillas de energía	Electricidad Gas Diésel

1.7.2.1 Optimización tarifaria

Para obtener una mejora u optimización en los valores o tarifas de la factura eléctrica, se puede identificar algunos conceptos a tomar en cuenta para generar mayores ahorros, en el consumo de la energía eléctrica [18].

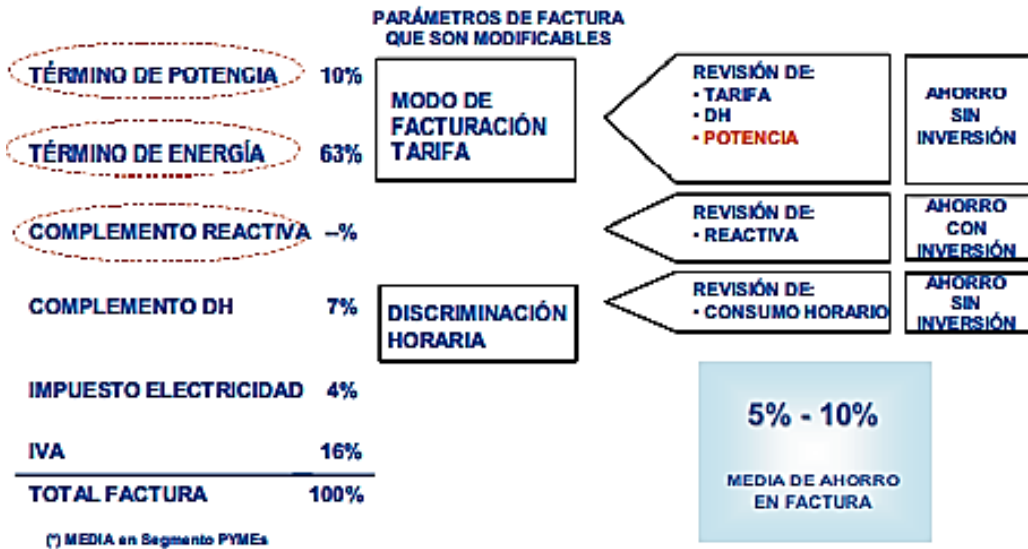


Figura 15. Estructura de una factura eléctrica [18].

Para llegar a tener una buena optimización en cuanto a las tarifas del gas, gasolina y diésel, se pueden trabajar en los siguientes conceptos obteniéndose menores costes y mayor ahorro de dicho recurso [18].

TÉRMINOS EN FACTURA:

- TÉRMINO FIJO: FUNCIÓN DE LA PRESIÓN Y EL GRUPO TARIFARIO.
- TÉRMINO VARIABLE: FUNCIÓN DEL CONSUMO Y EL GRUPO TARIFARIO.
- IVA: 16%

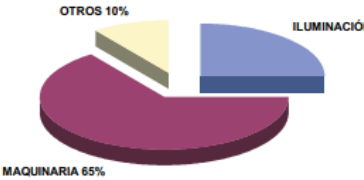


Figura 16. Términos de una factura eléctrica [18].

1.7.2.2 Optimización de instalaciones

Tabla 5. Esquema de optimización de instalaciones.

Concepto	Definición	Características
Estudio del consumo	Es el costo que se deriva del consumo de energía, ya que es idóneo a ser reducido mediante la optimización de las instalaciones, equipos y maquinarias que posee dicha nave industrial	Es muy importante conocer las características de dicho consumo. Para poder establecer la estructura de consumo energético se analiza las fuentes de energía empleadas y sus respectivos usos finales.
Consumo de energía en instalaciones industriales	En este subtema se enfoca en emplear datos o valores de distintas actividades realizadas y los datos de consumo de fuentes bibliográficas valederas.	La repartición del consumo de la energía tanto de electricidad como térmica, demanda por una instalación, equipo o maquinaria industrial, está en función de muchos factores: <ul style="list-style-type: none"> • Tipo de instalación • Tipo de situación • Categoría • Tipo de industria
	Comúnmente las naves industriales consumen energía eléctrica derivada de equipos eléctricos, ventilación, bombas, alumbrado, entre otras. Mientras	Generalmente, la distribución del consumo energético en las industrias se centra en el tipo de actividad, combustible, situación geográfica y las fuentes de energía

<p>Distribución del consumo de energía</p>	<p>que el consumo de combustible se emplean para calentar agua para calefacción, agua sanitaria, maquinaria de carga para movilización de productos o mercancías.</p>	<p>disponibles. Es muy complicado hacer una distribución estándar de consumos de energía, ya que dependiendo el tipo de industria los consumos varían considerablemente.</p>  <p>Como se puede apreciar en la figura la sección de maquinaria es la principal consumidora de energía en una instalación industrial, entonces se debe enfocar las inversiones en ahorro energético en dichos equipos para reducir dicho consumo mediante de la implementación de tecnologías, diseños más eficientes.</p>
<p>Parámetros de eficiencia energética</p>	<p>Una instalación industrial tiene un consumo de energía por la utilización de equipos o maquinarias, iluminación donde son aspectos esenciales para la rentabilidad.</p>	<p>Para aumentar la eficiencia energética se debe aplicar una reducción de costes energéticos en los siguientes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Factura de electricidad • Factura de gas • Factura de diésel

	Se conoce que no siempre un elevado consumo de energía equivale a un mejor servicio o producto de calidad; donde se considera un grado de eficiencia óptima cuando dicho consumo y el confort se encuentran en una proporción adecuada.	<ul style="list-style-type: none"> • Factura de agua • Factura de gasolina • Factura de otros combustibles
--	---	---

1.7.3 Estrategias y medidas de ahorro energético en instalaciones industriales

Para menorar el consumo de energía y por ende el coste se puede optimizar el contrato o en las instalaciones [18]. En la siguiente tabla se enfocan diferentes posibilidades en cuanto a la optimización de equipos o maquinarias.

Tabla 6. Mejoras potenciales y estimación del ahorro en sistemas, equipos y máquinas.

Sistema - Equipo	Potenciales mejoras	¿Cómo analizar?	Resultado	Ahorro estimado (%)
Calderas, intercambiadores de calor (Gas/Diésel)	Optimización de mezcla de combustión.	Realizando un análisis de la composición de humos de escape.	Ahorro de combustible. Reducción de costes en la factura.	15
	Aprovechamiento de calores residuales.		Empleo del calor para calefacción o	25

			para agua caliente sanitaria.	
Calderas de vapor	Optimización de la mezcla de combustión.	Realizando análisis de la composición de humos de escape.	Ahorro de combustible.	15
	Recuperación de calor y automatización de purgas.	Recuperación de calor de los humos según su combustible.	Empleo de agua caliente sanitaria para calefacción o frío por absorción.	10
	Reinyección de condensados.	Reinyección de condensados.	Ahorro de agua y combustible.	15
Motores eléctricos	Reducción de la potencia de arranque aplicando la curva de arranque controlada por rampa.	Funcionamiento empleando un variador de frecuencia.	Optimización de la potencia de contrato, bajando el coste de la factura.	15
Motores en general	Utilizar motores de alto rendimiento.	Motores especiales de elevado rendimiento.	Reducción del consumo eléctrico	20

CAPÍTULO II


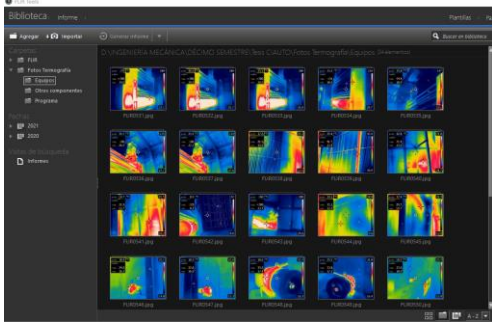
METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Para el desarrollo del análisis se utilizará los siguientes principios y equipos de medición.

2.1.1 Equipos para detección de datos

Tabla 7. Equipos

Equipos	Ilustración
<p>Cámara termográfica de -20°C hasta 250 °C</p> <p>Para determinar zonas de temperaturas superficiales hasta 8 m.</p>	
<p>Software de análisis de imágenes</p> <p>Permite determinar la temperatura en secciones específicas del objeto, equipo o máquina.</p>	

Anemómetro digital de 0.4 m/s hasta 30 m/s

Permite medir la velocidad del viento.
Temperatura de trabajo hasta los 50°C



Pirómetro

Permite medir temperaturas puntuales de 3 a 5 m



Medidor de presión diferencial

Permite medir la diferencia de presión entre 2 puntos, son muy empleados en la monitorización de filtros.



<p>Pinza Amperimétrica</p> <p>Permite medir la intensidad de la corriente en un circuito.</p>	
--	--

2.2 Métodos

La presente investigación es experimental, ya que, se basa en un análisis de variables, permitiendo reconocer y cuantificar las causas del efecto.

2.2.1 Nivel o tipo de investigación - enfoque

En la presente investigación se efectuó un análisis cuantitativo y cualitativo debido a que se enfoca en la recolección de datos de velocidades, presiones, temperaturas y consumos energéticos de equipos que se presentan en el trayecto del sistema de inyección de aire de la cabina de pintura. Mediante termografía se pudo encontrar posibles fallos en dichos equipos que afectarían al proceso de pintado de la cabina.

2.2.1.1 Bibliográfico

Se utilizó este método de investigación debido a que se fundamentará con referencias bibliográficas como libros, tesis, sitios web oficiales, artículos científicos, entre otros. Además, se utilizó ecuaciones de transferencia de calor en intercambiadores de calor, sistemas hidráulicos enfocados a ductos de ventilación, para poder determinar el rendimiento actual del sistema de la cabina de pintura; y mantenimiento industrial enfocados a equipos como ventiladores, motores y quemadores.

2.2.1.2 Exploratorio

Para el levantamiento de información y recolección de datos se utilizó instrumentos de medición como anemómetro, cámara termográfica y hojas de registros de las horas de funcionamiento de cada equipo o máquina. En donde se calcularon los caudales de aire que circulan en los ductos de distribución hacia la cabina de pintura, también se midió las temperaturas en el intercambiador de calor en condiciones de producción para poder determinar el calor que se genera conjuntamente con el quemador actual instalado.

Una herramienta es un instrumento físico que nos ayuda a realizar mediciones y registrar dicha información de estudio.

2.2.1.3 Descriptiva

Debido a que se analizó las pérdidas energéticas que se generaron en los equipos en funcionamiento de todo el trayecto del sistema de la cabina de pintura, y de esta forma se recolectaron los datos con los que se evaluaron los parámetros técnicos a mejorar o a tomar en cuenta para evitar posibles fallos en el futuro. Además, se especificó una optimización energética con parámetros técnicos que se podría implementar para un aprovechamiento energético, con posible reducción de costes económicos.

2.2.2 Hipótesis a comprobar

El análisis de pérdidas energéticas permitirá proponer alternativas de mejora que conduciría a un mejor aprovechamiento energético, con posible reducción de costes económicos.

2.2.2.1 Identificación y operacionalización de variables

2.2.2.1.1 Variable independiente: Pérdidas energéticas en el sistema cabina de pintura

Tabla 8. Operacionalización de variable independiente

Definición de la Variable	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e instrumentos
La pérdida energética se conoce a la energía que es generada por una máquina o equipo que no es utilizada eficientemente y se pierde considerablemente. Lo cual repercute en temas de mayor consumo de sus fuentes de generación, como energía eléctrica y combustibles; en donde existe también pérdidas económicas para una planta industrial y afectación al medio ambiente.	Térmicas	Calor transferido	(kW)	<ul style="list-style-type: none"> • Hojas de registro de datos • Cámara termográfica • Anemómetro • Software modelación y simulación • Ecuaciones técnicas de cálculo
		Temperatura	°C	
		Potencia	kW	
	Mecánicas	Caudal volumétrico	m ³ /h	
		Velocidad de rotación	Nominal: rpm	
		Potencia	HP - kW	
	Eléctricas	Voltaje	V	
		Amperaje	A	
		Velocidad en el eje	Máxima: rpm Funcional: rpm	
		Potencia	HP - kW	

2.2.2.1.2 Variable dependiente: Eficiencia del sistema cabina de pintura

Tabla 9. Operacionalización de variable dependiente

Definición de la Variable	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e instrumentos
La eficiencia es una magnitud adimensional que expresa el nivel de perfeccionamiento de un sistema, equipo o máquina. Esto se determina respecto a su potencia útil entregada por el equipo entre la potencia consumida o utilizada del mismo.	Térmica	Consumo de diésel nominal	$n_t = \frac{\dot{Q}_p}{\dot{Q}_e}$ \dot{Q}_r : calor requerido (kW) \dot{Q}_e : calor de entrada (kW)	<ul style="list-style-type: none"> • Cámara termográfica • Planillas de energía eléctricas • Registro de consumo de diésel
		Consumo de diésel actual Horas de encendido		
	Mecánica	Horas de funcionamiento Caudal nominal Caudal actual	$n_m = \frac{Q_s}{Q_e}$ Q_s : caudal de salida (m ³ /h) Q_e : caudal de entrada (m ³ /h)	
Eléctrica	Consumo de energía eléctrica nominal Consumo de energía eléctrica actual Horas de funcionamiento	$n_e = \frac{HP * 746}{\sqrt{3} * V * I * F_p}$ HP: potencia motor V: voltaje I: amperaje Fp: factor de potencia		

2.3 Plan de recolección de información

Para ejecutar el presente trabajo experimental la recolección de información se realizó mediante la consulta de fuentes bibliográficas como: libros, revistas técnicas, artículos científicos, tesis, páginas web oficiales profesionales y académicas. Con la finalidad de aplicar correctamente los conocimientos tanto de su fundamentación teórica como de sus respectivas ecuaciones técnicas; se utilizó las fichas técnicas de los equipos para la recolección de valores, para su posterior análisis. También se empleó instrumentos de medición y la observación para determinar los datos óptimos para los respectivos cálculos de transferencia de calor, caudales volumétricos, entre otros.

El siguiente gráfico nos permite entender el sistema de estudio para realizar el análisis, en donde se encuentra las zonas de principal interés que son: la de intercambiadores de calor y la de inyección de aire.

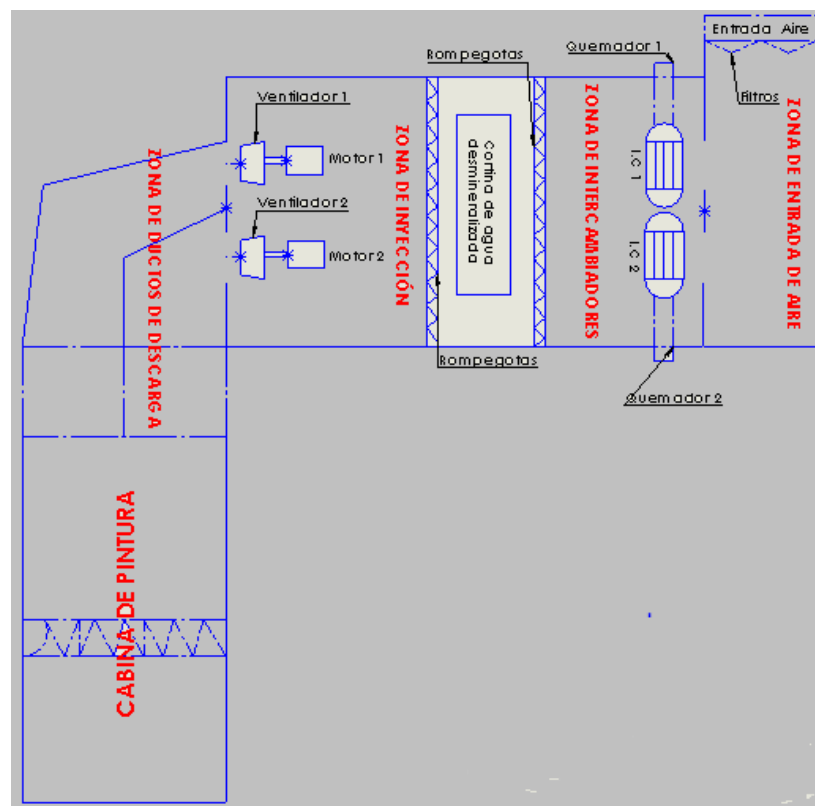


Figura 17. Vista superior del sistema cabina de pintura.

I.C1: Intercambiadores de calor número 1

I.C2: Intercambiadores de calor número 2

2.3.1 Toma de datos de flujo de aire

Para la medición del flujo de aire se tomó en 4 puntos, lado superior (derecho e izquierdo), lado inferior (derecho e izquierdo) con una separación de 1 metro; y a una distancia de 2 a 3 metros.

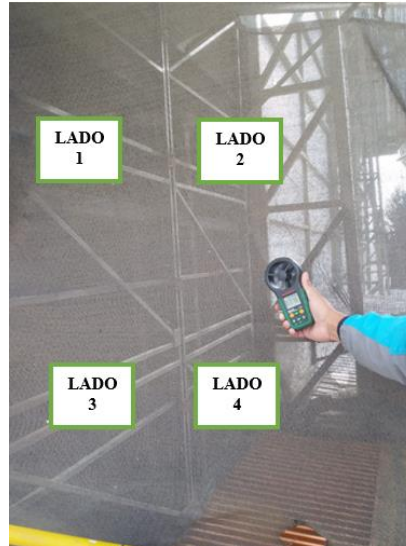


Figura 18. Toma de datos de velocidad del aire del ventilador.

2.3.2 Toma de datos de temperatura

Para la medición de datos de temperatura en los equipos térmicos se utilizó el pirómetro en la zona de la boca del intercambiador de calor y en la chimenea, se tomaron los datos a una distancia de 3 metros con una repetición cada minuto cuando el quemador estaba operativo.



Figura 19. Toma de datos de temperatura.

También se utilizó la cámara termográfica para observar el comportamiento de la temperatura en el intercambiador de calor a una distancia de 3 metros y con una repetición de 5 minutos. En la chimenea se efectuó la medición a 6 metros con una repetición en 4 minutos.



Figura 20. Toma de datos de temperatura en intercambiadores de calor.

2.3.2.1 Detección de posibles fallos en motores

Para la detección de posibles fallos también se utilizó la cámara termográfica en el motor eléctrico trifásico a una distancia de 1.5 metros y en el ventilador se tomó los datos especialmente en la zona de los rodamientos a una distancia de 4 metros. Se efectuó una sola medición debido a la gran su.



Figura 21. Toma de datos en equipos eléctricos y mecánicos.

2.3.3 Toma de datos de electricidad

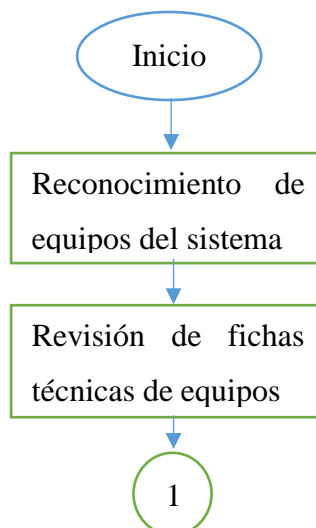
Para la toma de datos eléctricos se utilizó una pinza amperimétrica para la toma de la corriente eléctrica, donde se realizó la toma de datos cada 3 minutos en el motor trifásico.

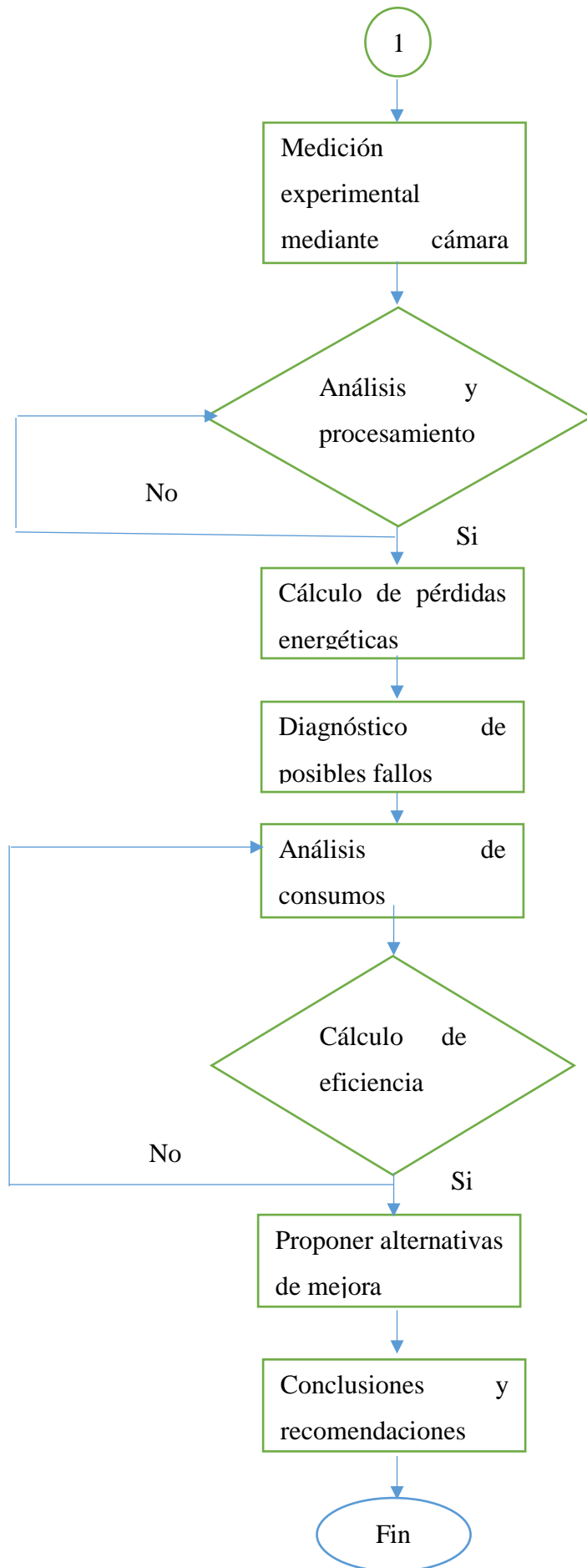


Figura 22. Toma de datos en motor trifásico.

2.4 Plan de procesamiento de análisis de datos

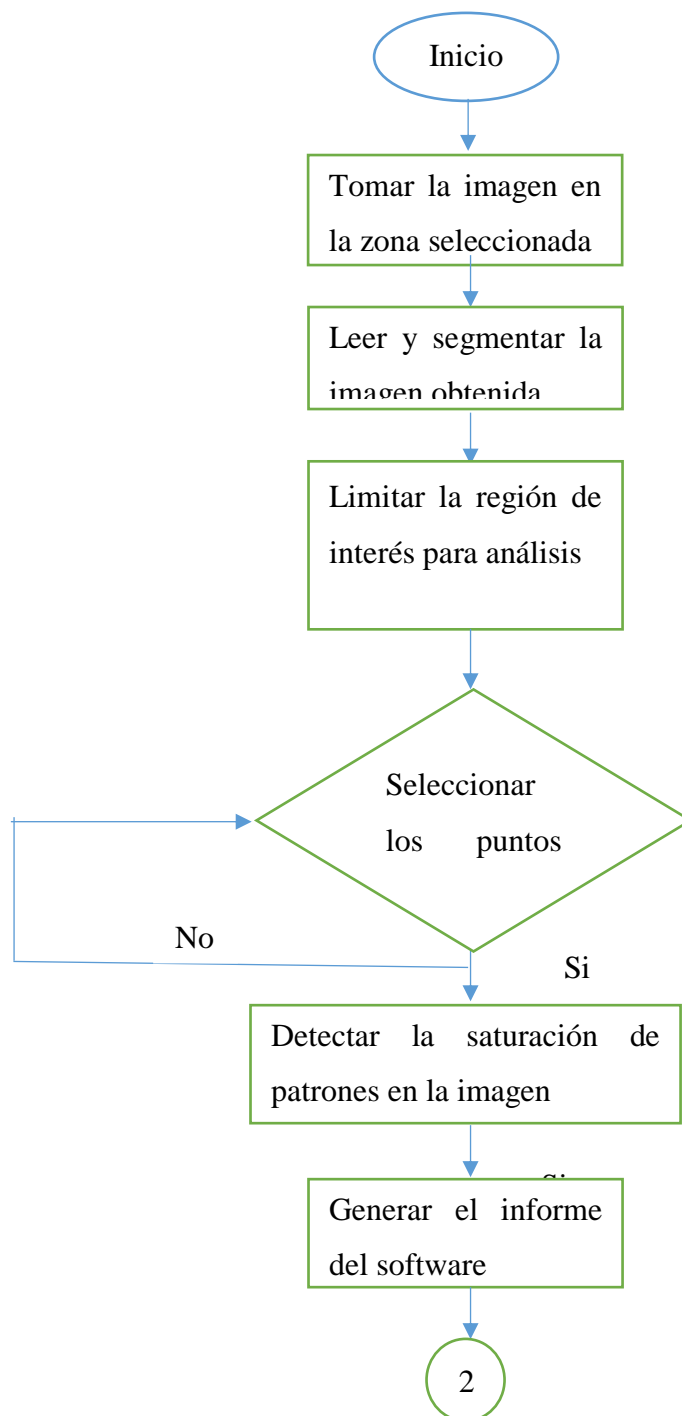
Posteriormente de haber obtenido los datos necesarios, se procedió a ordenar correctamente mediante tabulaciones de los consumos de electricidad y diésel de los equipos que conforman el sistema y llegar a obtener gráficas que ayuden a mejorar el entendimiento de dichos valores. Con estos datos tabulados se realizó los cálculos respectivos de la eficiencia energética del sistema cabina de pintura.

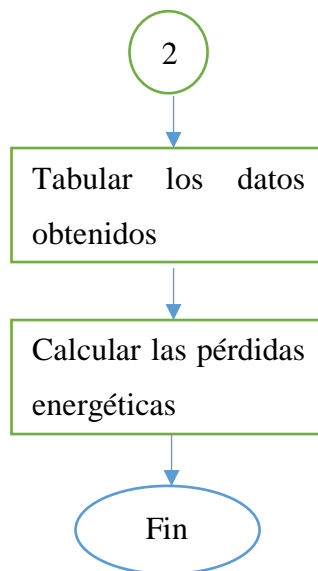




Para la determinación de calores en los equipos térmicos se trabajó con los valores máximos de temperatura que nos proporcionaron la cámara termográfica y el pirómetro.

Mediante el siguiente diagrama de procesos se puede entender los pasos o actividades que se realizó para la obtención de los valores de pérdidas energéticas en los equipos y la eficiencia del sistema.

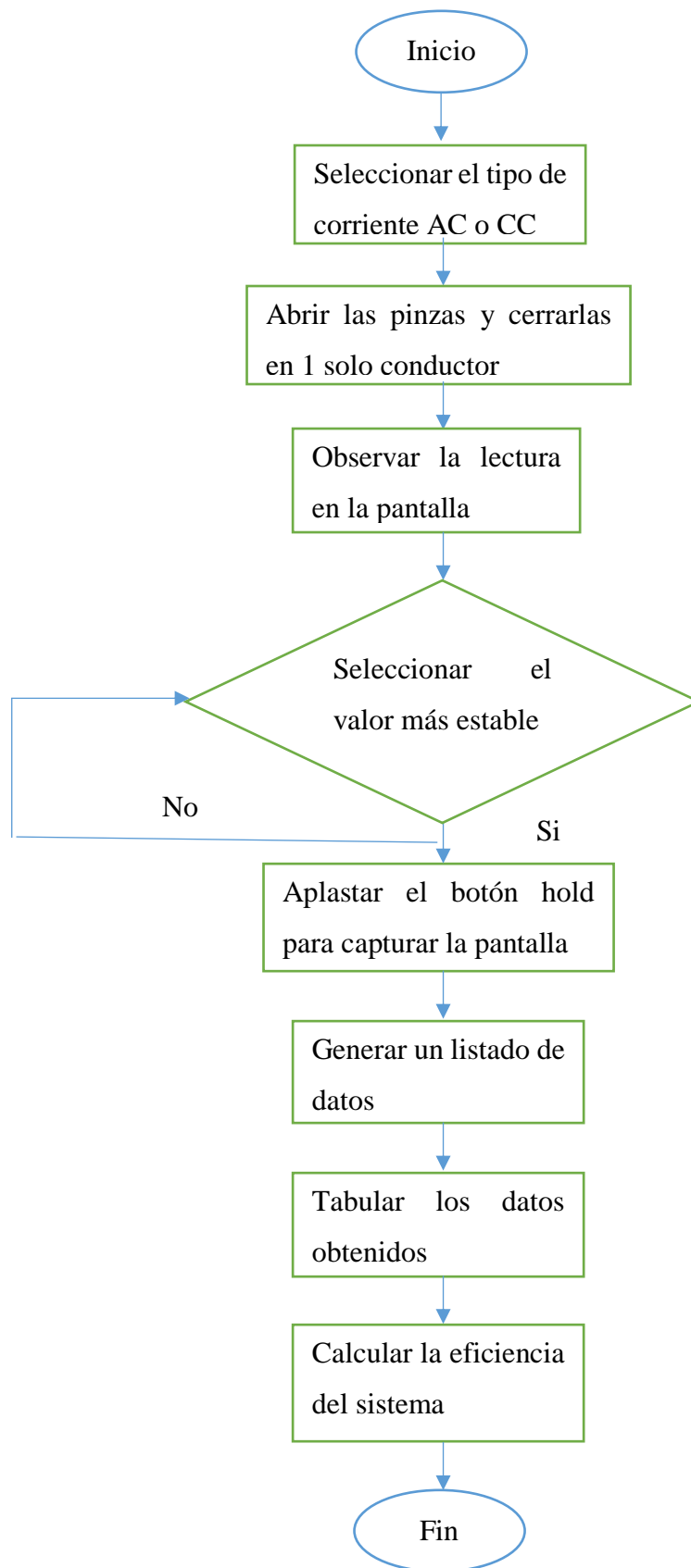




2.5 Medidas de prevención para pinza amperimétrica

Para evitar posibles fallos eléctricos o lesiones en el personal, se tomó muy en cuenta las siguientes recomendaciones [19]:

- Maneje el multímetro únicamente de acuerdo a las especificaciones del catálogo del equipo, caso contrario dicha protección proporcionada por el equipo se podría afectar [19].
- Inspeccione la caja antes de emplear el multímetro, ya que puede existir grietas o falta de plástico en el aislamiento de los conectores [19].
- No emplee el multímetro en ambientes húmedos o mojados que contengan gases o vapores explosivo [19].
- Al momento de trabajar no lo haga solo, ya que, podrá pedir ayuda en un caso de emergencia [19].
- Tener mucha precaución cuando se realiza un trabajo cerca de conductores que no tengan aislamiento o barras colectoras, dicho contacto podría generar una descarga eléctrica [19].
- Sea muy respetuoso con los códigos nacionales de seguridad, existen lugares con conductores energizados expuestos, es obligatorio utilizar los equipos de protección personales para impedir lesiones por arco y descargas eléctricas [19].
- Limpie la caja con sus accesorios empleando un paño húmedo con detergente leve, no aplique ningún líquido abrasivo o solvente [19].



CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados

3.1.1 Análisis de resultados

La investigación se realizó en los equipos de la casa de aire de la cabina de pintura que corresponden a la zona de inyección y climatización del aire. Las imágenes de los equipos y motores eléctricos se tomaron en condiciones normales de funcionamiento en el proceso de producción, basándose en los resultados obtenidos permitió conocer y evaluar los equipos que poseen unas condiciones elevadas de falla; y por ende realizar un análisis termográfico para detectar posibles averías en lapsos de tiempo posteriores.

3.1.2 Análisis de inspección termográficos de la empresa

Con la ayuda de cámara termográfica Flir E4 se tomó las imágenes y con el empleo de su respectivo software, se determinó las temperaturas mínimas, máximas y promedios para los cálculos. También permite interpretar afectaciones de equipos fijos y móviles, tomando en consideración parámetros específicos de inspecciones termográficas.


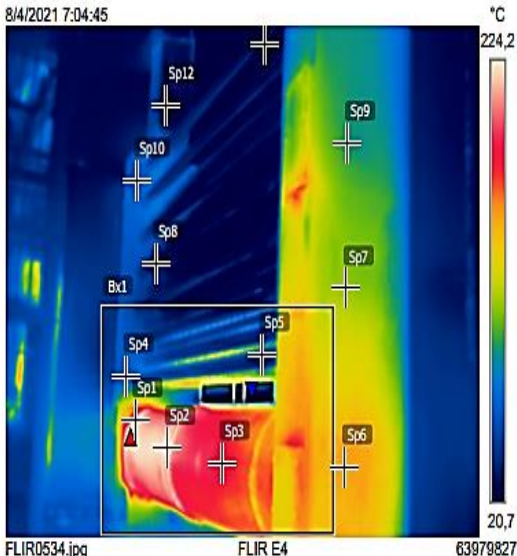
La empresa Ciauto trabaja con la norma ASNT – TC – 1A, la cual permite evaluar la posible falla en función de un rango de temperaturas y también menciona como asignar la condición en el mantenimiento según la clasificación de la falla.

Tabla 10. Rangos de temperatura de mantenimiento según norma ASNT – TC – 1A.

Clasificación de falla		
Temperatura Medida	Clasificación	Condición
0°C – 7°C	Permisible	Observación
8°C – 20°C	Tolerable	Programable
21°C – 30°C	Moderado	Antes de un mes
31°C – 50°C	Severo	Lo más pronto posible
51°C – 70°C	Grave	Menor a dos días
MAYOR A 71°C	Crítico	Inmediato

3.1.3 Análisis de imágenes termográficas

Tabla 11. Intercambiador de calor #1 de la casa de aire de la cabina de pintura.

Fecha de inspección: 08/04/2021																																																				
Planta: Pintura																																																				
Departamento: Mantenimiento																																																				
Equipo o maquinaria: Quemador e intercambiador de calor # 1																																																				
Equipo de inspección: FLIR E4 N° Serie 63979827																																																				
Imagen digital	Imagen termográfica																																																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Medidas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bx1</td> <td>Max</td> <td>226,0 °C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Min</td> <td>21,9 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp1</td> <td></td> <td>224,5 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp2</td> <td></td> <td>213,2 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp3</td> <td></td> <td>167,3 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp4</td> <td></td> <td>60,5 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp5</td> <td></td> <td>33,4 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp6</td> <td></td> <td>132,1 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp7</td> <td></td> <td>100,1 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp8</td> <td></td> <td>29,3 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp9</td> <td></td> <td>80,6 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp10</td> <td></td> <td>54,5 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp11</td> <td></td> <td>24,1 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp12</td> <td></td> <td>26,3 °C</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Parámetros</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Emisividad</td> <td>0,95</td> </tr> <tr> <td>Temp. refl.</td> <td>20 °C</td> </tr> </tbody> </table>  <p>8/4/2021 7:04:45 FLIR0534.jpg FLIR E4 63979827</p>	Medidas			Bx1	Max	226,0 °C		Min	21,9 °C	Sp1		224,5 °C	Sp2		213,2 °C	Sp3		167,3 °C	Sp4		60,5 °C	Sp5		33,4 °C	Sp6		132,1 °C	Sp7		100,1 °C	Sp8		29,3 °C	Sp9		80,6 °C	Sp10		54,5 °C	Sp11		24,1 °C	Sp12		26,3 °C	Parámetros		Emisividad	0,95	Temp. refl.	20 °C
Medidas																																																				
Bx1	Max	226,0 °C																																																		
	Min	21,9 °C																																																		
Sp1		224,5 °C																																																		
Sp2		213,2 °C																																																		
Sp3		167,3 °C																																																		
Sp4		60,5 °C																																																		
Sp5		33,4 °C																																																		
Sp6		132,1 °C																																																		
Sp7		100,1 °C																																																		
Sp8		29,3 °C																																																		
Sp9		80,6 °C																																																		
Sp10		54,5 °C																																																		
Sp11		24,1 °C																																																		
Sp12		26,3 °C																																																		
Parámetros																																																				
Emisividad	0,95																																																			
Temp. refl.	20 °C																																																			

Análisis: En la imagen termográfica se determinó que el intercambiador presenta problemas en la distribución de calor, ya que no es uniforme en todos los pasos de los tubos. También la temperatura de la salida de la chimenea se encuentra en un rango muy bajo menor a los 40°C que basándose en la tabla de temperaturas de clasificación de fallo (tabla 9.) de la norma ASNT – TC – 1A, ésta posee una condición severa con lo cual se debe realizar un mantenimiento lo más pronto posible.

Recomendaciones:

Revisar la soldadura en todas las uniones del intercambiador de calor.

Limpiar el hollín en el interior de los tubos.

Tabla 12. Chimenea de intercambiador de calor #1 de la casa de aire de la cabina de pintura.


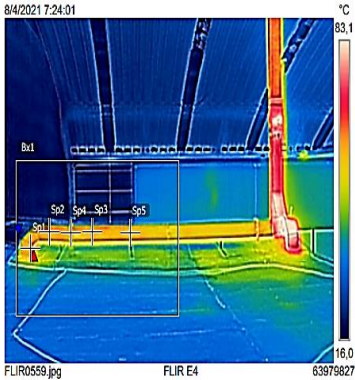
<p>Fecha de inspección: 08/04/2021</p> <p>Planta: Pintura</p> <p>Departamento: Mantenimiento</p> <p>Equipo o maquinaria: Quemador e intercambiador de calor # 1</p> <p>Equipo de inspección: FLIR E4 N° Serie 63979827</p>																															
<p>Imagen digital</p> 	<p>Imagen termográfica</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Medidas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bx1</td> <td>Max</td> <td>52,1 °C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Min</td> <td>16,3 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp1</td> <td></td> <td>43,8 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp2</td> <td></td> <td>40,0 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp3</td> <td></td> <td>38,3 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp4</td> <td></td> <td>37,1 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp5</td> <td></td> <td>36,6 °C</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Parámetros</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Emisividad</td> <td>0,95</td> </tr> <tr> <td>Temp. refl.</td> <td>20 °C</td> </tr> </tbody> </table>  <p>8/4/2021 7:24:01 FLIR0559.jpg FLIR E4 63979827</p>	Medidas			Bx1	Max	52,1 °C		Min	16,3 °C	Sp1		43,8 °C	Sp2		40,0 °C	Sp3		38,3 °C	Sp4		37,1 °C	Sp5		36,6 °C	Parámetros		Emisividad	0,95	Temp. refl.	20 °C
Medidas																															
Bx1	Max	52,1 °C																													
	Min	16,3 °C																													
Sp1		43,8 °C																													
Sp2		40,0 °C																													
Sp3		38,3 °C																													
Sp4		37,1 °C																													
Sp5		36,6 °C																													
Parámetros																															
Emisividad	0,95																														
Temp. refl.	20 °C																														
<p>Análisis: En la imagen termográfica se determinó que la chimenea del intercambiador presenta problemas con la salida de los gases de combustión, ya que tiene una temperatura promedio de 39,26°C, en donde según la normativa de emisiones por fuentes fijas recomienda que el rango de temperaturas de estar entre 180°C a 220°C; lo cual se está incumpliendo. También la temperatura de la salida de la chimenea se encuentra en un rango muy bajo, menor a los 180°C que basándose en la tabla de temperaturas de clasificación de fallo (tabla 9.) de la norma ASNT – TC – 1A, ésta posee una condición severa con lo cual se debe realizar un mantenimiento lo más pronto posible.</p>																															
<p>Recomendaciones:</p> <p>Limpiar el interior de los ductos</p> <p>Revisar la existencia de condensación de gases.</p> <p>Revisar el nivel de corrosión de las paredes.</p>																															

Tabla 13. Intercambiador de calor #2 de la casa de aire de la cabina de pintura.


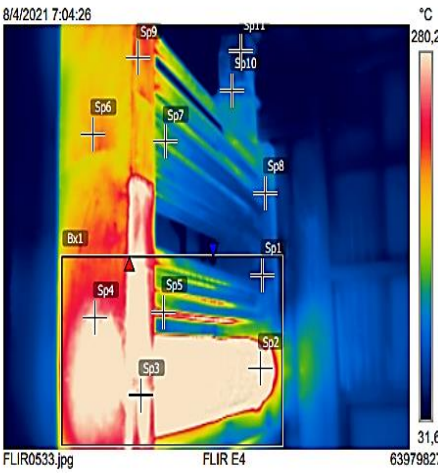
Fecha de inspección: 08/04/2021																																			
Planta: Pintura																																			
Departamento: Mantenimiento																																			
Equipo o maquinaria: Quemador e intercambiador de calor # 2																																			
Equipo de inspección: FLIR E4 N° Serie 63979827																																			
Imagen digital	Imagen termográfica																																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Medidas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bx1</td> <td>Max 280,2 °C ❌</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Min 34,7 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp1</td> <td>57,3 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp2</td> <td>280,2 °C ❌</td> </tr> <tr> <td>Sp3</td> <td>280,2 °C ❌</td> </tr> <tr> <td>Sp4</td> <td>275,9 °C ⚠️</td> </tr> <tr> <td>Sp5</td> <td>250,8 °C ⚠️</td> </tr> <tr> <td>Sp6</td> <td>189,1 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp7</td> <td>131,6 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp8</td> <td>77,9 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp9</td> <td>190,5 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp10</td> <td>79,3 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp11</td> <td>51,9 °C</td> </tr> <tr> <th colspan="2">Parámetros</th> </tr> <tr> <td>Emisividad</td> <td>0,95</td> </tr> <tr> <td>Temp. refl.</td> <td>20 °C</td> </tr> </tbody> </table> 	Medidas		Bx1	Max 280,2 °C ❌		Min 34,7 °C	Sp1	57,3 °C	Sp2	280,2 °C ❌	Sp3	280,2 °C ❌	Sp4	275,9 °C ⚠️	Sp5	250,8 °C ⚠️	Sp6	189,1 °C	Sp7	131,6 °C	Sp8	77,9 °C	Sp9	190,5 °C	Sp10	79,3 °C	Sp11	51,9 °C	Parámetros		Emisividad	0,95	Temp. refl.	20 °C
Medidas																																			
Bx1	Max 280,2 °C ❌																																		
	Min 34,7 °C																																		
Sp1	57,3 °C																																		
Sp2	280,2 °C ❌																																		
Sp3	280,2 °C ❌																																		
Sp4	275,9 °C ⚠️																																		
Sp5	250,8 °C ⚠️																																		
Sp6	189,1 °C																																		
Sp7	131,6 °C																																		
Sp8	77,9 °C																																		
Sp9	190,5 °C																																		
Sp10	79,3 °C																																		
Sp11	51,9 °C																																		
Parámetros																																			
Emisividad	0,95																																		
Temp. refl.	20 °C																																		
<p>Análisis: En la imagen termográfica se determinó que el intercambiador presenta problemas en la distribución de calor, ya que no es uniforme en todos los pasos de los tubos y se concentra en el lado izquierdo. También la temperatura promedio de la salida de la chimenea se encuentra en un rango muy bajo menor a los 70°C que basándose en la tabla de temperaturas de clasificación de fallo (tabla 9.) de la norma ASNT – TC – 1A, ésta posee una condición grave con lo cual se debe realizar un mantenimiento menor a dos días.</p>																																			
<p>Recomendaciones:</p> <p>Revisar la soldadura en todas las uniones del intercambiador de calor.</p> <p>Limpiar el hollín en el interior de los tubos.</p>																																			

Tabla 14. Chimenea de intercambiador de calor #2 de la casa de aire de la cabina de pintura.


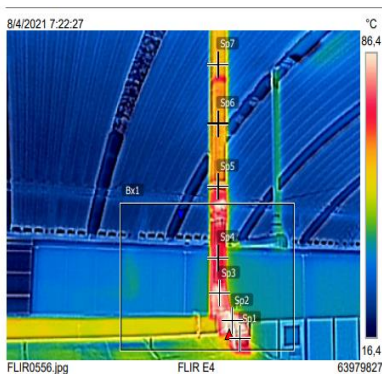
<p>Fecha de inspección: 08/04/2021</p> <p>Planta: Pintura</p> <p>Departamento: Mantenimiento</p> <p>Equipo o maquinaria: Quemador e intercambiador de calor # 2</p> <p>Equipo de inspección: FLIR E4 N° Serie 63979827</p>																											
<p>Imagen digital</p> 	<p>Imagen termográfica</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Medidas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bx1</td> <td>Max 107,1 °C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Min 17,0 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp1</td> <td>69,9 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp2</td> <td>94,0 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp3</td> <td>84,7 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp4</td> <td>62,6 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp5</td> <td>48,3 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp6</td> <td>45,3 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp7</td> <td>44,6 °C</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Parámetros</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Emisividad</td> <td>0,95</td> </tr> <tr> <td>Temp. refl.</td> <td>20 °C</td> </tr> </tbody> </table> 	Medidas		Bx1	Max 107,1 °C		Min 17,0 °C	Sp1	69,9 °C	Sp2	94,0 °C	Sp3	84,7 °C	Sp4	62,6 °C	Sp5	48,3 °C	Sp6	45,3 °C	Sp7	44,6 °C	Parámetros		Emisividad	0,95	Temp. refl.	20 °C
Medidas																											
Bx1	Max 107,1 °C																										
	Min 17,0 °C																										
Sp1	69,9 °C																										
Sp2	94,0 °C																										
Sp3	84,7 °C																										
Sp4	62,6 °C																										
Sp5	48,3 °C																										
Sp6	45,3 °C																										
Sp7	44,6 °C																										
Parámetros																											
Emisividad	0,95																										
Temp. refl.	20 °C																										
<p>Análisis: En la imagen termográfica se determinó que la chimenea del intercambiador presenta problemas con la salida de los gases de combustión, ya que tiene una temperatura promedio de 65°C, en donde según la normativa de emisiones por fuentes fijas recomienda que el rango de temperaturas de estar entre 180°C a 220°C; lo cual se está incumpliendo. También la temperatura de la salida de la chimenea se encuentra en un rango muy bajo, menor a los 180°C que basándose en la tabla de temperaturas de clasificación de fallo (tabla 9.) de la norma ASNT – TC – 1A, ésta posee una condición severa con lo cual se debe realizar un mantenimiento lo más pronto posible.</p>																											
<p>Recomendaciones:</p> <p>Limpiar el interior de los ductos</p> <p>Revisar la existencia de condensación de gases en uniones.</p> <p>Revisar el nivel de corrosión de las paredes.</p>																											

Tabla 15. Motor trifásico #1 de la casa de aire de la cabina de pintura.


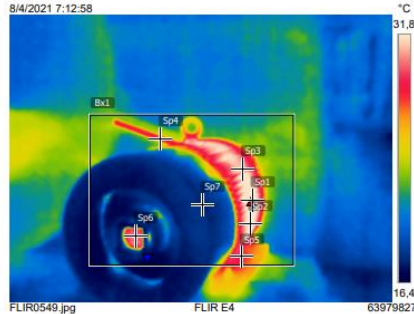
<p>Fecha de inspección: 08/04/2021</p> <p>Planta: Pintura</p> <p>Departamento: Mantenimiento</p> <p>Equipo o maquinaria: Motor eléctrico # 1</p> <p>Equipo de inspección: FLIR E4 N° Serie 63979827</p>																																								
<p>Imagen digital</p> 	<p>Imagen termográfica</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Medidas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bx1</td> <td>Max</td> <td>33,9 °C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Min</td> <td>17,0 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp1</td> <td></td> <td>33,4 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp2</td> <td></td> <td>32,0 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp3</td> <td></td> <td>30,4 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp4</td> <td></td> <td>26,1 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp5</td> <td></td> <td>26,3 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp6</td> <td></td> <td>29,3 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp7</td> <td></td> <td>17,4 °C</td> </tr> <tr> <th colspan="3">Parámetros</th> </tr> <tr> <td>Emisividad</td> <td></td> <td>0,95</td> </tr> <tr> <td>Temp. refl.</td> <td></td> <td>20 °C</td> </tr> </tbody> </table> 	Medidas			Bx1	Max	33,9 °C		Min	17,0 °C	Sp1		33,4 °C	Sp2		32,0 °C	Sp3		30,4 °C	Sp4		26,1 °C	Sp5		26,3 °C	Sp6		29,3 °C	Sp7		17,4 °C	Parámetros			Emisividad		0,95	Temp. refl.		20 °C
Medidas																																								
Bx1	Max	33,9 °C																																						
	Min	17,0 °C																																						
Sp1		33,4 °C																																						
Sp2		32,0 °C																																						
Sp3		30,4 °C																																						
Sp4		26,1 °C																																						
Sp5		26,3 °C																																						
Sp6		29,3 °C																																						
Sp7		17,4 °C																																						
Parámetros																																								
Emisividad		0,95																																						
Temp. refl.		20 °C																																						
<p>Análisis: En la imagen termográfica se determinó que el motor presenta temperaturas que no afectan a los componentes internos que están distribuidos en la carcasa, donde se puede entender que se encuentra en condiciones normales de funcionamiento y que no existe incrementos de temperatura elevados que varíen con respecto al resto del motor. También la temperatura promedio es 30.5°C en condiciones extremas de funcionamiento que basándose en la tabla de temperaturas de clasificación de fallo (tabla 9.) de la norma ASNT – TC – 1A, ésta posee una condición moderada con lo cual se debe realizar un mantenimiento antes de un mes.</p>																																								
<p>Recomendaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> Revisar si existen vibraciones altas. Verificar el estado de los rodamientos. Realizar limpieza periódica. Lubricación periódica. 																																								

Tabla 16. Motor trifásico #2 de la casa de aire de la cabina de pintura.


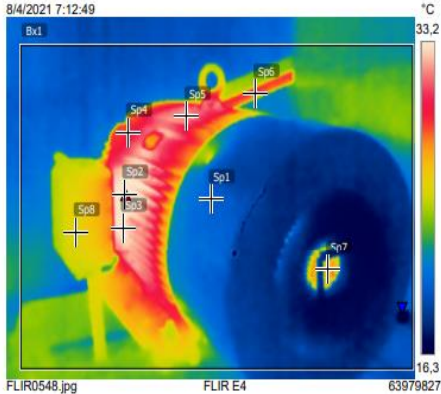
<p>Fecha de inspección: 08/04/2021</p> <p>Planta: Pintura</p> <p>Departamento: Mantenimiento</p> <p>Equipo o maquinaria: Motor eléctrico # 2</p> <p>Equipo de inspección: FLIR E4 N° Serie 63979827</p>																																											
<p>Imagen digital</p> 	<p>Imagen termográfica</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Medidas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bx1</td> <td>Max</td> <td>35,0 °C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Min</td> <td>15,6 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp1</td> <td></td> <td>18,6 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp2</td> <td></td> <td>34,2 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp3</td> <td></td> <td>33,8 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp4</td> <td></td> <td>27,0 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp5</td> <td></td> <td>30,9 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp6</td> <td></td> <td>26,1 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp7</td> <td></td> <td>25,2 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp8</td> <td></td> <td>22,6 °C</td> </tr> <tr> <th colspan="3">Parámetros</th> </tr> <tr> <td>Emisividad</td> <td></td> <td>0.95</td> </tr> <tr> <td>Temp. refl.</td> <td></td> <td>20 °C</td> </tr> </tbody> </table> 	Medidas			Bx1	Max	35,0 °C		Min	15,6 °C	Sp1		18,6 °C	Sp2		34,2 °C	Sp3		33,8 °C	Sp4		27,0 °C	Sp5		30,9 °C	Sp6		26,1 °C	Sp7		25,2 °C	Sp8		22,6 °C	Parámetros			Emisividad		0.95	Temp. refl.		20 °C
Medidas																																											
Bx1	Max	35,0 °C																																									
	Min	15,6 °C																																									
Sp1		18,6 °C																																									
Sp2		34,2 °C																																									
Sp3		33,8 °C																																									
Sp4		27,0 °C																																									
Sp5		30,9 °C																																									
Sp6		26,1 °C																																									
Sp7		25,2 °C																																									
Sp8		22,6 °C																																									
Parámetros																																											
Emisividad		0.95																																									
Temp. refl.		20 °C																																									
<p>Análisis: En la imagen termográfica se determinó que el motor presenta temperaturas relativamente mayores en comparación con el motor 1 que pueden afectar a los componentes internos que están distribuidos en la carcasa, donde se puede entender que se encuentra en condiciones normales de funcionamiento y que existe incrementos de temperatura considerables que se deben a la falta de tensión en las bandas. También la temperatura máxima es 34.2°C en condiciones extremas de funcionamiento que basándose en la tabla de temperaturas de clasificación de fallo (tabla 9.) de la norma ASNT – TC – 1A, ésta posee una condición severa con lo cual se debe realizar un mantenimiento lo más pronto posible.</p>																																											
<p>Recomendaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> Revisar si existen vibraciones altas. Verificar el estado de los rodamientos. Realizar limpieza periódica. Lubricación periódica. Revisar el estado de los bobinados. 																																											

Tabla 17. Chumacera del ventilador #1 de la casa de aire de la cabina de pintura.


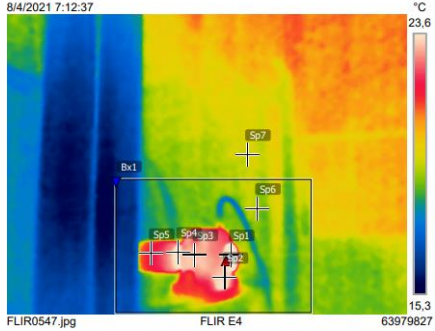
<p>Fecha de inspección: 08/04/2021</p> <p>Planta: Pintura</p> <p>Departamento: Mantenimiento</p> <p>Equipo o maquinaria: Ventilador # 1</p> <p>Equipo de inspección: FLIR E4 N° Serie 63979827</p>																																					
<p>Imagen digital</p> 	<p>Imagen termográfica</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Medidas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Bx1</td> <td>Max</td> <td>26,6 °C</td> </tr> <tr> <td>Min</td> <td>16,2 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp1</td> <td></td> <td>26,3 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp2</td> <td></td> <td>23,4 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp3</td> <td></td> <td>22,9 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp4</td> <td></td> <td>24,2 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp5</td> <td></td> <td>20,4 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp6</td> <td></td> <td>18,3 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp7</td> <td></td> <td>18,5 °C</td> </tr> <tr> <th colspan="2">Parámetros</th> </tr> <tr> <td>Emisividad</td> <td></td> <td>0,95</td> </tr> <tr> <td>Temp. refl.</td> <td></td> <td>20 °C</td> </tr> </tbody> </table> 	Medidas		Bx1	Max	26,6 °C	Min	16,2 °C	Sp1		26,3 °C	Sp2		23,4 °C	Sp3		22,9 °C	Sp4		24,2 °C	Sp5		20,4 °C	Sp6		18,3 °C	Sp7		18,5 °C	Parámetros		Emisividad		0,95	Temp. refl.		20 °C
Medidas																																					
Bx1	Max	26,6 °C																																			
	Min	16,2 °C																																			
Sp1		26,3 °C																																			
Sp2		23,4 °C																																			
Sp3		22,9 °C																																			
Sp4		24,2 °C																																			
Sp5		20,4 °C																																			
Sp6		18,3 °C																																			
Sp7		18,5 °C																																			
Parámetros																																					
Emisividad		0,95																																			
Temp. refl.		20 °C																																			
<p>Análisis: En la imagen termográfica se determinó que la chumacera presenta temperaturas relativamente bajas gracias a los controles de lubricación óptimos que no afectan en gran medida a los componentes internos, se puede entender que se encuentra en condiciones normales de funcionamiento y que no existe incrementos de temperatura considerables que puedan causar algún tipo de falla o avería. También la temperatura máxima es 26.3°C en condiciones extremas de funcionamiento que basándose en la tabla de temperaturas de clasificación de fallo (tabla 9.) de la norma ASNT – TC – 1A, ésta posee una condición moderada con lo cual se debe realizar un mantenimiento antes de un mes.</p>																																					
<p>Recomendaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> Revisar el nivel de corrosión en el eje. Verificar el estado de los rodamientos. Lubricación periódica. Revisar la vida útil de los rodamientos. 																																					

Tabla 18. Chumacera del ventilador #2 de la casa de aire de la cabina de pintura.


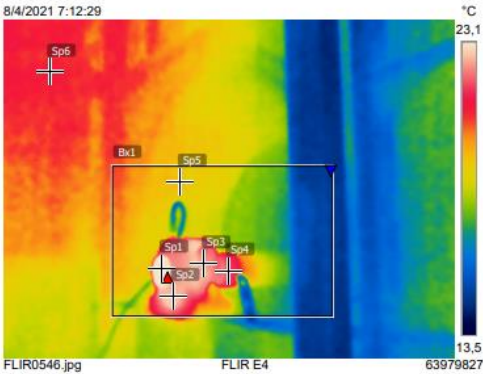
<p>Fecha de inspección: 08/04/2021</p> <p>Planta: Pintura</p> <p>Departamento: Mantenimiento</p> <p>Equipo o maquinaria: Ventilador # 2</p> <p>Equipo de inspección: FLIR E4 N° Serie 63979827</p>																									
<p>Imagen digital</p> 	<p>Imagen termográfica</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Medidas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bx1</td> <td>Max 24,2 °C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Min 16,4 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp1</td> <td>24,0 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp2</td> <td>22,0 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp3</td> <td>21,7 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp4</td> <td>20,4 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp5</td> <td>18,8 °C</td> </tr> <tr> <td>Sp6</td> <td>19,5 °C</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Parámetros</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Emisividad</td> <td>0.95</td> </tr> <tr> <td>Temp. refl.</td> <td>20 °C</td> </tr> </tbody> </table> 	Medidas		Bx1	Max 24,2 °C		Min 16,4 °C	Sp1	24,0 °C	Sp2	22,0 °C	Sp3	21,7 °C	Sp4	20,4 °C	Sp5	18,8 °C	Sp6	19,5 °C	Parámetros		Emisividad	0.95	Temp. refl.	20 °C
Medidas																									
Bx1	Max 24,2 °C																								
	Min 16,4 °C																								
Sp1	24,0 °C																								
Sp2	22,0 °C																								
Sp3	21,7 °C																								
Sp4	20,4 °C																								
Sp5	18,8 °C																								
Sp6	19,5 °C																								
Parámetros																									
Emisividad	0.95																								
Temp. refl.	20 °C																								
<p>Análisis: En la imagen termográfica se determinó que la chumacera presenta temperaturas relativamente bajas en comparación con la chumacera 1 en donde se encuentran los componentes internos, se puede entender que está en condiciones normales de funcionamiento y que no existe incrementos de temperatura considerables debido a un mal acoplamiento con el motor eléctrico. También la temperatura máxima es 24°C en condiciones extremas de funcionamiento que basándose en la tabla de temperaturas de clasificación de fallo (tabla 9.) de la norma ASNT – TC – 1A, ésta posee una condición moderada con lo cual se debe realizar un mantenimiento antes de un mes.</p>																									
<p>Recomendaciones:</p> <p>Revisar el nivel de corrosión en el eje.</p> <p>Verificar el estado de los rodamientos.</p> <p>Lubricación periódica.</p>																									

Tabla 19. Interpretación de datos térmicos según normativa ASNT – TC – 1A.

DATOS DE ANÁLISIS DE TERMOGRAFÍA			
N°-	Equipo/ máquina	Descripción	Interpretación de posibles fallos
1	Intercambiador de calor #1	Térmica	Posible falla por condensación de los gases de combustión, condición severa con lo cual se debe realizar un mantenimiento lo más pronto posible.
2	Chimenea intercambiador de calor #1	Térmica	Posible falla por corrosión en el interior de los ductos por condensación de los gases, tiene una condición severa con lo cual se debe realizar un mantenimiento lo más pronto posible.
3	Intercambiador de calor #2	Térmica	Posible falla en la soldadura de la cámara, posee una condición crítica con lo cual se debe realizar un mantenimiento inmediato.
4	Chimenea intercambiador de calor #2	Térmica	Posible falla por corrosión en el interior de los ductos por condensación de los gases, tiene una condición severa con lo cual se debe realizar un mantenimiento lo más pronto posible.
5	Motor trifásico #1	Eléctrico	Posible falla por rodamientos internos desgastados, tiene una condición severa con lo cual se debe realizar un mantenimiento lo más pronto posible.

6	Motor trifásico #2	Eléctrico	Posible falla ruptura de los devanados o rodamientos internos desgastados, tiene una condición severa con lo cual se debe realizar un mantenimiento lo más pronto posible.
7	Chumacera ventilador #1	Mecánico	Posible falla por corrosión, tiene una condición moderada con lo cual se debe realizar un mantenimiento antes de un mes.
8	Chumacera ventilador #2	Mecánico	Posible falla corrosión, ésta posee una condición moderada con lo cual se debe realizar un mantenimiento antes de un mes.

3.2 Energía consumida por el sistema

La siguiente imagen compara el consumo que provee cada fuente de energía que abastece al sistema de inyección de aire para dirigirlo a la cabina de pintura.

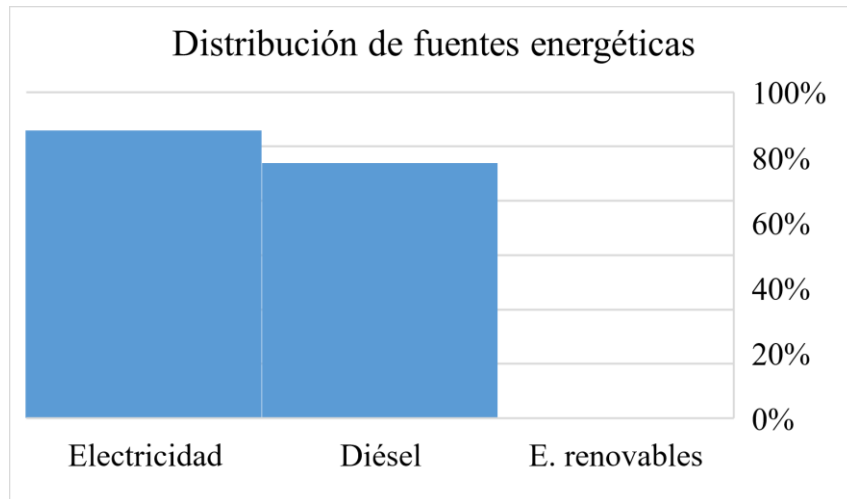


Figura 23. Fuentes de energía del sistema.

Las fuentes energéticas esenciales son las siguientes el empleo de energía eléctrica y la quema de combustible líquido como el diésel, actualmente en la planta no cuentan con un sistema enfocado en la aplicación de las diversas formas de energías renovables.

3.2.1 Costes de energía empleada por el sistema

La siguiente imagen enfoca una comparación grafica de los costes de energía por las dos fuentes específicas de consumo

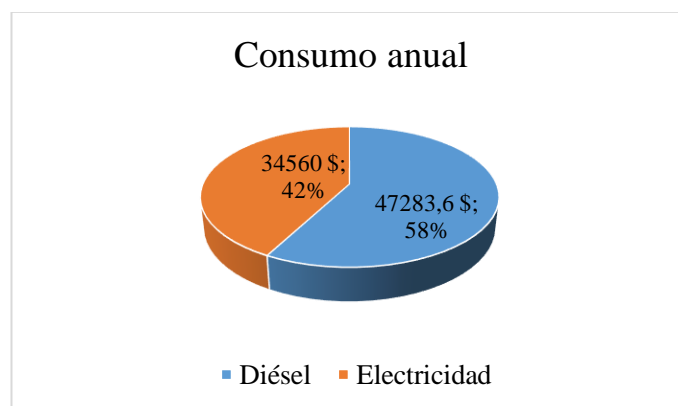


Figura 24. Costes anuales de fuentes de energía.

El diagrama de pastel enfoca que el 42% de los costos anuales de energía utilizada por el sistema de inyección de aire proviene de los equipos eléctricos, mientras el 58% restante corresponde a los costos del consumo de diésel de los quemadores empleados en los intercambiadores de calor.

3.2.2 Esquema de energías



3.3 Determinación de pérdidas térmicas en el sistema

Se utilizan las ecuaciones de transferencia de calor utilizando los principios de convección, empleando los datos experimentales de temperaturas con la ayuda de la termografía industrial y el anemómetro digital.

3.3.1 Pérdidas de calor por convección

3.3.1.1 Pérdidas de calor a través de las paredes de los intercambiadores de calor

Principalmente se consideran las pérdidas por convección libre que se genera por los intercambiadores y ventiladores a través de su superficie exterior por paredes planas frontales, laterales, superiores e inferiores.

Se estimó las temperaturas superficiales mediante el promedio de los datos obtenidos por el software de la cámara termográfica, para poder obtener los siguientes resultados. También los informes de termografía se encuentran en la sección de anexos con todos los puntos de análisis considerados convenientes para la aplicación de las ecuaciones de pérdidas térmicas en el sistema.

Considerando una convección natural con aire se toma un valor de $2,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ según Cengel, pág. 26.

Tabla 20. Cálculo de pérdidas de calor a través de las paredes de intercambiadores.

Datos	
Zona de entrada de aire	
Coefficiente de transferencia de calor [$\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]	2,5
Temperatura del fluido [$^\circ\text{C}$]	35
Área transferencia de calor lateral [m^2]	38,76
Temperatura superficial promedio [$^\circ\text{C}$]	26,9
Área transferencia de calor frontal [m^2]	8,42
Temperatura superficial promedio [$^\circ\text{C}$]	25,6
Área transferencia de calor inferior [m^2]	15,84
Temperatura superficial promedio [$^\circ\text{C}$]	30
Zona de intercambiadores	
Coefficiente de transferencia de calor [$\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]	2,5
Temperatura del fluido [$^\circ\text{C}$]	40
Área transferencia de calor frontal [m^2]	9,12
Temperatura superficial promedio, frontal [$^\circ\text{C}$]	33,5
Área transferencia de calor superior [m^2]	19,18
Temperatura superficial promedio, superior [$^\circ\text{C}$]	21,9
Área transferencia de calor lateral [m^2]	9,12
Temperatura superficial promedio, lateral [$^\circ\text{C}$]	23,5
Área transferencia de calor inferior [m^2]	18,65
Temperatura superficial promedio, inferior [$^\circ\text{C}$]	34
Resultados	
Zona de entrada de aire	
Pérdida de calor, pared lateral [W]	784,89
Pérdida de calor, pared frontal [W]	197,97
Pérdida de calor, pared inferior [W]	198,00
Zona de intercambiadores	
Pérdida de calor, pared frontal [W]	148,18
Pérdida de calor, pared superior [W]	867,90
Pérdida de calor, pared lateral [W]	376,15
Pérdida de calor, pared inferior [W]	279,72
Pérdida Total [W]	2852,81

3.3.1.2 Pérdidas de calor a través de las paredes de la chimenea

Aplicando la correlación de Hilpert para convección forzada con flujo externo para conductos no circulares, flujo perpendicular [20]. Para un flujo turbulento y condiciones promedio globales, se determinaron los siguientes resultados.

Tabla 21. Cálculo de pérdidas de calor por convección chimenea 1.

Datos	
Chimenea 1	
Ancho chimenea [m]	0,8
Largo chimenea [m]	0,8
Altura [m]	7,5
Diámetro equivalente de chimenea [m]	0,87
Área transferencia de calor [m ²]	20,60
Velocidad de aire ambiente [m/s]	1
Temperatura exterior promedio [°C]	40
Temperatura ambiente [°C]	18
Temperatura de película [°C]	29
Viscosidad del aire [m ² /s]	0,00001608
Número de Prandtl del aire	0,7282
Conductividad térmica del aire [W/m.°C]	0,02588
Número de Reynolds	54386,34
Constante C, correlación de Hilpert	0,102
Constante m, correlación de Hilpert	0,675
Número de Nusselt	144,26
Resultados	
Coefficiente de convección [W/m ² .°K]	4,27
Pérdida de calor por convección [W]	1934,27

Tabla 22. Cálculo de pérdidas de calor por convección chimenea 2.

Datos	
Chimenea 2	
Ancho chimenea [m]	0,8
Largo chimenea [m]	0,8
Altura [m]	30
Diámetro equivalente de chimenea [m]	0,87
Área transferencia de calor [m ²]	82,38
Velocidad de aire ambiente [m/s]	1
Temperatura exterior promedio [°C]	80
Temperatura ambiente [°C]	18
Temperatura de película [°C]	49
Viscosidad del aire [m ² /s]	0,00001798
Número de Prandtl del aire	0,7228
Conductividad térmica del aire [W/m.°C]	0,02735
Número de Reynolds	48639,17
Constante C, correlación de Hilpert	0,102
Constante m, correlación de Hilpert	0,675
Número de Nusselt	133,45
Resultados	
Coefficiente de convección [W/m ² .°K]	4,17
Pérdida de calor por convección [W]	21316,79

Tabla 23. Cálculo de pérdidas totales de calor en chimeneas.

Pérdidas de calor chimenea	
Pérdidas de calor chimenea 1 [W]	1934,27
Pérdidas de calor chimenea 2 [W]	21316,79
Total de pérdidas de calor [W]	23251,06

Tabla 24. Cálculo de pérdidas por flujo de gases en chimenea.

Datos	
Diámetro interior de chimenea [m]	0,6
Área de salida de chimenea [m ²]	0,28
Velocidad aire salida [m/s]	1,5
Caudal de salida por chimenea [m ³ /s]	0,42
Presión salida de gases [Pa]	120000
Temperatura salida de gases [°C]	110
Entalpía salida de gases [J/kg]	383954,65
Resultados	
Flujo másico [kg/s]	0,39
Pérdida de calor [W]	148185,25

Tabla 25. Cálculo de variación de energía almacenada en el aire interior.

Datos	
Presión atmosférica del aire [Pa]	102200
Caudal volumétrico ventiladores [m ³ /s]	76,67
Constante universal de gases (R) [0,2870 KJ/Kg. °C]	0,287
Temperatura del aire inicial [°C]	18
Calor específico del aire [J/Kg.°C]	1007
Temperatura del fluido final [°C]	25
Resultados	
Flujo másico [Kg/s]	93,82
Energía almacenada [W]	661317,63

Tabla 26. Cálculo de pérdida por convección en puerta de la cabina de pintura.

Datos	
Puerta cabina de pintura	
Largo puerta [m]	3
Ancho puerta [m]	4,8
Coefficiente de transferencia de calor por convección [W/m ² .°C]	3
Temperatura del fluido final [°C]	25
Área transferencia de calor [m ²]	14,4
Temperatura superficial ambiente inicial [°C]	15
Resultado	
Pérdida de calor por convección [W]	432,00

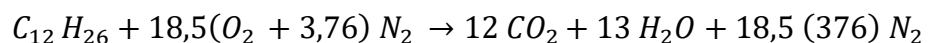
Tabla 27. Cálculo de calor ganado en unidad de carrocería.

Datos	
Carrocería Wingle 7	
Largo [m]	5,095
Ancho puerta [m]	1,8
Alto [m]	1,76
Calor específico del acero [J/Kg.°C]	460
Masa carrocería [Kg]	500
Tiempo pintado promedio [s]	1500
Temperatura superficial final carrocería [°C]	25
Temperatura ambiente inicial [°C]	18
Resultado	
Pérdida por convección [W]	1073,33

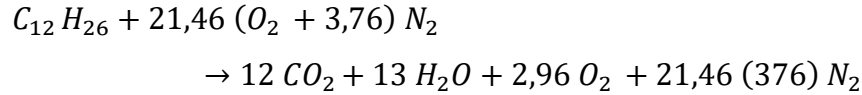
3.4 Cálculo del calor de entrada en el quemadores diésel

3.4.1 Cálculo de relación aire-combustible aplicado al quemador del intercambiador

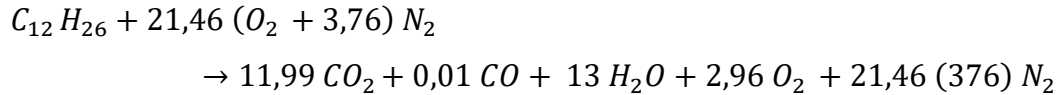
Mezcla estequiometria (100% aire teórico)



Reacción completa con 16% exceso de aire (116 % aire teórico):



Reacción incompleta con 16% exceso de aire (116 % aire teórico):



Frecuentemente la reacción incompleta es un planteamiento muy parecido a lo que sucede en la realidad de los procesos de combustión, con lo cual se calcula la relación aire/ combustible:

$$AC = \frac{m_{AIRE}}{m_{COMBUSTIBLE}} = \frac{N_{AIRE} * M_{masa molar aire}}{N_{COMBUSTIBLE} * M_{masa molar combustible}}$$

$$AC = \frac{(21,46 * 4,76) * 29}{1 * 170}$$

$$AC = 17,42 \frac{Kg aire}{Kg diésel}$$

$$m_a = 17,42 \frac{Kg aire}{Kg diésel} * 0,02 \frac{Kg diésel}{s}$$

$$m_a = 0,40 \frac{Kg}{s}$$

Teniendo en cuenta un flujo promedio de combustible de 0,02 Kg/s, se comprueba que el flujo másico de aire requerido para la combustión tiene un valor de 0,40 Kg/s.

3.4.2 Primera ley para reacciones de combustión

Se calcula el calor generado, partiendo del balance entre las entalpías de los productos y de los reactivos.

$$Q_{sal} = \sum N_r (\bar{h}_{of} + \bar{h} - h^\circ)_r - \sum N_p (\bar{h}_{of} + \bar{h} - h^\circ)_p$$

Q_{sal} : Flujo de calor teórico $\left[\frac{KJ}{Kmol} C_{12}H_{26} \right]$

N : número de moles

\bar{h}_{of} : entalpía de formación a 25°C y 1 atm $\left[\frac{KJ}{Kmol} \right]$

\bar{h} : entalpía de formación a T de reacción o producto $\left[\frac{KJ}{Kmol} \right]$

h° : entalpía sensible en estado de referencia estándar $\left[\frac{KJ}{Kmol} \right]$

Considerando una temperatura de flama de 1300°K obtenido de los registros del área de mantenimiento de la planta de pintura.

Tabla 28. Cálculo de temperaturas máximas de los productos.

Datos				
React/prod	N (Kmol)	hf (KJ/kmol)	h 298K (KJ/kmol)	h 1300K (KJ/kmol)
$C_{12}H_{26}$	1	-291010	-	-
O_2	2,96	0	8682	32438
N_2	80,69	0	8669	31113
CO_2	11,99	-393520	9364	44406
CO	0,01	-110530	8669	31354
H_2O	13	-285830	9904	48807
Resultados				
$\sum N_r (\bar{h}_{of} + \bar{h} - h^\circ)_r$		(KJ/kmol)	-291010	
$\sum N_p (\bar{h}_{of} + \bar{h} - h^\circ)_p$		(KJ/kmol)	-5627756,55	

$$Q_{sal} = -291010 - (-5627756,55)$$

$$Q_{sal} = 5336746,6 \text{ KJ} / \text{Kmol } C_{12}H_{26}$$

Determinación del flujo másico de combustible en función del calor generado:

$$m_g, \text{Flujo másico del GLP} = 0,02 \text{ kg/s}$$

$$\text{Masa atómica combustible} \rightarrow 170 \frac{\text{Kg}}{\text{Kmol } C_{12}H_{26}}$$

$$m_{diésel} = \frac{485 \text{ KJ/s}}{5336746,6 \text{ KJ/Kmol } C_{12}H_{26}}$$

$$m_{diésel} = 9.088 \times 10^{-5} \text{ Kmol } C_{12}H_{26}/s$$

$$m_{diésel} = 0,01 \text{ Kg/s}$$

Tabla 29. Cálculo en la cámara de la temperatura de productos.

Diámetro interior (m)	0,5
Área de la cámara (m ²)	0,20
Velocidad aire en la cámara (m/s)	3,2
Presión de gases combustión (KPa)	120
Flujo másico de gases en la cámara (Kg/s)	0,4
Resultados	
Temperatura gases en la cámara (°K)	660
Temperatura gases en la cámara (°C)	387
Caudal gases en la cámara (m ³ /s)	0,63

Tabla 30. Cálculo del calor de reacción para combustible (diésel).

Datos				
React/prod	N (Kmol)	hf (KJ/kmol)	h 298K (KJ/kmol)	h 660K (KJ/kmol)
$C_{12}H_{26}$	1	-291010	-	-
O_2	2,96	0	8682	19870
N_2	80,69	0	8669	19380
CO_2	11,99	-393520	9364	25160
CO	0,01	-110530	8669	19449
H_2O	13	-285830	9904	22600
Resultados				
$\sum N_r (\bar{h}_{o_f} + \bar{h} - h^{\circ})_r$		KJ/kmol)		-291010
$\sum N_p (\bar{h}_{o_f} + \bar{h} - h^{\circ})_p$		(KJ/kmol)		-7183263,19
Q reacción		(KJ/kmol diésel)		6892253,19
Masa molar diésel		(Kg/kmol diésel)		170
Q reacción		(KJ/Kg diésel)		40542,67
Flujo másico diésel		(Kg/s diésel)		0,01
Potencia térmica		(KW)		424

La potencia térmica útil de un quemador que posiblemente se puede obtenerse para la reacción de combustión con un exceso de aire del 16%, teniendo en cuenta una temperatura de salida de gases de (1300°K) alcanza los 424 KW. Dicha potencia térmica representa un 87,42% en comparación con la potencia nominal de 485 KW.

El diagrama de eficiencia del quemador del intercambiador utilizado en la casa de aire se representa en la siguiente figura.

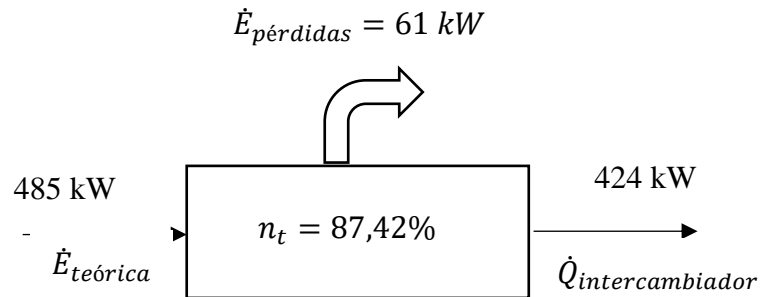


Figura 25. Costes anuales de fuentes de energía.

Existe un 12,58% de pérdida de energía por la combustión del diésel y sólo un 87,42% de la potencia nominal o teórica estaría destinado como energía térmica para el intercambiador de calor.

3.4.3 Balance de masa y energía en la climatización del aire

Aplicando el postulado de la primera ley de termodinámica del balance de masa y de la energía en el proceso de pintado se obtiene lo siguiente:

$$\dot{E}_{entra} + \dot{E}_{generada} - \dot{E}_{sale} = \frac{dE_{almacenada}}{dt}$$

$$\dot{Q}_{entra} + \dot{E}_{generada} - \dot{Q}_{sale} = \Delta\dot{E}_{térmica,sistema}$$

Como el sistema cuenta con 2 quemadores industriales se obtiene:

$$\dot{Q}_{entra,teórico} = [2 * (485000 W)]$$

$$\dot{Q}_{entra,teórico} = 970000 W$$

$$\dot{Q}_{entra,teórico} = 970 kW$$

$$\dot{Q}_{\text{útil}} = \dot{Q}_{\text{entra,teórico}} - \dot{E}_{\text{pérdidas,combustión}}$$

$$\dot{Q}_{\text{útil}} = 970 \text{ kW} - 122 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{\text{útil,quemador}} = 848 \text{ kW}$$

El calor que sale del sistema se determina en la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{\text{sale}} = \dot{Q}_{\text{paredes,cámara}} + \dot{Q}_{\text{puerta}} + \dot{Q}_{\text{chimenea}} + \dot{Q}_{\text{flujo,gases}}$$

$$\dot{Q}_{\text{sale}} = (2852,81 \text{ W}) + (432 \text{ W}) + (23251,06 \text{ W}) + (148185,25 \text{ W})$$

$$\dot{Q}_{\text{sale}} = 174721,12 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{\text{sale}} = 174,72 \text{ kW}$$

El calor ganado por el aire y la carrocería se expresa en la siguiente ecuación de energía almacenada:

$$\dot{E}_{\text{almacenada}} = \dot{Q}_{\text{aire}} + \dot{Q}_{\text{carrocería}} + \dot{Q}_{\text{pérdidas,no cuantificadas}}$$

$$\dot{E}_{\text{almacenada}} = (661317,63 \text{ W}) + (1073,33 \text{ W}) + \dot{Q}_{\text{pérdidas,no cuantificadas}}$$

$$\dot{E}_{\text{almacenada}} = (662391 \text{ W}) + \dot{Q}_{\text{pérdidas,no cuantificadas}}$$

Para el balance de energía del sistema global se obtiene la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{\text{útil}} - \dot{Q}_{\text{sale}} = \dot{E}_{\text{almacenada}}$$

$$(848 \text{ kW}) - (174,72 \text{ kW}) = (662,391 \text{ kW}) + \dot{Q}_{\text{pérdidas,no cuantificadas}}$$

$$\dot{Q}_{\text{pérdidas,no cuantificadas}} = (848 \text{ kW}) - (662,391 \text{ kW})$$

$$\dot{Q}_{p\acute{e}rdidas, no\ cuantificadas} = 10,9\ kW$$

La síntesis de las pérdidas cuantificables en cálculos preliminares y de la energía útil, se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 31. Datos de energía almacenada, útil y de pérdidas.

Energía térmica, teórica	970 kW
Energía útil, térmica	848 kW
Pérdidas por paredes	2,852 kW
Pérdida por puerta	0,432 kW
Pérdida por chimenea	23,25 kW
Pérdida por flujo de gases	148,185 kW
Otras pérdidas no cuantificadas	10,9 kW
Energía ganada carrocería	1,073 kW
Energía almacenada sistema	661,317 kW

3.4.4 Balance de masa y energía en la climatización del aire

La figura 25, 26, 27 representan gráficamente las entradas y salidas de energía, y sus respectivos flujos volumétricos y másicos, para el proceso de calentamiento del aire.

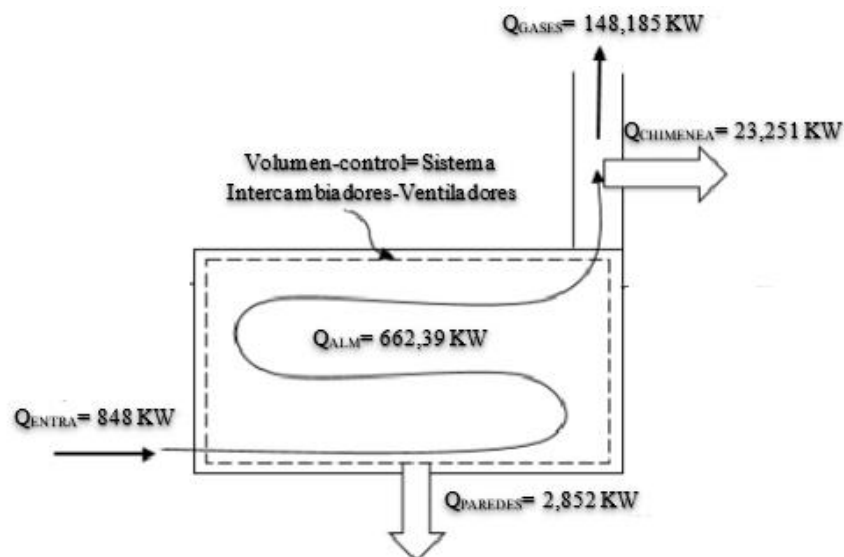


Figura 26. Balance de pérdidas térmicas en el sistema de calentamiento (intercambiadores y chimenea).

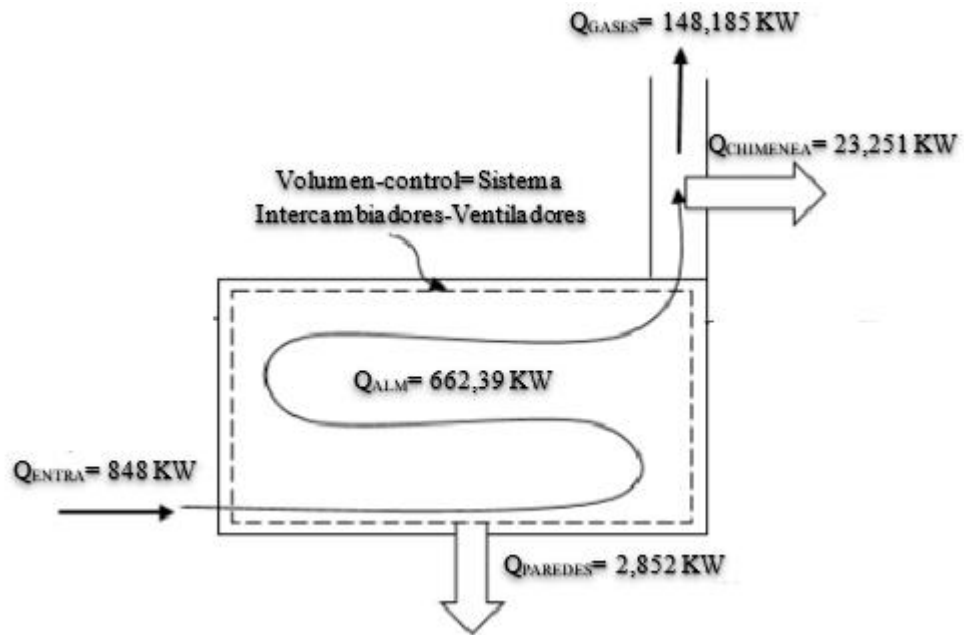


Figura 27. Balance de pérdidas de masa cuantificadas en el sistema intercambiadores y chimenea.

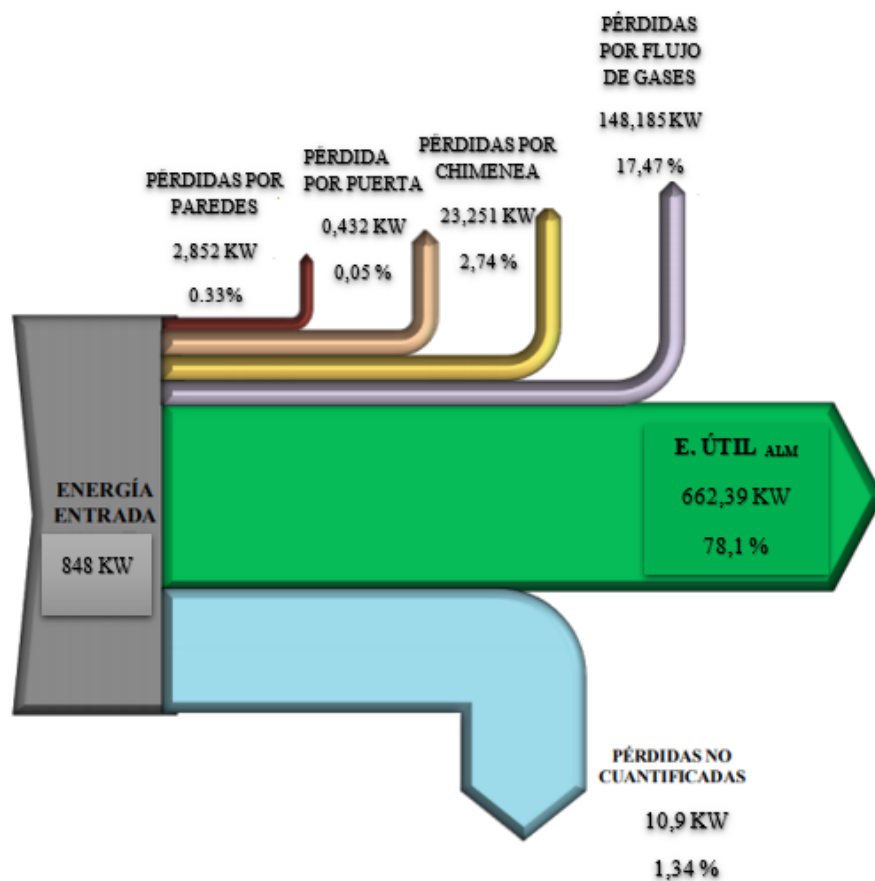


Figura 28. Diagrama Sankey de pérdidas, energía útil y almacenada del sistema.

Un total de 10,9 KW (1,6%) constituyen a pérdidas no cuantificadas en el proceso, en donde las causas más probables pueden ser el aislamiento térmico de las paredes y principalmente en el piso, ya que, no cuenta con un recubrimiento adecuado para la conservación del calor en todo el trayecto de la casa de aire. También la estructura metálica, sus paredes y los equipos absorben una determinada cantidad de calor.

3.4.5 Estimaciones de eficiencia

3.4.5.1 Cálculo de eficiencia térmica

$$n_t = \frac{\dot{Q}_r}{\dot{Q}_e}$$

Donde:

\dot{Q}_r : calor requerido (KW)

\dot{Q}_e : calor de entrada (KW)

$$n_t = \frac{(662,39) kW}{970 kW}$$

$$n_t = 0.68$$

$$n_t = \mathbf{68\%}$$

3.4.5.2 Cálculo de eficiencia mecánica de ventiladores

En la casa de aire se encuentran dos ventiladores centrífugos de iguales características que se detallan a continuación:

Tabla 32. Datos técnicos de ventilador centrífugo.

Datos de placa	
Marca: Moudi	Velocidad de salida: 15,8 m/s
Ventilador tipo: K	Presión estática: 1070 Pa
Potencia – eje: 82,89 KW – 111,11 HP	Presión dinámica: 149 Pa
Velocidad de rotación: 700 rpm	Presión aire: 101325 Pa
Velocidad del impulsor: 51,3 m/s	Temperatura: 20°C
Caudal volumétrico: 182557 m ³ /h	
Datos de medición	
Caudal volumétrico: 145000 m ³ /h	
Temperatura ambiente: 25 °C	
Velocidad de salida: 12.8 m/s	

Pérdidas por fricción en ductos

Tabla 33. Cálculo de caudal y pérdida en el tramo de entrada de aire.

Datos	
Zona de entrada de aire	
Dimensión a (m)	3,5
Dimensión b (m)	2,64
Área (m ²)	9,28
Velocidad (m/s)	10
Diámetro equivalente (m)	3,32
Pérdida por fricción (hL)-(Pa/m)	0,3
Longitud (m)	9
Densidad aire (Kg/m ³)	0,9
Viscosidad (Pa*s)	1,81E-05
Número de reynolds	1,65E+06
Tipo de flujo	turbulento
Resultados	
Caudal (m ³ /s)	92,75
Caudal (m ³ /h)	333900
Pérdida total (HL)-(Pa)	0,09
Pérdida total (Hv)-(Pa)	60,19

Tabla 34. Cálculo de caudal y pérdida en la zona de intercambiadores de calor.

Datos	
Zona de intercambiadores	
Intercambiador de calor 1	
Dimensión a (m)	1,64
Dimensión b (m)	2
Área (m ²)	3,28
Velocidad (m/s)	8
Diámetro equivalente (m)	1,98
Pérdida por fricción (hL)-(Pa/m)	0,2
Longitud (m)	2,5
Densidad aire (Kg/m ³)	0,9
Viscosidad (Pa*s)	1,81E-05
Número de reynolds	7,87E+05
Tipo de flujo	turbulento
Intercambiador de calor 2	
Dimensión a (m)	1,64
Dimensión b (m)	2
Área (m ²)	3,28
Velocidad (m/s)	8
Diámetro equivalente (m)	1,98
Pérdida por fricción (hL)-(Pa/m)	0,2
Longitud (m)	2,5
Densidad aire (Kg/m ³)	0,9
Viscosidad (Pa*s)	1,81E-05
Número de reynolds	7,87E+05
Tipo de flujo	turbulento
Resultados	
Intercambiador de calor 1	
Caudal (m ³ /s)	26,24
Caudal (m ³ /h)	94464
Pérdida total (HL)-(Pa)	0,02
Pérdida total (Hv)-(Pa)	38,52
Intercambiador de calor 2	
Caudal (m ³ /s)	26,24
Caudal (m ³ /h)	94464
Pérdida total (HL)-(Pa)	0,02
Pérdida total (Hv)-(Pa)	38,52

Tabla 35. Cálculo de caudal y pérdida en la zona de rompegotas.

Datos	
Zona de rompegotas	
Dimensión a (m)	2,9
Dimensión b (m)	4
Área (m ²)	11,60
Velocidad (m/s)	7,5
Diámetro equivalente (m)	3,71
Pérdida por fricción (hL)-(Pa/m)	0,12
Longitud (m)	3
Densidad aire (Kg/m ³)	1,18
Viscosidad (Pa*s)	1,81E-05
Número de reynolds	1,81E+06
Tipo de flujo	turbulento
Resultados	
Caudal (m ³ /s)	87,00
Caudal (m ³ /h)	313200
Pérdida total (HL)-(Pa)	0,01
Pérdida total (Hv)-(Pa)	33,86

Tabla 36. Cálculo de caudal y pérdida en la zona de inyección de aire.

Datos	
Zona de inyección	
Dimensión a (m)	2,9
Dimensión b (m)	5
Área (m ²)	14,50
Velocidad (m/s)	6,6
Diámetro equivalente (m)	4,12
Pérdida por fricción (hL)-(Pa/m)	0,12
Longitud (m)	4,2
Densidad aire (Kg/m ³)	1,18
Viscosidad (Pa*s)	1,81E-05
Número de reynolds	1,77E+06
Tipo de flujo	turbulento
Resultados	
Caudal (m ³ /s)	95,70
Caudal (m ³ /h)	344520
Pérdida total (HL)-(Pa)	0,02
Pérdida total (Hv)-(Pa)	26,22

Tabla 37. Cálculo de caudal y pérdida en la zona de ductos de descarga.

Datos	
Zona ductos de descarga	
Ventilador 1	
Dimensión a (m)	1,8
Dimensión b (m)	1,4
Área (m ²)	2,52
Velocidad (m/s)	12,5
Diámetro equivalente (m)	1,73
Pérdida por fricción (hL)-(Pa/m)	0,4
Longitud (m)	3,21
Densidad aire (Kg/m ³)	1,18
Viscosidad (Pa*s)	1,81E-05
Número de reynolds	1,41E+06
Tipo de flujo	turbulento
Ventilador 2	
Dimensión a (m)	1,8
Dimensión b (m)	1,4
Área (m ²)	2,52
Velocidad (m/s)	12,4
Diámetro equivalente (m)	1,73
Pérdida por fricción (hL)-(Pa/m)	0,4
Longitud (m)	7,5
Densidad aire (Kg/m ³)	1,18
Viscosidad (Pa*s)	1,81E-05
Número de reynolds	1,40E+06
Tipo de flujo	turbulento
Resultados	
Ventilador 1	
Caudal (m ³ /s)	31,50
Caudal (m ³ /h)	113400
Pérdida total (HL)-(Pa)	0,04
Pérdida total (Hv)-(Pa)	94,05
Ventilador 2	
Caudal (m ³ /s)	31,25
Caudal (m ³ /h)	112492,8
Pérdida total (HL)-(Pa)	0,10
Pérdida total (Hv)-(Pa)	92,55

Tabla 38. Cálculo de caudal y pérdida en la zona de cabina de pintura.

Datos	
Zona cabina de pintura	
Dimensión a (m)	5,1
Dimensión b (m)	1,5
Área (m ²)	7,65
Velocidad (m/s)	12,5
Diámetro equivalente (m)	2,89
Pérdida por fricción (hL)-(Pa/m)	0,3
Longitud (m)	32,8
Densidad aire (Kg/m ³)	1,18
Viscosidad (Pa*s)	1,81E-05
Número de reynolds	2,36E+06
Tipo de flujo	turbulento
Resultados	
Caudal (m ³ /s)	95,63
Caudal (m ³ /h)	344250
Pérdida total (HL)-(Pa)	0,32
Pérdida total (Hv)-(Pa)	94,05

Tabla 39. Resultados de pérdidas en tramo y presión en el sistema.

Datos	Pérdida	
	Total en tramo (Pa)	Por presión (Pa)
Zona de entrada de aire	0,09	60,19
Zona de intercambiadores de calor	0,03	77,05
Zona de rompe-gotas	0,01	33,86
Zona de inyección	0,02	26,22
Zona de ductos de descarga	0,14	186,61
Zona de cabina de pintura	0,32	94,05
Resultados	0,61	477,98

Tabla 40. Resultados caudales y velocidades de operación en el sistema.

Datos	Q (m ³ /h)	V (m/s)
Zona de entrada de aire	333900	10
Zona de intercambiadores de calor	188928	8
Zona de rompegotas	313200	7,5
Zona de inyección	344520	6,6
Zona de ductos de descarga	225892,8	12,5
Zona de cabina de pintura	344250	12,5

Debido a las pérdidas por fricción y presión calculadas el caudal entregado varía considerablemente por las restricciones implementadas en el interior de los ductos. Por lo tanto, en la zona de los ventiladores representa un 6% de pérdidas del caudal teórico proporcionado por los datos de placa.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Caudal de salida}}{\text{Caudal de entrada}}$$

$$n_m = \frac{Q_s}{Q_e}$$

Donde:

Q_s : Caudal de salida (m³/s)

Q_e : Caudal de entrada (m³/s)

3.4.5.3 Eficiencia de caudal volumétrico ventilador 1

$$n_{m1} = \frac{113400}{182557}$$

$$n_{m1} = 0,62$$

$$n_{m1} = \mathbf{62\%}$$

3.4.5.4 Eficiencia de caudal volumétrico ventilador 2

$$n_{m2} = \frac{112492,8}{182557}$$

$$n_{m2} = 0,61$$

$$n_{m2} = \mathbf{61\%}$$

3.4.5.5 Cálculo de la eficiencia eléctrica

Se realizó un análisis detallado del rendimiento de los motores trifásicos de la casa de aire, donde se procedió a realizar los cálculos de la respectiva eficiencia de cada motor. En la tabla se observa los datos de placa y la información obtenida con los equipos de medición (pinza amperimétrica).

3.4.5.5.1 Eficiencia motor eléctrico 1

Tabla 41. Datos técnicos de motor trifásico 1 y mediciones experimentales.

Datos de placa	
Marca: Angle Grinder	Frecuencia: 50 – Hz
Potencia: 90 KW – 120,7 HP	Rpm: 1185
Voltaje: 380 V	Factor de potencia: 0,85
Amperaje: 169 A	
Datos de medición	
Amperaje: 150 A	
Voltaje: 375 V	
Temperatura superficial: 33.9 °C	
Temperatura ambiente: 25 °C	

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ de\ entrada}{Potencia\ de\ salida}$$

$$n_{e1} = \frac{HP * 746}{\sqrt{3} * V * I * F_p}$$

Donde:

HP: potencia motor

V: voltaje

I: amperaje

Fp: factor de potencia

Mediante los datos de placa se calcula la eficiencia tomando la potencia mecánica de salida y los datos de la potencia eléctrica de entrada. La potencia activa se encuentra determinada en el denominador de ecuación de eficiencia, donde se emplea los datos obtenidos con los equipos de medición.

$$n_{e1} = \frac{90 * 746}{\sqrt{3} * 375 * 150 * 0,85}$$

$$n_{e1} = 0,811$$

$$n_{e1} = \mathbf{81.1 \%}$$

3.4.5.5.2 Eficiencia motor eléctrico 2

Tabla 42. Datos técnicos de motor trifásico 2 y mediciones experimentales.

Datos de placa	
Marca: Angle Grinder	Frecuencia: 50 – Hz
Potencia: 90 KW – 120,7 HP	Rpm: 1185
Voltaje: 380 V	Factor de potencia: 0,85
Amperaje: 169 A	
Datos de medición	
Amperaje: 152 A	
Voltaje: 378 V	
Temperatura superficial: 35 °C	
Temperatura ambiente: 25 °C	

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ de\ entrada}{Potencia\ de\ salida}$$

$$n_{e2} = \frac{HP * 746}{\sqrt{3} * V * I * F_p}$$

$$n_{e2} = \frac{90 * 746}{\sqrt{3} * 378 * 152 * 0,85}$$

$$n_{e2} = 0,794$$

$$n_{e2} = 79,4 \%$$

3.5 Línea de base para determinación actual de consumos energéticos

Tabla 43. Datos de consumo del sistema.

Consumo Anual, período 2020 - 2021		Precio (\$/unidad)	Valor (Dólares)
Diésel (Gal)	30310	1,56	47283
Electricidad (kW*h)	345600	0,1	34560
		Total (\$)	81843

Análisis: La casa de aire tiene un gasto anual de \$ 81843 para abastecer de aire caliente a la cabina de pintura a una temperatura óptima de 25 °C, el gasto por consumo de diésel corresponde a un valor de \$ 47283 (58%) por el empleo de los quemadores industriales y el valor del consumo eléctrico de los motores trifásicos equivale a \$34560 (42%).

Se puede aplicar algunas sugerencias planteadas por FENERCOM para reducir costos de producción, que se detallan en la siguiente tabla.

3.6 Alternativas de optimización de aprovechamiento energético

Tabla 44. Alternativas viables de aplicación.

Sistema - equipo	Posibles mejoras	Resultados	Ahorro estimado
Intercambiador	Optimización de la combustión	Ahorro de combustible	15%
	Aprovechamiento de calores residuales	Empleo del calor para ACS/ calefacción	25%
Motor eléctrico	Aplicar curva de arranque controlada por rampa	Reducción de costos en factura	15%

De estas tres alternativas se consideró la primera y segunda opción por ser las que involucra mayor ahorro de energía en diésel.

Ahorro teórico aplicando la optimización de combustión

Pérdidas térmicas = 122000 W

Ahorro tentativo= 18300 W

Ahorro tentativo= 18,3 kW

Ahorro teórico aplicando aprovechamiento de gases residuales

Pérdidas térmicas = 148185,25 W

Ahorro tentativo= 37046,31 W

Ahorro tentativo= 37,05 kW

Ahorro teórico aplicando la curva de arranque controlada por rampa

Energía consumida = 345600 kW*h

Ahorro tentativo= 51840 kW*h

Tomando en cuenta que la mayor cantidad de calor en pérdidas se encuentra en los gases residuales de la chimenea, se puede optimizar aprovechando dicho fluido para reutilizarlo para recalentar el aire.

Tabla 45. Síntesis de pérdidas y energía aprovechable.

Pérdidas unificadas	Valor	Total [kW]
Pérdidas por paredes [kW]	2,852	37,4
Pérdida por puerta [kW]	0,432	
Pérdida por chimenea [kW]	23,25	
Otras pérdidas no cuantificadas [kW]	10,9	
Alternativa de aprovechamiento	25%	
Pérdida por flujo de gases [kW]	148,185	37,05

3.7 Propuesta para aprovechamiento de calor residual de gases de chimenea

3.7.1 Aprovechamiento del calor residual de los gases de escape para precalentamiento del aire para combustión en quemadores

Se propone criterios técnicos de ingeniería, para aprovechar el calor de los gases residuales de la chimenea para calentar aire y redirigirlo nuevamente a los quemadores. Aumentando la eficiencia y reduciendo costos de consumo de diésel.

Según Montaña Raúl en su investigación de calderas, determinó que realizando un precalentamiento del aire a una temperatura de 60°C (333°K) para el proceso de combustión existe un aumento de la eficiencia hasta de 1,3% [22].

Tabla 46. Cálculo de la potencia térmica estimada precalentando el aire a 60 °C.

Datos				
React/prod	N (Kmol)	hf (KJ/kmol)	h 333K (KJ/kmol)	h 660K (KJ/kmol)
$C_{12}H_{26}$	1	-291010	-	-
O_2	2,96	0	9708,8	19870
N_2	80,69	0	9684,3	19380
CO_2	11,99	-393520	10686,7	25160
CO	0,01	-110530	9684,6	19449
H_2O	13	-285830	11077,4	22600
Resultados				
$\sum N_r (\bar{h}_{of} + \bar{h} - h^o)_r$		KJ/kmol	-291010	
$\sum N_p (\bar{h}_{of} + \bar{h} - h^o)_p$		(KJ/kmol)	-7299350,6	
Q reacción		(KJ/kmol diésel)	7008340,6	
Masa molar diésel		(Kg/kmol diésel)	170	
Q reacción		(KJ/Kg diésel)	41225,53	
Flujo másico diésel		(Kg/s diésel)	0,01	
Potencia térmica		(KW)	429	

$$Eficiencia_{optimizada} = \frac{Potencia\ estimada}{Potencia\ Actual}$$

$$Eficiencia_{optimizada} = \frac{429 \text{ kW}}{485 \text{ kW}}$$

$$Eficiencia_{optimizada} = 88,5 \%$$

Utilizando la referencia de la cita anterior se obtuvo una potencia de 429 kW, que representaría un aumento de la eficiencia a 88,5% en comparación a la potencia térmica actual de 424 kW. Se comprueba que existiría aumento en la eficiencia utilizando los criterios técnicos propuestos por Montaña Raúl.

Tabla 47. Potencia actual y estimada de aprovechamiento.

Resumen de Potencias Térmicas	
Descripción	Valor
Potencia teórica [kW]	970
Eficiencia estimada [%]	88,5
Potencia aprovechada [kW]	858
Potencia actual [kW]	848
Incremento en potencia [kW]	10

Tabla 48. Ahorro estimado en consumo de diésel por precalentamiento de aire.

Ahorro Estimado de Combustible	
Potencia Aprovechable (kW)	10,00
Densidad energética diésel [KJ/Kg]	45000
Densidad diésel [Kg/m ³]	780
Horas de funcionamiento [h]	8
Horas de funcionamiento al año [h/año]	2016
Costo galón diésel [\$]	1,9
Resultados	
Flujo másico [Kg/s]	2,22E-04
Flujo volumétrico [m ³ /s]	2,849E-07
Consumo estimado diésel anual [Gal/año]	546
Ahorro estimado anual [\$ /año]	1038

Análisis: Utilizando 10 kW para el precalentamiento de aire en el proceso de combustión en los quemadores se ahorraría aproximadamente 546 galones de diésel, lo que representa en términos económicos un ahorro estimado de 1038 dólares al año.

3.7.2 Aprovechamiento del calor residual de los gases de escape para retornarlo al túnel de secado

Dado que las pérdidas por paredes y puertas en la cámara alcanzan 37,4 kW, y que el aprovechamiento energético de los gases de escape podría llegar hasta 37,05 kW. Se podría utilizar parte del flujo de gases luego de utilizar sistemas de filtrado e intercambiadores de calor, para aprovecharlo al interior del túnel de secado. Con lo cual se optimizaría el tiempo de encendido de los quemadores en aproximadamente 2 horas, considerando el funcionamiento actual.

Tabla 49. Ahorro estimado en consumo de diésel por aprovechamiento de calor residual de los gases de escape.

Ahorro Estimado de Combustible	
Potencia Aprovechable (kW)	37,05
Densidad energética diésel [KJ/Kg]	45000
Densidad diésel [Kg/m ³]	780
Apagado por optimización [h]	2
Horas de funcionamiento al año [h/año]	504
Costo galón diésel [\$]	1,9
Resultados	
Flujo másico [Kg/s]	8,23E-04
Flujo volumétrico [m ³ /s]	1,06E-06
Consumo estimado diésel anual [Gal/año]	506
Ahorro estimado anual [\$/año]	961

Análisis: Utilizando la potencia de 37,05 kW de los gases residuales se podría aprovechar en el interior de la cámara de secado, teniendo un ahorro aproximado de 506 galones de diésel, lo que representa en términos económicos un ahorro estimado de 961 dólares al año.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Usando termografía industrial en equipos eléctricos se visualizó que en el motor #1 presentó una temperatura máxima de 34°C en condición extrema de funcionamiento, que no afecta a los componentes internos del motor; mientras que en el motor #2 el nivel de calentamiento en la estructura llegó a una temperatura máxima de 35°C. Por lo tanto, se encuentran en condiciones óptimas de funcionamiento por los mantenimientos preventivos mensuales aplicados. En cuanto al equipo mecánico, específicamente a las chumaceras de los ventiladores, se determinó que la temperatura de trabajo se encuentra con un promedio de 25.5 °C, ya que el control de aplicación del lubricante es eficiente y programado.
- Utilizando termografía industrial en equipos térmicos se visualizó que la distribución de calor no es uniforme en la zona de intercambiadores, ya que, presentan problemas en los pasos de los tubos provocando condensación de los gases de combustión, lo que genera una deficiente temperatura de salida hacia la chimenea con temperaturas inferiores a los 110°C. La falta de mantenimiento afectó a la soldadura de las uniones del hogar de los intercambiadores, provocando roturas o grietas en la estructura.
- Se determinó que las pérdidas de energía térmica alcanzan: 2,85 kW por paredes de la casa de aire, 0,43 kW de pérdida en la puerta de entrada de la cabina de pintura; 23,25 kW por paredes de las chimeneas y 148,18 kW por el escape de gases en la chimenea. Dichas pérdidas principalmente se generaron por aberturas en las paredes de la casa de aire y por el aislamiento térmico en

condiciones deficientes. Se determinó un total de 10,9 kW que constituyen a pérdidas no cuantificadas en el proceso, en donde el aislamiento térmico del piso, no cuenta con un recubrimiento adecuado para la conservación del calor en todo el trayecto de la casa de aire.

- Se determinó que la eficiencia térmica alcanza un valor de 68% por las pérdidas considerables de calor en el trayecto de la casa de aire, la eficiencia eléctrica en el primer motor trifásico #1 es de 81,1% mientras que en el motor #2 llega a 79,4%. En cuanto a la eficiencia mecánica alcanza un valor de 62% en el primer ventilador mientras que el segundo ventilador llega a 61% por las grandes restricciones en el trayecto de los ductos, principalmente en la zona de entrada de aire.
- Se determinó que existen dos alternativas de aprovechamiento energético viables que pueden ayudar a la mejora del rendimiento en el sistema térmico. La primera es la optimización del proceso de combustión en los quemadores, con lo que se podría aumentar la potencia térmica hasta 10 kW, mientras que la segunda alternativa es el aprovechamiento de los 37,05 kW de los gases de escape por la chimenea, para redirigir dicho calor al proceso del túnel de secado de la cabina de pintura.
- Con el calor residual que generan los intercambiadores de calor se podría aprovechar hasta un 25% del total de los gases por chimenea, que corresponde a 37,05 kW con un flujo másico de 0,39 Kg/s y con una temperatura de 110°C. Se determinó que precalentado el aire a una temperatura de 60 °C y redirigirlo al proceso de combustión del quemador, se puede obtener una potencia aprovechada de 858 kW, aumentando la eficiencia a 88,5 % en comparación a la potencia actual de funcionamiento de 848 KW.

4.2 Recomendaciones

- Para el empleo de la cámara termográfica siempre se debe tener en cuenta los siguientes aspectos: la distancia a la que se realiza la medición, la temperatura reflejada, la emisividad del material y también la temperatura ambiente a la que se encuentra el entorno.
- Tener mucho cuidado y precaución al momento de realizar las mediciones con la cámara termográfica ya que es un instrumento muy sensible y cualquier golpe o caída dañaría la sensibilidad de los componentes internos.
- Utilizar los implementos de protección personal (EPP) como casco de seguridad, zapatos industriales, guantes de seguridad, gafas para evitar cualquier daño a la integridad humana.
- El estudio de la eficiencia energética es muy esencial, lo cual sería muy acertado, la implementación de este estudio para la inclusión de los demás sistemas de consumo térmico y eléctrico que componen a la planta de pintura.
- Revisar el estado de los aislantes térmicos en todo trayecto de la casa de aire, tanto de las paredes como las del piso, ya que se encuentran con un desgaste notable.

BIBLIOGRAFÍA




- [1] E. R. Reginaldo Quispe, «Evaluación de eficiencia energética de máquinas herramientas en el taller automotriz del IESTP Mario Gutiérrez López, Orcotuna - Concepción,» Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, 2018.
- [2] N. A. Caiza López, «Termografía industrial en motores eléctricos de la planta SOGUAR S.A. para determinar parámetros de mantenimiento predictivo,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2016.
- [3] C. G. Velasteguí Valdiviezo, «Auditoría Energética de los Laboratorios de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2017.
- [4] O. G. Arellano Bastidas, «Estudio y análisis de eficiencia energética del sistema eléctrico del Hospital IESS - IBARRA,» Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, Quito, 2015.
- [5] S. P. Cabrera Anda, «Evaluación de pérdidas térmicas en el sistema de generación y distribución de vapor del Hospital “Dr. Julio Enrique Paredes” Unidad Oncológica SOLCA TUNGURAHUA, año 2014. Propuesta para optimización del aprovechamiento energético,» Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2016.
- [6] D. H. Moscoso Acosta y M. I. Quinga Morales, «Diseño e implementación de una cabina de pintura automotriz controlada electrónicamente, para los Talleres Multimarcas MOSCOSO,» Escuela Politécnica del Ejército , Latacunga, 2010.
- [7] E. R. Becerra Palacios y C. E. Riquetti Peralta, «Estudio y análisis de eficiencia energética en los principales sistemas energéticos del Hospital Vicente Corral Moscoso,» Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Quito, 2015.

- [8] J. F. Guevara Guzmán, «Implementación de una Cabina de Pintura para Cofres Mortuorios en la Fábrica Las Maderas de la Ciudad de Ambato,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2015.
- [9] F. R. Gonzalón Alcarráz y G. G. Tapia Orbea, «Determinación de los Parámetros del proceso de Climatización de la Cabina de Pintura de la Planta de Esmalte de la Empresa General Motors - OBB,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2011.
- [10] F. P. Incropera y D. P. DeWitt, Fundamentos de Transferencia de Calor, México: Pearson Educación, 1999.
- [11] Y. A. Cengel y A. J. Ghajar, Transferencia de Calor y Masa, México: McGraw Hill Educación, 2011.
- [12] J. P. Holman, Transferencia de Calor, México: Continental S.A., 1999.
- [13] R. L. Mott, Mecánica de Fluidos, México: Pearson Educación, 2006.
- [14] E. G. Pita, «Acondicionamiento de Aire - Principios y Sistemas,» Grupo GEO Impresores S.A. de C.V., México, 2005.
- [15] M. Cañada Soriano y R. Royo Pastor, Termografía Infrarroja, Nivel II, Madrid: Fundación Confemetal.
- [16] Fundación de la energía de la comunidad de Madrid, «Guía de la termografía infrarroja - Aplicaciones en ahorro y eficiencia energética,» FENERCOM, Madrid, 2011.
- [17] F. J. Rey Martínez y E. Velasco Gómez, Eficiencia Energética en Edificios. Certificación y Auditorías Energéticas, Madrid: International Thomson Editores Spain, 2006.
- [18] Fundación de la energía de la comunidad de Madrid, «Guía de Ahorro Energético - Instalaciones Industriales,» FENERCOM, Madrid, 2006.

- [19] FLUKE, «Cedesa,» [En línea]. Available:
https://www.cedesa.com.mx/pdf/fluke/fluke-374-375-376_user_manual.pdf.
- [20] J. F. Coronel Toro, «Colección de Tablas, Gráficas y Ecuaciones de Transmisión de Calor,» Universidad de Sevilla, Sevilla, 2014.
- [21] S. Kakaç y H. Liu, «Heat Exchangers Selection, Rating, and Thermal Design,» Taylor & Francis Group, LLC, Miami, 2002.
- [22] R. E. Montaña Marmolejo, «Cálculo de Precalentadores del Aire Primario y Secundario de la Caldera 5 del Ingenio Castilla Industrial S.A.,» Universidad Autónoma de Occidente, Cali, 2007.

ANEXOS

ANEXO 1. Ficha técnica quemador

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE:	MÁQUINA	EQUIPO X	SISTEMA
		TALLER INDUSTRIAL	
		 	
		CÓDIGO: PLANTA PINTURA CIAUTO	
		QUEMADOR I	
CARACTERÍSTICAS GENERALES			
SERIE:	18445020103 - R	VOLTAJE:	100 V AC/DC
MARCA:	RIELLO	POTENCIA ELÉCTRICA:	0,42 KW
PROCEDENCIA:	ITALIA	CALOR DE SALIDA:	155/235 - 485 KW
MODELO:	RL 44 MZ	TEMPERATURA FUNCIONAL:	0/40 °C
FRECUENCIA:	50 - 60 Hz	AMPERIOS:	10A
COMPONENTES			
Ventilador tipo centrífugo con palas curvas		Motor eléctrico	
Boquillas		Válvulas hidráulicas	
Tanque de almacenamiento de diésel		Amortiguador de aire	
Esta máquina tiene manual de fabricante			
FUNCIÓN: Permite mezclar el combustible (diésel) con el aire para que genere llamas controladas para climatizar ambientes.			

ANEXO 2. Ficha técnica ventilador

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE:	MÁQUINA	X	EQUIPO
		SISTEMA	
		TALLER INDUSTRIAL	
		 	
		CÓDIGO: PLANTA PINTURA CIAUTO	
VENTILADOR CENTRÍFUGO I			
CARACTERÍSTICAS GENERALES			
SERIE:	K15331	FLUJO VOLUMÉTRICO:	182557 m ³ /h
MARCA:	MOUDI	POTENCIA EN EL EJE:	82,89 kW
PROCEDENCIA:	CHINA	TIPO DE VENTILADOR:	MDK-1400
EFICIENCIA:	74,50%	VELOCIDAD DE SALIDA:	15,8 m/s
PESO:	7000 Kg	PRESIÓN TOTAL:	1219 Pa
COMPONENTES			
Base de soporte		Rodete	
Resortes antivibratorios		Carcasa	
Motor trifásico		Boca de descarga	
Esta máquina tiene manual de fabricante			
FUNCIÓN: Permite la circulación de un determinado flujo de aire hacia un espacio o estructura cerrada.			

ANEXO 3. Ficha técnica motor eléctrico

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE:	MÁQUINA	X	EQUIPO		SISTEMA
			TALLER INDUSTRIAL		
			 		
			CÓDIGO: PLANTA PINTURA CIAUTO		
Trituradora de plantas					
CARACTERÍSTICAS GENERALES					
MARCA:	ANGLE GRINDER	VOLTAJE:	380 A/C		
PROCEDENCIA:	CHINA	POTENCIA:	90 KW		
MODELO:	LDf-B-400	TIPO:	TRIFÁSICO		
FRECUENCIA:	50 - 60 Hz	VELOCIDAD:	1185 RPM		
PESO:	936 Kg	AMPERIOS:	169 A		
COMPONENTES					
Eje	Polea - Bandas				
Rodamientos	Caja de circuitos				
Placa técnica	Bobinas				
Esta máquina tiene manual de fabricante					
FUNCIÓN: Permite convertir la energía eléctrica en energía mecánica de rotación mediante bobinas que inducen campos magnéticos.					

ANEXO 4. Tabla de propiedades de gases

TABLA A-1

Masa molar, constante de gas y calores específicos de ciertas sustancias

Sustancia	Masa molar <i>M</i> , kg/kmol	Constante de gas <i>R</i> , kJ/kg · K*	Calores específicos a 25°C		
			<i>c_p</i> , kJ/kg · K	<i>c_v</i> , kJ/kg · K	<i>k</i> = <i>c_p</i> / <i>c_v</i>
Aire	28.97	0.2870	1.005	0.7180	1.400
Amoniaco, NH ₃	17.03	0.4882	2.093	1.605	1.304
Argón, Ar	39.95	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Bromo, Br ₂	159.81	0.05202	0.2253	0.1732	1.300
Isobutano, C ₄ H ₁₀	58.12	0.1430	1.663	1.520	1.094
<i>n</i> -Butano, C ₄ H ₁₀	58.12	0.1430	1.694	1.551	1.092
Carbono, bióxido de, CO ₂	44.01	0.1889	0.8439	0.6550	1.288
Carbono, monóxido de, CO	28.01	0.2968	1.039	0.7417	1.400
Cloro, Cl ₂	70.905	0.1173	0.4781	0.3608	1.325
Clorodifluorometano (R-22), CHClF ₂	86.47	0.09615	0.6496	0.5535	1.174
Etano, C ₂ H ₆	30.070	0.2765	1.744	1.468	1.188
Etileno, C ₂ H ₄	28.054	0.2964	1.527	1.231	1.241
Fluoruro, F ₂	38.00	0.2187	0.8237	0.6050	1.362
Helio, He	4.003	2.077	5.193	3.116	1.667
<i>n</i> -Heptano, C ₇ H ₁₆	100.20	0.08297	1.649	1.566	1.053
<i>n</i> -Hexano, C ₆ H ₁₄	86.18	0.09647	1.654	1.558	1.062
Hidrógeno, H ₂	2.016	4.124	14.30	10.18	1.405
Kriptón, Kr	83.80	0.09921	0.2480	0.1488	1.667
Metano, CH ₄	16.04	0.5182	2.226	1.708	1.303
Neón, Ne	20.183	0.4119	1.030	0.6180	1.667
Nitrógeno, N ₂	28.01	0.2968	1.040	0.7429	1.400
Óxido nítrico, NO	30.006	0.2771	0.9992	0.7221	1.384
Nitrógeno, bióxido de, NO ₂	46.006	0.1889	0.8060	0.6171	1.306
Oxígeno, O ₂	32.00	0.2598	0.9180	0.6582	1.395
<i>n</i> -Pentano, C ₅ H ₁₂	72.15	0.1152	1.664	1.549	1.074
Propano, C ₃ H ₈	44.097	0.1885	1.669	1.480	1.127
Propileno, C ₃ H ₆	42.08	0.1976	1.531	1.333	1.148
Agua, H ₂ O	18.015	0.4615	1.865	1.403	1.329
Sulfuro, bióxido de, SO ₂	64.06	0.1298	0.6228	0.4930	1.263
Tetraclorometano, CCl ₄	153.82	0.05405	0.5415	0.4875	1.111
Tetrafluoroetano (R-134a), C ₂ H ₂ F ₄	102.03	0.08149	0.8334	0.7519	1.108
Trifluoroetano (R-143a), C ₂ H ₃ F ₃	84.04	0.09893	0.9291	0.8302	1.119
Xenón, Xe	131.30	0.06332	0.1583	0.09499	1.667

ANEXO 5. Tabla de propiedades del aire

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., <i>T</i> , °C	Densidad, <i>ρ</i> , kg/m ³	Calor específico, <i>c_p</i> , J/kg · K	Conductividad térmica, <i>k</i> , W/m · K	Difusividad térmica, <i>α</i> , m ² /s ²	Viscosidad dinámica, <i>μ</i> , kg/m · s	Viscosidad cinemática, <i>ν</i> , m ² /s	Número de Prandtl, <i>Pr</i>
-150	2.866	983	0.01171	4.158 × 10 ⁻⁶	8.636 × 10 ⁻⁶	3.013 × 10 ⁻⁶	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036 × 10 ⁻⁶	1.189 × 10 ⁻⁶	5.837 × 10 ⁻⁶	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252 × 10 ⁻⁵	1.474 × 10 ⁻⁵	9.319 × 10 ⁻⁶	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356 × 10 ⁻⁵	1.527 × 10 ⁻⁵	1.008 × 10 ⁻⁵	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465 × 10 ⁻⁵	1.579 × 10 ⁻⁵	1.087 × 10 ⁻⁵	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578 × 10 ⁻⁵	1.630 × 10 ⁻⁵	1.169 × 10 ⁻⁵	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696 × 10 ⁻⁵	1.680 × 10 ⁻⁵	1.252 × 10 ⁻⁵	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818 × 10 ⁻⁵	1.729 × 10 ⁻⁵	1.338 × 10 ⁻⁵	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880 × 10 ⁻⁵	1.754 × 10 ⁻⁵	1.382 × 10 ⁻⁵	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944 × 10 ⁻⁵	1.778 × 10 ⁻⁵	1.426 × 10 ⁻⁵	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009 × 10 ⁻⁵	1.802 × 10 ⁻⁵	1.470 × 10 ⁻⁵	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074 × 10 ⁻⁵	1.825 × 10 ⁻⁵	1.516 × 10 ⁻⁵	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141 × 10 ⁻⁵	1.849 × 10 ⁻⁵	1.562 × 10 ⁻⁵	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208 × 10 ⁻⁵	1.872 × 10 ⁻⁵	1.608 × 10 ⁻⁵	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277 × 10 ⁻⁵	1.895 × 10 ⁻⁵	1.655 × 10 ⁻⁵	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346 × 10 ⁻⁵	1.918 × 10 ⁻⁵	1.702 × 10 ⁻⁵	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416 × 10 ⁻⁵	1.941 × 10 ⁻⁵	1.750 × 10 ⁻⁵	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487 × 10 ⁻⁵	1.963 × 10 ⁻⁵	1.798 × 10 ⁻⁵	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632 × 10 ⁻⁵	2.008 × 10 ⁻⁵	1.896 × 10 ⁻⁵	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780 × 10 ⁻⁵	2.052 × 10 ⁻⁵	1.995 × 10 ⁻⁵	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931 × 10 ⁻⁵	2.096 × 10 ⁻⁵	2.097 × 10 ⁻⁵	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086 × 10 ⁻⁵	2.139 × 10 ⁻⁵	2.201 × 10 ⁻⁵	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243 × 10 ⁻⁵	2.181 × 10 ⁻⁵	2.306 × 10 ⁻⁵	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565 × 10 ⁻⁵	2.264 × 10 ⁻⁵	2.522 × 10 ⁻⁵	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898 × 10 ⁻⁵	2.345 × 10 ⁻⁵	2.745 × 10 ⁻⁵	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241 × 10 ⁻⁵	2.420 × 10 ⁻⁵	2.975 × 10 ⁻⁵	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593 × 10 ⁻⁵	2.504 × 10 ⁻⁵	3.212 × 10 ⁻⁵	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954 × 10 ⁻⁵	2.577 × 10 ⁻⁵	3.455 × 10 ⁻⁵	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890 × 10 ⁻⁵	2.760 × 10 ⁻⁵	4.091 × 10 ⁻⁵	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871 × 10 ⁻⁵	2.934 × 10 ⁻⁵	4.765 × 10 ⁻⁵	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	7.892 × 10 ⁻⁵	3.101 × 10 ⁻⁵	5.475 × 10 ⁻⁵	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	8.951 × 10 ⁻⁵	3.261 × 10 ⁻⁵	6.219 × 10 ⁻⁵	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	1.004 × 10 ⁻⁴	3.415 × 10 ⁻⁵	6.997 × 10 ⁻⁵	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	1.117 × 10 ⁻⁴	3.563 × 10 ⁻⁵	7.806 × 10 ⁻⁵	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	1.352 × 10 ⁻⁴	3.846 × 10 ⁻⁵	9.515 × 10 ⁻⁵	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	1.598 × 10 ⁻⁴	4.111 × 10 ⁻⁵	1.133 × 10 ⁻⁴	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	1.855 × 10 ⁻⁴	4.362 × 10 ⁻⁵	1.326 × 10 ⁻⁴	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	2.122 × 10 ⁻⁴	4.600 × 10 ⁻⁵	1.529 × 10 ⁻⁴	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	2.398 × 10 ⁻⁴	4.826 × 10 ⁻⁵	1.741 × 10 ⁻⁴	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908 × 10 ⁻⁴	5.817 × 10 ⁻⁵	2.922 × 10 ⁻⁴	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664 × 10 ⁻⁴	6.630 × 10 ⁻⁵	4.270 × 10 ⁻⁴	0.7539

ANEXO 6. Tabla de propiedades de combustibles

Propiedades de algunos combustibles e hidrocarburos comunes

Combustible (fase)	Fórmula	Masa molar, kg/kmol	Densidad, ¹ kg/L	Entalpía de vaporización, ² kJ/kg	Calor específico, ¹ c _p , kJ/kg · K	Poder calorífico superior, ³ kJ/kg	Poder calorífico inferior, ³ kJ/kg
Acetileno (g)	C ₂ H ₂	26.038	—	—	1.69	49,970	48,280
Benceno (ℓ)	C ₆ H ₆	78.114	0.877	433	1.72	41,800	40,100
Butano (ℓ)	C ₄ H ₁₀	58.123	0.579	362	2.42	49,150	45,370
Carbono (s)	C	12.011	2	—	0.708	32,800	32,800
Decano (ℓ)	C ₁₀ H ₂₂	142.285	0.730	361	2.21	47,640	44,240
Diesel ligero (ℓ)	C _n H _{1.8n}	170	0.78–0.84	270	2.2	46,100	43,200
Diesel pesado (ℓ)	C _n H _{1.7n}	200	0.82–0.88	230	1.9	45,500	42,800
Etano (g)	C ₂ H ₆	30.070	—	172	1.75	51,900	47,520
Etanol (ℓ)	C ₂ H ₆ O	46.069	0.790	919	2.44	29,670	26,810
Gas natural (g)	C _n H _{3.8n} N _{0.1n}	18	—	—	2	50,000	45,000
Gasolina (ℓ)	C _n H _{1.87n}	100–110	0.72–0.78	350	2.4	47,300	44,000
Heptano (ℓ)	C ₇ H ₁₆	100.204	0.684	365	2.24	48,100	44,600
Hexano (ℓ)	C ₆ H ₁₂	84.161	0.673	392	1.84	47,500	44,400
Hexeno (ℓ)	C ₆ H ₁₄	86.177	0.660	366	2.27	48,310	44,740
Hidrógeno (g)	H ₂	2.016	—	—	14.4	141,800	120,000
Isopentano (ℓ)	C ₅ H ₁₂	72.150	0.626	—	2.32	48,570	44,910
Metano (g)	CH ₄	16.043	—	509	2.20	55,530	50,050
Metanol (ℓ)	CH ₄ O	32.042	0.790	1168	2.53	22,660	19,920
Monóx. de carbono (g)	CO	28.013	—	—	1.05	10,100	10,100
Octano (ℓ)	C ₈ H ₁₈	114.231	0.703	363	2.23	47,890	44,430
1-Penteno (ℓ)	C ₅ H ₁₀	70.134	0.641	363	2.20	47,760	44,630
Propano (ℓ)	C ₃ H ₈	44.097	0.500	335	2.77	50,330	46,340
Tolueno (ℓ)	C ₇ H ₈	92.141	0.867	412	1.71	42,400	40,500

¹A 1 atm y 20°C.

²A 25°C para combustibles líquidos, y 1 atm y temperatura normal de ebullición para combustibles gaseosos.

³A 25°C. Multiplique por la masa molar para obtener los valores caloríficos en kJ/kmol.

ANEXO 7. Tabla de propiedades del oxígeno

Propiedades de gas ideal del oxígeno, O₂

T	\bar{h}	\bar{u}	\bar{s}°	T	\bar{h}	\bar{u}	\bar{s}°
K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/kmol · K	K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/kmol · K
0	0	0	0	600	17,929	12,940	226.346
220	6,404	4,575	196.171	610	18,250	13,178	226.877
230	6,694	4,782	197.461	620	18,572	13,417	227.400
240	6,984	4,989	198.696	630	18,895	13,657	227.918
250	7,275	5,197	199.885	640	19,219	13,898	228.429
260	7,566	5,405	201.027	650	19,544	14,140	228.932
270	7,858	5,613	202.128	660	19,870	14,383	229.430
280	8,150	5,822	203.191	670	20,197	14,626	229.920
290	8,443	6,032	204.218	680	20,524	14,871	230.405
298	8,682	6,203	205.033	690	20,854	15,116	230.885
300	8,736	6,242	205.213	700	21,184	15,364	231.358
310	9,030	6,453	206.177	710	21,514	15,611	231.827
320	9,325	6,664	207.112	720	21,845	15,859	232.291
330	9,620	6,877	208.020	730	22,177	16,107	232.748
340	9,916	7,090	208.904	740	22,510	16,357	233.201
350	10,213	7,303	209.765	750	22,844	16,607	233.649
360	10,511	7,518	210.604	760	23,178	16,859	234.091
370	10,809	7,733	211.423	770	23,513	17,111	234.528
380	11,109	7,949	212.222	780	23,850	17,364	234.960
390	11,409	8,166	213.002	790	24,186	17,618	235.387
400	11,711	8,384	213.765	800	24,523	17,872	235.810
410	12,012	8,603	214.510	810	24,861	18,126	236.230
420	12,314	8,822	215.241	820	25,199	18,382	236.644
430	12,618	9,043	215.955	830	25,537	18,637	237.055
440	12,923	9,264	216.656	840	25,877	18,893	237.462
450	13,228	9,487	217.342	850	26,218	19,150	237.864
460	13,525	9,710	218.016	860	26,559	19,408	238.264
470	13,842	9,935	218.676	870	26,899	19,666	238.660
480	14,151	10,160	219.326	880	27,242	19,925	239.051
490	14,460	10,386	219.963	890	27,584	20,185	239.439
500	14,770	10,614	220.589	900	27,928	20,445	239.823
510	15,082	10,842	221.206	910	28,272	20,706	240.203
520	15,395	11,071	221.812	920	28,616	20,967	240.580
530	15,708	11,301	222.409	930	28,960	21,228	240.953
540	16,022	11,533	222.997	940	29,306	21,491	241.323
550	16,338	11,765	223.576	950	29,652	21,754	241.689
560	16,654	11,998	224.146	960	29,999	22,017	242.052
570	16,971	12,232	224.708	970	30,345	22,280	242.411
580	17,290	12,467	225.262	980	30,692	22,544	242.768
590	17,609	12,703	225.808	990	31,041	22,809	242.120

ANEXO 8. Tabla de propiedades del gas nitrógeno

Propiedades de gas ideal del nitrógeno, N₂

T K	\bar{h} kJ/kmol	\bar{u} kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol · K	T K	\bar{h} kJ/kmol	\bar{u} kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol · K
0	0	0	0	600	17,563	12,574	212.066
220	6,391	4,562	182.639	610	17,864	12,792	212.564
230	6,683	4,770	183.938	620	18,166	13,011	213.055
240	6,975	4,979	185.180	630	18,468	13,230	213.541
250	7,266	5,188	186.370	640	18,772	13,450	214.018
260	7,558	5,396	187.514	650	19,075	13,671	214.489
270	7,849	5,604	188.614	660	19,380	13,892	214.954
280	8,141	5,813	189.673	670	19,685	14,114	215.413
290	8,432	6,021	190.695	680	19,991	14,337	215.866
298	8,669	6,190	191.502	690	20,297	14,560	216.314
300	8,723	6,229	191.682	700	20,604	14,784	216.756
310	9,014	6,437	192.638	710	20,912	15,008	217.192
320	9,306	6,645	193.562	720	21,220	15,234	217.624
330	9,597	6,853	194.459	730	21,529	15,460	218.059
340	9,888	7,061	195.328	740	21,839	15,686	218.472
350	10,180	7,270	196.173	750	22,149	15,913	218.889
360	10,471	7,478	196.995	760	22,460	16,141	219.301
370	10,763	7,687	197.794	770	22,772	16,370	219.709
380	11,055	7,895	198.572	780	23,085	16,599	220.113
390	11,347	8,104	199.331	790	23,398	16,830	220.512
400	11,640	8,314	200.071	800	23,714	17,061	220.907
410	11,932	8,523	200.794	810	24,027	17,292	221.298
420	12,225	8,733	201.499	820	24,342	17,524	221.684
430	12,518	8,943	202.189	830	24,658	17,757	222.067
440	12,811	9,153	202.863	840	24,974	17,990	222.447
450	13,105	9,363	203.523	850	25,292	18,224	222.822
460	13,399	9,574	204.170	860	25,610	18,459	223.194
470	13,693	9,786	204.803	870	25,928	18,695	223.562
480	13,988	9,997	205.424	880	26,248	18,931	223.927
490	14,285	10,210	206.033	890	26,568	19,168	224.288
500	14,581	10,423	206.630	900	26,890	19,407	224.647
510	14,876	10,635	207.216	910	27,210	19,644	225.002
520	15,172	10,848	207.792	920	27,532	19,883	225.353
530	15,469	11,062	208.358	930	27,854	20,122	225.701
540	15,766	11,277	208.914	940	28,178	20,362	226.047
550	16,064	11,492	209.461	950	28,501	20,603	226.389
560	16,363	11,707	209.999	960	28,826	20,844	226.728
570	16,662	11,923	210.528	970	29,151	21,086	227.064
580	16,962	12,139	211.049	980	29,476	21,328	227.398
590	17,262	12,356	211.562	990	29,803	21,571	227.728

ANEXO 9. Tabla de propiedades del gas CO₂

Propiedades de gas ideal del dióxido de carbono, CO₂

T K	\bar{h} kJ/kmol	\bar{u} kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol - K	T K	\bar{h} kJ/kmol	\bar{u} kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol - K
0	0	0	0	600	22,280	17,291	243.199
220	6,601	4,772	202.966	610	22,754	17,683	243.983
230	6,938	5,026	204.464	620	23,231	18,076	244.758
240	7,280	5,285	205.920	630	23,709	18,471	245.524
250	7,627	5,548	207.337	640	24,190	18,869	246.282
260	7,979	5,817	208.717	650	24,674	19,270	247.032
270	8,335	6,091	210.062	660	25,160	19,672	247.773
280	8,697	6,369	211.376	670	25,648	20,078	248.507
290	9,063	6,651	212.660	680	26,138	20,484	249.233
298	9,364	6,885	213.685	690	26,631	20,894	249.952
300	9,431	6,939	213.915	700	27,125	21,305	250.663
310	9,807	7,230	215.146	710	27,622	21,719	251.368
320	10,186	7,526	216.351	720	28,121	22,134	252.065
330	10,570	7,826	217.534	730	28,622	22,522	252.755
340	10,959	8,131	218.694	740	29,124	22,972	253.439
350	11,351	8,439	219.831	750	29,629	23,393	254.117
360	11,748	8,752	220.948	760	30,135	23,817	254.787
370	12,148	9,068	222.044	770	30,644	24,242	255.452
380	12,552	9,392	223.122	780	31,154	24,669	256.110
390	12,960	9,718	224.182	790	31,665	25,097	256.762
400	13,372	10,046	225.225	800	32,179	25,527	257.408
410	13,787	10,378	226.250	810	32,694	25,959	258.048
420	14,206	10,714	227.258	820	33,212	26,394	258.682
430	14,628	11,053	228.252	830	33,730	26,829	259.311
440	15,054	11,393	229.230	840	34,251	27,267	259.934
450	15,483	11,742	230.194	850	34,773	27,706	260.551
460	15,916	12,091	231.144	860	35,296	28,125	261.164
470	16,351	12,444	232.080	870	35,821	28,588	261.770
480	16,791	12,800	233.004	880	36,347	29,031	262.371
490	17,232	13,158	233.916	890	36,876	29,476	262.968
500	17,678	13,521	234.814	900	37,405	29,922	263.559
510	18,126	13,885	235.700	910	37,935	30,369	264.146
520	18,576	14,253	236.575	920	38,467	30,818	264.728
530	19,029	14,622	237.439	930	39,000	31,268	265.304
540	19,485	14,996	238.292	940	39,535	31,719	265.877
550	19,945	15,372	239.135	950	40,070	32,171	266.444
560	20,407	15,751	239.962	960	40,607	32,625	267.007
570	20,870	16,131	240.789	970	41,145	33,081	267.566
580	21,337	16,515	241.602	980	41,685	33,537	268.119
590	21,807	16,902	242.405	990	42,226	33,995	268.670

ANEXO 10. Tabla de propiedades del gas CO

Propiedades de gas ideal del monóxido de carbono, CO

T K	\bar{h} kJ/kmol	\bar{u} kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol · K	T K	\bar{h} kJ/kmol	\bar{u} kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol · K
0	0	0	0	600	17,611	12,622	218.204
220	6,391	4,562	188.683	610	17,915	12,843	218.708
230	6,683	4,771	189.980	620	18,221	13,066	219.205
240	6,975	4,979	191.221	630	18,527	13,289	219.695
250	7,266	5,188	192.411	640	18,833	13,512	220.179
260	7,558	5,396	193.554	650	19,141	13,736	220.656
270	7,849	5,604	194.654	660	19,449	13,962	221.127
280	8,140	5,812	195.713	670	19,758	14,187	221.592
290	8,432	6,020	196.735	680	20,068	14,414	222.052
298	8,669	6,190	197.543	690	20,378	14,641	222.505
300	8,723	6,229	197.723	700	20,690	14,870	222.953
310	9,014	6,437	198.678	710	21,002	15,099	223.396
320	9,306	6,645	199.603	720	21,315	15,328	223.833
330	9,597	6,854	200.500	730	21,628	15,558	224.265
340	9,889	7,062	201.371	740	21,943	15,789	224.692
350	10,181	7,271	202.217	750	22,258	16,022	225.115
360	10,473	7,480	203.040	760	22,573	16,255	225.533
370	10,765	7,689	203.842	770	22,890	16,488	225.947
380	11,058	7,899	204.622	780	23,208	16,723	226.357
390	11,351	8,108	205.383	790	23,526	16,957	226.762
400	11,644	8,319	206.125	800	23,844	17,193	227.162
410	11,938	8,529	206.850	810	24,164	17,429	227.559
420	12,232	8,740	207.549	820	24,483	17,665	227.952
430	12,526	8,951	208.252	830	24,803	17,902	228.339
440	12,821	9,163	208.929	840	25,124	18,140	228.724
450	13,116	9,375	209.593	850	25,446	18,379	229.106
460	13,412	9,587	210.243	860	25,768	18,617	229.482
470	13,708	9,800	210.880	870	26,091	18,858	229.856
480	14,005	10,014	211.504	880	26,415	19,099	230.227
490	14,302	10,228	212.117	890	26,740	19,341	230.593
500	14,600	10,443	212.719	900	27,066	19,583	230.957
510	14,898	10,658	213.310	910	27,392	19,826	231.317
520	15,197	10,874	213.890	920	27,719	20,070	231.674
530	15,497	11,090	214.460	930	28,046	20,314	232.028
540	15,797	11,307	215.020	940	28,375	20,559	232.379
550	16,097	11,524	215.572	950	28,703	20,805	232.727
560	16,399	11,743	216.115	960	29,033	21,051	233.072
570	16,701	11,961	216.649	970	29,362	21,298	233.413
580	17,003	12,181	217.175	980	29,693	21,545	233.752
590	17,307	12,401	217.693	990	30,024	21,793	234.088

ANEXO 11. Tabla de propiedades del H₂O

Propiedades de gas ideal del vapor de agua, H₂O

T K	\bar{h} kJ/kmol	\bar{u} kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol · K	T K	\bar{h} kJ/kmol	\bar{u} kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol · K
0	0	0	0	600	20,402	15,413	212.920
220	7,295	5,466	178.576	610	20,765	15,693	213.529
230	7,628	5,715	180.054	620	21,130	15,975	214.122
240	7,961	5,965	181.471	630	21,495	16,257	214.707
250	8,294	6,215	182.831	640	21,862	16,541	215.285
260	8,627	6,466	184.139	650	22,230	16,826	215.856
270	8,961	6,716	185.399	660	22,600	17,112	216.419
280	9,296	6,968	186.616	670	22,970	17,399	216.976
290	9,631	7,219	187.791	680	23,342	17,688	217.527
298	9,904	7,425	188.720	690	23,714	17,978	218.071
300	9,966	7,472	188.928	700	24,088	18,268	218.610
310	10,302	7,725	190.030	710	24,464	18,561	219.142
320	10,639	7,978	191.098	720	24,840	18,854	219.668
330	10,976	8,232	192.136	730	25,218	19,148	220.189
340	11,314	8,487	193.144	740	25,597	19,444	220.707
350	11,652	8,742	194.125	750	25,977	19,741	221.215
360	11,992	8,998	195.081	760	26,358	20,039	221.720
370	12,331	9,255	196.012	770	26,741	20,339	222.221
380	12,672	9,513	196.920	780	27,125	20,639	222.717
390	13,014	9,771	197.807	790	27,510	20,941	223.207
400	13,356	10,030	198.673	800	27,896	21,245	223.693
410	13,699	10,290	199.521	810	28,284	21,549	224.174
420	14,043	10,551	200.350	820	28,672	21,855	224.651
430	14,388	10,813	201.160	830	29,062	22,162	225.123
440	14,734	11,075	201.955	840	29,454	22,470	225.592
450	15,080	11,339	202.734	850	29,846	22,779	226.057
460	15,428	11,603	203.497	860	30,240	23,090	226.517
470	15,777	11,869	204.247	870	30,635	23,402	226.973
480	16,126	12,135	204.982	880	31,032	23,715	227.426
490	16,477	12,403	205.705	890	31,429	24,029	227.875
500	16,828	12,671	206.413	900	31,828	24,345	228.321
510	17,181	12,940	207.112	910	32,228	24,662	228.763
520	17,534	13,211	207.799	920	32,629	24,980	229.202
530	17,889	13,482	208.475	930	33,032	25,300	229.637
540	18,245	13,755	209.139	940	33,436	25,621	230.070
550	18,601	14,028	209.795	950	33,841	25,943	230.499
560	18,959	14,303	210.440	960	34,247	26,265	230.924
570	19,318	14,579	211.075	970	34,653	26,588	231.347
580	19,678	14,856	211.702	980	35,061	26,913	231.767
590	20,039	15,134	212.320	990	35,472	27,240	232.184

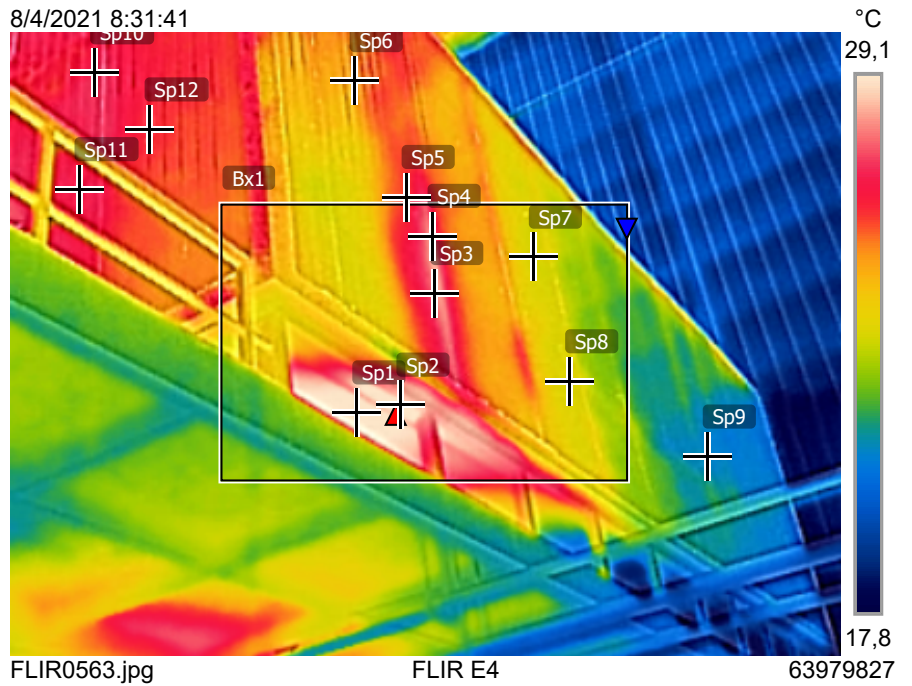
ANEXO 12. Fichas termográficas

Medidas

Bx1	Max	30,1 °C
	Min	20,0 °C
Sp1		29,7 °C
Sp2		30,0 °C
Sp3		26,8 °C
Sp4		26,9 °C
Sp5		24,8 °C
Sp6		24,2 °C
Sp7		23,1 °C
Sp8		23,1 °C
Sp9		21,5 °C
Sp10		25,6 °C
Sp11		25,4 °C
Sp12		24,9 °C

Parámetros

Emisividad	0.95
Temp. refl.	20 °C



8/4/2021 8:31:41



FLIR0563.jpg

FLIR E4

63979827

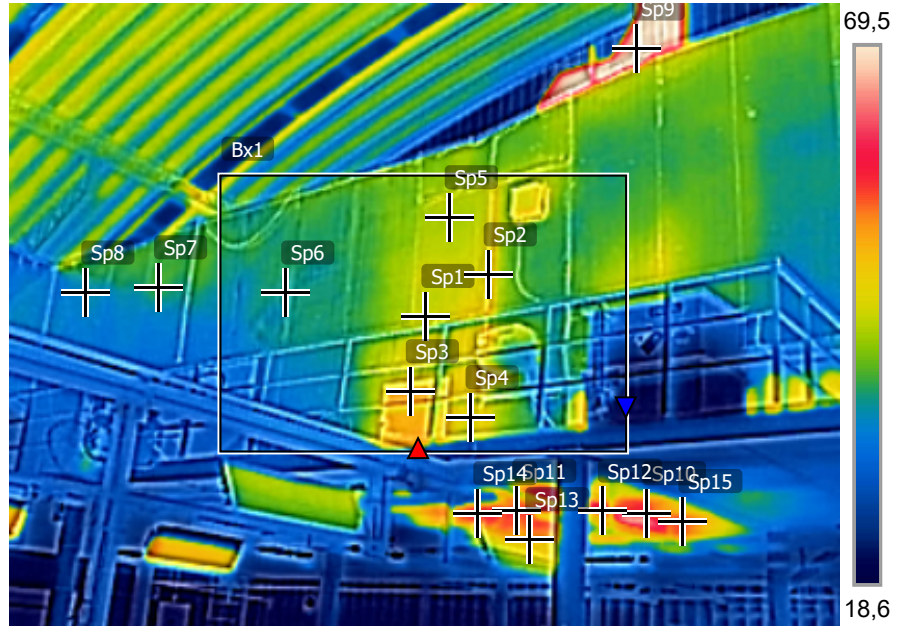
Medidas

Bx1	Max	34,0 °C
	Min	19,8 °C
Sp1		27,2 °C
Sp2		29,7 °C
Sp3		33,5 °C
Sp4		27,9 °C
Sp5		26,5 °C
Sp6		25,0 °C
Sp7		25,4 °C
Sp8		24,7 °C
Sp9		75,2 °C
Sp10		43,3 °C
Sp11		42,7 °C
Sp12		46,9 °C
Sp13		32,0 °C
Sp14		43,6 °C
Sp15		40,4 °C

Parámetros

Emisividad	0.95
Temp. refl.	20 °C

8/4/2021 8:33:41



FLIR0564.jpg

FLIR E4

63979827

8/4/2021 8:33:41



FLIR0564.jpg

FLIR E4

63979827

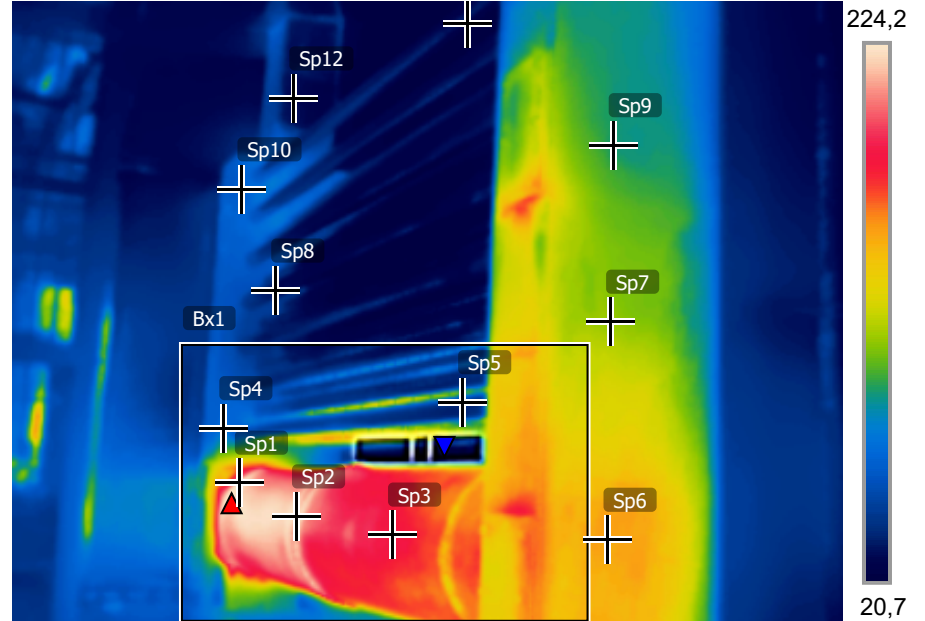
Medidas

Bx1	Max	226,0 °C
	Min	21,9 °C
Sp1		224,5 °C
Sp2		213,2 °C
Sp3		167,3 °C
Sp4		60,5 °C
Sp5		33,4 °C
Sp6		132,1 °C
Sp7		100,1 °C
Sp8		29,3 °C
Sp9		80,6 °C
Sp10		54,5 °C
Sp11		24,1 °C
Sp12		26,3 °C

Parámetros

Emisividad	0.95
Temp. refl.	20 °C

8/4/2021 7:04:45

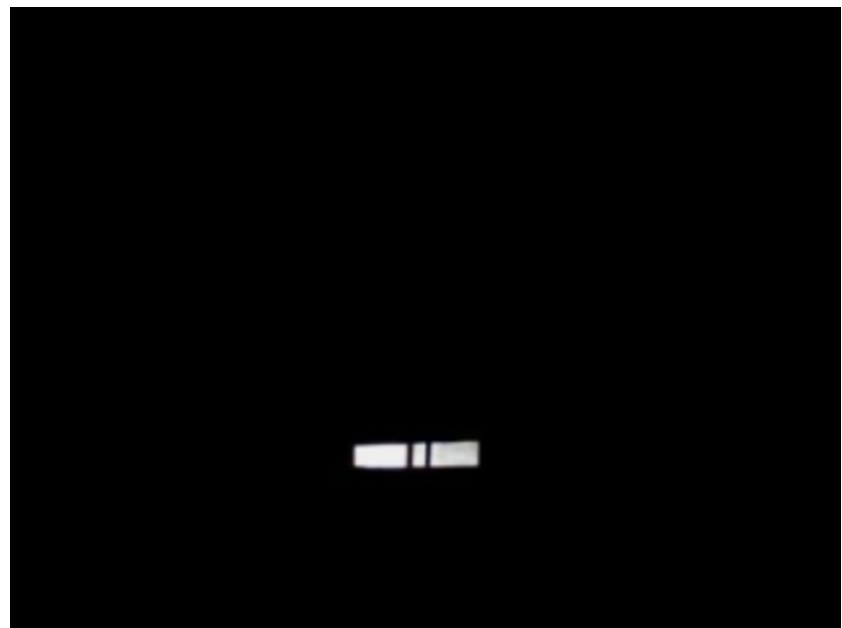


FLIR0534.jpg

FLIR E4

63979827

8/4/2021 7:04:45



FLIR0534.jpg

FLIR E4

63979827

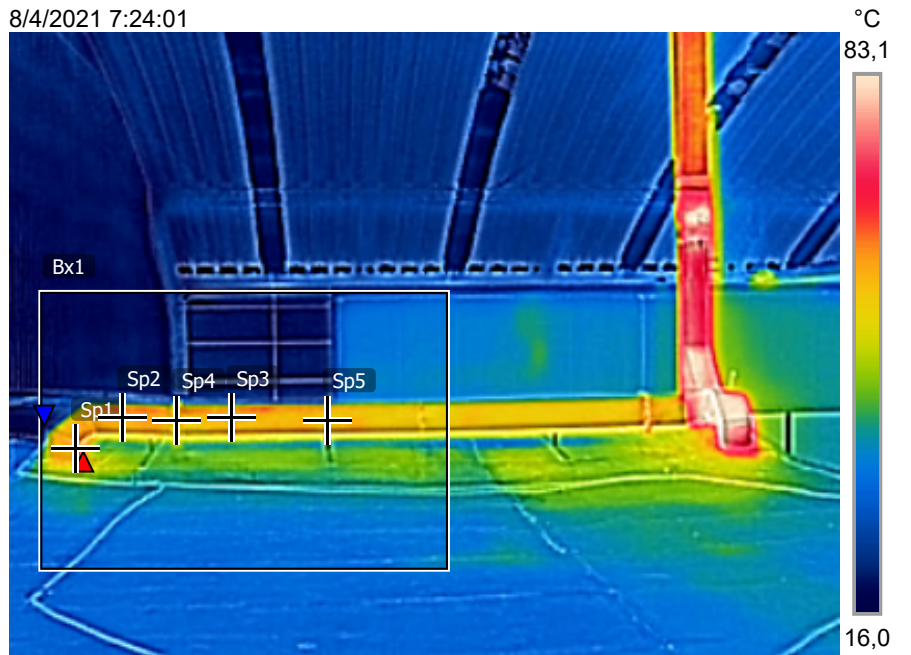
Medidas

Bx1	Max	52,1 °C
	Min	16,3 °C
Sp1		43,8 °C
Sp2		40,0 °C
Sp3		38,3 °C
Sp4		37,1 °C
Sp5		36,6 °C

Parámetros

Emisividad	0.95
Temp. refl.	20 °C

8/4/2021 7:24:01



FLIR0559.jpg

FLIR E4

63979827

8/4/2021 7:24:01



FLIR0559.jpg

FLIR E4

63979827

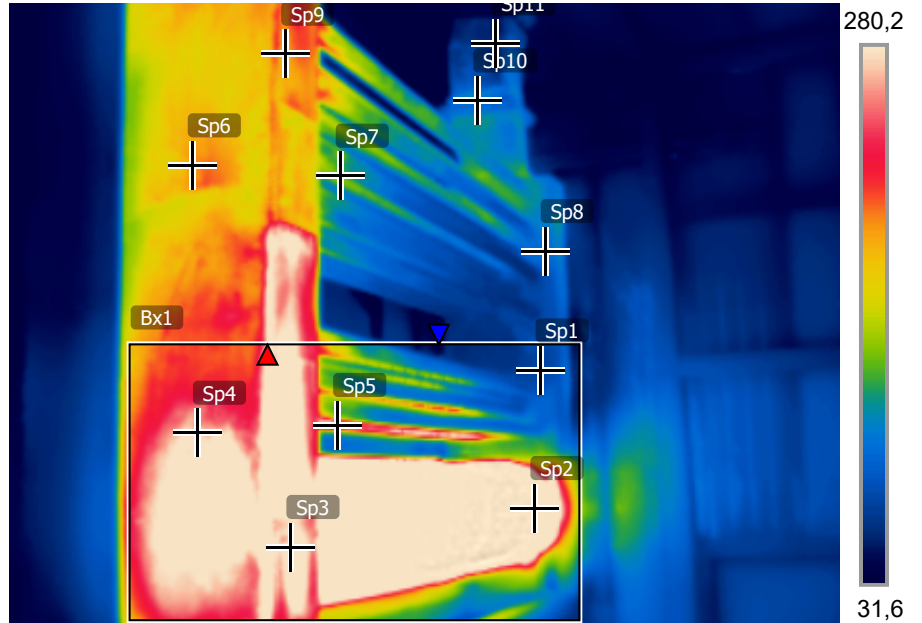
Medidas

Bx1	Max	280,2 °C	✘
	Min	34,7 °C	
Sp1		57,3 °C	
Sp2		280,2 °C	✘
Sp3		280,2 °C	✘
Sp4		275,9 °C	⚠
Sp5		250,8 °C	⚠
Sp6		189,1 °C	
Sp7		131,6 °C	
Sp8		77,9 °C	
Sp9		190,5 °C	
Sp10		79,3 °C	
Sp11		51,9 °C	

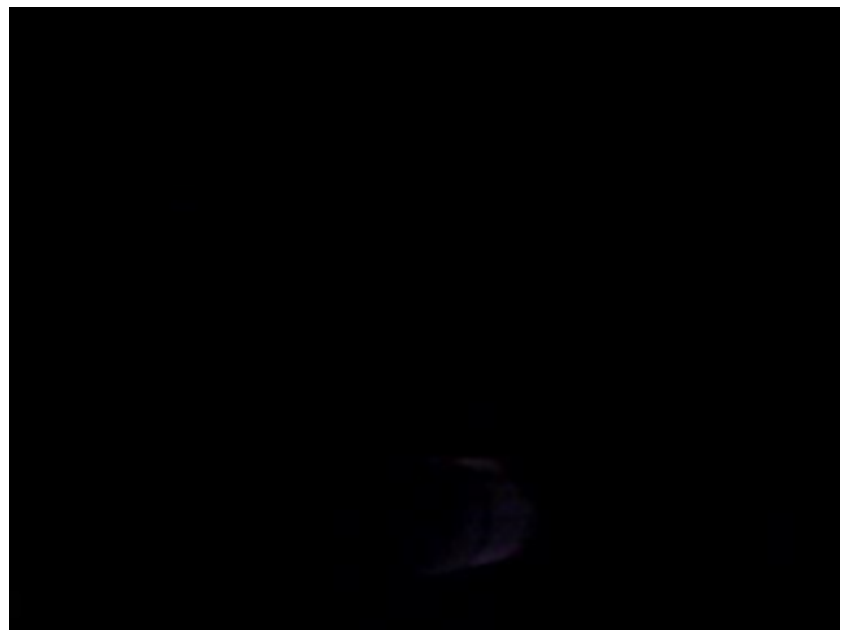
Parámetros

Emisividad	0.95
Temp. refl.	20 °C

8/4/2021 7:04:26



8/4/2021 7:04:26



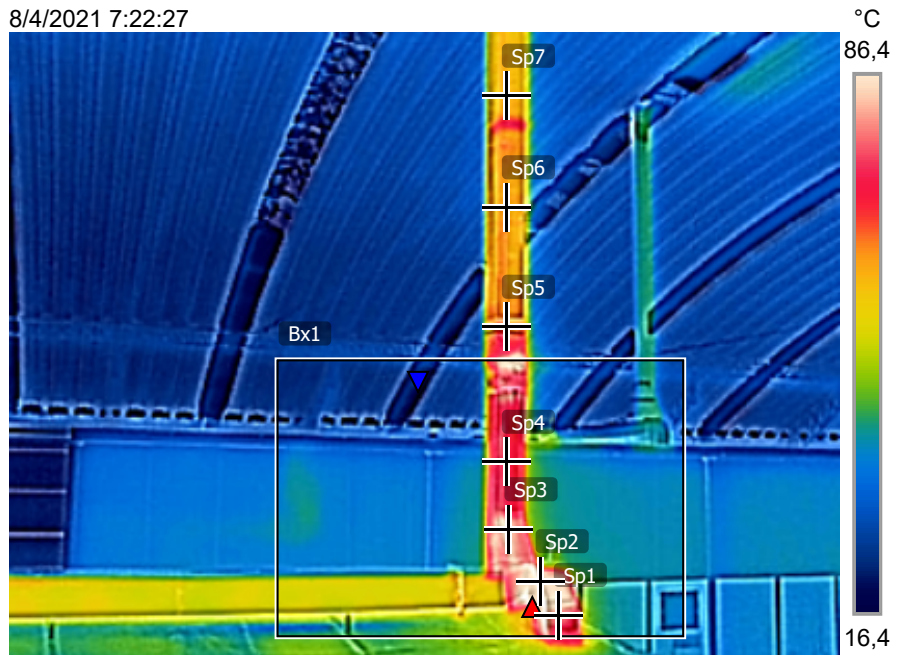
Medidas

Bx1	Max	107,1 °C
	Min	17,0 °C
Sp1		69,9 °C
Sp2		94,0 °C
Sp3		84,7 °C
Sp4		62,6 °C
Sp5		48,3 °C
Sp6		45,3 °C
Sp7		44,6 °C

Parámetros

Emisividad	0.95
Temp. refl.	20 °C

8/4/2021 7:22:27



FLIR0556.jpg

FLIR E4

63979827

8/4/2021 7:22:27



FLIR0556.jpg

FLIR E4

63979827

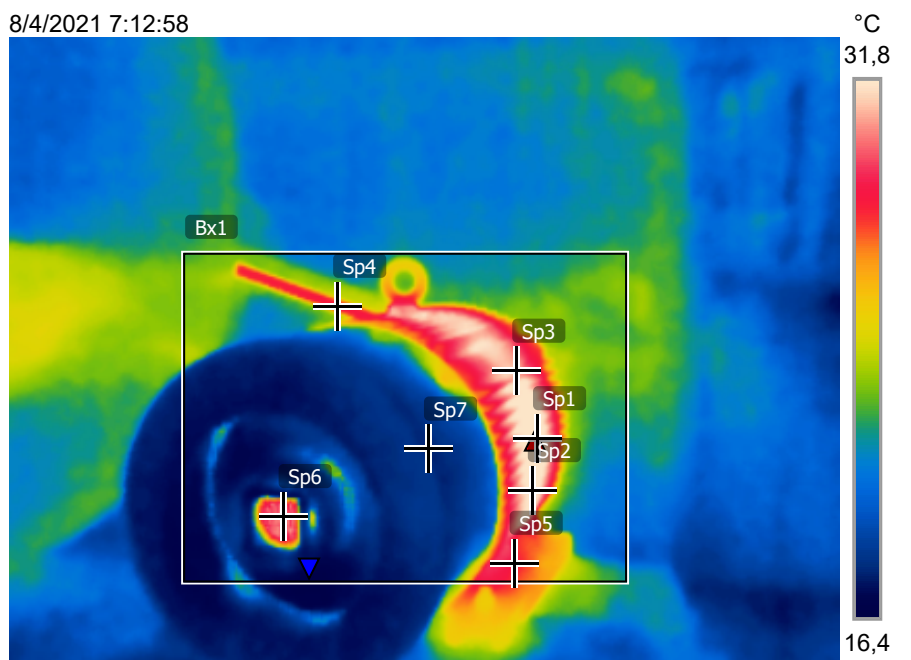
Medidas

Bx1	Max	33,9 °C
	Min	17,0 °C
Sp1		33,4 °C
Sp2		32,0 °C
Sp3		30,4 °C
Sp4		26,1 °C
Sp5		26,3 °C
Sp6		29,3 °C
Sp7		17,4 °C

Parámetros

Emisividad	0.95
Temp. refl.	20 °C

8/4/2021 7:12:58

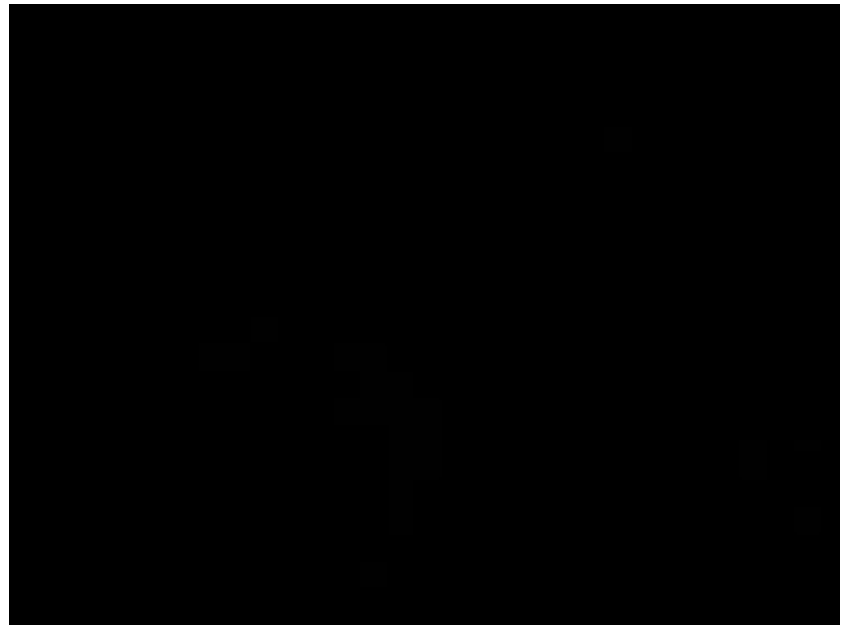


FLIR0549.jpg

FLIR E4

63979827

8/4/2021 7:12:58



FLIR0549.jpg

FLIR E4

63979827

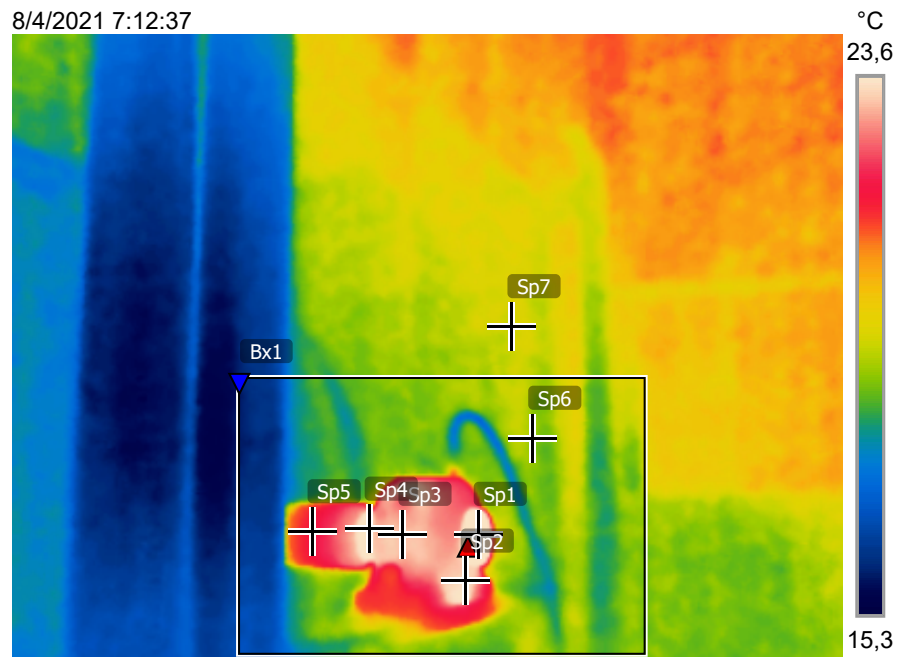
Medidas

Bx1	Max	26,6 °C
	Min	16,2 °C
Sp1		26,3 °C
Sp2		23,4 °C
Sp3		22,9 °C
Sp4		24,2 °C
Sp5		20,4 °C
Sp6		18,3 °C
Sp7		18,5 °C

Parámetros

Emisividad	0.95
Temp. refl.	20 °C

8/4/2021 7:12:37



FLIR0547.jpg

FLIR E4

63979827

8/4/2021 7:12:37



FLIR0547.jpg

FLIR E4

63979827

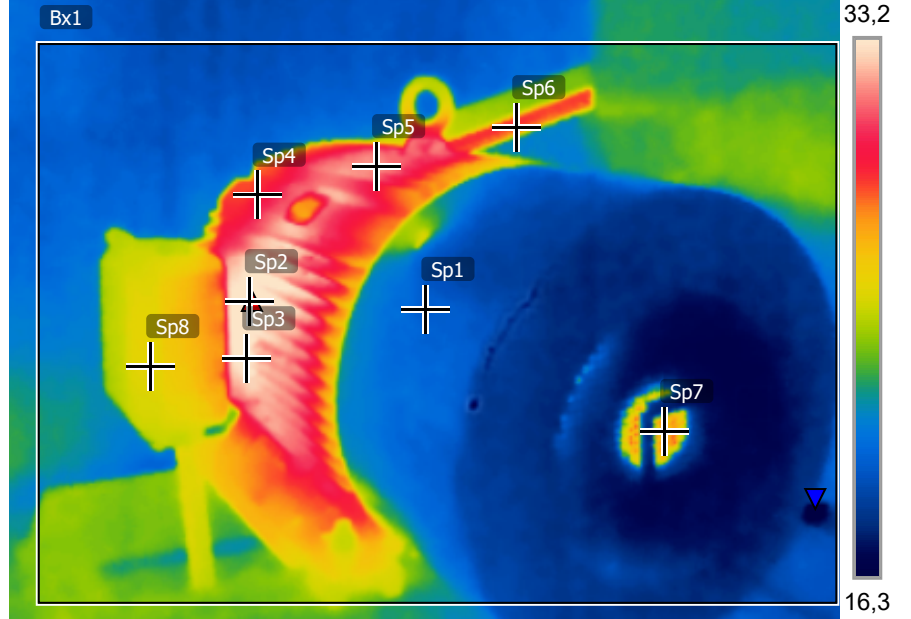
Medidas

Bx1	Max	35,0 °C
	Min	15,6 °C
Sp1		18,6 °C
Sp2		34,2 °C
Sp3		33,8 °C
Sp4		27,0 °C
Sp5		30,9 °C
Sp6		26,1 °C
Sp7		25,2 °C
Sp8		22,6 °C

Parámetros

Emisividad	0.95
Temp. refl.	20 °C

8/4/2021 7:12:49



FLIR0548.jpg

FLIR E4

63979827

8/4/2021 7:12:49



FLIR0548.jpg

FLIR E4

63979827

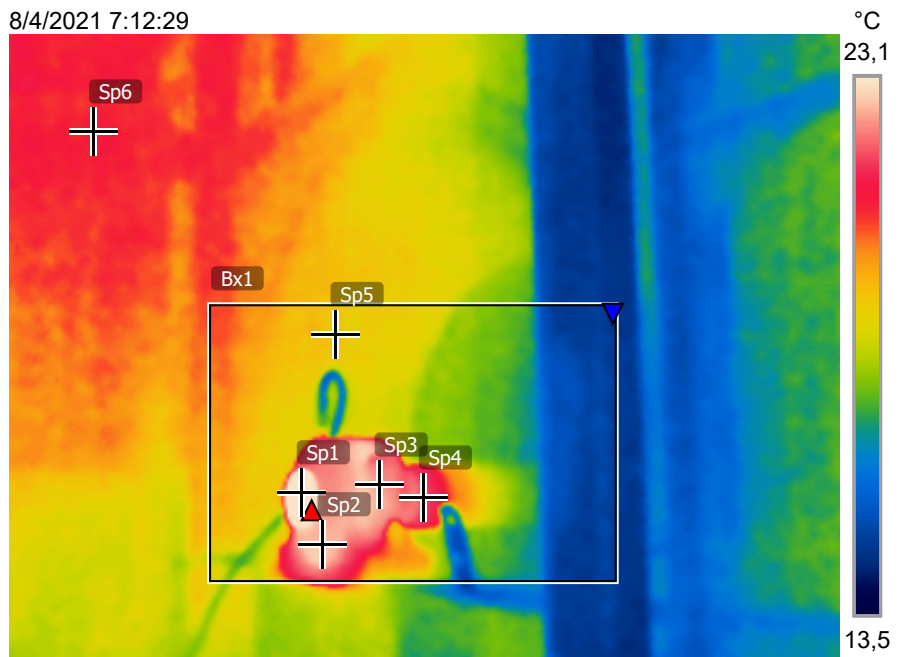
Medidas

Bx1	Max	24,2 °C
	Min	16,4 °C
Sp1		24,0 °C
Sp2		22,0 °C
Sp3		21,7 °C
Sp4		20,4 °C
Sp5		18,8 °C
Sp6		19,5 °C

Parámetros

Emisividad	0.95
Temp. refl.	20 °C

8/4/2021 7:12:29



FLIR0546.jpg

FLIR E4

63979827

8/4/2021 7:12:29



FLIR0546.jpg

FLIR E4

63979827