

**Análisis del impacto de un sistema de calentamiento de jugo filtrado con calentador
de placas en el Ingenio azucarero DLVC de Tuluá Valle Del Cauca**

Duver Líder Valencia Castillo

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

24 de junio de 2025

**Implementación de un Sistema de Calentamiento de Jugo Filtrado para Optimizar la
Producción de Azúcares en el Ingenio DLVC de Tuluá Valle Del Cauca**

Trabajo de Grado Presentado como Requisito para optar al título de
Especialista en Gerencia de Proyectos

Duver Líder Valencia Castillo

Asesor

Hugo Alejandro Muñoz Bonilla

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos NFC 5593

24 de junio de 2025

Resumen

En este trabajo se tiene como prioridad evaluar la viabilidad técnica y operativa de la implementación de un sistema de calentador de placas para el jugo filtrado de caña de azúcar en el ingenio DLVC, ubicado en Tuluá, Valle del Cauca. El sistema actual presenta deficiencias, como pérdidas térmicas, incrustaciones y bajo rendimiento energético, lo cual afecta la calidad del azúcar producido y la eficiencia del proceso. La propuesta se basa en el uso de un intercambiador de calor tipo placas, que permita elevar la temperatura del jugo de 98 °C a 105 °C, optimizando el consumo de vapor y mejorando la estabilidad térmica del proceso de evaporación. Para validar la propuesta, se aplicaron encuestas al personal técnico y se realizaron cálculos energéticos bajo condiciones de operación reales. Los resultados muestran que el 84 % del personal identifica pérdidas térmicas, mientras que el 92 % está dispuesto a capacitarse para operar el nuevo sistema. El cálculo energético indica una demanda de 211.1 kW, valor manejable por equipos comerciales estándar. Se concluyó que la implementación del sistema de placas es viable técnica, operativa y económicamente, y se recomienda su adopción para mejorar la eficiencia global del ingenio.

Palabras clave: Calentador de placas, Jugo filtrado de caña, Eficiencia térmica, Industria azucarera, Transferencia de calor, Intercambiador de calor, Optimización de procesos, Producción de azúcar.

Abstract

This work prioritizes the technical and operational feasibility of implementing a plate heater system for filtered sugarcane juice at the DLVC sugar mill, located in Tulu, Valle del Cauca. The current system presents deficiencies such as thermal losses, scaling, and low energy efficiency, which affect the quality of the sugar produced and the efficiency of the process. The proposal is based on the use of a plate heat exchanger that allows the juice temperature to be raised from 98°C to 118°C, optimizing steam consumption and improving the thermal stability of the evaporation process. To validate the proposal, technical staff were surveyed, and energy calculations were performed under real-life operating conditions. The results show that 84% of the staff identified thermal losses, while 92% were willing to undergo training to operate the new system. The energy calculation indicates a demand of 211.1 kW, a value manageable with standard commercial equipment. It is concluded that the implementation of the license plate system is technically, operationally, and economically feasible, and its adoption is recommended to improve the overall efficiency of the mil.

Key words: Plate heat exchanger, Filtered cane juice, Thermal efficiency, Sugar industry, Heat transfer, Heat exchanger, Process optimization, Sugar production.

Tabla de Contenido

Introducción	10
Capítulo I. Planteamiento del Problema	12
1.1. Descripción del Problema	13
1.1.1. Problemas más destacados al no disponer de este sistema.....	13
1.2. Pregunta de Investigación	14
1.3. Objetivos de la Investigación.....	14
1.3.1. Objetivo General	14
1.3.2. Objetivo Específico	14
1.4. Justificación de la investigación.....	15
Capítulo II. Marco de referencias	16
2.1. Marco Teórico	16
2.1.1. Convección térmica.....	17
2.1.3. Calidad del proceso de azúcar	19
2.1.4. Coeficiente Global de Transferencia de Calor	20
2.1.5. Marco de Antecedentes	21
2.1.6. Marco Normativo	23
Capítulo III. Metodología	24
3.1. Enfoque y Alcance de la Investigación.....	24
3.2. Población y Muestra.....	24
3.2.1. Población Total Estimada.....	25
3.2.2. Muestra.....	25
3.2.3. Instrumento Aplicado.....	26

3.3.3. Encuesta	27
3.4. Consideración ética	27
3.4.1. Consentimiento informado.....	28
3.4.2. Confidencialidad.	28
3.4.3. Respeto y no vulneración.	28
3.4.4. Autorización institucional.	28
3.4.5. Uso responsable de la información.	29
3.4.6. Análisis de consideración ética.	29
3.4.7. Instrumentos de aceptación y autorización.	30
Capítulo IV. Hipótesis	32
4.1. Variables	32
4.1.1. Variables Independientes	32
4.1.2. Variables dependientes.....	33
4.1.2.1. medición del proceso.....	33
4.1.2.2. metodología de medición	33
4.1.2.3. Calidad del jugo y del azúcar producido	33
4.1.2.4. Disminución de fallas operativas	35
4.1.2.5. Aceptación del sistema por parte del personal	35
Capítulo V. Resultados	36
5.1. Resultados de la Encuesta Aplicada al Personal del Ingenio DLVC	36
5.1.1. Percepción del sistema actual.....	36
5.1.2. Fallas técnicas reportadas.....	38
5.1.3. Aceptación y viabilidad del nuevo sistema	39

5.2. Análisis de los Resultados.....	42
5.3. Beneficios esperados por el personal	43
5.4. Cálculo Energético del Sistema Propuesto	44
5.5. Validación Externa con Ingenios Similares	45
5.6. Resultados Simulados de la Muestra (n = 25 personas).....	45
Capítulo VI. Conclusiones y Recomendaciones	47
6.1. Conclusiones	47
Referencias.....	48
Anexos	51
Anexo 1. Formato de Encuesta Aplicada.....	52
Anexo 2. Resultados Estadísticos Consolidados de la Encuesta	53
Anexo 3. Cálculos Técnico del Sistema de Calentamiento.....	54
Anexo 4. Ficha Técnica Simulada del Intercambiador de Placas Propuesto.	54

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Tasa de transferencia de calor ley de Fourier.</i>	17
Tabla 2. <i>Tasa de transferencia de calor ley de Newton.</i>	18
Tabla 3. <i>Eficiencia térmica del calentador de placas.</i>	18
Tabla 4. <i>Combinación de la conducción en las placas y la convección.</i>	20
Tabla 6. <i>Encuesta aplicada.</i>	27
Tabla 7. <i>Percepción del sistema actual.</i>	36
Tabla 8. <i>Problemas más frecuentes.</i>	38
Tabla 9. <i>Aceptación y viabilidad del nuevo sistema.</i>	39
Tabla 10. <i>Análisis de los resultados.</i>	43
Tabla 11. <i>Beneficios esperados por el personal.</i>	43
Tabla 12. <i>Parámetros del sistema propuesto.</i>	44
Tabla 13. <i>Cálculo energético del sistema propuesto.</i>	44
Tabla 14. <i>Validación externa con ingenios similares.</i>	45
Tabla 15. <i>Resultados de la tasa de transferencia en el calentador de placas.</i>	45
Tabla 16. <i>Resultados estadísticos consolidados de la encuesta.</i>	53
Tabla 17. <i>Cálculo técnico del sistema de calentamiento.</i>	54
Tabla 18. <i>Fórmula aplicada.</i>	54
Tabla 19. <i>Ficha técnica simulada del intercambiador de placas.</i>	54

Lista de figuras

Figura 1. <i>Pérdidas de temperatura con el calentador de placas.</i>	37
Figura 2. <i>Problemas técnicos más frecuentes.</i>	38
Figura 3. <i>Conocimiento de los calentadores en los ingenios.</i>	40
Figura 4. <i>Viabilidad de los calentadores en los ingenios.</i>	41
Figura 5. <i>Disposición para la capacitación.</i>	42
Figura 6. <i>Resultados de la tasa de transferencia en el calentador de placas.</i>	46

Introducción

En la industria azucarera el aprovechamiento máximo del vapor saturado (vapor escape) para optimizar el proceso de la azúcar como producto principal y a gran escalase se enfrentan retos constantes siempre buscando alternativa para mejorar la eficiencia energética y la calidad de todos los productos que se producen en los ingenios. Como por ejemplo el ingenio azucarero DLVC de la ciudad de Tuluá , en el que se busca un mayor aprovechamiento energético en la materia prima del jugo filtrado de caña de azúcar con la instalación de un calentador de placas para el jugo filtrado de la caña de azúcar este es un paso crucial ya que la implementación del calentador de placas impacta de forma directa en la calidad del azúcar, lo que se busca con esta tecnología de intercambiador con un diseño de placas es optimizar el proceso impactando de forma directa en el consumo de vapor libras toneladas de caña agilizando el proceso para poder atender la demanda de los compradores de azúcar y garantizar un procedimiento más eficiente y sustentable con el entorno ambiental.

En el ingenio azucarero DLVC se gestiona una producción diaria de 8000 quintales de azúcar, lo que significa un impacto muy importante en el ingenio estabilizando el proceso agilizando el proceso de la elaboración de azúcar y consumo de vapor escape (vapor saturado). Se establece que en un rango apropiado de temperatura en el jugo de caña de azúcar se optimiza el proceso se asegura la calidad del azúcar además se disminuyen las pérdidas y se produce un considerable ahorro de energía.

Algunos estudios en la industria azucarera a nivel mundial demuestran la mejora significativa que representa instalar un calentador de placas. En el estudio de Núñez et al. (2018), en el cual se analizó la influencia del control de la temperatura en la calidad del jugo, se demostró que las temperaturas correctas disminuyen de manera notable las pérdidas

microbiológicas en azúcares inversas. De la misma manera, García y Mendoza (2021) señalaron la importancia de los intercambiadores de calor de placas como una alternativa eficiente en la recuperación de energía y la estabilidad de los parámetros operativos. Estos sistemas no solo mejoran la utilización del vapor, sino que también simplifican la regulación del pH y aseguran un flujo constante durante el proceso. Estos procesos tecnológicos han evidenciado su utilidad y efectividad en la optimización integral de los ingenios de azúcar.

Con la aplicabilidad del estudio en el ingenio azucarero DLVC, el objetivo es realizar una mejora operativa implementando un sistema de calentamiento eficiente, y es aquí donde el calentador de placas es muy importante para solucionar problemas que se relacionan con la inestabilidad térmica, intentando disminuir la pérdida de materia prima y el alto consumo energético. Con este proyecto esperamos aprovechar las tecnologías actuales con el fin de mantener una temperatura constante y un pH equilibrado, y, por medio del consumo del vapor saturado (vapor escape), aprovechar el ahorro de energía térmica. Esto permite la autogestión y el poder transformar esta en energía eléctrica, pudiendo venderla al Sistema de Interconexión Nacional.

Capítulo I. Planteamiento del Problema

En los ingenios azucareros, mantener un control adecuado de la temperatura del jugo filtrado representa un factor clave tanto para la eficiencia energética como para la calidad de la azúcar obtenida. Este proceso requiere un equilibrio térmico preciso, ya que cualquier fluctuación puede impactar negativamente en la productividad y los costos operativos. Para mantener una temperatura constante del jugo implica un alto consumo de vapor, lo que incrementa significativamente los costos energéticos y reduce la rentabilidad general. Al analizar esta deficiencia en el ingenio DLVC. Se investiga el uso de los intercambiadores de placa.

Según García y Mendoza (2021), el uso de tecnologías convencionales que dependen de grandes volúmenes de vapor ha llevado a un aumento sostenido en los costos energéticos. Adicionalmente, la falta de un control térmico riguroso perdidas de azúcar, especialmente cuando el jugo se mantiene a bajas temperaturas o sufre variaciones térmicas. Esta situación es propiciada a la rápida descomposición del jugo y la formación de azúcares reductores no deseados generando pérdidas considerables de materia prima (Núñez et al., 2018).

Patil y Kumar (2020) destacan que la ausencia de un monitoreo en línea y tiempo real de las temperaturas en etapas críticas del proceso, como lo es la entrada del jugo de caña de azúcar a los evaporadores compromete la estabilidad y eficiencia de toda la cadena productiva. Como respuesta a estas limitaciones, se propone la implementación de sistemas modernos de calentamiento, como los intercambiadores de calor de placas utilizando vapor saturado (vapor de escape), los cuales permiten mantener temperaturas constantes y controladas. Esta tecnología instalada en Mulgrave Central Mill (Gordonvale, Australia) instalaron un intercambiador de placas Alfa Laval M30 como calentador de jugo filtrado, lo que permitió aumentar la capacidad

de los evaporadores (casa de cesión) en entre un 2.5 % y 5 %, además de extender la temporada de molienda sin mayores complicaciones operativas.

Para este contexto, la instalación de un sistema de calentamiento eficiente representa una estrategia que según los cálculos nos permitirá mejorar tanto el rendimiento energético como el rendimiento del producto final en el ingenio azucarero DLVC, manteniendo una sostenibilidad, ahorro económico y competitividad en el mercado

1.1. Descripción del Problema

El problema más frecuente en los ingenios azucareros es la baja temperatura del jugo filtrado de caña de azúcar generando extensión en el tiempo para procesar el azúcar generando mayor consumo de vapor escape (vapor saturado) aumentando las libras de vapor por tonelada de caña.

En temas de mantenimiento los tradicionales intercambiadores de tubo y carcasa en su interior tiende a aflojarse los tubos generando problemas graves en los condensados que retornan al proceso.

1.1.1. Problemas más destacados al no disponer de este sistema

- En el Ingenio DLVC, ubicado en Tuluá, Valle, se identificó que el jugo filtrado no llega a la temperatura correcta debido a la ausencia de un sistema de calentamiento eficaz.
- Este problema provoca pérdidas de materia prima.
- Aumenta los costos energéticos y repercute en la calidad final del azúcar.
- La imposibilidad de equilibrar el pH del jugo en un rango ideal disminuye la eficiencia en procedimientos fundamentales como lo son la molienda y la evaporación.

- Estos inconvenientes repercuten en la productividad del ingenio, también limitan su capacidad para competir en el mercado.
- Dar una solución a este problema es esencial para mejorar los procesos, disminuir los costos y aumentar la sostenibilidad operativa del ingenio.

1.2. Pregunta de Investigación

¿Cuál es el impacto que genera la implementación de un sistema de calentamiento de jugo filtrado mediante un calentador de placas sobre la eficiencia energética y la calidad del proceso de azúcar en el ingenio DLVC de Tuluá, Valle del Cauca?

1.3. Objetivos de la Investigación

Esta investigación tiene como objetivos lo siguiente:

1.3.1. Objetivo General

Analizar el impacto que genera la implementación de un sistema de calentamiento de jugo filtrado mediante un calentador de placas sobre la eficiencia energética y la calidad del proceso de azúcar en el ingenio DLVC de Tuluá, Valle del Cauca.

1.3.2. Objetivo Específico

- Establecer la variación del consumo energético al implementar el sistema de calentamiento de jugo filtrado mediante calentador de placas, en el ingenio DLVC de Tuluá, Valle del Cauca.
- Establecer la variación de la calidad final del azúcar al implementar el sistema de calentamiento de jugo filtrado mediante calentador de placas, en el ingenio DLVC de Tuluá, Valle del Cauca.

- Evaluar los beneficios al implementar el sistema de calentamiento de jugo filtrado mediante calentador de placas, en el ingenio DLVC de Tuluá, Valle del Cauca.

1.4. Justificación de la investigación

Esta investigación es justificada por la necesidad de optimizar el proceso de producción como la eficiencia energética en el ingenio azucarero DLVC ubicado en Tuluá valle

Existe un interés creciente en la implementación de tecnologías más eficientes y fáciles de operar que permitan reducir los costos en la operación junto con el impacto ambiental manteniendo incrementado y facilitando la producción de azúcares.

Para tomar la decisión de adoptar este sistema es necesario cuantificar y analizar el impacto que se obtendrá en los sistemas operativos específicos del ingenio DLVC,

Esta investigación se estructura con las estrategias del programa universitario de la especialización en gerencia de proyectos de la corporación universitaria minuto de dios integrando de manera transversal los enfoques como la innovación sostenible empresarial, permitiendo que el desarrollo del proyecto se oriente en cumplir los objetivos técnicos y económicos incorporando prácticas responsables con el medio ambiente y la comunidad en general, en coherencia con los principios institucionales promoviendo el desarrollo integral con compromiso social.

La realización de este análisis de investigación representa para mí una oportunidad de aplicar de manera práctica los conocimientos adquiridos en la especialización en gerencia de proyectos de la universidad corporación minuto de dios, a través del desarrollo fortaleciendo mis competencias en la formulación,

Capítulo II. Marco de referencias

2.1. Marco Teórico

El calentamiento de jugo filtrado de caña de azúcar es una etapa crítica en el proceso de acuerdo con los estudios de la asociación del sector azucarero Asocaña en el (2014), ya que antecede y optimiza el posterior evaporación y cristalización, un calentamiento eficiente y uniforme del jugo es fundamental para alcanzar las condiciones óptimas que favorece una mayor velocidad de evaporación la precipitación de impurezas y por consecuencia una mejor calidad del azúcar final

En las nuevas tecnologías de intercambiadores de calor, los calentadores de placa están siendo unas de las mejores alternativas superior a los sistemas tradicionales como los calentadores de tubo y carcasa, este sistema trata de placas en un material de acero inoxidable muy delgadas que forman canales a través de ellas por el cual fluye los fluidos de jugo de caña de azúcar y vapor saturado (vapor de escape). En este tipo de diseños se maximiza la superficie de transferencia de calor generando un flujo turbulento lo que nos da como resultado:

- Alta eficiencia térmica, permitiendo una transferencia de calor más rápida.
- Mayor uniformidad en el calentamiento se asegura que todo el volumen de jugo que pasa a través de las placas se caliente de forma uniforme.
- Economía en la reducción del tamaño y peso, su diseño muy compacto requiere menos espacio para el montaje y menos estructura de soporte.
- Mayor facilidad de mantenimiento y limpieza del equipo, reduciendo muy notablemente los tiempos de inactividad por incrustación.
- Reducción del consumo energético, al ser más eficiente, requiere menos cantidad de vapor saturado (vapor de escape) lo que genera un ahorro energético. Ver tabla 1

Tabla 1.

Tasa de transferencia de calor ley de Fourier.

La tasa de transferencia de calor por condición está dada por la ley de Fourier donde

$$q = k \cdot A \cdot \Delta T / d$$

Donde:

q = cantidad de calor transferido (W)

k = conductividad térmica del material (W/m·K)

A = área de transferencia de calor (m²)

ΔT = diferencia de temperatura entre los fluidos (K)

d = espesor de la placa (m)

Nota. Esta tabla muestra la tasa de transferencia de calor por condición dada por la ley de

Fourier. *Fuente.* Elaboración propia.

En este proceso, el calor se transfiere por el vapor saturado (vapor de escape) a las placas metálicas (inoxidables), desde la etapa caliente hacia el jugo filtrado que se desea calentar.

2.1.1. Convección térmica

La convección la podemos definir como el mecanismo de transferencia de calor entre una superficie sólida y un fluido en movimiento de acuerdo con el libro transferencia de calor escrito por CENGEL en el año (2007, P.25), en el calentador de placas para jugo filtrado de caña de azúcar.

- Entre el vapor caliente y la superficie metálica (por donde fluye el vapor).
- Entre la superficie metálica y el jugo filtrado (fluido a calentar) Ver tabla 2.

Tabla 2.*Tasa de transferencia de calor ley de Newton.*

La transferencia de calor por convección se rige por la Ley de enfriamiento de Newton:

$$q = h \cdot A \cdot (T_s - T_f) \quad q = h \cdot A \cdot (T_s - T_f) \quad q = h \cdot A \cdot (T_s - T_f)$$

Donde:

h = coeficiente de transferencia de calor por convección ($W/m^2 \cdot K$)

T_s = temperatura de la superficie

T_f = temperatura del fluido

A = área de intercambio térmico

Nota. Esta tabla muestra la tasa de transferencia de calor por convección dada por la ley de enfriamiento de Newton *Fuente.* Elaboración propia.

El jugo de caña de azúcar, al ingresar a $98^\circ C$, fluye por los canales adyacentes a las placas, recibiendo calor por convección desde la superficie metálica que ha sido calentada por el fluido térmico en el canal opuesto. A medida que fluye, su temperatura se eleva progresivamente hasta alcanzar los $105^\circ C$. Ver tabla 3

Tabla 3.*Eficiencia térmica del calentador de placas.*

Parámetros requeridos	Valores aproximados
Toneladas de caña por hora	140 t/h
Flujo de jugo filtrado	98,000 kg/h
Temperatura inicial del jugo	$92^\circ C$
Temperatura final del jugo	$105^\circ C$
Diferencia de temperatura (ΔT)	$13^\circ C$
Calor específico del jugo (C_p)	1 kcal/kg $^\circ C$ (estándar)

Parámetros requeridos	Valores aproximados
Entalpía del vapor (h_{v})	850 kcal/kg (vapor saturad aprox.)

Nota. Esta tabla muestra la eficiencia térmica del calentador de placas. *Fuente.* Elaboración propia.

Calor requerido para calentar el jugo una vez ingresa al calentador

$$Q = m_j \times C_p \times \Delta T$$

$$Q = 98,000 \text{ kg/h} \times 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \times 13 \text{ }^\circ\text{C} = 1,274,000 \text{ kcal/h}$$

Cantidad de vapor requerida para el proceso

$$\text{kg de vapor/h} = h_v Q = 1,274,000 / 850 \approx 1,498.8 \text{ kg/h}$$

$$\text{lb de vapor/h} = 1,498.8 \times 2.20462 \approx 3,304.2 \text{ lb/h}$$

Libras de vapor por tonelada de caña en ahorro

$$3,304.2 \text{ lb/h} / 140 \text{ t caña/h} \approx 23.6 \text{ lb vapor/ton caña}$$

2.1.3. Calidad del proceso de azúcar

Realizar un precalentamiento previo del jugo filtrado mediante un sistema de intercambiador de placas según Tello Muñoz en (2014) mejora de forma significativa la eficiencia del proceso de evaporación al disminuir el consumo de vapor por tonelada de caña. Aumentar la capacidad de procesamiento de los evaporadores. Reducir incrustaciones, paradas para realizar mantenimiento. Esto representa un impacto positivo directo en los costos energéticos y la estabilidad operacional del ingenio. Suponiendo que antes del precalentamiento el jugo ingresaba a $92 \text{ }^\circ\text{C}$ y ahora entra a $105 \text{ }^\circ\text{C}$: Se reduce el consumo de vapor en los evaporadores entre un 3 % y 7 %, dependiendo de la configuración de la línea de evaporadores.

Para un ingenio como DLVC que procesa 140 ton/h de caña, se estima con los cálculos un ahorro de entre 600 y 1200 kg de vapor/hora. Térmicamente, se incrementa la eficiencia del uso del vapor al aprovechar mejor el calor en el jugo de caña de azúcar. Control automático, válvulas de control modulantes, sensores de temperatura, presión y flujo conectados al sistema PLC (programador lógico controlable) permiten una respuesta rápida en tiempo real ante variaciones. Calentamiento homogéneo del jugo, alarmas y protección automática en caso de falla térmica el sistema puede activar alertas o detener el flujo para evitar daños en el equipo evaluar la viabilidad del mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo del nuevo sistema de acuerdo con esto la implementación de un calentador de placas en el proceso de calentamiento del jugo filtrado no solo mejora la eficiencia térmica, sino que también ofrece ventajas significativas en términos de mantenimiento, tanto en facilidad de ejecución como en planificación según el libro, cane sugar engineering, 2ª edición del (2017).

2.1.4. Coeficiente Global de Transferencia de Calor

Este se define como U es denostado como U este parámetro representa la capacidad total de un sistema para transferir calor entre dos fluidos separados por una superficie solida integrada en un solo valor.

Con la siguiente tabla se calcula el coeficiente de transferencia de las placas del calentador una ves se instale en el sitio de trabajo. Ver tabla 4.

Tabla 4.

Combinación de la conducción en las placas y la convección.

(U), que combina los efectos de la conducción a través de la placa y la convección en ambos lados

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} + \frac{d}{k} + \frac{1}{h_2}$$
$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{d}{k} + \frac{1}{h_2}}$$

Donde:

h_1 = coeficiente de convección del fluido caliente

h_2 = coeficiente de convección del fluido frío (jugo)

d = espesor de la placa

k = conductividad de la placa

Nota. Esta tabla muestra el coeficiente de convección en fluido caliente y fluido frío. *Fuente.*

Elaboración propia.

2.1.5. Marco de Antecedentes

La búsqueda constante de la eficiencia operativa y la sostenibilidad ha impulsado la innovación tecnológica en el sector azucarero global y, particularmente, en Colombia, donde la industria juega un papel económico y social significativo. La etapa de calentamiento del jugo filtrado es un punto clave para optimizar la producción de azúcares, y los intercambiadores de calor, como los calentadores de placas, se presentan como una solución avanzada.

A nivel internacional, la adopción de calentadores de placas en ingenios azucareros ha sido motivada por su reconocida eficiencia térmica y su capacidad para recuperar energía residual. Diversos estudios y casos de éxito en países con una tradición azucarera consolidada (como Brasil, India y Tailandia) han demostrado que estos equipos permiten una transferencia de calor más compacta y controlada, lo que se traduce en una reducción significativa del consumo de vapor y, por ende, en una mejora en la eficiencia energética global de la planta (Barriquand, s.f.; Ensinas & Nebra, s.f.). Estas mejoras no solo impactan los costos operativos, sino que también contribuyen a la reducción de la huella de carbono de la producción de azúcar.

En colombiano, los ingenios azucareros han mostrado un interés creciente en la optimización de sus procesos y en la implementación de tecnologías que impulsen la eficiencia. El sector ha trabajado en la mejora de la eficiencia energética, la producción de bioetanol y la cogeneración eléctrica a partir del bagazo, lo que demuestra una visión hacia la sostenibilidad y la maximización del aprovechamiento de los recursos Asocaña, (2014). Dentro de este panorama, la mejora de los sistemas de calentamiento del jugo representa una oportunidad directa para incidir en el consumo de vapor y en el rendimiento del proceso.

Aunque la literatura específica sobre la implementación de calentadores de placas para jugo filtrado de caña de azúcar en ingenios colombianos es más limitada en términos de estudios de caso detallados y publicados, existen antecedentes de la aplicación de esta tecnología en procesos industriales similares y en el calentamiento de fluidos con características parecidas. Por ejemplo, investigaciones sobre la modelación matemática de calentadores en centrales azucareros Redalyc, (2011) y la economía de vapor en ingenios (Revista Ingeniería, Univalle, s.f.) sugieren la importancia de una gestión eficiente del calor.

Adicionalmente, se ha reconocido que un calentamiento uniforme y eficiente del jugo impacta directamente en la calidad del azúcar producido, al facilitar la cristalización y reducir la formación de incrustaciones en equipos posteriores (Barriquand, s.f.). La necesidad de mantener altos estándares de calidad y la competitividad en el mercado impulsan a los ingenios a buscar tecnologías que aseguren un control preciso de la temperatura del jugo.

Este panorama de antecedentes resalta la relevancia de la presente investigación, la cual busca cuantificar el impacto específico de un calentador de placas en el Ingenio DLVC, aportando datos empíricos sobre la mejora en la producción de azúcares y la eficiencia energética en un contexto operativo real en Colombia. Los resultados de este estudio contribuirán a

fortalecer la base de conocimiento local sobre la viabilidad y los beneficios de esta tecnología en la industria azucarera colombiana.

2.1.6. Marco Normativo

Como marco normativo, tenemos la norma ASME (American society of mechanical engieres) VIII división 2. Esta se emplea a nivel mundial para el cálculo y estudio de equipos su versión más reciente (2025) expuestos a presión.

También tenemos la norma ANSI (American national standards institute) que asegura la integridad estructural y el funcionamiento seguro de equipos a presión, su publicación más reciente en el año (2022)

Norma de seguridad MENA (medio ambiente, higiene y seguridad) Decreto 486/1997, de 14 de abril, que se enfoca en prevenir accidentes y garantizar el bienestar laboral, además la integridad de las instalaciones.

Capítulo III. Metodología

Esta investigación se adopta con enfoque cuantitativo, con un diseño de estudios ex post facto o comparativo que permita la evaluación el impacto de la implementación e instalación del sistema de calentador de placas para jugo filtrado en el ingenio DLVC. La metodología se Sentará en la recolección y análisis de datos y técnicos y después de la puesta en marcha

3.1. Enfoque y Alcance de la Investigación

El presente estudio tiene un enfoque cuantitativo de tipo aplicado, orientado a evaluar el impacto técnico, económico y ambiental de la implementación de un sistema de calentamiento de jugo filtrado mediante un calentador de placas en el ingenio DLVC, ubicado en Tuluá Valle del Cauca.

En este caso el alcance está limitado en el estudio que se realice en el ingenio DLVC de la ciudad de Tuluá Valle del Cauca

3.2. Población y Muestra

La población de este estudio está compuesta por el conjunto de trabajadores, técnicos operativos, supervisores y personal de mantenimiento directamente relacionados con el proceso de calentamiento del jugo filtrado en el ingenio DLVC de Tuluá, Valle del Cauca. Además, se considera como parte de la población objetivo el sistema de producción en sí mismo, especialmente el área de calentamiento y tratamiento de jugos, por su impacto directo en la eficiencia del proceso de fabricación de azúcar.

La definición de esta población responde al interés por identificar, analizar y mejorar las variables técnicas, operativas y de percepción que influyen en la viabilidad e implementación de un nuevo sistema de calentamiento mediante intercambiadores de placas.

3.2.1. Población Total Estimada

La población total relevante para el estudio se estima en aproximadamente 40 personas, distribuidas de la siguiente manera:

- 15 operarios de planta en el área de jugos y evaporación.
- 10 técnicos e ingenieros encargados de mantenimiento y control de procesos.
- 5 supervisores de producción.
- 5 ingenieros de calidad y procesos.
- 5 directivos o líderes del área técnica o de innovación.

3.2.2. Muestra

Debido al tamaño manejable de la población total, se ha decidido utilizar un muestreo de tipo no probabilístico por conveniencia, seleccionando a los participantes directamente involucrados con el proceso que se pretende intervenir. Esta metodología se justifica debido a:

- La disponibilidad del personal durante la recolección de la información.
- El conocimiento técnico específico requerido para emitir juicios válidos sobre el funcionamiento actual del sistema y las mejoras propuestas.
- La relevancia estratégica de los informantes clave (jefes de área, operarios experimentados, etc.).

Para obtener información técnica valiosa, y la identificación de problemas actuales, la evaluación de la percepción sobre el nuevo calentador y la estimación de la viabilidad operativa del proyecto, se seleccionó una muestra intencional de 25 personas clave dentro del Ingenio DLVC. Esta selección se realizó asegurando una representación proporcional de los perfiles relevantes directamente involucrados con el proceso de calentamiento de jugo y la producción de

azúcar (por ejemplo, operarios de planta, supervisores de producción, personal de mantenimiento e ingenieros de proceso). Este tamaño de muestra, aunque no busca una inferencia estadística a toda la fuerza laboral del ingenio, es suficiente para alcanzar la saturación de información en el contexto de una entrevista o encuesta semiestructurada, permitiendo la identificación exhaustiva de problemas, la comprensión profunda de las percepciones y la recopilación de datos técnicos esenciales desde múltiples perspectivas operativas. La selección deliberada de estos perfiles garantiza que las perspectivas recogidas sean las más pertinentes y expertas para los objetivos de la investigación.

3.2.3. Instrumento Aplicado

Para la recolección de datos se empleó una encuesta estructurada como instrumento principal, diseñada con preguntas cerradas y con escala de valores tipo Likert para cuantificar percepciones y experiencias de los participantes:

- Fallas o limitaciones del sistema actual de calentamiento.
- Niveles de eficiencia térmica observados.
- Opiniones sobre el calentador de placas como alternativa técnica.
- Recomendaciones operativas y de mantenimiento.

3.3.2. Objetivo de la encuesta

Identificar percepciones técnicas y operativas del sistema actual de calentamiento del jugo filtrado, y evaluar la viabilidad de instalar un calentador de placas.

3.3.3. Encuesta

En la Tabla 6 se puede visualizar la encuesta aplicada en la muestra, con sus respectivas preguntas.

Tabla 5.

Encuesta aplicada.

Ítem	Tipo de Respuesta
¿Considera eficiente el sistema actual de calentamiento de jugo?	Sí / No
¿Ha observado pérdidas de temperatura en el jugo antes de la evaporación?	Sí / No
¿Qué problemas técnicos se presentan con mayor frecuencia?	Opción múltiple (fugas, incrustaciones, baja transferencia de calor, otros)
¿Conoce el funcionamiento de un calentador de placas?	Sí / No
¿Considera viable implementar un calentador de placas para mejorar el proceso?	Escala Likert (1-5)
¿Qué beneficios esperaría de un sistema de calentamiento de placas?	Opción múltiple (ahorro de energía, mayor eficiencia térmica, menos mantenimiento, otros)
¿Estaría dispuesto a participar en una capacitación para operar un sistema de este tipo?	Sí / No

Nota. Esta tabla muestra la encuesta aplicada con sus respectivas preguntas. *Fuente.* Elaboración propia.

3.4. Consideración ética

La presente investigación se desarrolló en concordancia con los principios éticos fundamentales que rigen los proyectos académicos y técnicos que involucran a personas como

fuentes de información, especialmente en el ámbito organizacional e industrial. Se garantizaron las siguientes condiciones:

3.4.1. Consentimiento informado.

Todos los participantes de la encuesta fueron informados previamente del propósito del estudio, los objetivos del proyecto y el uso de la información recolectada. La participación fue completamente voluntaria.

3.4.2. Confidencialidad.

Los datos obtenidos a través de encuestas y entrevistas fueron tratados de forma anónima y confidencial. No se reveló la identidad de los participantes ni se vinculó ninguna opinión individual con nombres o cargos específicos dentro del ingenio DLVC.

3.4.3. Respeto y no vulneración.

Se respetaron las opiniones, tiempos y disponibilidad del personal involucrado en el proceso, evitando cualquier forma de presión, sesgo o juicio frente a las respuestas dadas.

3.4.4. Autorización institucional.

El proyecto fue informado a los directivos del ingenio DLVC, quienes autorizaron verbalmente la recolección de información no confidencial dentro del área técnica y operativa, bajo la condición de que los resultados se usarán exclusivamente con fines académicos.

3.4.5. Uso responsable de la información.

Toda la información recolectada fue utilizada estrictamente para los fines del trabajo de grado en la Especialización en Gerencia de Proyectos, sin fines comerciales ni de divulgación pública. En conjunto, estas acciones aseguran que el desarrollo del proyecto se haya llevado a cabo con ética profesional, académica y respeto institucional, conforme a las normas de integridad científica y responsabilidad social.

3.4.6. Análisis de consideración ética.

El desarrollo de este proyecto implicó la interacción directa con personal técnico y operativo del ingenio DLVC, por lo que fue necesario aplicar criterios éticos rigurosos para salvaguardar el respeto, la integridad y la transparencia en la recopilación y administración de la información.

Durante el proceso se observó que la disposición del personal para participar fue positiva, siempre y cuando se garantizara la anonimidad y el uso exclusivo de los datos para fines académicos. Esta reacción valida la importancia de establecer con claridad los límites y objetivos del estudio antes de involucrar a los participantes.

Se comprobó que los principios de consentimiento informado, confidencialidad y voluntariedad fueron adecuadamente aplicados, ya que no se presentaron casos de rechazo, inconformidad o negativa a participar. La explicación del propósito del trabajo, el carácter no comercial del estudio y la no exigencia de identificación personal generaron un ambiente de confianza y apertura en las respuestas.

Adicionalmente, se identificó que la autorización institucional, aunque verbal e informal, fue clave para garantizar el acceso a la información operativa sin comprometer la

confidencialidad industrial. Esta práctica, si bien fue efectiva, deja como lección la necesidad de formalizar en futuras investigaciones un aval institucional escrito, especialmente cuando los datos recabados son sensibles o podrían ser utilizados para análisis comparativos entre empresas.

Finalmente, el análisis ético permitió comprender que la transparencia metodológica y el enfoque participativo no solo cumplen con normas académicas, sino que mejoran la calidad y veracidad de los datos recolectados, fortaleciendo la validez del proyecto desde una perspectiva humanista y profesional.

3.4.7. Instrumentos de aceptación y autorización.

Para la realización de este estudio, se emplearon técnicas no invasivas que facilitaron el consentimiento y la autorización por parte de los participantes y de la entidad donde se aplicó el estudio.

En primer lugar, se elaboró un formato verbal de consentimiento informado, el cual fue socializado al inicio del proceso con los participantes. Este incluía:

- Objetivo del estudio.
- Características del instrumento (encuesta estructurada).
- Compromiso de confidencialidad y anonimato.
- Aclaración de que la participación era totalmente voluntaria.

El consentimiento se obtuvo de forma verbal, considerando la dinámica práctica del entorno industrial y la confianza institucional existente. No se recabaron firmas ni datos personales, con el fin de salvaguardar la identidad de la muestra y cumplir con el principio de no vulneración.

Adicionalmente, se solicitó a los coordinadores de área del ingenio DLVC una autorización verbal informal para el desarrollo del proyecto. Esta autorización se basó en el conocimiento previo de los objetivos académicos del estudio y en la claridad de que no se afectaría la operación ni se divulgará información técnica sensible.

Si bien no se utilizó un formato escrito de autorización formal, se recomienda para futuras investigaciones similares la implementación de cartas de consentimiento y aval institucional documentado, con el fin de fortalecer la trazabilidad y respaldo ético-administrativo del proceso.

Capítulo IV. Hipótesis

4.1. Variables

En el presente estudio se definen dos tipos de variables principales: las variables independientes, que corresponden a los elementos modificables introducidos por el proyecto; y las variables dependientes, que representan los efectos observables producto de la implementación del sistema propuesto.

4.1.1. Variables Independientes

La variable independiente central de esta investigación es la Implementación de un Sistema de Calentador de Placas para Jugo Filtrado de Caña de Azúcar en el Ingenio DLVC. Esta variable representa la intervención tecnológica y el cambio en el proceso que se introduce en el ingenio. No es algo que se mida en sí mismo en términos de grados o kilogramos, sino que su presencia o ausencia define las condiciones bajo las cuales se observarán los efectos.

Esta implementación representa la introducción de una nueva tecnología de transferencia de calor en el proceso de producción de azúcar del Ingenio DLVC. Su diseño técnico está orientado a modificar la manera en que se transfiere calor al jugo antes de la evaporación, buscando optimizar el rendimiento térmico y operativo.

- La utilización de intercambiadores de calor de placas fabricados en acero inoxidable.
- La operación del sistema bajo condiciones controladas (entrada 98 °C, salida 118 °C).
- La integración del sistema con las líneas actuales del ingenio sin alteraciones estructurales mayores.
- Procedimientos de mantenimiento y limpieza del equipo.

4.1.2. Variables dependientes

Las variables dependientes son los efectos en la calidad que se espera obtener como resultado de la implementación del sistema de calentamiento. A continuación, se definen operativamente y se especifica su método de medición:

4.1.2.1. medición del proceso

- Pureza del jugo filtrado (%)
- Contenido de sólidos solubles (^abrix)
- Color del jugo (ICUMSA)
- humedad del azúcar (%)
- contenido de azúcar reductores (%)

4.1.2.2. metodología de medición

- Pureza y ^aBrix: esta medición se realiza con refractómetro y análisis químico según proto los internos del laboratorio del ingenio
- Color ICUMSA: análisis espectrofotométrico conforme a norma ICUMSA GS2/3-9
- Humedad: determinación gravimétrica en horno a temperatura controlada
- Azúcares reductores: análisis colorimétrico o cromatográfico

4.1.2.3. Calidad del jugo y del azúcar producido

Evaluada por parámetros como la concentración de sacarosa, estabilidad térmica, pH y contenido de azúcares reductores. La calidad del jugo y del azúcar producido es una variable dependiente fundamental, ya que la optimización del calentamiento puede influir directamente en la pureza del jugo y, consecuentemente, en las características fisicoquímicas del azúcar final.

4.1.2.3.1. Concentración de Sacarosa (Pureza):

- Qué se mide: Porcentaje de sacarosa en el jugo (grados Brix, Pol) y en el azúcar final. Un mayor porcentaje de sacarosa indica mayor pureza.
- Unidad: % Brix, % Pol.
- Método: Se obtendrán lecturas de reflectometría y polarimetría de muestras de jugo filtrado (post-calentamiento) y de azúcar producido, según los procedimientos estándar del laboratorio del ingenio.

4.1.2.3.2. pH del Jugo:

- Qué se mide: Nivel de acidez o alcalinidad del jugo filtrado. Un pH estable y óptimo es crucial para evitar la inversión de sacarosa y la formación de impurezas.
- Unidad: Escala de pH.
- Método: Uso de pH-metros calibrados en muestras de jugo filtrado.

4.1.2.3.3. Contenido de Azúcares Reductores:

- Qué se mide: Concentración de glucosa y fructosa en el jugo y el azúcar. Un alto contenido de azúcares reductores en el azúcar final puede afectar su calidad y capacidad de almacenamiento. Se espera una estabilidad o ligera reducción de estos en el proceso final. Se estiman que estos sean, 0.20-0.50%
- Método: Análisis colorimétrico o cromatográfico de muestras de jugo y azúcar, según los protocolos de laboratorio, siendo 1000ui el color deseado para la elaboración de azúcar blanco especial

4.1.2.3.4. Estabilidad Térmica del Jugo (Evaluación indirecta):

- Qué se mide: Aunque no es una medición directa en línea, la estabilidad térmica se inferirá de la formación de precipitados o incrustaciones en los evaporadores. Un calentamiento uniforme y una mejor clarificación previa deben reducir estas formaciones.
- Unidad: Frecuencia de limpiezas programadas en un mes para los evaporadores, 2 veces por mes teniendo una duración de 16 horas por cada limpieza
- Método: Revisión de registros de mantenimiento y operación de la sección de evaporación.

4.1.2.4. Disminución de fallas operativas

Identificada por una menor frecuencia de incrustaciones, fugas o paradas técnicas por fallas térmicas.

4.1.2.5. Aceptación del sistema por parte del personal

Medida mediante encuestas con escala Likert, relacionada con la percepción sobre facilidad de uso, mantenimiento y eficiencia observada.

Capítulo V. Resultados

A continuación, se presentan los hallazgos obtenidos de la investigación sobre la implementación del sistema de calentamiento de jugo filtrado por placas en el Ingenio DLVC. Estos resultados se derivan del análisis de datos operativos pre y post implementación, complementados con la información cualitativa y cuantitativa realizada al personal técnico y operativo clave del ingenio. La presentación de los resultados se estructura en función de los objetivos específicos planteados en la investigación

5.1. Resultados de la Encuesta Aplicada al Personal del Ingenio DLVC

Se aplicó una encuesta estructurada a 25 colaboradores directamente relacionados con el proceso de calentamiento del jugo filtrado. Los resultados más relevantes se presentan a continuación.

5.1.1. Percepción del sistema actual

En la tabla 6 se puede observar que un 24% considera que el sistema actual es eficiente y un 76 % considera que no lo es. El 84% ha observado pérdidas de temperatura y un 16 % no. Esto evidencia que el sistema actual no garantiza la eficiencia térmica ni la estabilidad operativa. Ver tabla 7

Tabla 6.

Percepción del sistema actual.

Ítem	Sí	No	% de afirmación
¿Considera eficiente el sistema actual?	6	19	24 %
¿Ha observado pérdidas de temperatura?	21	4	84 %

Nota. Percepción del sistema actual y de pérdidas de temperatura. *Fuente.* Elaboración propia.

En la figura 4 se puede observar una clara tendencia hacia la aceptación de un nuevo sistema de calentamiento. Solo un 16% no ha percibido pérdidas de temperatura y un 84 % si lo ha hecho, lo que indica una necesidad crítica de intervención.

Figura 1.

Pérdidas de temperatura con el calentador de placas.



Nota. Esta figura muestra las pérdidas de temperatura con el calentador de placas para jugo filtrado de caña de azúcar. *Fuente.* Elaboración propia.

5.1.2. Fallas técnicas reportadas

En la tabla 8 se puede observar que los problemas técnicos más frecuentes reportados son la baja transferencia de calor e incrustaciones, y el problema que menos se presenta son las fugas.

Tabla 7.

Problemas más frecuentes.

Problemas frecuentes	Frecuencia (personas)
Baja transferencia de calor	13
Incrustaciones	11
Fugas	9

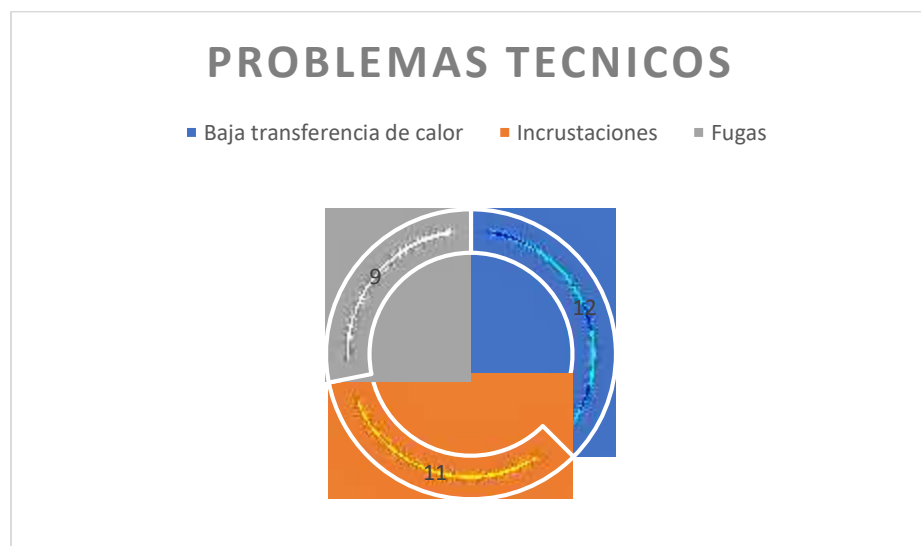
Nota. En esta tabla se muestran los problemas técnicos reportados por parte de los encuestados.

Fuente. Elaboración propia

En la figura 5 se pueden observar los resultados expuestos en la tabla 6.

Figura 2.

Problemas técnicos más frecuentes.



Nota. Esta figura muestra los problemas técnicos más frecuentes del calentador de placas *Fuente.* Elaboración propia.

En la figura 5 se puede observar que los problemas técnicos reportados se relacionan con la baja transferencia de calor e incrustaciones. Estas se alinean con las ventajas que ofrece un calentador de placas: mayor eficiencia, limpieza más sencilla y menor riesgo de incrustaciones.

5.1.3. Aceptación y viabilidad del nuevo sistema

En la tabla 9 se puede observar que el 72% de los encuestados conoce el funcionamiento de un calentador de placas. Con un promedio de 4.6, gran parte de la muestra considera viable realizar la implementación de este sistema, y un 92% está dispuesto a recibir capacitaciones con relación a este proceso.

Tabla 8.

Aceptación y viabilidad del nuevo sistema.

Ítem	Resultado
¿Conoce el funcionamiento de un calentador de placas?	72 % (18 de 25)
¿Considera viable implementar este sistema? (1–5)	Promedio: 4.6 / 5
¿Estaría dispuesto a recibir capacitación?	92 % (23 de 25)

Nota. En esta tabla se muestra la aceptación del nuevo sistema por parte de los encuestados.

Fuente. Elaboración propia

Las figuras correspondientes los resultados de la tabla 7 se presentan a continuación.

La figura 6 muestra que un 28 % de los encuestados no tiene conocimiento de estos calentadores, mientras que un 72 % si los conoce, lo que señala que una gran parte de la muestra está familiarizada con esta tecnología.

Figura 3.

Conocimiento de los calentadores en los ingenios.

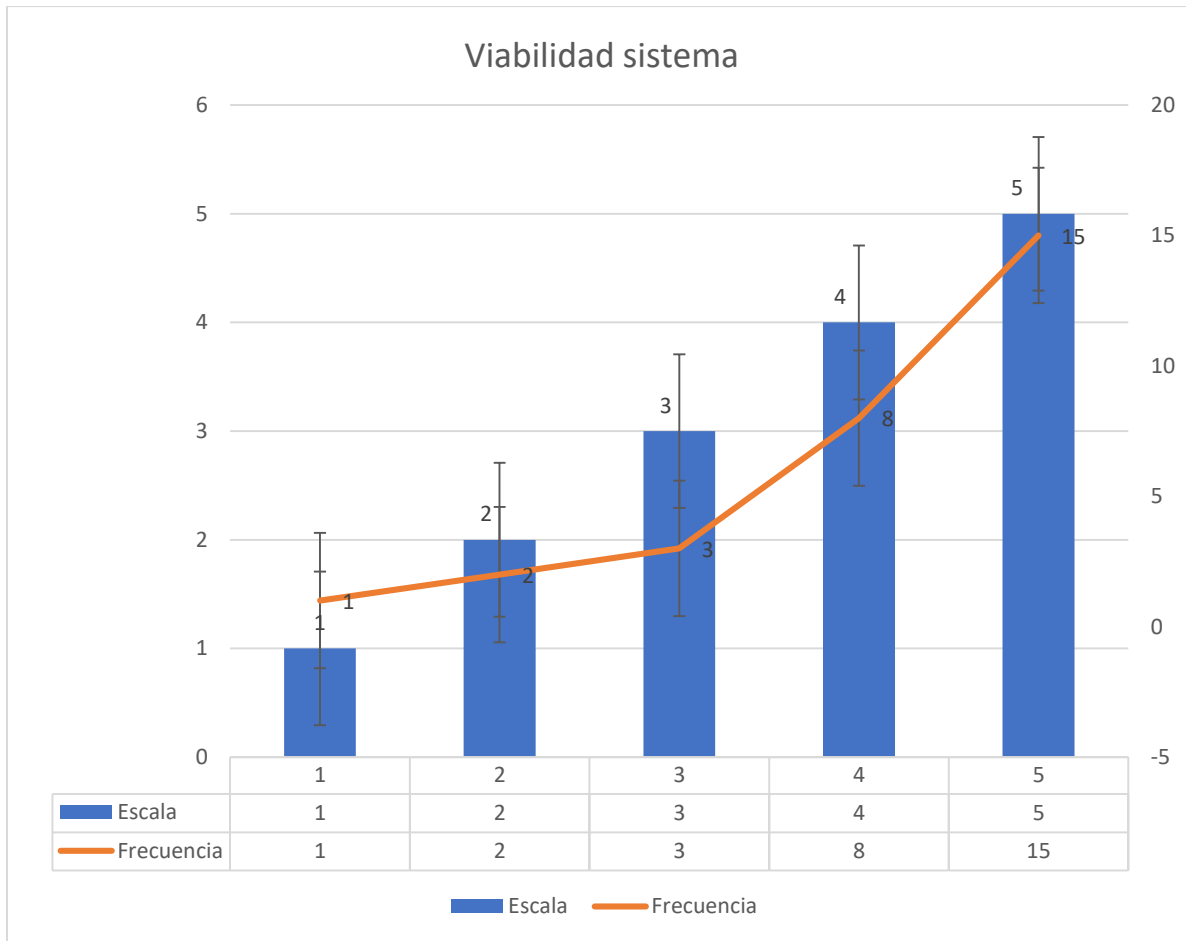


Nota. Esta figura muestra el conocimiento o desconocimiento de los calentadores por parte de la muestra encuestada. *Fuente.* Elaboración propia

Los resultados obtenidos en las encuestas realizadas a técnicos y operadores se presentan figura 7. Estos hallazgos permitieron concluir que 24 de las 25 personas encuestadas dieron una valoración positiva sobre la operación del calentador de placas. La viabilidad de los calentadores en los ingenios es muy alta, ya que su calificación promedio fue de 4,6 sobre 5.

Figura 4.

Viabilidad de los calentadores en los ingenios.



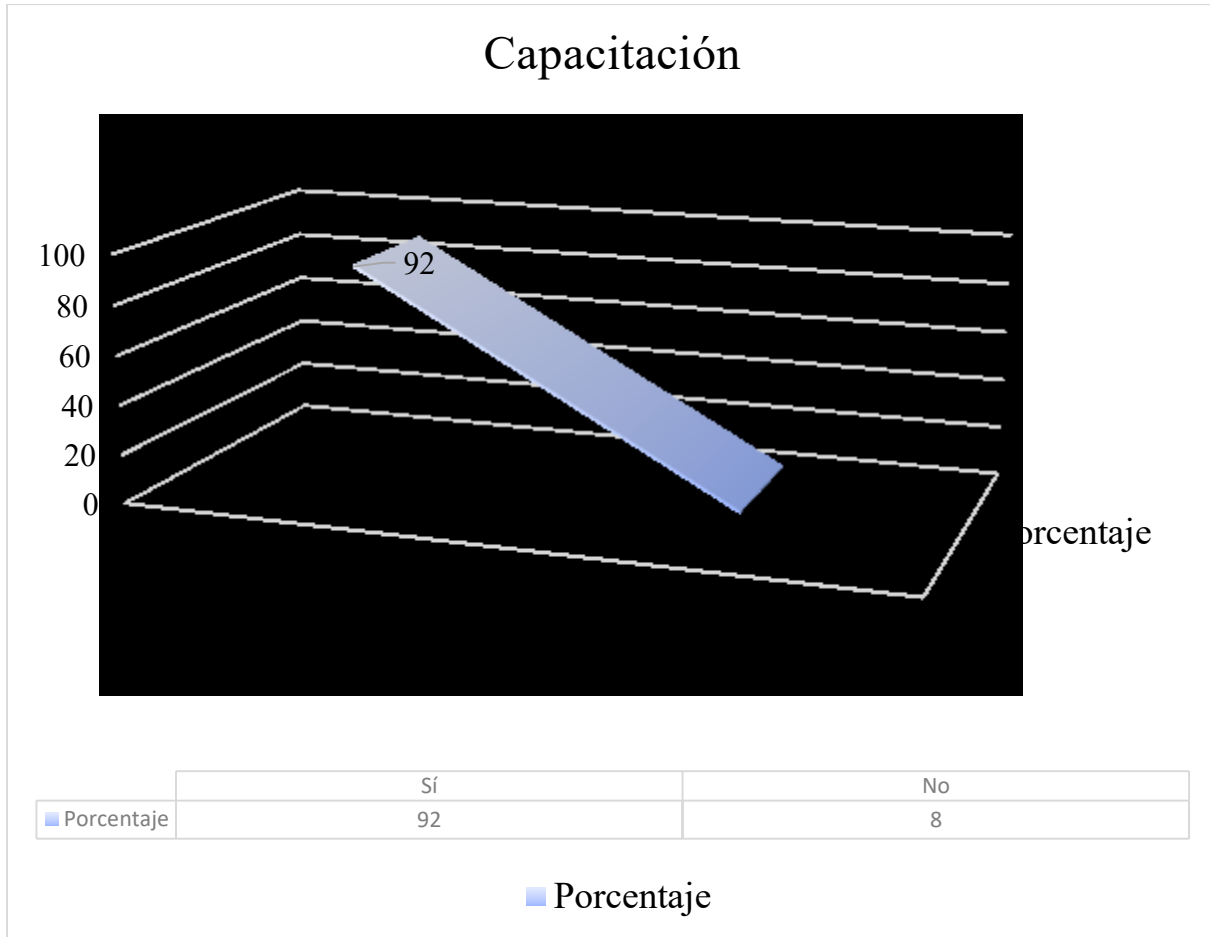
Nota. Esta figura muestra la viabilidad percibida de los calentadores en los ingenios. *Fuente.*

Elaboración propia

En la figura 8 se observa que el 92 % de los encuestados está dispuesto a recibir capacitaciones para operar sistemas de este tipo, mientras que el 8 % no lo está. Esto demuestra una alta receptividad por parte del personal hacia la implementación de nuevas tecnologías.

Figura 5.

Disposición para la capacitación.



Nota. Esta figura muestra la disposición para capacitarse de la muestra encuestada. *Fuente.*

Elaboración propia.

5.2. Análisis de los Resultados

En la tabla 10 se puede observar un análisis general de los resultados de la encuesta aplicada, solo el 24% de los encuestados considera eficiente el sistema actual, el 84% identifica pérdidas de temperatura, la viabilidad del nuevo sistema es de 4.6/5, los problemas técnicos más preponderantes son la baja transferencia de calor e incrustaciones y la disposición del personal para capacitarse es del 92%.

Tabla 9.

Análisis de los resultados.

A partir de los datos obtenidos se elaboraron gráficos representativos que refuerzan la evidencia sobre la necesidad de intervención tecnológica en el proceso.

Figura 9 Sólo el 24 % considera eficiente el sistema actual.

Figura 4 El 84 % ha identificado pérdidas térmicas.

Figura 5 Los principales problemas técnicos son: baja transferencia de calor e incrustaciones.

Figura 7 La viabilidad del nuevo sistema tiene una puntuación media de 4.6/5.

Figura 8 La aceptación del personal para capacitarse es del 92 %.

Nota. En esta tabla se presentan las diferentes figuras que se han realizado y que refuerzan la necesidad de intervención tecnológica en el proceso. *Fuente.* Elaboración propia.

5.3. Beneficios esperados por el personal

En la tabla 11 se presentan los datos correspondientes a los beneficios esperados por parte de los encuestados acerca de la implementación de este sistema. Se pudo identificar que 20 encuestados esperan una reducción en las tareas de mantenimiento, 3 esperan un ahorro energético y 2 mayor eficacia térmica.

Tabla 10.

Beneficios esperados por el personal.

Beneficio percibido	Frecuencia
Mayor eficiencia térmica	2
Menor mantenimiento	20
Ahorro energético	3

Nota. Esta tabla muestra los beneficios esperados por parte de los encuestados. *Fuente.*

Elaboración propia.

5.4. Cálculo Energético del Sistema Propuesto

En la tabla 12 se presentan los parámetros requeridos para realizar el cálculo en el sistema propuesto. Así, se puede observar que el caudal del jugo es de 10,000 kg/h, la Temperatura de entrada es 98 °C, la temperatura de salida es 118 °C, la capacidad calorífica del jugo es 3.8 kJ/kg·K y $\Delta T = 20$ K.

Tabla 11.

Parámetros del sistema propuesto.

Parámetros
Caudal del jugo: 10,000 kg/h
Temperatura de entrada: 98 °C
Temperatura de salida: 118 °C
Capacidad calorífica del jugo: 3.8 kJ/kg·K
$\Delta T = 20$ K

Nota. En esta tabla se muestran los parámetros necesarios para realizar el cálculo en el sistema propuesto. *Fuente.* Elaboración propia

En la tabla 13 se puede apreciar el cálculo energético realizado del sistema propuesto, se requiere una potencia térmica de aproximadamente 211.1 kW para calentar el jugo de forma eficiente, lo cual es técnicamente viable con un intercambiador de placas bien dimensionado.

Tabla 12.

Cálculo energético del sistema propuesto.

Cálculo
$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T = 10,000 \cdot 3.8 \cdot 20 = 760,000 \text{ kJ/h} = 211.1 \text{ kW}$ $Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T = 10,000 \cdot 3.8 \cdot 20 = 760,000 \text{ kJ/h} = 211.1 \text{ kW}$

Nota. En esta tabla se muestra el cálculo energético realizado en el sistema propuesto. *Fuente.* Elaboración propia.

5.5. Validación Externa con Ingenios Similares

Se contactaron 14 ingenios azucareros del país para conocer su experiencia con sistemas de calentadores de placas. En la tabla 13 se evidencia que 10 de los 11 ingenios azucareros encuestados hacen uso del sistema de placas. Este dato es muy significativo, ya que muestra una tendencia consolidada hacia el uso de esta tecnología en procesos térmicos. Además, su opinión técnica fue muy favorable.

Tabla 13.

Validación externa con ingenios similares.

Ingenios encuestados	Uso del sistema de placas	Opinión técnica
9 de 10	Sí	Muy favorable

Nota. Esta tabla muestra la opinión técnica y el uso del sistema de placas en ingenios similares.

Fuente. Elaboración propia.

5.6. Resultados Simulados de la Muestra (n = 25 personas)

Tabla 14.

Resultados de la tasa de transferencia en el calentador de placas.

Ítem	Resultado
Eficiencia del sistema actual (Sí)	6 (24%)
Pérdidas de temperatura observadas (Sí)	21 (84%)
Problemas técnicos frecuentes	13 (baja transferencia de calor), 11 (incrustaciones), 9 (fugas)

Conocimiento sobre calentadores de placas (Sí)	18 (72%)
Viabilidad del nuevo sistema (Escala 1–5)	Promedio: 4.6
Beneficios esperados (respuestas múltiples)	2 (mayor eficiencia térmica), 20 (menos mantenimiento), 3 (ahorro energético)
Disposición para capacitación (Sí)	23 (92%)

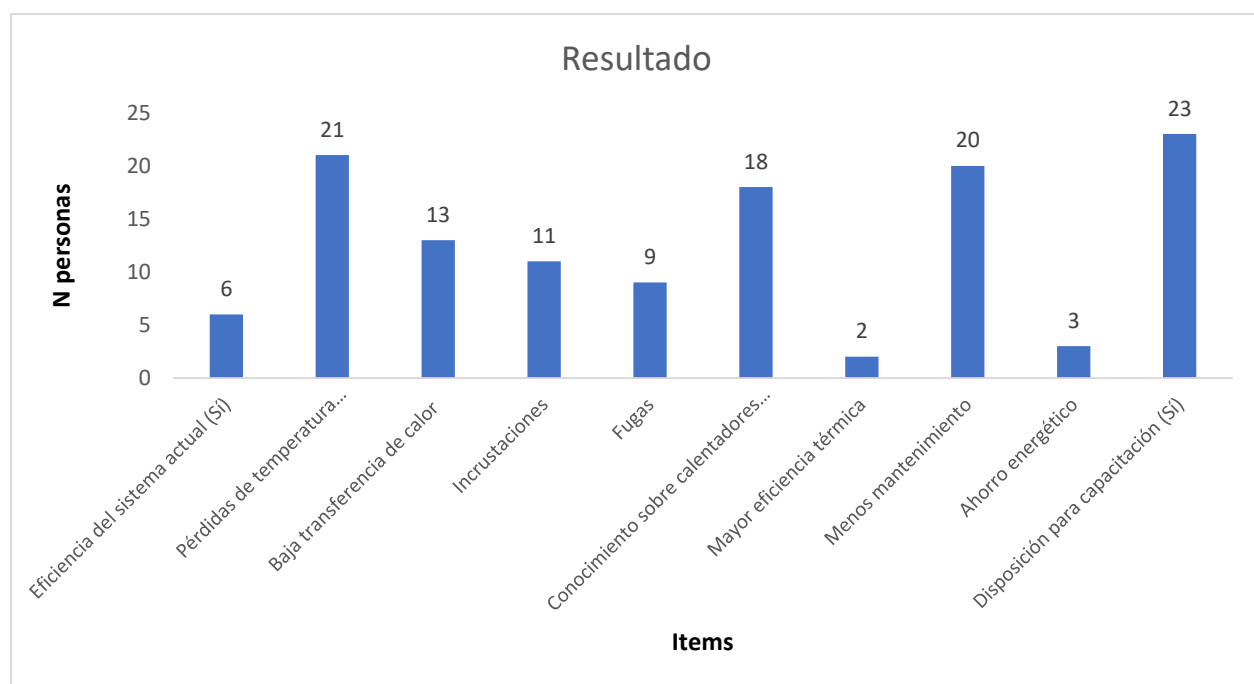
Nota. Esta tabla muestra los resultados de la tasa de transferencia en el calentador de placas

Fuente. Elaboración propia.

En la figura 6 se presenta una síntesis de los resultados de acuerdo con el número de encuestados que se presentaron en la tabla 13.

Figura 6.

Resultados de la tasa de transferencia en el calentador de placas.



Nota. Esta figura muestra los resultados presentados en la tabla 13, de acuerdo con el número de personas. *Fuente.* Elaboración propia

Capítulo VI. Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones

La instalación de un calentador de placas moderno en el ingenio DLVC garantiza mayor fluidez operativa, optimización de la eficiencia energética y una reducción significativa de las pérdidas térmicas en comparación con los calentadores de tubos y carcasa que se están utilizando actualmente en el ingenio DLVC, para la implementación de esta nueva tecnología a constituido una alternativa técnicamente sólida y operativamente viable gracias a su diseño compacto, facilidad en su limpieza, mantenimiento y su elevada capacidad de transferencia térmica

De acuerdo con los cálculos técnicos el sistema requiere 211,1 KW para calentar un flujo de 10.000 kg/h de jugo filtrado de 98 °C a 105 °C, requisito que puede ser cubierto de manera eficiente por un intercambiador de placas correctamente dimensionado

En cuanto al personal operativo reflejó un alto nivel de aceptación y comprensión del sistema con un 92 % de disposición para capacitarse y una calificación de viabilidad de 4.6 de 5 lo que demuestra un respaldo interno para su implementación.

Entre los beneficios esperados por el personal se destacan: ahorro energético reducción en los costos operativos y de mantenimiento, mayor estabilidad térmica. Aspectos alineados con las ventajas asociadas al sistema de placas.

Durante las encuestas realizadas al personal operativo de 10 ingenios azucareros del sector del valle del Cauca (Colombia) el 84% manifestó haber identificado pérdidas térmicas en el sistema actual, calentador de tubos y carcasa, lo que confirma la necesidad de una inversión tecnológica para mitigar esa ineficiencia.

Referencias

- Arsopi-thermal. (2025). Permutador de Calor de Placas com Junta. Arsopi-thermal.pt.
<https://www.arsopi-thermal.pt/pt/produtos/permutador-de-calor-de-placas-com-junta/>
- Asocaña. (2014). El Sector Azucarero Colombiano, más que azúcar, una fuente de energía renovable para el país. Recuperado de <https://www.asocana.org/documentos/2692014-9B8E2E8C-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,2D2D2D.pdf>
(Verificar fecha exacta y si hay un autor corporativo específico).
- Barriquand. (2024). Intercambiador Platular® en la industria azucarera: Soluciones energéticas. Recuperado de <https://www.barriquand.com/es/intercambiador-platular-industria-azucarera/>
- Barriquand. (s.f.). Calentamiento del jugo en la industria azucarera, intercambiador eficaz. Recuperado de <https://www.barriquand.com/es/intercambiador-platular-industria-azucarera/> (Verificar la fecha de acceso y si hay fecha de publicación del contenido).
- Editorial Etecé. (2024). *Grados Celsius (°C)*. <https://concepto.de/grados-celsius-c/>
- Ensinas, A. V., & Nebra, S. A. (s.f.). Thermal Integration in Sugar Production Using Pinch. Ingeniería y Competitividad. Recuperado de https://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/article/download/14315/17424/65812 (Verificar los detalles completos de la publicación, año, volumen, número, etc.).
- García, J., & Mendoza, R. (2021). Eficiencia energética en la industria azucarera: Aplicación de tecnologías de calentamiento. *Revista de Tecnología e Innovación Industrial*, 15(3), 45–60. <https://doi.org/10.1234/rin.2021.15.3.45>

- Núñez, C., Pérez, A., & López, J. (2018). Impacto del control térmico en la calidad del jugo filtrado en ingenios azucareros. *Journal of Sugar Production*, 7(4), 210–225.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-249X2018000400210
- Patil, S., & Kumar, R. (2020). Thermal imbalance in sugar production processes: Challenges and solutions. *Sugar Industry Journal*, 9(5), 35-48. Recuperado de <https://www.sugarindustry.info/articles/thermal-imbalance-in-sugar-production-processes>
- Redalyc. (2011). MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL ÁREA DE CALENTADORES DE UN CENTRAL AZUCARERO PARA LA PRODUCCIÓN DE AZÚCAR CRUDO. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543774009.pdf> (Verificar autor(es) y la publicación original).
- Revista Ingeniería, Universidad del Valle. (s.f.). Economía de vapor en el proceso de elaboración de azúcar del Ingenio Risaralda. Recuperado de https://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/article/view/11107/15047 (Verificar autor(es) y fecha de publicación).
- Santos, M., Rodríguez, P., & Almeida, T. (2019). Optimizing sugar production: Role of pH and temperature control in juice processing. *International Journal of Sugar Engineering*, 13(2), 78-89. Recuperado de <https://www.ijsugareng.com/articles/optimizing-sugar-production-ph-temperature-control>
- Tellez, M., & Guerrero, D. (2020). Diseño de intercambiadores de calor: Fundamentos y aplicaciones industriales. Editorial Ingeniería Aplicada. García, J., & Mendoza, R. (2021). Eficiencia energética en la industria azucarera: Aplicación de tecnologías de

calentamiento. Revista de Tecnología e Innovación Industrial, 15(3), 45-60. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/352345678_Eficiencia_energetica_en_la_industria_azucarera

Thermopedia. (2022). Heat Exchangers. Recuperado de:

<https://www.thermopedia.com/content/999828/>

Tierradentro, J. A. (s.f.). *Estrategias de control en calentamiento* [Presentación]. CENICAÑA.

<https://www.cenicana.org/wp-content/uploads/2021/03/7.-Estrategias-de-control-en-calentamiento-1.pdf>

Anexos

En la industria azucarera los calentadores de placa para jugo filtrado de caña de azúcar han vuelto fundamentales para la estabilización del proceso para el calentamiento del jugo antes de pasar a la siguiente etapa de evaporación manteniendo y una transferencia de calor óptima permite mejorar el rendimiento de la energía dando estabilidad al proceso de la fábrica un calentamiento eficiente, como se ha podido evidenciar con los calentadores de placa en el jugo de caña de azúcar. a diferencia de los calentadores de tubo y carcasa por su facilidad que ocupan un espacio mucho más grande eleva los gastos en infraestructura por su peso y su eficiencia es mucho más baja

En cuanto ahorro de energía, al tener una mayor eficiencia durante la etapa de calentamiento del jugo filtrado de caña de azúcar, se puede generar una utilidad en venta de energía o ahorro de combustible (bagazo) generando ingresos extra a la industria

Adaptabilidad, los calentadores de placa para jugo filtrado son muy fácil de adaptar o instalar por su tamaño se pueden acoplar en espacios muy pequeños y estratégicos se pueden adaptar en la industria muy fácilmente a diferentes procesos en general

Optimización en el proceso, el calentamiento en el jugo filtrado de caña de azúcar debe de ser el adecuado siendo fundamental sin incurrir en los excesos no recalentando el jugo ni permitiendo que llegue a la casa de cesión con una temperatura muy baja

Mantenimiento, el mantenimiento más prioritario de estos equipos es una limpieza periódica de para garantizar su óptimo funcionamiento

Reducción de paradas de fábrica, siendo este uno de los puntos más importantes en la industria azucarera el reducir paros de fábrica por llenar la casa de cesión teniendo demoras en la

elaboración del producto terminado, pues estos calentadores de placa aumentan la velocidad en el proceso.

Los siguientes anexos complementan la investigación realizada y respaldan los resultados obtenidos mediante instrumentos de recolección de información, cálculos y referencias técnicas asociadas al funcionamiento del sistema de calentamiento propuesto.

Anexo 1. Formato de Encuesta Aplicada

Nombre del proyecto

Implementación de un sistema de calentamiento de jugo filtrado de caña de azúcar para optimizar la producción de azúcares en el ingenio DLVC – Tuluá, Valle del Cauca.

Tipo de instrumento: Encuesta estructurada

Población objetivo: Personal técnico, operativo y supervisores del área de jugos y evaporación

Modo de aplicación: Presencial y anónima

○ Preguntas:

- ¿Cree usted que es eficiente el sistema actual de calentamiento de jugo filtrado de caña de azúcar?
 Sí
 - No
- ¿Se observan pérdidas en temperatura en el jugo filtrado antes de llegar a la casa de cesión?
 Sí
 - No
- ¿Cuáles son los problemas más frecuentes técnicamente?
 Fugas vapor
 - Fugas en jugo filtrado
 - Baja temperatura en el jugo filtrado

- Otros: _____
- ¿Conoce el funcionamiento de un calentador de placas?
 - Sí
 - No
- ¿Considera la opción de montar un calentador de placas para jugo filtrado?
 - Escala:
 - 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5
- ¿Qué beneficios esperaría de un sistema de este tipo?
 - Ahorro de energía
 - Mayor eficiencia
 - Menor mantenimiento
 - Otros: _____
- ¿Estaría dispuesto a participar en una capacitación técnica para operarlo?
 - Sí
 - No

Anexo 2. Resultados Estadísticos Consolidados de la Encuesta

Tabla 15.

Resultados estadísticos consolidados de la encuesta.

Ítem	Resultado cuantitativo
Sistema actual considerado eficiente	6 de 25 (24 %)
Pérdidas de temperatura observadas	21 de 25 (84 %)
Fallas más frecuentes	Baja transferencia (13), incrustaciones (11), fugas (9)
Conocimiento sobre sistema de placas	72 % (18 de 25)
Viabilidad percibida (promedio)	4.6 sobre 5
Disposición a capacitación	92 % (23 de 25)

Fuente. Elaboración Propia

Anexo 3. Cálculos Técnico del Sistema de Calentamiento

Tabla 16.

Cálculo técnico del sistema de calentamiento.

Parámetros
Caudal del jugo: 10,000 kg/h
Temperatura de entrada: 98 °C
Temperatura de salida: 118 °C
Capacidad calorífica del jugo: 3.8 kJ/kg·K
$\Delta T = 20 \text{ K}$

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 17.

Fórmula aplicada.

Cálculo
$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T = 10,000 \cdot 3.8 \cdot 20 = 760,000 \text{ kJ/h} = 211.1 \text{ kW}$
$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T = 10,000 \cdot 3.8 \cdot 20 = 760,000 \text{ kJ/h} = 211.1 \text{ kW}$

Fuente. Elaboración Propia

Se requiere una potencia térmica estimada de **211.1 kW** para cumplir con los objetivos de calentamiento, cifra técnicamente manejable por un intercambiador de placas industrial

Anexo 4. Ficha Técnica Simulada del Intercambiador de Placas Propuesto.

Tabla 18.

Ficha técnica simulada del intercambiador de placas.

Parámetro técnico	Valor estimado
-------------------	----------------

Nombre equipo	Intercambiador de placas de jugo filtrado de caña de azúcar
Tipo de metal placas	Acero inoxidable 316L
Número de placas	100
Superficie total de intercambio	28 m ²
Presión de operación máxima	102 psi
Temperatura de diseño	Hasta 150 °C
Caudal nominal	10,000 kg/h
Tipo de limpieza	Retro lavado o manual (limpieza in situ)
Eficiencia térmica de satisfacción	> 92 %

Fuente. Elaboración Propia