

 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia Vigencia: 2014-2024	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	Documento F-AC-DBL-007	Código 30-09-2024	Fecha C
	Dependencia DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	Aprobado SUBDIRECTOR ACADEMICO	Pág. 1(1)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Edson Andrés Arévalo Torrado
FACULTAD	Ingeniería
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Mecánica
DIRECTOR	Wendy Lorryne Durán Contreras
CODIRECTOR	NO APLICA
TÍTULO DE LA TESIS	Evaluación del desempeño térmico del sistema de secado de almendra mediante intercambiadores de calor y estandarización del mantenimiento de los intercambiadores en la planta palmiste de Palmas del Cesar.
TITULO EN INGLES	Evaluation of the thermal performance of the almond drying system using heat exchangers and standardization of heat exchanger maintenance at the Palmas del Cesar palm kernel plant.
RESUMEN (70 palabras)	
La pasantía profesional se desarrolló en el área de mantenimiento de Palmas del Cesar, apoyando la gestión de equipos mediante inspecciones, mediciones y seguimiento operativo. Se evaluó el desempeño térmico de los intercambiadores de calor del proceso de secado de almendra mediante el análisis de variables operativas, balances de energía y cálculos térmicos. Con los resultados obtenidos, se estableció una propuesta para optimizar el mantenimiento y garantizar la continuidad operativa.	
RESUMEN EN INGLES	
The professional internship was carried out in the Maintenance Department at Palmas del Cesar, supporting equipment management through inspections, field measurements, and operational monitoring. The thermal performance of the heat exchangers used in the almond drying process was evaluated by analyzing operating variables, energy balances, and thermal calculations. Based on the results obtained, a proposal was developed to optimize maintenance practices and ensure operational continuity.	
PALABRAS CLAVES	Mantenimiento, intercambiadores de calor, balance de energía, secado de almendra.
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Maintenance, heat exchangers, energy balance, almond drying.
CARACTERÍSTICAS	
PÁGINAS: 56	TABLAS: 6
FIGURAS: 19	CD-ROM:



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
 atencionalciudadano@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co
 Línea de atención: 311 436 1717

**Evaluación del desempeño térmico del sistema de secado de almendra mediante
intercambiadores de calor y estandarización del mantenimiento de los
intercambiadores en la planta palmiste de Palmas del Cesar.**

Edson Andrés Arévalo Torrado

Facultad de ingenierías, Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña

Ingeniería mecánica

MSc. Wendy Lorryne Rodríguez Durán.

30 julio 2026

Índice

Capítulo 1. Evaluación del desempeño térmico del sistema de secado de almendra mediante intercambiadores de calor y estandarización del mantenimiento de los intercambiadores en la planta palmiste de Palmas del Cesar.	11
1.1. Descripción breve de la empresa.	11
1.1.1. Misión.....	12
1.1.2. Visión.	12
1.1.3. Objetivos de la empresa.	12
1.1.4. Descripción de la estructura organizacional.....	13
1.1.5. Descripción de la dependencia y proyecto al que fue asignado.....	13
1.2. Diagnóstico inicial de la dependencia asignada.	14
1.2.1. Planteamiento del Problema.....	15
1.3. Objetivos de la pasantía.....	17
1.3.1. Objetivos General.....	17
1.3.2. Objetivos Específicos.....	17
1.4. Descripción de las actividades a desarrollar en la misma.	17
Capítulo 2. Enfoques referenciales.	20
2.1 Enfoque conceptual.....	20
2.2. Enfoque legal.	21

Capítulo 3. Informe de cumplimiento de trabajo.	23
3.1. Caracterizar las condiciones actuales de operación del sistema de secado de almendra que emplea intercambiadores de calor en la planta palmiste de Palmas del Cesar, identificando las principales variables operativas del proceso.	23
3.1.1. Realizar el levantamiento técnico del sistema de intercambio térmico, identificando configuración, tipo de intercambiador, condiciones nominales de operación y parámetros de diseño.....	23
3.1.2. Registrar temperaturas de entrada y salida del aire, caudal; durante diferentes jornadas de producción.	29
3.1.3. Procesar y analizar los datos obtenidos mediante balances de energía y cálculos térmicos básicos para describir el comportamiento operativo del sistema bajo condiciones reales.	33
3.2. Evaluar el desempeño térmico de los intercambiadores de calor a partir del análisis de las variables operativas del proceso de secado, con el fin de determinar su eficiencia y posibles oportunidades de mejora.	35
3.2.1. Realizar inspecciones técnicas visuales y documentales de los intercambiadores de calor, identificando la presencia de depósitos o acumulaciones sobre las superficies de transferencia térmica y su posible influencia en las condiciones operativas del sistema.....	35
3.2.2. Comparar los parámetros térmicos medidos antes y después de intervenciones de limpieza programadas, con el fin de identificar variaciones en el comportamiento térmico del sistema.....	37

3.2.3. Determinar la relación entre el tiempo de operación acumulado y las variaciones en las condiciones térmicas del aire suministrado a los silos. 39

3.3. Proponer un procedimiento estandarizado de mantenimiento para los intercambiadores de calor que contribuya al mejoramiento de la eficiencia térmica y al desempeño global del sistema de secado. 41

3.3.1. Analizar el historial de horas de operación de los intercambiadores y relacionarlo con las condiciones térmicas registradas en planta. 41

3.3.2. Definir un rango de variación aceptable en los parámetros térmicos que sirva como referencia para la intervención de mantenimiento. 42

3.3.3. Elaborar una propuesta técnica de estandarización del mantenimiento que incluya periodicidad recomendada, variables de seguimiento y procedimiento de verificación. 43

4. Diagnóstico final. 46

5. Conclusiones. 48

6. Recomendaciones. 49

Referencias. 51

Apéndices. 53

Lista de Figuras

Figura 1 Organigrama equipo de mantenimiento de la planta beneficio de Palmas del César.	13
Figura 2 Ficha técnica intercambiadores de calor de los silos de almendra.	23
Figura 3 Ductos e intercambiadores de calor silo de almendras.	24
Figura 4 Sistema de condesados.	25
Figura 5 Ficha técnica trampa de vapor.	26
Figura 6 Ventilador centrifugo silo de almendra.	26
Figura 7 Silo de Almendra.	27
Figura 8 Esquema del proceso de aumento de temperatura del aire.	28
Figura 9 Condiciones ambientales San Martín, César.	29
Figura 10 Esquema toma muestra de aire silo de almendra.	30
Figura 11 Orden de trabajo limpieza radiadores silo de almendra.	35
Figura 12 Intercambiador de calor antes de realizar las actividades de limpieza.	35
Figura 13 Intercambiador de calor después de la jornada de mantenimiento.	36
Figura 14 Formato preoperacional silo de almendra.	37
Figura 15 Ficha técnica lavado de intercambiadores de calor.	44
Figura 16 Toma de flujo de aire.	50
Figura 17 Scada sistema de secado.	51
Figura 18 Flujo succión del ventilador.	52
Figura 19 Modificación apertura dámper en el ducto de aire.	53

Lista de Tablas

Tabla 1 Matriz FODA.	14
Tabla 2 Descripción de actividades de pasantía.	17
Tabla 3 Eficiencia antes de actividades de limpieza.	37
Tabla 4 Eficiencia después de actividades de limpieza.	38
Tabla 5 Variables y condiciones ambientales para el sistema de secado.	40
Tabla 6 Estudio de eficiencia por tiempo de operación.	41

Tabla de apéndices

Apéndice A Evidencia toma de datos	53
---	----

Dedicatoria

A Dios, por permitirme llegar y culminar; sólo él sabe cuánto luché, gocé, sufrí y trabajé por llegar hasta este lugar.

A Mami y Papi, por sembrar en mí, confianza, cariño y estudio.

A Dani, por su amor, su confianza y su ayuda hasta en los momentos más difíciles.

A Kira y Pipe, por siempre estar dándome alientos de seguir adelante.

A Andrea Camila, por ser mi fuente de alegría.

A mis abuelos, por orar por mí en cada momento.

A mis amigos de estudio y a los docentes de calidad, por todos los conocimientos adquiridos.

A mis tías, por ser mi ejemplo.

A mis suegros, por orar siempre por mí.

A Palmas del César, por enseñarme el mundo laboral e industrial.

A mí, por permitir contagiarme de las cosas buenas que me brindaron todas las personas que hicieron parte de mi proceso.

Introducción

Las pasantías profesionales constituyen una estrategia en la formación práctica de los futuros ingenieros, ya que se logra complementar los conocimientos teóricos adquiridos durante el proceso académico y su aplicación en entornos industriales reales. Una correcta práctica profesional garantiza y facilita el desarrollo de competencias técnicas, analíticas y operativas, donde se logra un fortalecimiento en la capacidad del estudiante para identificar, evaluar y proponer soluciones a problemáticas propias del sector industrial.

El departamento de mantenimiento tiene la responsabilidad de garantizar la disponibilidad, confiabilidad y continuidad operativa de los equipos involucrados en el proceso de extracción de aceite de palma y aceite de palmiste, mediante la ejecución de actividades de mantenimiento preventivo y correctivo. (Palmas del Cesar, 2026)

La planta de beneficio cuenta con dos líneas de extracción con una capacidad de procesamiento aproximada de 75 toneladas por hora de racimo de fruta fresca (RFF), donde el adecuado funcionamiento de los sistemas mecánicos y térmicos resulta esencial para asegurar la eficiencia y confiabilidad del proceso productivo. (Palmas del Cesar, 2026)

Dentro del proceso de obtención de aceite de palmiste, el secado de la almendra constituye una etapa crítica, debido a que las condiciones térmicas del aire suministrado a los silos influyen directamente en la reducción del contenido de humedad del producto y, en consecuencia, en la calidad del aceite obtenido. Para ello, el sistema emplea intercambiadores de calor alimentados con vapor, cuya función es elevar la temperatura del aire de secado. (Wambeck, 2005)

La acumulación de partículas sobre las aletas de los intercambiadores de calor reduce el desempeño, y la capacidad de transferencia de calor esto afecta las condiciones operativas del sistema de secado y gracias a eso se genera la necesidad de establecer criterios técnicos que permitan evaluar el comportamiento térmico de los equipos y definir estrategias de mantenimiento basadas en su condición real de operación. (Bhuiyan, 2019)

Se evalúa el desempeño térmico de los intercambiadores de calor del sistema de secado de almendra de la planta palmiste de Palmas del Cesar, mediante el análisis de variables operativas, balances de energía y cálculos de efectividad térmica, para así proponer una estandarización de mantenimiento que contribuya al mejoramiento global del sistema de secado. (Palmas del Cesar, 2026)

Se busca mejorar las condiciones actuales de operación, el análisis del comportamiento térmico de los intercambiadores y la formulación de criterios técnicos para la programación de actividades de mantenimiento.

Capítulo 1. Evaluación del desempeño térmico del sistema de secado de almendra mediante intercambiadores de calor y estandarización del mantenimiento de los intercambiadores en la planta palmiste de Palmas del Cesar.

1.1. Descripción breve de la empresa.

Palmas del Cesar S.A.S nació en 1960 gracias a la visión de un grupo de empresarios santandereanos que vieron en la palma africana una oportunidad para impulsar el desarrollo económico y social de la región. Con un firme compromiso por el progreso agrícola, la empresa inició su camino apostando por un cultivo que hoy es sinónimo de transformación y crecimiento. (Palmas del Cesar, 2026)

Inicialmente conocida como Hipinlandia, la plantación comenzó con 500 hectáreas, convirtiéndose en una de las primeras siembras comerciales de palma africana en Colombia. Esta iniciativa pionera marcó un hito en el sector, superando importantes desafíos técnicos y logísticos gracias al apoyo institucional y al liderazgo de sus fundadores. (Palmas del Cesar, 2026)

A mediados de los años 70, la empresa dio un salto significativo: triplicó su área cultivada, modernizó su infraestructura y fortaleció su estructura organizativa. Hoy, Palmas del Cesar opera como una sociedad anónima, con una Junta Directiva que lidera sus decisiones estratégicas en representación de sus accionistas, manteniendo una visión de sostenibilidad, innovación y excelencia. (Palmas del Cesar, 2026)

1.1.1. Misión.

Desarrollamos una Palmi cultura responsable y sostenible buscando siempre la excelencia con el fin de producir los mejores frutos para el progreso. (Palmas del Cesar, 2026)

1.1.2. Visión.

Seremos el mejor referente dentro de la actividad palmera nacional y nos reconocerán por la forma responsable en que hemos hecho de la palma una fuente de progreso y desarrollo regional. (Palmas del Cesar, 2026)

1.1.3. Objetivos de la empresa.

Consolidarse como empresa líder del sector palmicultor nacional implica fortalecer integralmente la producción de aceite de palma crudo y aceite de palmiste mediante procesos técnicamente optimizados, sostenibles y competitivos. Para lograrlo, la organización debe centrar sus esfuerzos en maximizar la eficiencia de extracción del aceite a partir de los racimos de fruta fresca (RFF), mediante el control riguroso de las variables críticas del proceso, tales como esterilización, digestión, prensado y clarificación. La reducción de pérdidas de aceite en fibra, efluentes y torta de palmiste constituye un eje estratégico para mejorar el rendimiento industrial y la rentabilidad operativa. (Palmas del Cesar, 2026)

Garantizar que tanto el aceite de palma crudo como el aceite de palmiste cumplan con estándares óptimos de calidad, asegurando bajos niveles de ácidos grasos libres (FFA), humedad e impurezas, lo cual permite fortalecer la competitividad en mercados nacionales e internacionales. La implementación de sistemas de control de calidad y monitoreo continuo de parámetros fisicoquímicos resulta fundamental para mantener la excelencia del producto final. (Palmas del Cesar, 2026)

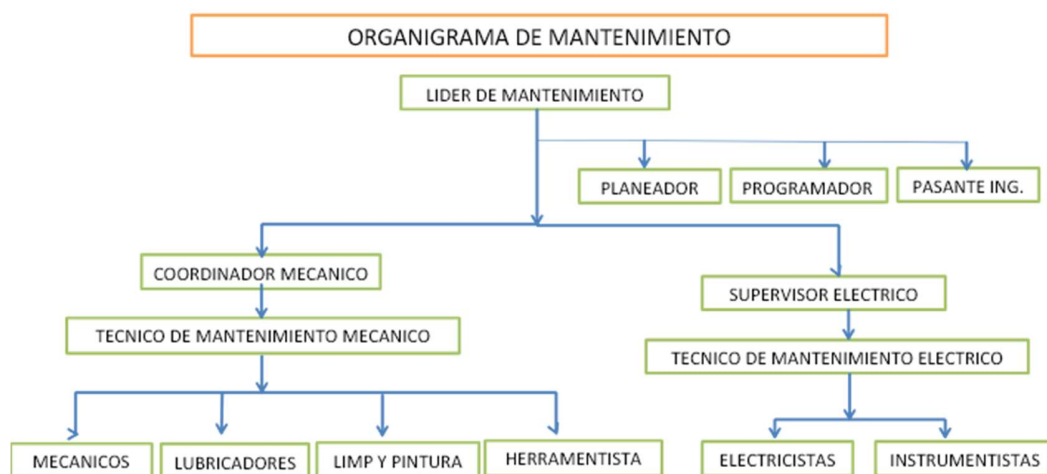
Optimizar el consumo energético y la eficiencia térmica de la planta extractora, especialmente en los sistemas de generación y utilización de vapor. El aprovechamiento de subproductos como fibra y cuesco para la cogeneración de energía contribuye a reducir costos operativos y a fortalecer el modelo de economía circular. (Palmas del Cesar, 2026)

Modernizar la tecnología mediante automatización de procesos, monitoreo en tiempo real y mejora continua de los equipos de extracción permitirá aumentar la disponibilidad operativa, reducir tiempos muertos y mejorar la trazabilidad de la producción. (Palmas del Cesar, 2026)

1.1.4. Descripción de la estructura organizacional.

Figura 1

Organigrama equipo de mantenimiento de la planta beneficio de Palmas del César.



Nota. Descripción equipo productivo en planta de beneficio. (Palmas del Cesar, 2026)

1.1.5. Descripción de la dependencia y proyecto al que fue asignado.

La pasantía se desarrollará en el área de mantenimiento de la planta de beneficio área encargada de garantizar la disponibilidad, confiabilidad y continuidad operativa de los equipos que intervienen en el proceso de extracción de aceite. La ejecución de mantenimiento preventivo,

correctivo y predictivo, el monitoreo de variables operativas, el control de horas de funcionamiento de equipos críticos y el registro digital de información técnica para la toma de decisiones; son algunas de las tareas programadas para realizar el proceso de pasantía.

La planta de beneficio cuenta con dos líneas de extracción, con una capacidad aproximada de procesamiento de 75 toneladas por hora de racimo de fruta fresca (RFF) (Wambeck, 2005) El equipo de mantenimiento cumple un rol estratégico, todo debido a que la estabilidad del proceso depende del desempeño mecánico de los sistemas que conforman la operación industrial.

El jefe de mantenimiento ha identificado la necesidad de realizar un análisis térmico en los intercambiadores de calor utilizados en el sistema de secado de almendra. Estos equipos tienen la función de elevar la temperatura del aire mediante transferencia de calor por convección forzada, donde el aire es inyectado en los silos de secado para reducir el contenido de humedad de la nuez de palmiste hasta los valores requeridos para su almacenamiento y posterior extracción de aceite. (Wambeck, 2005)

1.2. Diagnóstico inicial de la dependencia asignada.

Tabla 1

Matriz FODA.

Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas	
FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
✓ Acceso directo a los intercambiadores de calor y datos operativos de planta.	✓ Tendencia global hacia mantenimiento basado en condición (CBM).

✓ Aplicación técnica de fundamentos en transferencia de calor, balances de energía, análisis psicrométrico y mantenimiento industrial.	✓ Posibilidad de replicar el modelo de análisis térmico en otras plantas palmistes.
✓ Posibilidad de establecer indicadores técnicos cuantificables.	✓ Aporte técnico al sector palmicultor regional.
✓ Impacto directo en la eficiencia térmica del proceso de secado.	✓ Generación de conocimiento aplicado en mantenimiento térmico industrial.
	✓ Crecimiento en la eficiencia energética en la industria extractora de aceite.
DEBILIDADES	AMENAZAS
✓ Limitaciones en instrumentación para mediciones térmicas de alta precisión.	✓ Variaciones climáticas que afecten las condiciones psicrométricas del secado.
✓ Variabilidad operativa del proceso de secado	✓ Paradas no programadas que limiten la recolección de datos.
✓ Dependencia de condiciones reales de operación para toma de datos.	✓ Restricciones presupuestales para implementar mejoras.

1.2.1. Planteamiento del Problema.

En la planta palmiste de Palmas del Cesar, el proceso de secado de almendra constituye una etapa crítica para garantizar la calidad del producto y la eficiencia en la extracción posterior del aceite. El proceso de extracción de aceite de palmiste necesita que la almendra de la palma este con unos estándares de secado, donde la humedad relativa de la misma debe rondar por los

estándares técnicos, según (Wambeck, 2005) esta humedad no debe superar el 7% para realizar el proceso de secado se dispone la almendra un proceso de secado por convección forzada en silos de secado, para garantizar este proceso el aire es calentado a través de intercambiadores de calor y posteriormente el aire es impulsado hacia los silos para reducir el contenido de humedad de la nuez hasta niveles adecuados de almacenamiento y procesamiento. (Malaysian Palm Oil Board, 2000)

El desempeño del sistema de secado depende directamente de la eficiencia de transferencia de calor de los intercambiadores, debido a que son estos los que determinan la temperatura del aire de secado y, por tanto, la capacidad de evaporación de la humedad presente en la almendra. (Galbán, 2014)

Por la operación continua, las aletas de los radiadores en los intercambiadoras de calor están expuestas a la acumulación progresiva de suciedad, partículas sólidas y residuos propios del proceso industrial. (Inamdar, 2023)

La acumulación de material particulado incrementa la resistencia térmica total del sistema y disminuye el coeficiente global de transferencia de calor y reduce la transferencia de calor al aire suministrado por los silos, y compromete directamente el proceso de extracción de humedad de la almendra de palma. Esta disminución puede ocasionar tiempos de secado mayores a los estipulados por los fabricantes de los silos, genera un mayor consumo energético y afecta la calidad final del aceite de palmiste. (Galbán, 2014)

Las intervenciones de mantenimiento en los intercambiadores de calor se realizan de manera rudimentaria, y no se tiene un control exacto del tiempo de limpieza de los radiadores debido a tal problemática se pretende evaluar el desempeño térmico del sistema de secado de

almendra, y con ello determinar la relación entre el ensuciamiento de los intercambiadores y la pérdida de eficiencia de transferencia de calor, para poder establecer un criterio técnico donde se defina el tiempo óptimo de mantenimiento. (Bott, 1995)

1.3. Objetivos de la pasantía.

1.3.1. Objetivos General

Evaluar el desempeño térmico del sistema de secado de almendra mediante intercambiadores de calor y estandarizar el mantenimiento de los intercambiadores en la planta palmiste de Palmas del Cesar.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Caracterizar las condiciones actuales de operación del sistema de secado de almendra que emplea intercambiadores de calor en la planta palmiste de Palmas del Cesar, identificando las principales variables operativas del proceso.
2. Evaluar el desempeño térmico de los intercambiadores de calor a partir del análisis de las variables operativas del proceso de secado, con el fin de determinar su eficiencia y posibles oportunidades de mejora.
3. Proponer un procedimiento estandarizado de mantenimiento para los intercambiadores de calor que contribuya al mejoramiento de la eficiencia térmica y al desempeño global del sistema de secado.

1.4. Descripción de las actividades a desarrollar en la misma.

Tabla 2

Descripción de actividades de pasantía.

Objetivo General	Objetivos Específicos	Actividades a desarrollar en la empresa para hacer posible el cumplimiento de los Obj. Específicos
Evaluar el desempeño térmico del sistema de secado de almendra mediante intercambiadores de calor y estandarizar el mantenimiento de los intercambiadores en la planta palmiste de Palmas del Cesar	Caracterizar las condiciones actuales de operación del sistema de secado de almendra que emplea intercambiadores de calor en la planta palmiste de Palmas del Cesar, identificando las principales variables operativas del proceso.	Realizar el levantamiento técnico del sistema de intercambio térmico, identificando configuración, tipo de intercambiador, condiciones nominales de operación y parámetros de diseño. Registrar temperaturas de entrada y salida del aire, caudal; durante diferentes jornadas de producción. Procesar y analizar los datos obtenidos mediante balances de energía y cálculos térmicos básicos para describir el comportamiento operativo del sistema bajo condiciones reales.
	Evaluar el desempeño térmico de los intercambiadores de calor a partir del análisis de las variables operativas del proceso de secado, con el fin de determinar su eficiencia y posibles oportunidades de mejora.	Realizar inspecciones técnicas visuales y documentales de los intercambiadores para identificar presencia de depósitos o acumulaciones en superficies de transferencia. Comparar los parámetros térmicos medidos antes y después de intervenciones de limpieza programadas, con el fin de identificar variaciones en el comportamiento térmico del sistema.
		Determinar la relación entre el tiempo de operación acumulado y las variaciones en las condiciones térmicas del aire suministrado a los silos.
	Proponer un procedimiento estandarizado de mantenimiento para los	Analizar el historial de horas de operación de los intercambiadores y

intercambiadores de calor que contribuya al mejoramiento de la eficiencia térmica y al desempeño global del sistema de secado.	relacionarlo con las condiciones térmicas registradas en planta. Definir un rango de variación aceptable en los parámetros térmicos que sirva como referencia para la intervención de mantenimiento. Elaborar una propuesta técnica de estandarización del mantenimiento que incluya periodicidad recomendada, variables de seguimiento y procedimiento de verificación.
---	---

Capítulo 2. Enfoques referenciales.

2.1 Enfoque conceptual.

La transferencia de calor se define como el proceso mediante el cual la energía térmica se transfiere de un sistema a otro debido a una diferencia de temperatura “el calor fluye desde un medio de mayor temperatura hacia otro de menor temperatura como consecuencia de un gradiente térmico”. Este principio es fundamental en el funcionamiento de los intercambiadores de calor utilizados en el calentamiento del aire de secado. (Cengel, 2015)

Los intercambiadores de calor son dispositivos diseñados para transferir energía térmica entre dos o más fluidos a diferentes temperaturas, sin que exista mezcla directa entre ellos. Estos equipos permiten que el uso de la energía térmica sea mediante la recuperación y transferencia del calor. (Shah, 2003)

El fouling es un fenómeno que se puede definir como la acumulación de material particulado sobre las superficies de transferencia de calor como los son los radiadores, normalmente en las aletas de los mismos, esta acumulación genera una resistencia térmica que reduce la capacidad para transferir energía. El fouling constituye una de las principales causas de deterioro en el desempeño térmico de los intercambiadores de calor en aplicaciones industriales. (Steinhagen, 2011)

El secado por convección forzada consiste en la eliminación de humedad de un material mediante la circulación de aire caliente. Este proceso depende de variables como la temperatura del aire, la velocidad del flujo y la humedad relativa. La eficiencia del secado está directamente relacionada con la capacidad del aire para absorber humedad, la cual aumenta con la temperatura del mismo. (Incropera, 2011)

La humedad del producto es un parámetro crítico en el procesamiento de la almendra de palma, ya que influye directamente en la calidad del producto final y en la eficiencia del proceso de extracción de aceite. El contenido de humedad de la almendra debe mantenerse en valores cercanos al 7 % para garantizar condiciones adecuadas de almacenamiento y procesamiento. (Wambeck, 2005)

2.2. Enfoque legal.

Decreto 1072 de 2015, abarca la normatividad del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST). Esta normativa establece la obligación de identificar, evaluar y controlar los riesgos asociados a las actividades industriales, incluyendo aquellas relacionadas con la operación y mantenimiento de equipos térmicos como intercambiadores de calor, donde existen riesgos asociados a altas temperaturas, presión y manipulación de sistemas en funcionamiento. (Ministerio de Trabajo, 2015)

ASME: normas y recomendaciones para el manejo de equipos térmicos ya que la normativa técnica aplicable a sistemas de generación y transferencia de calor. Particularmente las relacionadas con recipientes a presión y calderas y con ella se traza el diseño, operación y mantenimiento de equipos que operan bajo condiciones térmicas exigentes. (ASME, 2026)

Normas Técnicas Colombianas (NTC) emitidas por el ICONTEC proporcionan lineamientos relacionados con la gestión del mantenimiento, eficiencia energética y buenas prácticas industriales. Estas normas contribuyen a estandarizar procesos y garantizar la calidad en la operación de los sistemas industriales. (ICONTEC, 2026)

Ley 99 de 1993, regula la gestión ambiental en Colombia y promueve el uso eficiente de los recursos naturales; Para la optimización de los sistemas de secado mediante un adecuado

mantenimiento de los intercambiadores de calor contribuye a la reducción del consumo energético y para ello se debe recurrir al cumplimiento de principios de sostenibilidad ambiental. (Congreso de Colombia, 1993)

Ley 697 de 2001, se establece lineamientos para promover la eficiencia energética en los procesos industriales. Esta ley respalda la pertinencia de estudios orientados a mejorar el desempeño térmico de los sistemas, como es el caso del análisis propuesto en los intercambiadores de calor del sistema de secado. (Congreso de Colombia, 2001)

Capítulo 3. Informe de cumplimiento de trabajo.

3.1. Caracterizar las condiciones actuales de operación del sistema de secado de almendra que emplea intercambiadores de calor en la planta palmiste de Palmas del Cesar, identificando las principales variables operativas del proceso.

Con el propósito de dar cumplimiento al primer objetivo específico, orientado a caracterizar las condiciones actuales de operación del sistema de secado de almendra que emplea intercambiadores de calor en la planta palmiste de Palmas del Cesar e identificar las principales variables operativas del proceso, se desarrollaron actividades enfocadas en el levantamiento y análisis de la información técnica y operacional del sistema.

Estas actividades permiten conocer la configuración del sistema de intercambio térmico, las características constructivas y funcionales de los equipos, las condiciones nominales de operación establecidas por el proceso y los principales parámetros que intervienen en el desempeño del secado.

Asimismo, se logra una visión integral del funcionamiento del sistema, lo que permite establecer una línea base de las condiciones de operación, indispensable para las etapas posteriores de evaluación del comportamiento térmico de los intercambiadores de calor y el análisis de la influencia del ensuciamiento sobre su desempeño.

3.1.1. Realizar el levantamiento técnico del sistema de intercambio térmico, identificando configuración, tipo de intercambiador, condiciones nominales de operación y parámetros de diseño.

Identificación del sistema.

Tipo de intercambiador: Los intercambiadores de calor utilizados para el proceso de secado, son elaborados por la empresa colombiana HRG Ingeniería. Cada uno de ellos cuenta con una capacidad técnica de 350.000 BTU, este tipo de intercambiadores aprovechan la alta temperatura del vapor producido por la caldera pirotubular de la empresa para así, realizar la transferencia de calor al aire que al ser calentado sirve para secar la almendra de palmiste. (INGENIERÍA, 2026)

Figura 2

Ficha técnica intercambiadores de calor de los silos de almendra.

H.R.G INGENIERIA LIMITADA
 Dirección: Calle 68 # 90A - 20
 Teléfono: 3204908544 - 4385794
 BOGOTÁ D.C - COLOMBIA
www.hrging.com

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS COTIZACIÓN No: **8735203**

CAPACIDAD **350 000** Btu

VAPOR ☒ AIRE ☐ AGUA ☐ GAS ☐ ACEITE ☐

VAPOR ☐ AIRE ☒ AGUA ☐ GAS ☐ ACEITE ☐

PRESIÓN DE PRUEBA **260** PSI

FECHA **26 07 22**

Nota. Intercambiador de calor de 350000 btu (H.G.R INGENIERÍA LIMITADA)

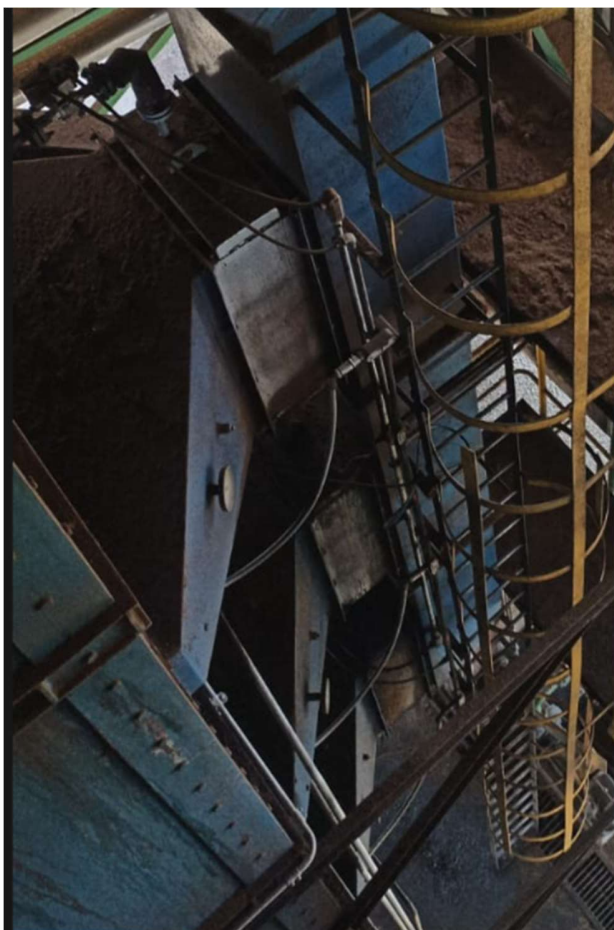
Cantidades instaladas: En la empresa palmas del César existen dos silos de secado de almendra de palmiste, cada uno de ellos utiliza tres etapas de secado y por lo cual es necesario utilizar tres intercambiadores de calor, cada etapa trabaja en condiciones diferentes, la primera etapa de secado necesita extraer más porcentaje de humedad por lo tanto necesita más capacidad

de extracción, lo que equivale en un mayor aumento en la temperatura del aire de secado.

(Palmas del Cesar, 2026)

Figura 3

Ductos e intercambiadores de calor silo de almendras.



Nota. Propiedad Palmas del César.

Una parte importante para garantizar el correcto intercambio térmico con las trampas de vapor, estas ayudan a redireccionar los condensados al tanque donde estos condensados son otra evaporados para así retornar a las tuberías de vapor.

Figura 4

Sistema de condesados.



Nota. Propiedad Palmas del César.

Las trampas de vapor utilizadas en este sistema de captación de condesados son de la marca Watson McDaniel, marca líder a nivel mundial en la fabricación de válvulas industriales. Estas trampas son de referencia FTT-65 para una presión máxima de 250 psi y un diámetro de tubería de $\frac{3}{4}$ "

Figura 5

Ficha técnica trampa de vapor.



Nota. Propiedad Palmas de César.

Figura 6

Ventilador centrifugo silo de almendra.



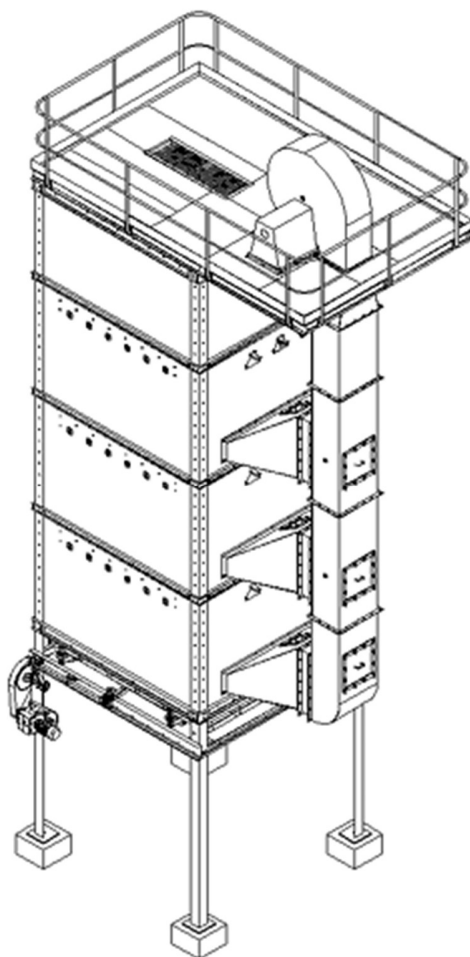
Nota. Propiedad Palmas de César.

Para lograr una correcta extracción de humedad en la almendra de palmiste, es necesario aire, este mismo es impulsado por un ventilador centrifugo AH21 de 30 HP, con una capacidad de flujo de 13500 CFM a 60 Hertz

Capacidad operativa de los silos de secado, los silos de secado cuentan con tres etapas para el secado, cada una de ellas tiene una capacidad de almacenaje útil de 16 m^3 dando así una capacidad volumetrica de 48 m^3 por silo

Figura 7

Silo de Almendra.



Nota. Propiedad de Palmas de César.

3.1.2. Registrar temperaturas de entrada y salida del aire, caudal; durante diferentes jornadas de producción.

Para este análisis es de vital importancia comprender y entender las condiciones de operación del sistema de secado.

Para que el aire impulsado por el ventilador se caliente es necesario que el mismo pase a través de un intercambiador de calor que añade energía al aire y aumenta su temperatura.

Figura 8

Esquema del proceso de aumento de temperatura del aire.



Condiciones ambientales: La fábrica se cuenta ubicada en el corregimiento de Minas, César. Este corregimiento cuenta con una temperatura ambiente promedio en las horas de sol de 36° C aproximadamente, con una humedad relativa de 53%

Estos parámetros son de vital importancia para garantizar el correcto funcionamiento de todas los componentes que realizan el proceso de secado.

Figura 9

Condiciones ambientales San Martín, César.



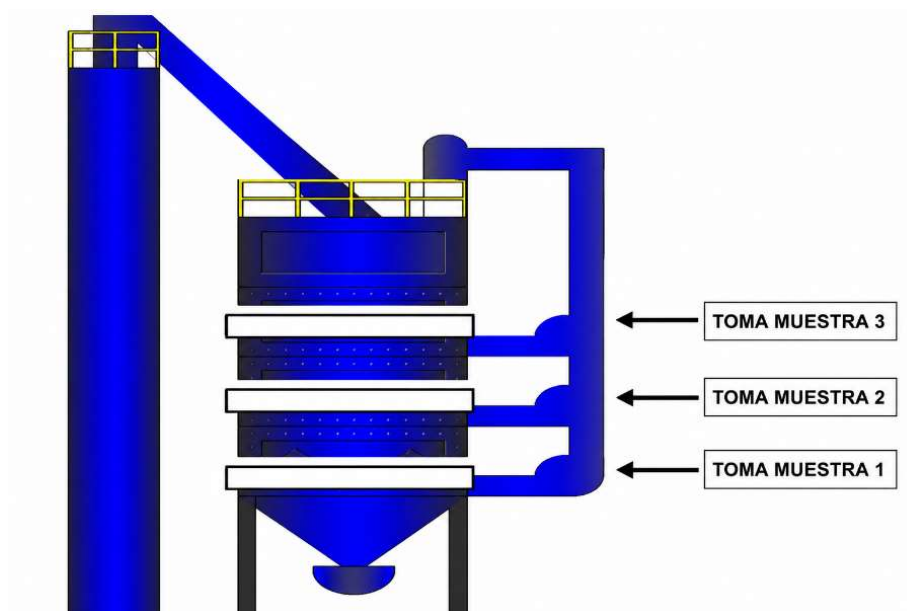
Nota. Registro de temperatura suministrada por Google Search

Puntos de medición de caudal experimental de aire: Para lograr medir el flujo de aire que fluye en cada tramo de sistema de secado se realizaron tres perforaciones ubicadas estratégicamente para garantizar una correcta medición y sobre todo garantizar la integridad del personal que será el encargado de realizar las mediciones.

El primero orificio es ubicado antes del intercambiador de calor superior, el segundo orificio es realizado antes del intercambiador de la mitad y el tercer orificio se realiza en justo antes del último intercambiador de calor. Con estos datos se sabrá con exactitud cuál es el flujo real que ingresa en los silos de secado de almendra.

Figura 10

Esquema toma muestra de aire silo de almendra.



Nota. Propiedad Palmas del César.

Instrumentos y métodos de medición: Para garantizar una confiabilidad en la toma de mediciones la empresa cuenta con una gama de equipos de excelente tecnología.

Anemómetro digital: Se cuenta con un anemómetro CEM DT – 8800 lo cual es un instrumento diseñado para medir con alta precisión velocidades de aire bajas, siendo especialmente adecuado para su uso en rejillas, difusores y sistemas de climatización (HVAC). Cuenta con una sonda delgada y extensible equipada con tecnología de termistor, la cual permite obtener de manera rápida y simultánea mediciones de la velocidad y la temperatura del flujo de aire. (electroindustria, 2026)

Cámara termográfica: Es un instrumento de medición que permite determinar la temperatura superficial de los equipos sin necesidad de contacto directo, mediante la detección de la radiación infrarroja emitida por los cuerpos. En este estudio se emplea una cámara

termográfica de la marca Fluke para registrar la temperatura del vapor en la entrada y la salida del intercambiador de calor. Estas mediciones permiten verificar la distribución térmica del sistema, identificar posibles anomalías en la transferencia de calor y complementar los datos obtenidos con las termocuplas. (Maldague, 2001)

Termocuplas: Las termocuplas son sensores de temperatura ampliamente utilizados en aplicaciones industriales debido a su rapidez de respuesta, precisión y capacidad para operar en un amplio rango de temperaturas. En este estudio, se emplean para medir la temperatura del aire a la salida del intercambiador de calor, proporcionando datos en tiempo real sobre las condiciones térmicas del fluido que ingresa al proceso de secado. Esta información es fundamental para evaluar el comportamiento térmico del intercambiador de calor, verificar la estabilidad de las condiciones de operación y analizar la influencia del ensuciamiento sobre el desempeño del sistema. Además, el monitoreo continuo de la temperatura permite detectar variaciones en la transferencia de calor y suministrar información confiable para el análisis de la eficiencia térmica y la definición de criterios de mantenimiento. (Engineering, 2023)

Tubo de Pitot: El tubo de Pitot es un instrumento empleado para determinar la presión total y la presión estática de un fluido en movimiento, a partir de las cuales se obtiene la presión dinámica y, posteriormente, la velocidad del flujo mediante la ecuación de Bernoulli. En este estudio, el equipo se utiliza en los mismos puntos de medición del anemómetro para registrar las presiones del aire, expresadas en centímetros de columna de agua (cm c.a.). Estas mediciones permiten evaluar las pérdidas de carga presentes en los ductos del sistema de secado, verificar las condiciones de circulación del aire y validar los valores de velocidad obtenidos con el anemómetro. La información proporcionada por el tubo de Pitot es fundamental para analizar el

comportamiento aerodinámico del sistema y asegurar la confiabilidad de los datos utilizados en la evaluación del desempeño térmico del intercambiador de calor. (Cengel, 2015)

Toma de datos: la toma de datos se realiza las semanas donde ambos silos estén en condiciones de llenado adecuados, para garantizar que las pérdidas en cada uno de los compartimientos de los silos estén en equilibrio.

3.1.3. Procesar y analizar los datos obtenidos mediante balances de energía y cálculos térmicos básicos para describir el comportamiento operativo del sistema bajo condiciones reales.

La caracterización del comportamiento térmico del sistema de secado de almendra se realizará mediante el procesamiento y análisis de las variables operativas registradas en los intercambiadores de calor instalados en los silos de secado de la planta palmiste. La toma de datos se efectuará semanalmente durante los periodos de alta ocupación de los silos, debido a que el acceso a los puntos de medición requiere la ejecución de trabajos en alturas y la disponibilidad de personal técnico del área de mantenimiento preventivo.

Las variables registradas incluyen la temperatura de entrada y salida del vapor, el caudal de aire impulsado por los ventiladores, la temperatura del aire a la salida de cada intercambiador y las horas de operación acumuladas de los equipos.

Para determinar el calor real transferido al aire de secado, se aplicará el balance de energía para sistemas de flujo estacionario. (Cengel, 2015)

$$Q_{real} = \dot{m}_{aire} * C_p * (T_{sal} - T_{ent})$$

donde:

Q_{real} = es el calor transferido al aire (kW);

$\dot{m}_{aire}$ = es el flujo másico de aire (kg/s);

C_p = es el calor específico del aire, considerado como (1,005\ kJ/kg*K);

$(T_{sal} - T_{ent})$ = corresponden a las temperaturas de salida y entrada del aire,

El flujo másico de aire se calculará a partir del caudal volumétrico medido y la densidad del aire mediante la siguiente expresión. (Shapiro, 2018)

$$\dot{m}_{aire} = \rho_{aire} * V_{aire} * A_{ducto}$$

Posteriormente, se determinará el calor máximo teórico que podría transferirse al aire de secado, considerando la temperatura del vapor como límite superior del proceso. (Cengel, 2015)

$$Q_{max} = \dot{m}_{aire} * C_p * (T_{vap} - T_{ent})$$

Donde T_{vap} corresponde a la temperatura de entrada del vapor al intercambiador.

El desempeño térmico de cada intercambiador se evaluará mediante el cálculo de la efectividad térmica, definida como la relación entre el calor real transferido y el calor máximo teórico. (Cengel, 2015)

$$\eta_{ter} = \frac{Q_{real}}{Q_{max}}$$

3.2. Evaluar el desempeño térmico de los intercambiadores de calor a partir del análisis de las variables operativas del proceso de secado, con el fin de determinar su eficiencia y posibles oportunidades de mejora.

Con el propósito de evaluar el comportamiento térmico de los intercambiadores de calor que hacen parte del sistema de secado de almendra, se desarrollará un análisis integral de las principales variables operativas que intervienen en el proceso de transferencia de calor. Para ello, se realizarán inspecciones técnicas, mediciones en condiciones reales de operación y cálculos térmicos que permitan determinar el desempeño de los equipos y analizar su evolución a lo largo del tiempo para establecer la relación entre la acumulación de depósitos sobre las superficies de intercambio, la disminución de la efectividad térmica y el tiempo de operación de los intercambiadores, y con ello lograr identificar oportunidades de mejora que sirvan como fundamento para la optimización de las estrategias de mantenimiento implementadas en la planta palmiste.

3.2.1. Realizar inspecciones técnicas visuales y documentales de los intercambiadores de calor, identificando la presencia de depósitos o acumulaciones sobre las superficies de transferencia térmica y su posible influencia en las condiciones operativas del sistema.

Las inspecciones se realizarán durante las paradas programadas de mantenimiento preventivo, garantizando condiciones seguras de acceso y la aplicación de los procedimientos de bloqueo y etiquetado establecidos por la empresa.

Para garantizar una correcta inspección se realiza una revisión documental de los registros históricos de mantenimiento, incluyendo órdenes de trabajo, reportes de limpieza,

frecuencia de intervención, horas de operación acumuladas y antecedentes de fallas asociadas al sistema de secado.

Figura 11

Orden de trabajo limpieza radiadores silo de almendra.

The screenshot displays the Mántum software interface for managing work orders. The main window is titled 'ÓRDENES DE TRABAJO (O.T.) - VER ORDEN DE TRABAJO (O.T.) - 016113'. The interface includes a sidebar with navigation options like 'ORDEN DE TRABAJO', 'ACCIONES', and 'ENLACES - VÍNCULOS'. The main content area shows details for work order 016113, including its number, priority (Media), and current status (Cerrada). The description of the work order is: 'Entidades a intervenir: SILO DE NUEZ 1, SILO DE ALMENDRA 1, SILO DE ALMENDRA 2. Actividades de mantenimiento incluidas: Limpieza de radiadores - Lavado interno de radiadores de secado'. The diagnostic section states: 'SE REALIZA LIMPIEZA GENERAL DE LOS RADIADORES DE LOS SILO DE NUEZ Y ALMENDRA LÍNEA N°2'. The technical implementation section states: 'SE REALIZA LIMPIEZA GENERAL EXTERNA DE LOS SILOS DE NUEZ Y ALMENDRA LÍNEA N°2'. The user data section is empty.

Nota. MÁNTUM (Software mantenimiento Palmas del César)

Figura 12

Intercambiador de calor antes de realizar las actividades de limpieza.



Nota. Propiedad Palmas del César.

Figura 13

Intercambiador de calor después de la jornada de mantenimiento.



Nota. Propiedad Palmas del César.

Se logra observar gran acumulación de partículas de polvos, las cuales disminuyen drásticamente la eficiencia en la transferencia de calor del vapor de agua al aire de secado.

3.2.2. Comparar los parámetros térmicos medidos antes y después de intervenciones de limpieza programadas, con el fin de identificar variaciones en el comportamiento térmico del sistema.

Con el propósito de evaluar el impacto de las actividades de limpieza sobre el desempeño térmico de los intercambiadores de calor, se realizará un análisis comparativo de las principales variables operativas del sistema de secado de almendra antes y después de cada intervención de mantenimiento programada.

Figura 14

Formato preoperacional silo de almendra.

		REGISTRO		SGC-RE-DPB-1000
		INSPECCIÓN PREOPERACIONAL SILOS DE ALMENDRA		VERSIÓN 01
EQUIPO:	SILO DE ALMENDRA	ÁREA:	PALMISTERÍA	
FECHA:		RESPONSABLE:		
SEMANAL				
ESTADO SILOS DE ALMENDRA				
	ACTIVIDAD	SI	NO	OBSERVACIONES
1	¿El intercambiador de calor presenta condiciones físicas adecuadas y sin daños visibles?			
2	¿Las superficies externas del intercambiador se encuentran libres de acumulación excesiva de polvo, fibras o material particulado?			
3	¿Las conexiones de vapor se encuentran sin fugas visibles?			
4	¿Las tuberías están libres de fugas?			
5	¿La trampa de vapor presenta funcionamiento normal?			
6	¿Las válvulas de entrada y salida de vapor se encuentran en la posición de operación establecida?			
7	¿Los ventiladores del sistema de secado operan sin vibraciones o ruidos anormales?			
8	¿Los ductos de aire se encuentran libres de obstrucciones o daños visibles?			
9	¿Se evidencia un flujo uniforme de aire caliente hacia el silo?			
10	¿Las compuertas o registros de aire se encuentran en condiciones adecuadas de operación?			
11	¿No se observan acumulaciones excesivas de almendra o material que obstruyan el flujo de aire dentro del sistema?			
12	¿Las condiciones generales del sistema permiten la operación segura del proceso de secado?			
Realizó:		Revisó:		

Nota. Elaboración propia formato de diligenciamiento de ruta preventiva en el sistema de secado.

Las mediciones se efectuarán bajo condiciones operativas similares, garantizando que las condiciones de llenado de los silos, las condiciones ambientales y la presión de suministro de vapor presenten variaciones mínimas durante los periodos de evaluación.

Tabla 3

Eficiencia antes de actividades de limpieza.

Eficiencia antes de la actividad de mantenimiento					
	(°C)	Q _{real} (KW)	Q _{máx} (KW)	Eficiencia (%)	
Intercambiador de calor	T _{entrada}	104,89185	311,67864	33,65	
	T _{salida}				

Nota. Tabla con parámetros reales tomados en la planta extractora en el área de palmistería.

Tabla 4

Eficiencia después de actividades de limpieza.

Eficiencia después de la actividad de mantenimiento					
		(°C)	Q_real (KW)	Q_máx (KW)	Eficiencia (%)
Intercambiador de calor	T_entrada	126	149,8455	269,7219	55,56
	T_salida	114			

Nota. Tabla con parámetros reales tomados en la planta extractora en el área de palmistería.

3.2.3. Determinar la relación entre el tiempo de operación acumulado y las variaciones en las condiciones térmicas del aire suministrado a los silos.

Se consolida una base de datos histórica de seguimiento que integra las variables térmicas y operativas registradas durante el proceso de secado, permitiendo relacionar las semanas de operación y las horas acumuladas de servicio de los intercambiadores de calor. A partir de esta información, se desarrollan análisis con el fin de identificar patrones de comportamiento.

Los resultados preliminares evidencian una recuperación aproximada del 22 % en la efectividad térmica de los intercambiadores después de la ejecución de actividades de limpieza, lo que confirma la influencia de la acumulación de material particulado sobre la capacidad de transferencia de calor del sistema. Este comportamiento permite establecer una relación directa entre el estado de limpieza de las superficies de intercambio y las condiciones térmicas del aire suministrado a los silos de secado.

Se evaluará la variación de la efectividad térmica en función del tiempo de operación acumulado, identificando posibles reducciones en la capacidad de transferencia de calor asociadas a la acumulación de depósitos sobre las superficies de intercambio.

Y el cual podrá determinar el comportamiento térmico de los intercambiadores a lo largo de su ciclo operativo y servirá como base para la formulación de estrategias de mantenimiento orientadas a garantizar las condiciones requeridas para el proceso de secado de la almendra.

Factor de ensuciamiento (fouling factor): corresponde a la resistencia térmica adicional generada por la acumulación progresiva de depósitos sobre las superficies de transferencia de calor de un intercambiador. La presencia de estas incrustaciones disminuye el coeficiente global de transferencia de calor, reduciendo la capacidad del equipo para intercambiar energía térmica y, en consecuencia, su desempeño durante la operación. En el presente estudio, este concepto se emplea para analizar la disminución del desempeño térmico de los intercambiadores de calor a lo largo de las cinco semanas de seguimiento operacional. (Shah, 2003)

$$FE = \frac{\text{Eficiencia después} - \text{Eficiencia antes}}{\text{tiempo de limpieza}}$$

$$FE = \frac{55.5 \% - 33.4 \%}{5 \text{ semanas}}$$

$$FE = 4.42 \%/semana$$

Lo cual revela un aumento semanal de polvo y suciedad en el sistema de 4.42 % cada semana que avanza el proceso.

3.3. Proponer un procedimiento estandarizado de mantenimiento para los intercambiadores de calor que contribuya al mejoramiento de la eficiencia térmica y al desempeño global del sistema de secado.

3.3.1. Analizar el historial de horas de operación de los intercambiadores y relacionarlo con las condiciones térmicas registradas en planta.

La información se obtiene a partir de los registros de operación del sistema de secado, la cual incluirá temperaturas de entrada y salida del aire, temperatura del vapor, caudal de aire y efectividad térmica de los intercambiadores.

Tabla 5

Variables y condiciones ambientales para el sistema de secado.

Variables y condiciones	
Flujo aire (m ³ /s)	2.485
Temp ambiente (°C)	36
Área ductos (m ²)	0.35
Cp aire (KJ/Kg*°C)	1.005
Velocidad aire (m/s)	7.1
Temperatura aire entrando silo	71
Densidad (Kg/m ³)	1.2

Nota. Condiciones ambientales estipuladas en el corregimiento de Minas, perteneciente al municipio de San Martín, César.

Para determinar un criterio técnico para la estandarización de las actividades de limpieza de los intercambiadores de calor, se realizará un seguimiento en semanas de operación acumuladas, iniciando inmediatamente después de una intervención de limpieza, condición que se considerará como el punto de referencia de máximo desempeño térmico del sistema.

A partir de este momento, se registrarán semanalmente las principales variables operativas y térmicas, con el fin de analizar su comportamiento a lo largo del tiempo, se evaluará la disminución progresiva del desempeño térmico asociada a la acumulación de material

particulado sobre las superficies de transferencia de calor, permitiendo identificar el número de semanas de operación necesarias para que la efectividad térmica alcance un nivel que justifique una nueva intervención.

Tabla 6

Estudio de eficiencia por tiempo de operación.

Semanas	Q_real (KW)	Q_máx (KW)	Eficiencia (%)
Semana 1	149,8	269,7	55,5431961
Semana 2	137,8	281,7	48,9172879
Semana 3	116,87	296,69	39,3912838
Semana 4	107,7	308,7	34,888241
Semana 5	103,9	310,7	33,440618

Nota. Parámetros térmicos necesarios para el cálculo de eficiencia térmica.

3.3.2. Definir un rango de variación aceptable en los parámetros térmicos que sirva como referencia para la intervención de mantenimiento.

Ahorro de consumo de vapor gracias a las labores de limpieza.

La pérdida progresiva de efectividad térmica ocasionada por la acumulación de depósitos sobre las superficies de transferencia de calor incrementa la resistencia térmica del intercambiador, disminuyendo la cantidad de calor transferido al aire de secado. Como consecuencia, el sistema requiere un mayor consumo de vapor para satisfacer la carga térmica demandada por el proceso, lo que se traduce en un incremento del consumo energético y de los costos asociados a la generación de vapor. La implementación de un procedimiento estandarizado de limpieza permite conservar un adecuado desempeño térmico de los intercambiadores, reducir el consumo específico de vapor y mejorar la eficiencia energética y económica del proceso de secado de almendra. (Shah, 2003)

Con base en los resultados obtenidos del análisis térmico y del comportamiento histórico de los intercambiadores de calor, se establecerán rangos operativos aceptables para los principales parámetros del sistema de secado de almendra.

En la quinta semana desde que se realizó la actividad preventiva de limpieza se observa una disminución de más del 22% en su capacidad de transferir calor al aire para realizar el sistema de secado, este estudio demuestra la importancia de realizarse la limpieza y para aumentar la confiabilidad del mismo sistema se debe estandarizar esa actividad de limpieza entre la semana 3 y la semana 4, para evitar llegar a baja eficiencia en el secado

3.3.3. Elaborar una propuesta técnica de estandarización del mantenimiento que incluya periodicidad recomendada, variables de seguimiento y procedimiento de verificación.

Se llevará a cabo la implementación de un procedimiento estandarizado de mantenimiento para el sistema de secado de almendra de la planta palmiste. La propuesta contempla la ejecución de actividades de limpieza de los intercambiadores de calor con una periodicidad de tres semanas, intervalo en el cual se identificó una disminución progresiva del desempeño térmico asociada a la acumulación de material particulado sobre las superficies de transferencia de calor. Esta frecuencia de intervención permitirá mantener condiciones operativas estables en el sistema de secado y garantizar una adecuada transferencia de energía al aire de proceso.

El procedimiento debe incluir la aplicación de la ruta de inspección preoperacional en los silos de almendra, orientada a comprobar el correcto funcionamiento de los intercambiadores de calor, ventiladores, ductos de distribución de aire, válvulas de vapor, sistema de condensados.

La capacitación técnica del personal operativo del área de palmistería se debe realizar

para así mejorar en aspectos relacionados con la operación del sistema de secado, lo cual garantizará una mejor comprensión de la interacción entre los intercambiadores de calor, los ductos de ventilación, los ductos de flujo de aire, con el fin de garantizar una distribución homogénea del aire caliente dentro de los silos para mantener las condiciones requeridas para el secado de la almendra.

Ficha técnica para la limpieza de los intercambiadores de calor.

La presente ficha técnica establece el procedimiento estandarizado para la limpieza de los intercambiadores de calor del sistema de secado de almendra. Su propósito es orientar al personal operativo y de mantenimiento en la correcta ejecución de la actividad, mediante la definición de las etapas, verificaciones y criterios técnicos necesarios para garantizar una limpieza efectiva, minimizar la ocurrencia de errores humanos, mantener la capacidad de transferencia de calor de los equipos y contribuir a la confiabilidad y eficiencia del proceso de secado.

Figura 15

Ficha técnica lavado de intercambiadores de calor.

		REGISTRO		SGC-RE-DPB-1001	
		FICHA TÉCNICA LAVADO DE INTERCAMBIADOR DE CALOR SILOS DE ALMENDRA		VERSIÓN 01	
EQUIPO:	SILO DE ALMENDRA	ÁREA:	PALMISTERÍA		
FECHA:		RESPONSABLE:			
SEMANAL					
FORMATO DE ESTANDARIZACIÓN DE LIMPIEZA DE INTERCAMBIADORES DE CALOR					
PASOS	ACTIVIDAD	RESPONSABLE	RIESGO	MEDIDA DE CONTROL	CUMPLIMIENTO
1	Solicitar permiso de intervención y coordinar parada del equipo	SUPERVISOR	Arranque inesperado	Coordinación con Producción	
2	Aplicar procedimiento LOTO (bloqueo y etiquetado)	SUPERVISOR	Liberación de energía	Candados y tarjetas de bloqueo	
3	Cerrar válvulas de vapor y aislar el intercambiador	TÉCNICO	Quemaduras por vapor	Confirmar ausencia de presión	
4	Esperar enfriamiento del equipo	TÉCNICO	Contacto con superficies calientes	Verificar temperatura segura	
5	Utilizar los EPP requeridos	TÉCNICO	Lesiones personales	Casco, gafas, guantes, botas, respirador	
6	Abrir tapas o registros de inspección	TÉCNICO	Golpes y atrapamiento	Uso de herramientas adecuadas	
7	Inspeccionar visualmente el estado de las aletas	TÉCNICO		Registrar suciedad, deformaciones y corrosión	
8	Retirar material particulado con aire comprimido (en sentido contrario al flujo de aire)	TÉCNICO	Proyección de partículas	Protección ocular y respiratoria	
9	Limpiar las aletas con cepillo de cerdas suaves	TÉCNICO	Daño de aletas	Evitar deformaciones	
10	Aplicar lavado con agua a presión moderada (si el fabricante lo permite)	TÉCNICO	Humedad en componentes	Evitar afectar elementos eléctricos	
11	Verificar que no existan residuos ni obstrucciones	TÉCNICO		Inspección visual	
12	Revisar conexiones de vapor y condensado	TÉCNICO	Fugas	Verificar uniones y empaques	
13	Cerrar registros y asegurar todos los elementos	TÉCNICO	Fugas	Ajuste de tornillería	
14	Retirar el bloqueo y poner el equipo en operación	SUPERVISOR		Seguir procedimiento LOTO	
15	Registrar temperaturas, caudal de aire y observaciones	TÉCNICO	Arranque inseguro	Comparar con valores históricos	
16	Calcular la efectividad térmica y registrar la intervención	PASANTE		Actualizar historial del equipo	
Realizó:			Revisó:		

Nota. Formato para garantizar una correcta estandarización de las labores de limpieza en los intercambiadores de calor

4. Diagnóstico final.

La pasantía en el área de mantenimiento de la planta de beneficio de Palmas del Cesar representó una oportunidad para aplicar y fortalecer los conocimientos adquiridos durante la carrera, gracias a la participación activa en procesos industriales orientados a garantizar la confiabilidad y continuidad operativa de los equipos de la planta.

Durante el periodo de práctica, se brindó apoyo al equipo de mantenimiento en la ejecución de actividades relacionadas con el registro y seguimiento de horas de operación de equipos críticos, la toma de mediciones en campo, el levantamiento técnico de información, la actualización de registros operativos y la identificación de oportunidades de mejora en los sistemas de la planta palmiste.

Como resultado de las actividades desarrolladas en el área de mantenimiento de la planta de beneficio de Palmas del Cesar, se realizó el diagnóstico técnico del sistema de secado de almendra mediante la caracterización de las variables operativas y térmicas de los intercambiadores de calor, permitiendo establecer una línea base para el análisis de su desempeño bajo condiciones reales de operación. El estudio evidenció una disminución aproximada del 22 % en la efectividad térmica de los intercambiadores de calor, debido a la acumulación de material particulado sobre las superficies de transferencia, lo que incrementa la resistencia térmica y reduce la capacidad del sistema para transferir calor al aire de secado.

Con base en estos resultados, se estableció una relación entre el tiempo de operación de los intercambiadores y la degradación de su desempeño térmico, permitiendo proponer una frecuencia de limpieza cada tres semanas. Esto logra un avance claro hacia la implementación de una estrategia de Mantenimiento Basado en la Condición (CBM), orientada a intervenir los

equipos de acuerdo con su comportamiento térmico y no exclusivamente mediante intervalos fijos de tiempo.

Desde el punto de vista operativo, la implementación de la frecuencia de limpieza propuesta contribuye a mantener condiciones térmicas adecuadas para el proceso de secado de la almendra, favoreciendo que el aire suministrado a los silos alcance la temperatura requerida para reducir el contenido de humedad del producto.

5. Conclusiones.

Las pasantías profesionales constituyen un mecanismo fundamental para la integración de los conocimientos adquiridos durante la formación académica con las necesidades y dinámicas propias del sector industrial, fortaleciendo las competencias técnicas y analíticas del futuro ingeniero.

El seguimiento térmico realizado a los intercambiadores de calor del sistema de secado de almendra evidenció una disminución aproximada del 22 % en la efectividad térmica durante el periodo de evaluación, asociada a la acumulación progresiva de material particulado sobre las superficies de transferencia de calor. Este comportamiento confirmó la influencia del ensuciamiento en el desempeño térmico de los equipos y en las condiciones del proceso de secado.

El análisis de las variables operativas permitió establecer que la limpieza preventiva de los intercambiadores de calor cada tres semanas recupera el desempeño térmico del sistema y mantiene las condiciones requeridas para suministrar aire caliente a los silos de secado, contribuyendo a que la almendra alcance un contenido de humedad inferior al 7 %, condición necesaria para preservar su calidad y favorecer una adecuada extracción del aceite de palmiste.

La implementación de balances de energía y cálculos de efectividad térmica constituye una herramienta técnica adecuada para evaluar el comportamiento de los intercambiadores de calor bajo condiciones reales de operación.

La propuesta de estandarización del mantenimiento basada en indicadores térmicos permitió establecer criterios objetivos para la programación de las actividades de limpieza en tres semanas contribuyendo a mejorar la gestión del mantenimiento y la continuidad operativa del sistema de secado.

6. Recomendaciones.

Se recomienda desarrollar un estudio de línea base del consumo de vapor del sistema de secado, con el propósito de cuantificar el impacto energético y económico asociado a la implementación del procedimiento estandarizado de limpieza de los intercambiadores de calor. Considerando que la acumulación de depósitos sobre las superficies de transferencia incrementa la resistencia térmica y disminuye la efectividad del intercambio de calor, mantener la efectividad térmica por encima del 45 % contribuirá a reducir el flujo másico de vapor requerido para alcanzar la temperatura de operación del aire de secado (71 °C), disminuyendo el consumo energético y los costos de generación de vapor en la caldera.

Incorporar el indicador de efectividad térmica dentro del software de gestión de mantenimiento Mántum, con el fin de implementarlo en el CBM. Lo cual garantiza que el sistema podrá generar órdenes de trabajo de forma automática cuando la efectividad térmica del intercambiador descienda por debajo del límite técnico establecido y pueda estar enlazado con la programación preventiva basada en la periodicidad de tres semanas.

Se recomienda formalizar la Ficha técnica lavado de intercambiadores de calor (SGC-RE-DPB-1001), detallando el método óptimo para evitar daños en las aletas de aluminio de los intercambiadores HRG. Este manual debe incluir los protocolos de seguridad LOTO para válvulas de vapor y ventiladores, cumpliendo con el Decreto 1072 de 2015.

Realizar un estudio de correlación entre la efectividad térmica de los intercambiadores de calor y los parámetros de calidad del aceite de palmiste, particularmente el índice de acidez. Mantener un desempeño térmico adecuado mediante la ejecución oportuna de las actividades de

mantenimiento permitirá conservar temperaturas uniformes durante el secado de la almendra, favoreciendo la reducción de su contenido de humedad hasta niveles óptimos para la extracción.

Referencias

- ASME. (2026). *The American Society of Mechanical Engineers*. Obtenido de <https://www.asme.org/>
- Bhuiyan, A. A. (2019). Recent advancements in impedance of fouling resistance and particulate depositions in heat exchangers. *sciencedirect*.
- Bott, T. R. (1995). *Fouling of Heat Exchangers*.
- Cengel. (2015). *Termodinamica*.
- Congreso de Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan*. Obtenido de secretariasenado.gov.co
- Congreso de Colombia. (3 de Octubre de 2001). *Ley 697 de 2001. Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No. 44.576*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4449>
- electroindustria. (2026). *Electro equipos industria*. Obtenido de <https://electroindustria.com.co/producto/dt-8880-anemometro-de-hilo-caliente/>
- Engineering, O. (2023). *Omega Engineering*. Obtenido de <https://www.dwyeromega.com/en-us/>
- Galbán, Y. D. (2014). *Evaluación de la eficiencia de la limpieza mecánica del intercambiador de calor en espiral de la segunda etapa de separación en la batería central de la EPEP-C*

ICONTEC. (2026). *INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN*.

Obtenido de <https://www.icontec.org/>

Inamdar, H. V. (2023). Air-side fouling of finned heat exchangers: Part 1, review and proposed test protocol. *International Journal of Refrigeration*. .

Incropera, F. P. (2011). *Fundamentals of heat and mass transfer*. Jhon Wiley & Sons.

INGENIERÍA, H. (2026). *HGR INGENIERÍA*. Obtenido de <https://www.hrging.com/>

Malaysian Palm Oil Board. (2000). *Palm Oil Production Through Sustainable Plantations*.

Malaysian Palm Oil Board. En Basiron.

Maldague. (2001). *Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing*. John Wiley & Sons.

Ministerio de Trabajo. (2015). *Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo (Decreto 1072 de 2015)*. *Diario Oficial No. 49.523*. Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=62506>

Palmas del Cesar. (12 de Febrero de 2026). *Palmas del Cesar*.

Shah, R. K. (2003). *Fundamentals of Heat Exchanger Design*. John Wiley & Sons.

Shapiro, H. N. (2018). *Fundamentos de termodinámica técnica* (9.^a ed.).

Steinhagen, M. (2011). Heat Exchanger Fouling: Mitigation and Cleaning Strategies. *Heat Transfer Engineering*.

Wambeck, N. (2005). *Sinopsis del proceso de palma de aceite*. Bogota: Fedepalma.

Apéndices.

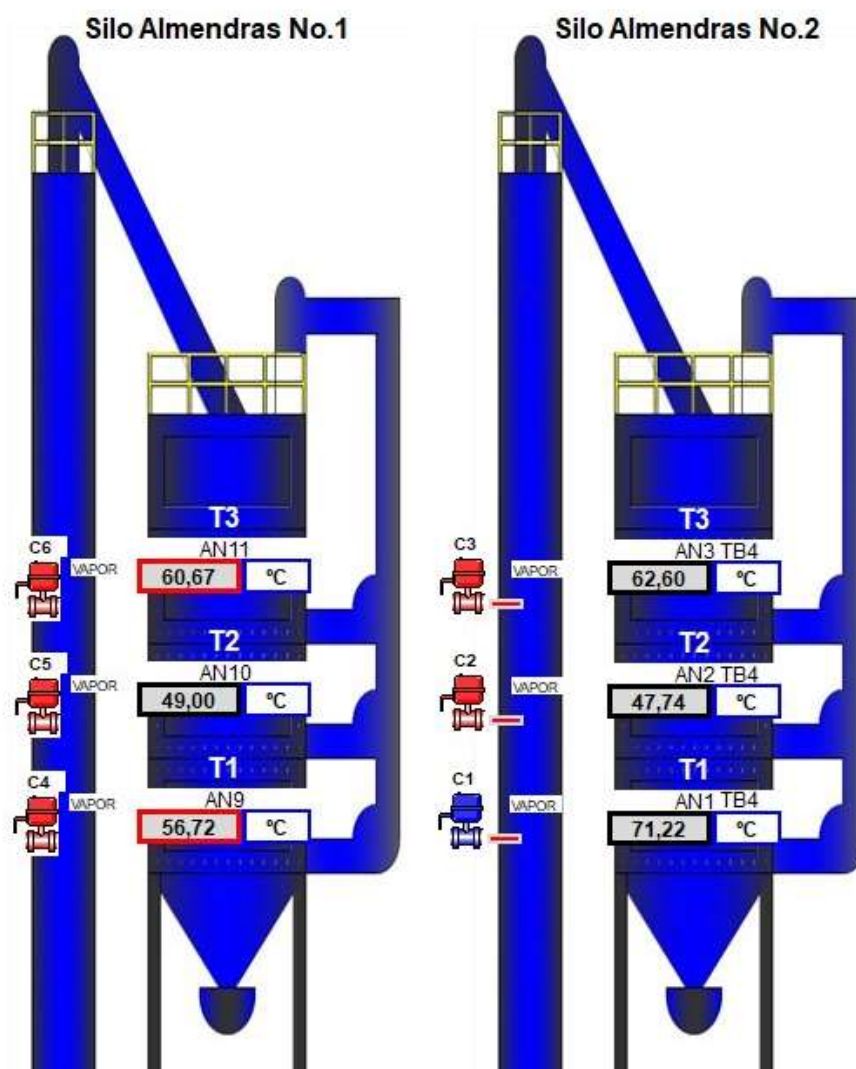
Apéndice A *Evidencia toma de datos*

Figura 16

Toma de flujo de aire.



Nota. Elaboración propia.

Figura 17*Scada sistema de secado.*

Nota. Propiedad palmas del César.

Figura 18

Flujo succión del ventilador.



Nota. Propiedad de Palmas del César.

Figura 19

Modificación apertura dámper en el ducto de aire.



Nota. D mper en el dicto de aire, propiedad de Palmas del César.