



Diagnóstico de la implementación de un sistema de calentamiento de jugo filtrado de caña de azúcar para optimizar la producción en el ingenio San Carlos de Tuluá Valle Del Cauca.

Arévalo Cotes Darlis Silena

Ramírez Ramírez Cesar Augusto

Trochez Álzate Miguel Ángel

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

Junio 2025.



Diagnóstico de la implementación de un sistema de calentamiento de jugo filtrado de caña de azúcar para optimizar la producción en el ingenio San Carlos de Tuluá Valle Del Cauca.

Arévalo Cotes Darlis Silena

Ramírez Ramírez Cesar Augusto

Trochez Álzate Miguel Ángel

Muñoz Bonilla Hugo Alejandro

Esp. Gerencia de Proyecto, Mg. en Gerencia de Proyectos y Gerencia de la innovación,
Dr. En Proyectos.

Asesor(a)

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

Junio 2025.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1 La pregunta de investigación.....	14
1.2 Objetivos de investigación.....	14
1.2.1 Objetivo General.....	14
1.2.2 Objetivos Específicos.....	15
1.3 Justificación de la investigación.....	15
2 MARCO DE REFERENCIA	18
2.1 Marco de antecedentes.....	18
2.2 Marco Teórico	21
2.2.1 Procesos Térmicos en la Industria Azucarera	21
2.2.2 Estabilización del pH en el Jugo Filtrado.....	22
2.2.3 Tecnologías de Intercambio de Calor.....	22
2.2.4 Impacto de las Innovaciones Tecnológicas en la Producción Azucarera	22
2.2.5 Gestión del conocimiento y know-how	23
2.3 Marco Legal	24
3 METODOLOGIA	25
3.1 Alcance de la investigación	25
3.2 Diseño de la investigación.....	25
3.3 Población objeto del estudio.....	26
3.3.1 Tamaño de la muestra	26
3.4 Instrumentos de recolección de datos	27
3.5 Procedimiento de aplicación de los instrumentos	28
3.5.1 Análisis de los datos.....	28
3.5.2 Consideraciones éticas.....	28
3.6 Validación del instrumento.....	29
3.7 Variables objeto de estudio	30
3.7.1 Variable independiente.....	30
3.7.2 Variable dependiente.....	30
3.8 Hipótesis de la investigación	30
3.8.1 Hipótesis general	30

3.8.2	Hipótesis específicas	31
3.9	Gráfico metodología de la investigación.	32
4	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	33
4.1	Presentación de la muestra	33
4.2	Análisis descriptivo	34
4.3	Análisis general de los resultados	44
4.4	Análisis por objetivos de la investigación.....	47
4.4.1	Objetivo específico 1: Identificar los factores involucrados y reportados por los trabajadores del área en el proceso de calentamiento del jugo filtrado de caña de azúcar, en el Ingenio San Carlos de Tuluá (Valle del Cauca).....	47
4.4.2	Objetivo específico 2: Categorizar los factores involucrados y reportados por los trabajadores del área en el proceso de calentamiento del jugo filtrado de caña de azúcar	48
4.4.3	Objetivo específico 3 Evaluar los factores involucrados y reportados por los trabajadores del área en el proceso de calentamiento del jugo filtrado de caña de azúcar.....	49
5	Conclusiones.....	50
5.1	Recomendaciones.....	57
6	Referencias	59
7	Anexos	62
7.1	Anexo A. Consentimiento Informado y Consideraciones Éticas.....	62
7.2	Anexo B Encuesta Aplicada	64

Lista de tablas

Tabla 1 Eficiencia energética. ¿Cómo calificaría el sistema actual en términos de eficiencia energética?.....	34
Tabla 2 Costo operativo VS consumo de vapor. ¿Qué porcentaje del costo operativo se relaciona con el consumo del vapor?	36
Tabla 3 Cambios tecnológicos necesarios. ¿Qué cambio tecnológico considera necesario para optimizar el calentamiento del jugo filtrado?	37
Tabla 4 Control del pH. ¿El pH del jugo filtrado se mantiene regularmente entre los rangos óptimos (7-8)?	39
Tabla 5 Métodos para estabilizar el pH. ¿Qué método principal se utiliza para estabilizar el pH del jugo filtrado?	40
Tabla 6 . Consistencia de la temperatura óptima. ¿El sistema actual alcanza de manera consistente la temperatura óptima para el proceso de filtrado?	41
Tabla 7 Frecuencia de monitoreo. ¿Con que frecuencia se monitorea la temperatura del jugo filtrado?.....	43

Lista de figuras

Figura 1 Gráfico metodología de la investigación	32
Figura 2 Eficiencia energética ¿Cómo evalúa la capacidad del sistema actual para transferir el calor de manera efectiva?	35
Figura 3 Costo operativo VS consumo de vapor. ¿Qué porcentaje del costo operativo se relaciona con el consumo del vapor?	36
Figura 4 . Cambios tecnológicos necesarios. ¿Qué cambio tecnológico considera necesario para optimizar el calentamiento del jugo filtrado?	37
Figura 5 Control del pH. ¿El pH del jugo filtrado se mantiene regularmente entre los rangos óptimos (7-8)?	39
Figura 6 Métodos para estabilizar el pH. ¿Qué método principal se utiliza para estabilizar el pH del jugo filtrado?	40
Figura 7 Consistencia de la temperatura óptima. ¿El sistema actual alcanza de manera consistente la temperatura óptima para el proceso de filtrado?	41
Figura 8 . Frecuencia de monitoreo. ¿Con que frecuencia se monitorea la temperatura del jugo filtrado?	43

Resumen

La presente investigación se enfoca en diagnosticar y analizar los factores que inciden en el proceso de calentamiento del jugo filtrado, de la caña de azúcar en el Ingenio San Carlos, ubicado en la ciudad de Tuluá (Valle del Cauca), con el propósito de optimizar la eficiencia térmica, disminuir el consumo energético y aumentar la calidad de la azúcar producida en el mismo.

A partir de la fase inicial, surgió el interés por parte del grupo de investigación de analizar los factores que inciden en cada uno de estos procesos, para validar y obtener información de interés.

El objetivo principal de la investigación fue poder identificar, categorizar, y evaluar los factores críticos que identificaron los colaboradores del área mediante un estudio de enfoque cuantitativo, enmarcado en la fase inicial de análisis operativo.

Se realizaron encuestas al personal técnico calificado, se pudieron analizar los datos históricos de la operación del calentamiento del jugo filtrado, se incluyeron datos de temperatura, pH y consumos de vapor; el tratamiento estadístico se realizó con herramientas como Excel y Power BI, para visualizar tendencias y frecuencia.

Los análisis revelan un sistema de calentamiento con eficiencia térmica moderada, deficiencias en el control automatizado del pH, un alto consumo de vapor y necesidad de modernización tecnológica de sistema, es prioritario implementar los sensores inteligentes, monitoreo en tiempo real y mejoras en los procesos de filtrado y clarificación.

Se puede concluir que cuando se vincula conocimiento operativo con soluciones tecnológicas, es fundamental para lograr un sistema más eficiente, sostenible y adaptables a las necesidades actuales del ingenio San Carlos.

Los hallazgos de la investigación evidencian la necesidad de fortalecer la gestión del conocimiento técnico y adoptar innovaciones que contribuyan a la competitividad y sostenibilidad del sector azucarero en Colombia.

Palabras claves: Proceso de calentamiento, eficiencia térmica, jugo filtrado, consumo energético, sensores inteligentes, análisis operativo, sostenibilidad.

Abstract

This research focuses on diagnosing and analyzing the factors affecting the heating process of filtered juice from sugarcane at the San Carlos Sugar Mill, located in the city of Tuluá (Valle del Cauca), with the aim of optimizing thermal efficiency, reducing energy consumption, and improving the quality of the sugar produced.

From the initial phase, the research team showed interest in analyzing the factors influencing each of these processes to validate and obtain relevant information.

The primary objective of the study was to identify, categorize, and evaluate the critical factors highlighted by the area's collaborators through a quantitative approach framed within the initial phase of operational analysis.

Surveys were conducted with qualified technical personnel, and historical data related to the filtered juice heating operation were analyzed, including temperature, pH, and steam consumption data. Statistical treatment was performed using tools such as Excel and Power BI to visualize trends and frequencies.

The analyses revealed a heating system with moderate thermal efficiency, deficiencies in automated pH control, high steam consumption, and a technological system in need of modernization. It is therefore a priority to implement smart sensors, real-time monitoring, and improvements in the filtering and clarification processes.

It can be concluded that integrating operational knowledge with technological solutions is essential to achieve a more efficient, sustainable, and adaptable system aligned with the current needs of the San Carlos Sugar Mill.

The findings highlight the necessity to strengthen technical knowledge management and adopt innovations that contribute to the competitiveness and sustainability of the sugar industry in Colombia.

Keywords: heating process, thermal efficiency, filtered juice, energy consumption, smart sensors, operational analysis, sustainability

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la industria azucarera enfrenta el reto de maximizar la calidad del producto y, al mismo tiempo, minimizar el consumo energético de sus procesos. En este escenario, el tratamiento térmico del jugo filtrado se alza como un eslabón crítico, pues de su adecuada operación depende tanto la eficiencia en la extracción de azúcares como la estabilidad del pH y el gasto de vapor necesario para mantener la línea en marcha.

Diversos estudios a nivel mundial han explorado soluciones basadas en tecnologías de intercambio de calor para optimizar esta etapa. Núñez et al. (2018) analizaron el impacto de un control térmico riguroso sobre la calidad del jugo filtrado, demostrando que mantener temperaturas óptimas reduce de forma significativa las pérdidas microbiológicas. De igual modo, García y Mendoza (2021) validaron el uso de intercambiadores de calor de placas soldadas como estrategia eficiente para la recuperación de energía, la estabilización de parámetros operativos y la facilitación de un flujo continuo en el proceso.

En el ingenio San Carlos de Tuluá (Valle del Cauca), el conocimiento tácito de los operadores ajustes informales de temperatura, tiempos de retención variables y rutinas de mantenimiento no se ha sistematizado, lo cual limita la capacidad de diseñar un sistema de calentamiento plenamente adaptado a la realidad de planta. Esta falta de información estructurada conduce a un consumo de vapor por encima de lo necesario y a pérdidas de materia prima que impactan directamente en la rentabilidad y la sostenibilidad ambiental.

Por ello, el presente proyecto plantea una fase piloto destinada a integrar las experiencias del personal con tecnologías modernas de intercambio de calor. A través de la identificación, categorización y evaluación de los factores reportados por los trabajadores, se buscará mantener temperaturas constantes, asegurar un pH balanceado y disminuir el gasto de vapor. De este modo, se avanzará hacia un proceso más eficiente, sostenible y capaz de generar excedentes energéticos para la red de interconexión nacional.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La industria azucarera enfrenta diversos desafíos relacionados con el manejo térmico del jugo filtrado, los cuales impactan de manera significativa la calidad del azúcar producido, la eficiencia de los procesos y los costos operativos. En este contexto, se han identificado cinco problemáticas principales que requieren atención para optimizar los procesos productivos. Primero, la inversión microbiológica de la sacarosa causada por pérdidas térmicas representa un problema crítico, ya que el jugo filtrado no alcanza la temperatura óptima superior a 70°C, lo que facilita la proliferación de microorganismos y genera pérdidas significativas de materia prima, afectando la calidad del azúcar producido (Núñez et al., 2018).

Segundo, la inestabilidad del pH en el jugo filtrado y mezclado es otro desafío clave. Este pH fluctúa entre 10 y 8, mientras que debería mantenerse en un rango adecuado entre 7 y 8 para optimizar el proceso y prevenir la formación de compuestos no deseados. Según el área industrial de CATSA, el pH eficiente en etapas críticas de producción, como la alcalinización, debe mantenerse entre 5.4 y 5.5 para garantizar la calidad del azúcar y la estabilidad del proceso.

Tercero, la falta de estabilización en la molienda debido a revolcadas clarificadas interrumpe el flujo continuo del jugo, afectando la eficiencia del proceso de clarificación y disminuyendo el rendimiento general del sistema.

Cuarto, el consumo excesivo de vapor durante la etapa de evaporación incrementa los costos energéticos y limita la sostenibilidad operativa, reduciendo la

competitividad en el mercado (García & Mendoza, 2021). Finalmente, el ingenio carece de un sistema de calentamiento moderno y eficiente que permita abordar estos problemas de manera integral.

Al contrastar los problemas identificados en la literatura con los desafíos observados en el contexto del Ingenio San Carlos, se evidencia la necesidad del diseño e implementación de un sistema de calentamiento eficiente que permita estabilizar parámetros críticos, optimizar el uso energético y mejorar la calidad del producto se presenta como una solución indispensable para garantizar la competitividad y sostenibilidad del ingenio en el sector azucarero.

1.1 La pregunta de investigación

¿Qué factores deben ser integrados a un sistema de calentamiento de jugo filtrado de caña de azúcar para optimizar la producción en el ingenio San Carlos de Tuluá Valle Del Cauca, a partir de la experticia de los trabajadores del área?

1.2 Objetivos de investigación

1.2.1 Objetivo General

Analizar los factores involucrados y reportados por los trabajadores del área en el proceso de calentamiento de jugo filtrado de caña de azúcar, en el ingenio San Carlos de Tuluá Valle Del Cauca

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar Factores involucrados y reportados por los trabajadores del área en el proceso de calentamiento de jugo filtrado de caña de azúcar, en el ingenio San Carlos de Tuluá Valle Del Cauca
- Categorizar los Factores involucrados y reportados por los trabajadores del área en el proceso de calentamiento de jugo filtrado de caña de azúcar, en el ingenio San Carlos de Tuluá Valle Del Cauca
- Evaluar los Factores involucrados y reportados por los trabajadores del área en el proceso de calentamiento de jugo filtrado de caña de azúcar, en el ingenio San Carlos de Tuluá Valle Del Cauca

1.3 Justificación de la investigación

La ejecución de esta investigación bajo un esquema de prueba piloto resulta esencial para sentar las bases de una implementación exitosa de un sistema de calentamiento de jugo filtrado en el ingenio San Carlos. Al centrarse en la experticia de los trabajadores del área, este estudio previo permite:

- **Validar y optimizar la metodología de recolección de datos.**

Antes de escalar el proyecto, es fundamental comprobar que las técnicas de entrevista y observación diseñadas capturan de forma precisa los factores operativos que el personal identifica como críticos. La fase piloto ayuda a afinar los instrumentos (guías de entrevista, formatos de registro, criterios de

categorización) y a asegurar la calidad y coherencia de la información obtenida.

- **Delimitar las variables y categorías de análisis.**

Al identificar, categorizar y evaluar de manera preliminar los factores reportados por los operarios (tales como condiciones de temperatura, tiempos de retención, mantenimiento de equipos y protocolos de seguridad), se reduce la incertidumbre sobre qué elementos tienen mayor impacto en la eficiencia térmica y en la calidad del azúcar producido. Esto facilita el diseño de un sistema de calentamiento más ajustado a la realidad de planta.

- **Reducir riesgos técnicos y organizacionales.**

Implementar un cambio tecnológico en una etapa avanzada sin un estudio piloto puede derivar en sobrecostos, resistencias del personal y ajustes de último minuto que comprometan el cronograma y el presupuesto. La prueba piloto permite detectar fallas de diseño, problemas de interacción entre el personal y la nueva tecnología, así como necesidades de capacitación, antes de comprometer recursos a gran escala.

- **Fortalecer la aceptación y el compromiso del equipo operativo.**

Involucrar a los trabajadores desde las fases tempranas del proyecto reconociendo y valorando su experiencia promueve un sentido de apropiación sobre el sistema a implantar. Esto no sólo mejora la calidad de

los datos recogidos, sino que facilita la formación posterior y la transición hacia la nueva

- **Generar una base de evidencia sólida para la toma de decisiones.**

La importancia de realizar un estudio previo radica en construir un diagnóstico contrastado y un análisis riguroso de las condiciones reales de operación. Los resultados del piloto ofrecerán datos cuantitativos y cualitativos que respaldarán la selección de tecnologías, la estimación de beneficios energéticos y la proyección de mejoras en el rendimiento de la producción de azúcar.

En conjunto, esta justificación subraya la necesidad de una prueba piloto y de un estudio previo como fases indispensables para garantizar que la posterior implementación del sistema de calentamiento sea técnicamente viable, económicamente rentable y socialmente aceptada por los trabajadores del ingenio San Carlos de Tuluá Valle del Cauca.

2 MARCO DE REFERENCIA

2.1 Marco de antecedentes.

El estudio realizado por Cruz Fonticiella en 2007, titulado "*Eficiencia en el calentamiento del jugo de caña de azúcar*", buscó evaluar cómo el control de temperatura en el calentamiento del jugo afecta tanto la eficiencia del proceso como la calidad del azúcar final. A través de un enfoque experimental en un ingenio azucarero, se observó que mantener una temperatura adecuada mejoraba la eficiencia térmica en un 20% y reducía la formación de compuestos no deseados. Esto evidencia la importancia de estabilizar la temperatura como parte fundamental del rendimiento en los ingenios. Sin embargo, este trabajo no consideró cómo el pH interactúa con la temperatura, lo que se presenta como una limitación. El autor recomienda incorporar sistemas de control automatizados para garantizar resultados constantes.

En 2017, Gualtero Vargas desarrolló el estudio "*Análisis de integración térmica mediante el método Pinch*", que buscó identificar oportunidades de ahorro energético en procesos térmicos en ingenios. Utilizando simulaciones computacionales, encontró que el consumo de vapor podía reducirse en un 15%, mejorando notablemente los costos operativos. Su conclusión principal fue que integrar herramientas como el método Pinch es clave para optimizar el uso del calor en procesos industriales. Sin embargo, el autor destacó que no se evaluaron factores externos, como las variaciones climáticas, lo que limita el alcance de los resultados. A pesar de ello, se recomienda diseñar sistemas de intercambio térmico que aprovechen mejor las fuentes de calor.

Por su parte, García y Mendoza (2021), en su investigación *"Eficiencia energética en la industria azucarera: Aplicación de tecnologías de calentamiento"*, evaluaron los beneficios de los intercambiadores de calor en la recuperación de energía y la estabilización de parámetros. A través de casos prácticos, demostraron que el consumo energético se redujo en un 25%, además de estabilizar el flujo de jugo durante la clarificación. Los autores concluyen que estas tecnologías son esenciales para mejorar la eficiencia en ingenios de mediana y gran capacidad, aunque advierten que su aplicabilidad puede ser limitada en ingenios más pequeños.

Otro trabajo significativo es el de Biblat (2014), titulado *"Impacto de la materia extraña en la calidad del jugo de caña"*, que exploró cómo las impurezas en la caña afectan la producción de azúcar. Los resultados muestran que un aumento del 5% en impurezas reduce la producción de azúcar en un 7.9%, resaltando la importancia de mejorar los procesos de limpieza y clasificación. Sin embargo, el autor no profundizó en los costos asociados con estos procesos. Se recomienda implementar sistemas de limpieza más estrictos para garantizar mejores rendimientos.

En 2024, Barriquand presentó su estudio *"Intercambiador Platular® en la industria azucarera: Soluciones energéticas"*, donde evaluó cómo los intercambiadores de calor avanzados pueden reducir el consumo de vapor y mejorar la estabilidad térmica. Los hallazgos demostraron una reducción del 18% en el consumo de vapor, lo que refuerza su utilidad en ingenios grandes y medianos. Sin embargo, el autor señala que las pruebas se realizaron en entornos controlados, lo que podría limitar la generalización de los resultados.

El informe anual de Asocaña (2021-2022) ofreció un panorama completo sobre los retos del sector azucarero en Colombia. Entre los hallazgos, se identificaron problemas en el manejo térmico y la calidad del jugo filtrado, destacando la necesidad de implementar tecnologías modernas para mejorar la eficiencia. A pesar de su valiosa contribución, el informe carece de estudios experimentales concretos. Como recomendación, se propone promover políticas que incentiven la adopción de nuevas tecnologías.

En el estudio de Patil y Kumar (2020), titulado "*Thermal imbalance in sugar production processes: Challenges and solutions*", se analizó cómo el desequilibrio térmico impacta la producción de azúcar. Este problema genera ineficiencias del 12% en el proceso, lo que refuerza la importancia del control térmico integrado. Aunque los autores no abordaron la viabilidad económica de sus soluciones, sugieren implementar sistemas de monitoreo en tiempo real para mejorar la gestión del calor.

Cengicaña (2009-2010), en su investigación "*Ventajas y desventajas del uso de un filtro de banda para cachaza*", evaluó el impacto de esta tecnología en la calidad del jugo. Los resultados revelaron mejoras del 15% en la pureza del jugo y una reducción del 10% en las pérdidas de sacarosa. A pesar de sus beneficios, el estudio se centró en un entorno específico, lo que limita su replicabilidad. Como recomendación, los autores sugieren adoptar esta tecnología en ingenios que manejen altos volúmenes de caña.

Orb Ingeniería (2021) exploró los beneficios de los intercambiadores de calor en su estudio "*Intercambiadores de calor en la industria azucarera*". Mediante casos

prácticos en ingenios colombianos, los resultados evidenciaron una reducción del consumo energético en un 20% y un aumento del 8% en la productividad. Aunque el estudio no aborda ingenios con recursos limitados, se destaca la importancia de promover programas de capacitación para maximizar el uso de esta tecnología.

Finalmente, Gezahegn (2019), en su trabajo "*Tecnologías emergentes en la clarificación de jugos filtrados*", investigó el uso de flotadores avanzados para optimizar la clarificación del jugo. Este enfoque permitió reducir el tiempo de retención en un 30% y mejorar la pureza del producto. Sin embargo, los costos iniciales de implementación se mencionan como una limitación importante. Se recomienda fomentar la adopción de estas tecnologías en ingenios medianos y grandes.

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Procesos Térmicos en la Industria Azucarera

El manejo térmico es una de las etapas críticas en la producción de azúcar, ya que influye directamente en la calidad del producto final y en la eficiencia operativa. Según Cruz Fonticiella (2007), mantener una temperatura adecuada durante el calentamiento del jugo filtrado no solo mejora la eficiencia del proceso, sino que también minimiza la formación de compuestos indeseados. Además, Gualtero Vargas (2017) señala que la integración de sistemas térmicos modernos puede reducir el consumo energético en hasta un 15%, un aspecto clave para garantizar la sostenibilidad operativa de los ingenios azucareros.

2.2.2 Estabilización del pH en el Jugo Filtrado

El control del pH es esencial para optimizar el proceso de clarificación y evitar pérdidas en la calidad del azúcar. Estudios como el de García y Mendoza (2021) demuestran que la estabilización del pH reduce la formación de compuestos no deseados y mejora la eficiencia en las etapas posteriores del procesamiento. Por su parte, Biblat (2014) enfatiza que el pH inadecuado, combinado con impurezas, puede reducir significativamente la pureza del producto final, lo que subraya la necesidad de implementar tecnologías que estabilicen este parámetro.

2.2.3 Tecnologías de Intercambio de Calor

Los intercambiadores de calor son una solución ampliamente estudiada para mejorar la eficiencia térmica en los ingenios. Según Barriquand (2024), estas tecnologías no solo permiten una transferencia de calor más eficiente, sino que también estabilizan parámetros críticos como la temperatura y el flujo del jugo. En Colombia, Orb Ingeniería (2021) destaca que los intercambiadores de calor han demostrado reducir el consumo energético en un 20% y aumentar la productividad en un 8%, lo que los convierte en una herramienta esencial para la modernización del sector.

2.2.4 Impacto de las Innovaciones Tecnológicas en la Producción Azucarera

La implementación de tecnologías innovadoras ha transformado significativamente la industria azucarera en las últimas décadas. Estudios como el de Gezahegn (2019) destacan que las tecnologías emergentes, como los flotadores avanzados en la clarificación de jugos filtrados, han logrado reducir el tiempo de procesamiento en un 30%, mejorando la pureza del producto. Asimismo, Patil y Kumar

(2020) señalan que el uso de herramientas digitales para el monitoreo térmico y la integración de datos ha permitido una gestión más eficiente de los recursos, minimizando el impacto ambiental. Estas innovaciones no solo mejoran la competitividad de los ingenios, sino que también abren nuevas oportunidades para adaptarse a las demandas de sostenibilidad y eficiencia del mercado global.

2.2.5 Gestión del conocimiento y know-how

La productividad y la mejora continua en procesos industriales no dependen solo de la tecnología, sino también del saber operativo acumulado por los trabajadores. Nonaka y Takeuchi (1995) describen el modelo SECI de creación de conocimiento, que distingue cuatro modos de interacción entre conocimiento tácito y explícito:

- **Socialización:** Intercambio informal de experiencias en el puesto de trabajo (por ejemplo, ajustes de temperatura “al ojo”) que transmite habilidades implícitas.
- **Externalización:** formalización de rutinas y buenas prácticas en manuales o guías de operación.
- **Combinación:** Integración de datos técnicos (registros de temperatura, consumo de vapor) con manuales de mantenimiento y reportes de fallas.
- **Internalización:** Asimilación de nuevas metodologías y tecnologías por parte de los operarios, convirtiendo documentos y capacitaciones en competencias prácticas.

- Aplicar este enfoque al pilotaje del sistema de calentamiento permite capturar y estructurar el know-how de planta, garantizando que los factores identificados, categorizados y evaluados se apoyen en un ciclo dinámico de creación de conocimiento.

2.3 Marco Legal

El diseño en la producción especial del Ingenio San Carlos es fundamental para la realización del proyecto de calentador de placas para el jugo de caña de azúcar.

Para su desarrollo, se empleó la norma ASME VIII División 2, reconocida internacionalmente por sus estándares para el cálculo y análisis de equipos sometidos a presión, lo que garantiza la confiabilidad del equipo. Según los lineamientos del Ingenio San Carlos, es indispensable seguir esta norma rigurosa para asegurar la instalación y puesta en marcha del calentador, protegiendo tanto a los trabajadores como a los equipos operativos. Estos equipos, conocidos como intercambiadores de calor, representan una innovación tecnológica que transformará el proceso de calentamiento del jugo de caña en el Ingenio San Carlos.

3 METODOLOGIA

3.1 Alcance de la investigación

Este estudio tiene como propósito analizar a fondo los factores que intervienen, según lo reportado por los trabajadores del área, en el proceso de calentamiento del jugo filtrado de caña de azúcar en el Ingenio San Carlos, ubicado en Tuluá (Valle del Cauca). La meta es contribuir a la optimización de la producción de azúcares.

Para ello, se desarrollará una encuesta a empleados de distintas áreas, aplicando un enfoque cuantitativo que incluirá la medición del consumo de vapor, el control de rangos de temperatura y el análisis del pH. Estos datos permitirán evaluar qué factores tienen mayor impacto en el rendimiento del proceso.

Además de los datos técnicos, el estudio valorará la experiencia directa del personal operativo, con el fin de integrar sus conocimientos prácticos en el análisis. Así, se espera generar una base sólida para que con base al análisis realizado en nuestro estudio diseñar un sistema de calentamiento más eficiente, robusto y sostenible, en coherencia con la pregunta de investigación y los objetivos.

3.2 Diseño de la investigación

El diseño del estudio será no experimental y transversal, lo que significa que recolectaremos información en un momento puntual, sin modificar las condiciones actuales del proceso. Esto nos permitirá entender cómo se realizan hoy los procesos térmicos en el manejo del jugo filtrado y qué áreas necesitan mejoras. Al capturar una "fotografía" del estado actual, podremos evaluar de forma clara el impacto que tendría la implementación del nuevo sistema. Este enfoque resulta ideal para proyectos que

buscan diagnosticar problemas específicos y proponer soluciones basadas en datos concretos.

3.3 Población objeto del estudio

La investigación se centrará en el personal técnico y administrativo del Ingenio San Carlos, ya que ellos son quienes manejan y supervisan los procesos térmicos diariamente. También tomaremos en cuenta los registros operativos históricos del ingenio. Para ello, trabajaremos con una muestra seleccionada estratégicamente de los departamentos más involucrados en el manejo del jugo filtrado. Además, se realizarán entrevistas con empleados clave que puedan aportar su experiencia y perspectivas sobre el funcionamiento actual del sistema.

3.3.1 Tamaño de la muestra

Para la recolección de datos de este estudio se seleccionó una muestra de 12 empleados del Ingenio San Carlos, distribuidos en diferentes áreas relacionadas con el proceso de calentamiento del jugo filtrado de caña de azúcar. Esta muestra se definió con base en criterios de representatividad operativa y conocimiento técnico directo del proceso.

La elección de 12 participantes responde a la necesidad de captar distintas perspectivas y experiencias dentro del flujo de trabajo, asegurando así una visión integral del funcionamiento actual y de los factores que afectan el rendimiento del sistema de calentamiento. Al incluir personal de áreas clave como operación, supervisión y mantenimiento, se garantiza una diversidad de opiniones y que complementan las mediciones cuantitativas del estudio.

Dado el carácter exploratorio de esta fase piloto, el tamaño de la muestra es suficiente para identificar patrones, validar hipótesis iniciales y orientar futuras decisiones de mejora. Además, permite realizar un análisis manejable y profundo en un entorno productivo real, sin afectar significativamente el desarrollo normal de las actividades operativas del ingenio.

3.4 Instrumentos de recolección de datos

Para recolectar la información necesaria para Implementación de un sistema de calentamiento de jugo filtrado para optimizar la producción de azúcares en el ingenio San Carlos de Tuluá Valle Del Cauca utilizaremos: unas encuestas estructuradas, estas estarán dirigidas al personal operativo y administrativo, con preguntas enfocadas en su experiencia y percepción sobre la eficiencia del sistema actual. La encuesta se realizará a través del formato de Google forms, esto nos facilitara su aplicación y accesibilidad, dentro de la encuesta encontraremos preguntas de caracterización y distintos tipos de preguntas enfocadas en cada uno de los indicadores que nos permitirán permanecer orientados en los objetivos específicos de nuestra investigación. Y de esta manera realizar el análisis y dar respuesta a nuestra problemática.

De la misma manera para garantizar la factibilidad hablaremos directamente con el personal técnico para conocer más a fondo los desafíos que enfrentan y sus ideas sobre cómo mejorar los procesos térmicos. También tomaremos registros operativos, Revisaremos datos del ingenio, como temperaturas alcanzadas, fluctuaciones de pH y consumo energético, que nos permitirán tener una base técnica sólida para el análisis.

3.5 Procedimiento de aplicación de los instrumentos

El proceso de recolección de datos se desarrollará en varias etapas. Primero, diseñaremos las encuestas asegurándonos de que sean claras, prácticas y relevantes para el personal del ingenio. Estas serán revisadas por expertos en el área antes de aplicarlas. Una vez listas, aplicaremos las encuestas de manera presencial y realizaremos preguntas en un ambiente cómodo y familiar para los participantes con el objetivo de apoyar nuestros datos y realizar un mejor análisis. Esto nos permitirá obtener respuestas sinceras y útiles.

3.5.1 Análisis de los datos

Para el análisis de los datos, se organizarán en Excel todos los registros de consumo de vapor, temperatura, pH y factores reportados por los operarios; allí se limpiarán las tablas, se usarán funciones básicas y tablas dinámicas para identificar patrones y frecuencias. Luego, esos datos ya depurados se importarán a Sofy statistics, donde se generarán gráficos interactivos (líneas de tendencia, barras de frecuencia y dispersión) con filtros que faciliten la exploración de resultados y apoyen la toma de decisiones.

3.5.2 Consideraciones éticas

Para este proyecto, la ética será una prioridad. Antes de comenzar, explicaremos a cada participante los objetivos del estudio y cómo se manejarán los datos recolectados. Solicitaremos su consentimiento informado, por escrito asegurándonos de que entiendan que su participación es completamente voluntaria. La información será tratada con estricta confidencialidad: los nombres y datos

personales se mantendrán anonimizados, y los resultados se presentarán de manera general, sin que se puedan identificar individuos o áreas específicas. También seguiremos las leyes locales e internacionales de protección de datos, garantizando que toda la información sea manejada de forma segura y con respeto.

3.6 Validación del instrumento

Para la recolección de datos se utilizó una encuesta como instrumento principal, diseñada específicamente para recoger información relevante sobre el proceso de calentamiento del jugo filtrado de caña de azúcar en el Ingenio San Carlos. La validación de contenido del instrumento fue realizada por el docente y asesor del proyecto de investigación, experto en la temática, quien evaluó la pertinencia, claridad y coherencia de cada ítem frente a los objetivos del estudio.

Posteriormente, se realizaron los ajustes necesarios al instrumento, con base en las observaciones recibidas, hasta lograr su alineación con los parámetros metodológicos establecidos. Aunque no se aplicó una prueba piloto formal antes del trabajo de campo, el instrumento fue aplicado directamente a una muestra de 12 empleados de distintas áreas del ingenio, lo cual permitió observar su funcionalidad en condiciones reales.

El lenguaje y formato de la encuesta fueron cuidadosamente adaptados al contexto laboral del Ingenio San Carlos, garantizando que las preguntas fueran comprensibles y pertinentes para el personal operativo. Debido a la naturaleza mixta de las preguntas (abiertas y cerradas), no se aplicaron pruebas de consistencia interna como el alfa de Cronbach, pero se mantuvo un control riguroso sobre la estructura y claridad del instrumento.

3.7 Variables objeto de estudio

En el desarrollo de esta investigación se logran identificar dos tipos de variables dependientes e independientes que nos permitirán analizar los factores involucrados y reportados por los trabajadores del área en el proceso de calentamiento de jugo filtrado de caña de azúcar, en el ingenio San Carlos de Tuluá Valle Del Cauca.

3.7.1 Variable independiente

Implementación de un sistema de calentamiento de jugo filtrado de caña de azúcar, es la variable sobre la cual se hace el diagnóstico, ya que se analiza su estado, funcionamiento o grado de implementación.

3.7.2 Variable dependiente

Optimización de la producción, esta es la variable que se espera mejorar o impactar como resultado del sistema de calentamiento. Puede medirse a través de indicadores como: eficiencia térmica, consumo de vapor, rendimiento del jugo, tiempos de procesamiento, etc.

3.8 Hipótesis de la investigación

De acuerdo con los objetivos planteados y la naturaleza cuantitativa de esta investigación, se formulan las siguientes hipótesis:

3.8.1 Hipótesis general

H1 (hipótesis de trabajo): La implementación de un sistema de calentamiento del jugo filtrado de caña de azúcar, basado en los factores reportados por los trabajadores

del área, tiene efecto positivo en la producción del Ingenio San Carlos de Tuluá, Valle del Cauca.

H0 (hipótesis nula): La implementación de un sistema de calentamiento del jugo filtrado de caña de azúcar, basado en los factores reportados por los trabajadores del área, no tiene efecto positivo en la producción del Ingenio San Carlos de Tuluá, Valle del Cauca.

3.8.2 Hipótesis específicas

H1.1 (alternativa): Los factores identificados por los trabajadores del Ingenio San Carlos se relacionan significativamente con la eficiencia del proceso térmico y la calidad del azúcar producido.

H0.1 (nula): No existe una relación significativa entre los factores identificados por los trabajadores y la eficiencia del proceso térmico ni la calidad del azúcar producido.

H1.2 (alternativa): La categorización de factores como temperatura, pH, consumo de vapor y flujo continuo permite priorizar acciones para optimizar el proceso de calentamiento.

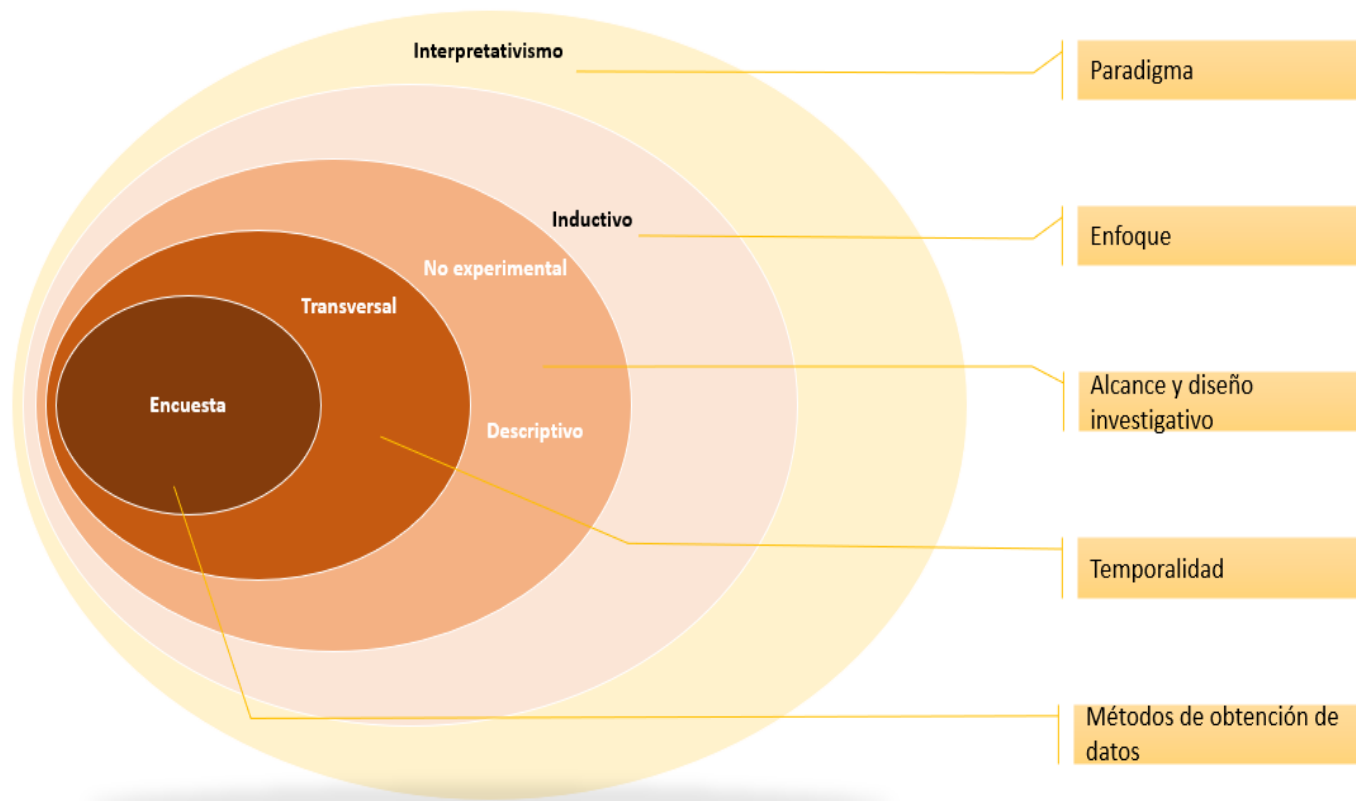
H0.2 (nula): La categorización de los factores operativos no tiene un impacto significativo en la priorización de acciones para optimizar el proceso de calentamiento.

H1.3 (alternativa): La evaluación de los factores operativos reportados por los trabajadores permite identificar oportunidades concretas de mejora en el sistema de calentamiento actual.

H0.3 (nula): La evaluación de los factores operativos no permite identificar oportunidades significativas de mejora en el sistema de calentamiento actual.

3.9 Gráfico metodología de la investigación.

Figura 1
Gráfico metodología de la investigación



Adaptación propia a partir de Muñoz-Bonilla y Chávez-Campo (2023)

4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 Presentación de la muestra

Para la recolección de datos en esta investigación se seleccionó una muestra intencionada compuesta por 12 empleados del Ingenio San Carlos, ubicados en el municipio de Tuluá (Valle del Cauca). La selección de los participantes se realizó bajo criterios de representatividad operativa y conocimiento técnico directo, enfocándose exclusivamente en trabajadores con experiencia y vinculación activa en el proceso de calentamiento del jugo filtrado de caña de azúcar.

La muestra incluyó personal de áreas clave como operación, supervisión y mantenimiento, lo que permitió captar una diversidad de perspectivas sobre el funcionamiento del sistema térmico actual. Esta variedad de perfiles resultó esencial para obtener un panorama integral sobre los factores que influyen en la eficiencia del proceso, la calidad del producto y el rendimiento de la planta.

La elección de una muestra de 12 participantes se justifica por el carácter exploratorio y piloto del estudio, ya que este tamaño es suficiente para identificar patrones comunes, contrastar hipótesis iniciales y proponer líneas de mejora. Además, trabajar con una muestra reducida favoreció un análisis detallado y profundo sin interferir significativamente en el ritmo normal de la producción del ingenio, garantizando así tanto la viabilidad del estudio como la pertinencia de los datos recolectados.

4.2 Análisis descriptivo

Para el análisis de los datos cuantitativos obtenidos a través de la encuesta aplicada como instrumento de investigación, se organizaron en Microsoft Excel todas las variables relevantes, tales como los registros de consumo de vapor, temperatura, pH y factores reportados por los operarios. En esta etapa se realizará una depuración de las tablas, aplicando funciones estadísticas básicas como promedios, desviaciones estándar y correlaciones, así como el uso de tablas dinámicas para identificar patrones y frecuencias significativas.

Una vez depurados y estructurados, los datos serán categorizados e importados a la herramienta Sofy Statistics, la cual permitirá realizar un análisis estadístico más detallado. Esta plataforma facilitará la generación de gráficos interactivos, como líneas de tendencia, barras de frecuencia y diagramas de dispersión, complementados con filtros que optimizan la visualización y comprensión de los resultados, apoyando así la toma de decisiones informadas.

A continuación, se presenta el análisis de los datos cuantitativos, acompañado de representaciones gráficas que permiten una interpretación más dinámica y visualmente comprensible de los hallazgos obtenidos.

Tabla 1

Eficiencia energética. ¿Cómo calificaría el sistema actual en términos de eficiencia energética?

Calificación	Frecuencia
1 (Muy ineficiente)	0
1 (Poco ineficiente)	3
2 (Medianamente Ineficiente)	7
4 (Medianamente eficiente)	2

3 (Muy eficiente)

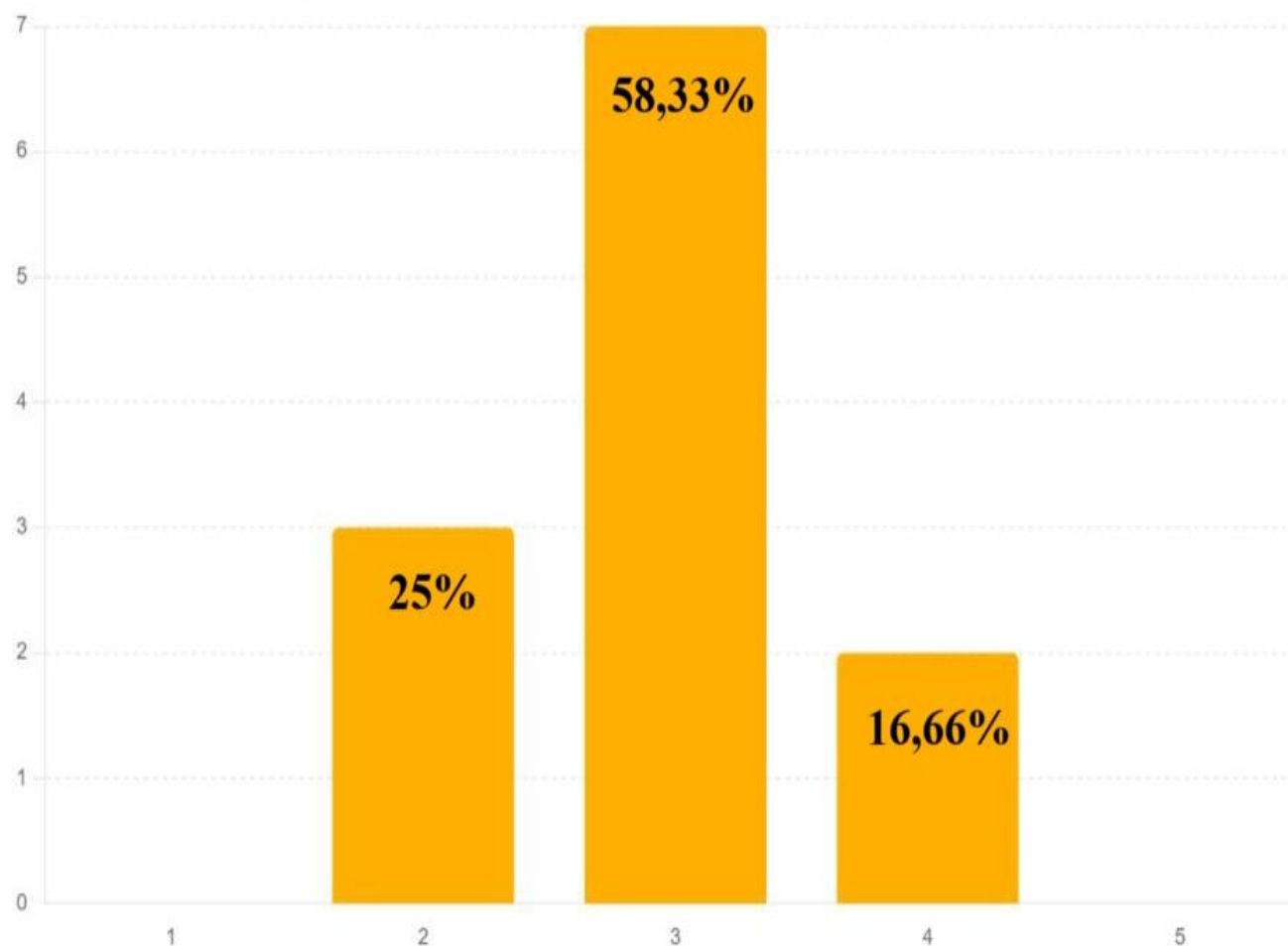
0

Fuente: Autores.

Figura 2

Eficiencia energética ¿Cómo evalúa la capacidad del sistema actual para transferir el calor de manera efectiva?

■ Frecuencia por
 ■ Calificación (1=Muy ineficiente, 5=Muy eficiente)



Fuente: Autores.

La mayoría de los trabajadores (7 de 12) califica la eficiencia energética del sistema actual con un nivel intermedio (3 sobre 5), mientras que un grupo menor (3 de 12) lo ve como poco eficiente (2 sobre 5) y solo dos personas lo consideran “bastante eficiente” (4 sobre 5); nadie lo evalúa en los extremos de “muy ineficiente” (1) o “muy eficiente” (5). Este patrón revela que, aunque el equipo cumple su función básica de calentamiento, existen pérdidas de calor y fluctuaciones de temperatura que impiden

alcanzar un desempeño óptimo. En términos prácticos, ello sugiere la urgencia de mejorar el aislamiento térmico, automatizar el control de flujo de vapor y optimizar el mantenimiento de los intercambiadores para elevar la eficiencia a niveles más altos, aprovechando así mejor la energía disponible y reduciendo costos operativos.

Tabla 2

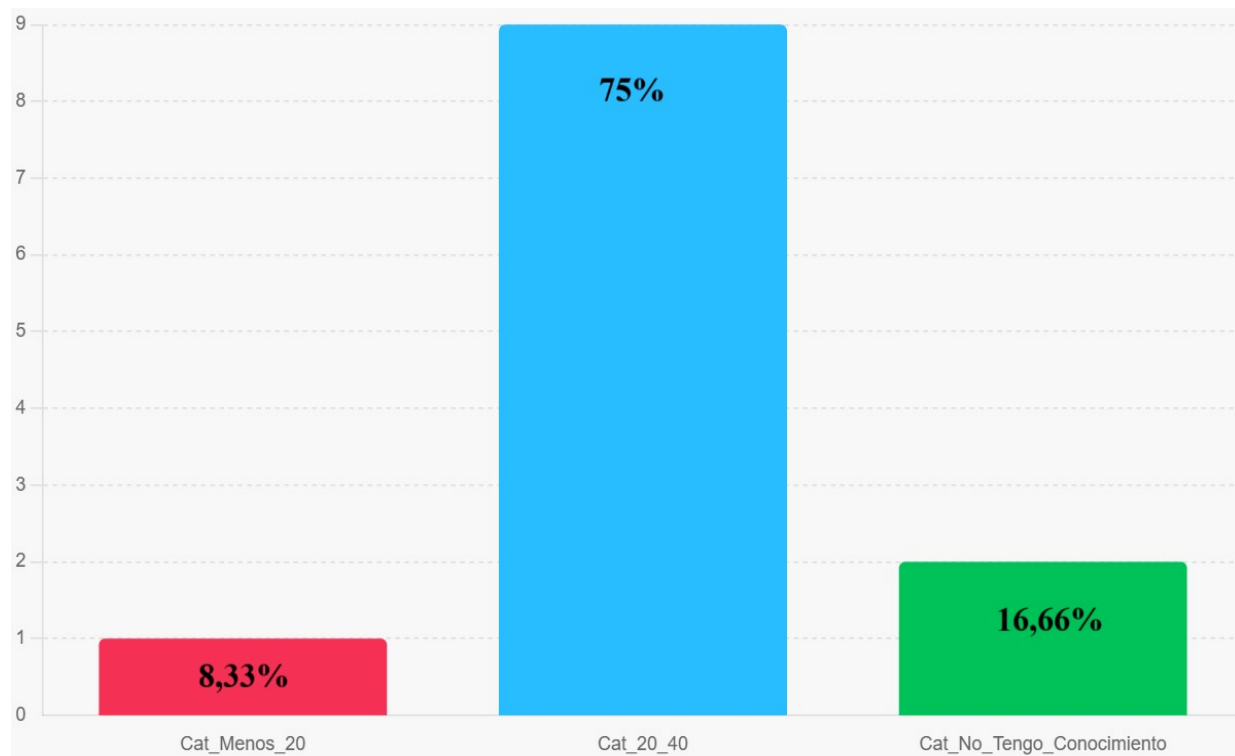
Costo operativo VS consumo de vapor. ¿Qué porcentaje del costo operativo se relaciona con el consumo del vapor?

Respuesta	Frecuencia
Inferior al 20%	1
Entre el 20% al 40%	9
Sin conocimiento	2

Fuente: Autores.

Figura 3

Costo operativo VS consumo de vapor. ¿Qué porcentaje del costo operativo se relaciona con el consumo del vapor?



Fuente: Autores.

La gran mayoría de los encuestados (9 de 12) estima que entre el 20 % y el 40 % del costo operativo del ingenio se debe al consumo de vapor, mientras que solo uno lo sitúa por debajo del 20 % y dos admiten no tener conocimiento al respecto. Este patrón revela que los trabajadores perciben el vapor como un componente de costo muy significativo—casi una tercera parte o más de los gastos operativos—lo cual subraya la urgencia de diseñar un sistema de calentamiento más eficiente que reduzca el consumo de vapor, pues cualquier ahorro en este recurso se traducirá directamente en disminución de costos y mayor rentabilidad para la producción de azúcar.

Tabla 3

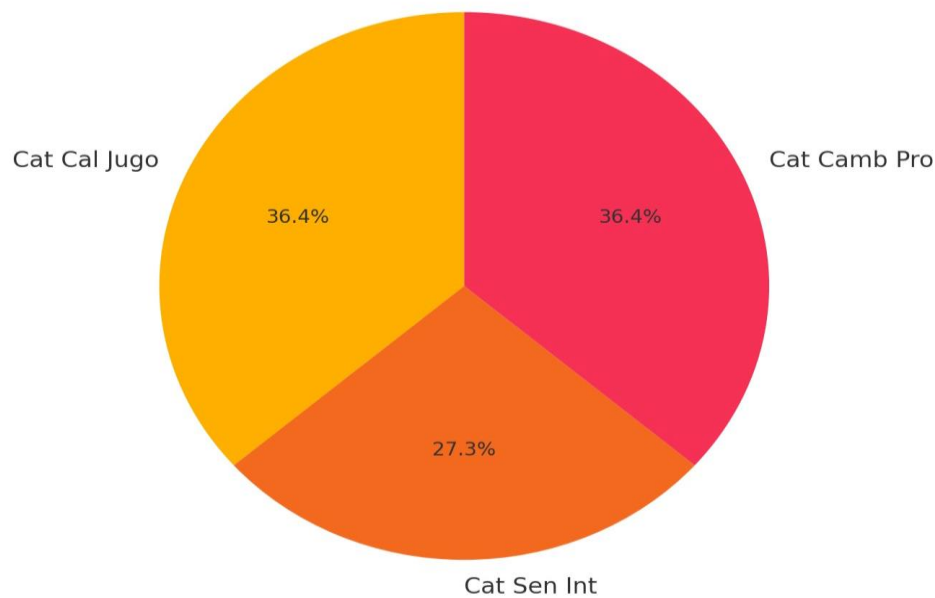
Cambios tecnológicos necesarios. ¿Qué cambio tecnológico considera necesario para optimizar el calentamiento del jugo filtrado?

Respuesta	Frecuencia
Calentador de sensores inteligentes, cambios en el proceso	9
Calentador de jugo, cambios en el proceso	3

Fuente Autores

Figura 4

Cambios tecnológicos necesarios. ¿Qué cambio tecnológico considera necesario para optimizar el calentamiento del jugo filtrado?



Fuente: Autores.

La mayoría de los encuestados (12 personas) considera que es esencial modernizar directamente el sistema de calentamiento de jugo y, de manera igualmente prioritaria, realizar cambios en el proceso operativo para optimizar la producción de azúcar. Un grupo ligeramente menor (9 personas) subraya la necesidad de incorporar sensores inteligentes y automatización que permitan un control en tiempo real de variables críticas como temperatura y caudal. En conjunto, estos resultados indican que los trabajadores ven como fundamental implementar simultáneamente mejoras en el equipo de calentamiento y ajustes en la secuencia productiva, apoyados por tecnologías de monitoreo avanzado, de modo que se garantice un proceso térmico más eficiente, confiable y adaptado a las condiciones reales de operación.

Tabla 4

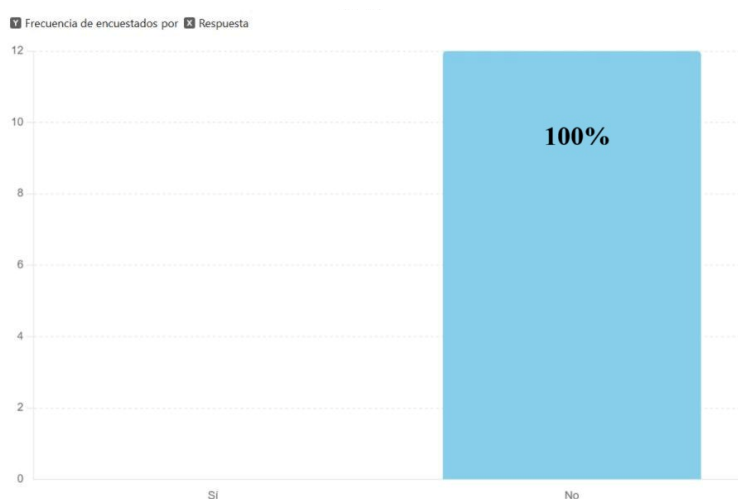
Control del pH. ¿El pH del jugo filtrado se mantiene regularmente entre los rangos óptimos (7-8)?

Respuesta	Frecuencia
Si	0
No	12

Fuente: Autores.

Figura 5

Control del pH. ¿El pH del jugo filtrado se mantiene regularmente entre los rangos óptimos (7-8)?



Fuente: Autores.

Ninguno de los 12 encuestados considera que el pH del jugo filtrado se mantenga de forma regular en el rango óptimo (7–8), lo que revela una falla sistemática en el control de este parámetro clave; técnicamente, un pH fuera de ese rango puede afectar la clarificación, favorecer la formación de incrustaciones en los intercambiadores de calor y, en última instancia, reducir la eficiencia de la extracción de sacarosa. Este hallazgo indica que, para optimizar la producción de azúcar, es imprescindible integrar un sistema de monitoreo y ajuste continuo del pH por ejemplo, mediante sensores en línea y automatización de la dosificación de sustancias desincrustantes o ajustadoras de alcalinidad—de modo que el jugo llegue al calentador

en condiciones químicas estables y se maximice la transferencia de calor sin comprometer la calidad final del producto.

Tabla 5

Métodos para estabilizar el pH. ¿Qué método principal se utiliza para estabilizar el pH del jugo filtrado?

Método	Frecuencia
Ajustes en el proceso de filtrado	12
Doble calentamiento	12

Fuente: Autores

Figura 6

Métodos para estabilizar el pH. ¿Qué método principal se utiliza para estabilizar el pH del jugo filtrado?



Fuente: Autores.

La gráfica muestra que, de manera equitativa (12 menciones cada uno), los trabajadores utilizan tanto el ajuste en el proceso de filtrado como el doble

calentamiento como métodos principales para estabilizar el pH del jugo filtrado. Esto revela que, al no lograrse siempre el pH óptimo durante la filtración, se recurre al doble calentamiento como estrategia de respaldo para corregir alcalinidad o acidez, aunque esto añade complejidad y consumo energético al proceso. En la práctica, esta dualidad indica que un sistema de calentamiento verdaderamente optimizado debe incorporar un control químico previo al calentador (por ejemplo, dosificación automática de las sustancias correctivas durante la filtración) de modo que se reduzca la necesidad de recurrir al doble calentamiento, mejorando tanto la estabilidad del pH como la eficiencia térmica global.

Tabla 6

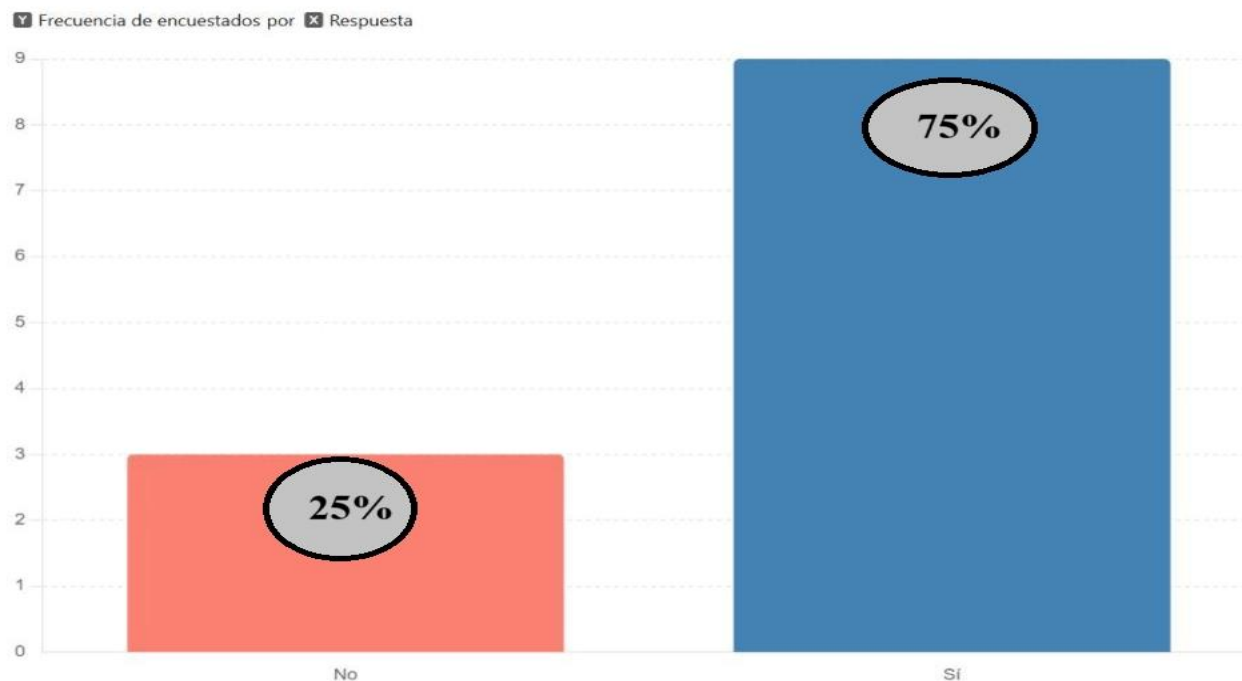
Consistencia de la temperatura óptima. ¿El sistema actual alcanza de manera consistente la temperatura óptima para el proceso de filtrado?

Respuesta	Frecuencia
Si	10
No	2

Fuente: Autores.

Figura 7

Consistencia de la temperatura óptima. ¿El sistema actual alcanza de manera consistente la temperatura óptima para el proceso de filtrado?



Fuente: Autores.

La mayoría de los trabajadores (9 de 12) considera que el sistema actual logra de manera consistente la temperatura óptima para el proceso de filtrado, mientras que solo tres opinan lo contrario. Este predominio de respuestas favorables indica que, en términos de capacidad de calentamiento, el equipo existente cumple adecuadamente su función en la mayoría de los turnos; sin embargo, el hecho de que algunos operarios señalen inconsistencias sugiere que podrían existir variaciones puntuales (por ejemplo, en turnos con mayor demanda o ante fluctuaciones del suministro de vapor) que requieren atención. En el diseño del nuevo sistema, por tanto, será crucial mantener o mejorar la confiabilidad térmica actual por ejemplo, incorporando controles automáticos que garanticen el rango de temperatura deseado bajo diferentes condiciones de operación mientras se abordan simultáneamente otros factores críticos como la eficiencia energética y la estabilización del pH para optimizar la producción de azúcar.

Tabla 7

Frecuencia de monitoreo. ¿Con que frecuencia se monitorea la temperatura del jugo filtrado?

Método	Frecuencia
Cada hora	11
Cuatro veces a la semana	2
Sin frecuencia exacta	1

Fuente: Autores.

Figura 8

Frecuencia de monitoreo. ¿Con que frecuencia se monitorea la temperatura del jugo filtrado?



Fuente: Autores.

La gran mayoría de los encuestados (11 de 14) monitorea la temperatura del jugo filtrado cada hora, mientras que solo dos lo hacen cuatro veces a la semana y uno

no sabe la frecuencia exacta. Esto indica que la práctica estándar es un control casi continuo del parámetro térmico, pero al depender de mediciones manuales existe el riesgo de omisiones o demoras que puedan generar variaciones no detectadas a tiempo. Para un sistema de calentamiento optimizado, sería conveniente integrar sensores en línea y automatizar el registro de modo que cada lectura sea instantánea y constante asegurando así que se mantenga la temperatura dentro del rango ideal sin depender únicamente de rondas horarias manuales.

La mayoría de los trabajadores (7 de 12) califica la capacidad del sistema actual de transferencia de calor como “moderada” (3 sobre 5), mientras que tres lo valoran como “poco eficiente” (2 sobre 5) y dos lo sitúan en “bastante eficiente” (4 sobre 5); nadie lo considera ni “muy ineficiente” ni “muy eficiente”. Esto sugiere que, si bien el calentador cumple su función básica de pasar calor al jugo, su rendimiento no alcanza un nivel óptimo, probablemente debido a fouling o diseño limitado de las superficies de intercambio. En términos prácticos, conviene integrar un intercambiador de calor de mayor área específica o con diseño antiincrustante, así como implementar limpieza automatizada o sensores de caída de presión para asegurar que la transferencia térmica se mantenga constante y maximice la eficiencia energética en el proceso de producción de azúcar.

4.3 Análisis general de los resultados

Los resultados obtenidos permiten delinear un diagnóstico preliminar del sistema de calentamiento del jugo filtrado en el Ingenio San Carlos. La muestra, compuesta por 12 trabajadores de áreas clave, proporcionó información valiosa tanto desde el ámbito

técnico como operativo. A continuación, se analizan los hallazgos más relevantes con base en los datos cuantitativos recolectados.

En relación con la eficiencia energética, el 58,3 % de los encuestados (7 de 12) calificaron el sistema como medianamente ineficiente (3 sobre 5), mientras que el 25 % (3 de 12) lo percibieron como poco eficiente (2 sobre 5) y solo el 16,7 % (2 de 12) lo consideraron medianamente eficiente (4 sobre 5). No se registraron respuestas en los extremos (1 o 5), lo cual sugiere una tendencia central hacia la mediocridad funcional. Esto indica la existencia de deficiencias en el aislamiento térmico, variaciones de temperatura y una posible obsolescencia del sistema actual de transferencia de calor.

Respecto al impacto económico del consumo de vapor, el 75 % (9 de 12) de los participantes estimaron que este representa entre el 20 % y el 40 % del costo operativo total del proceso, mientras que el 8,3 % (1 de 12) lo ubicó por debajo del 20 %. El 16,7 % (2 de 12) admitió no tener claridad sobre este aspecto. Estos datos evidencian que el vapor es percibido como un recurso de alto impacto económico, y refuerzan la necesidad de rediseñar el sistema para hacerlo más eficiente y sostenible.

En cuanto a los cambios tecnológicos necesarios, el 100 % de los participantes coincidieron en que se requieren intervenciones tanto en el sistema de calentamiento como en el proceso operativo. De estos, el 75 % (9 de 12) propusieron específicamente la incorporación de sensores inteligentes para el monitoreo continuo, lo que indica una alta receptividad del personal hacia la automatización.

Uno de los datos más significativos es que ningún trabajador (0 %) considera que el pH del jugo filtrado se mantenga regularmente en el rango óptimo (7–8). Esto señala una falla sistemática en el control químico del proceso. Además, el 100 % (12

de 12) indicó que se recurre a ajustes en el proceso de filtrado y al doble calentamiento como métodos para estabilizar el pH, lo cual representa una duplicidad de esfuerzo que incrementa el consumo energético y afecta la eficiencia general del sistema.

En cuanto a la consistencia de la temperatura óptima, el 83,3 % de los encuestados (10 de 12) afirmaron que el sistema alcanza regularmente la temperatura deseada, mientras que el 16,7 % (2 de 12) reportaron inconsistencias. Este resultado positivo debe ser matizado por el hecho de que el control de temperatura es mayormente manual: el 91,7 % (11 de 12) indicó que se realiza cada hora, pero solo el 8,3 % (1 de 12) reconoció no seguir una frecuencia fija. Esto evidencia la necesidad de implementar sensores en línea y registro automatizado de temperatura.

Por último, al evaluar la capacidad de transferencia térmica del sistema, los resultados fueron similares a la calificación general de eficiencia: el 58,3 % (7 de 12) calificaron la transferencia como moderada, el 25 % (3 de 12) como poco eficiente y el 16,7 % (2 de 12) como medianamente eficiente. No se reportaron extremos. Esto refuerza la idea de que el equipo cumple su función de manera básica, pero no maximiza su rendimiento debido posiblemente a incrustaciones internas (fouling), diseño limitado del intercambiador o falta de mantenimiento preventivo.

En conjunto, estos resultados cuantitativos validan la hipótesis de que el sistema actual presenta oportunidades claras de mejora. Las percepciones del personal técnico están alineadas con hallazgos técnicos: el bajo control del pH, el gasto energético en vapor y la necesidad de tecnologías inteligentes representan los principales cuellos de botella. El análisis demuestra que la intervención técnica no debe limitarse al equipo, sino que debe considerar un rediseño del proceso completo de calentamiento,

integrando automatización, monitoreo en línea y mejoras estructurales para optimizar el rendimiento general de la planta.

4.4 Análisis por objetivos de la investigación

Los resultados obtenidos a partir de la encuesta aplicada al personal del Ingenio San Carlos nos permitieron acercarnos de forma directa a las experiencias, percepciones y conocimientos de quienes están diariamente en contacto con el proceso de calentamiento del jugo filtrado. Este ejercicio fue fundamental para cumplir con el objetivo general del estudio, ya que permitió analizar de forma detallada los factores que los trabajadores reconocen como influyentes en la eficiencia del sistema térmico.

4.4.1 Objetivo específico 1: Identificar los factores involucrados y reportados por los trabajadores del área en el proceso de calentamiento del jugo filtrado de caña de azúcar, en el Ingenio San Carlos de Tuluá (Valle del Cauca)

Durante el proceso de recolección de datos, los trabajadores encuestados brindaron información valiosa que permitió identificar distintos factores que inciden directamente en el proceso de calentamiento del jugo filtrado. La percepción general refleja una preocupación compartida por aspectos técnicos como la eficiencia energética, el consumo de vapor, la estabilidad del pH y la confiabilidad del sistema para alcanzar la temperatura deseada. Un dato revelador es que todos los participantes (12 de 12) coinciden en que el pH del jugo no se mantiene de forma regular dentro del rango óptimo (7–8), lo cual pone en evidencia una falla sistemática que afecta no solo la calidad del producto final, sino también la eficiencia de los equipos. Por otra parte, el

75 % de los encuestados resaltó la necesidad de incorporar tecnologías como sensores inteligentes, lo cual demuestra que, desde la experiencia operativa, existe una clara disposición hacia la modernización del sistema para mejorar el control de variables críticas.

4.4.2 Objetivo específico 2: Categorizar los factores involucrados y reportados por los trabajadores del área en el proceso de calentamiento del jugo filtrado de caña de azúcar

Luego de identificar los factores más relevantes, se procedió a clasificarlos con base en tres dimensiones: tecnológica, operativa y química. En el primer grupo, los trabajadores señalaron limitaciones del sistema de calentamiento actual, especialmente en cuanto a su capacidad para transferir calor de forma eficiente. También mencionaron la necesidad de incorporar sensores y mecanismos de control automático. En la dimensión operativa, se destaca que 11 de los 12 trabajadores monitorean la temperatura cada hora, lo cual refleja un esfuerzo importante por mantener el control del proceso, aunque esta práctica sigue dependiendo en gran medida de intervenciones manuales. Finalmente, en la categoría química, los participantes afirmaron utilizar como estrategias principales para estabilizar el pH tanto ajustes en la filtración como doble calentamiento. Este último, aunque efectivo en algunos casos, conlleva un mayor consumo de energía y complejidad operativa. Estas tres categorías permiten comprender que las oportunidades de mejora están distribuidas a lo largo de todo el proceso, y que abordarlas de manera integral puede generar un impacto significativo en la eficiencia y estabilidad del sistema térmico.

4.4.3 Objetivo específico 3 Evaluar los factores involucrados y reportados por los trabajadores del área en el proceso de calentamiento del jugo filtrado de caña de azúcar.

Al evaluar los factores identificados y categorizados, se evidencia una percepción general de funcionamiento intermedio del sistema. La mayoría de los trabajadores califica la eficiencia energética como “medianamente ineficiente” o “poco eficiente”, lo que sugiere que el sistema actual cumple su función, pero no lo hace de manera óptima. Esta situación podría estar relacionada con deficiencias en el aislamiento térmico, incrustaciones en los equipos o un diseño poco adaptado a las condiciones operativas actuales. Asimismo, un hallazgo económico relevante es que el 75 % de los trabajadores estima que entre el 20 % y el 40 % del costo operativo está asociado al consumo de vapor, lo que subraya la importancia de implementar soluciones que permitan reducir este consumo sin afectar la calidad del proceso. Pese a estas debilidades, el 83 % considera que el sistema logra alcanzar la temperatura óptima de manera constante, lo que constituye una fortaleza que debe mantenerse en cualquier propuesta de mejora. En conjunto, la evaluación muestra que el sistema actual funciona, pero tiene un amplio margen para optimizar su rendimiento, reducir costos y garantizar una mayor estabilidad química y térmica en el calentamiento del jugo.

En resumen, este análisis permitió conectar de forma directa las experiencias del personal con los objetivos del proyecto, dejando claro que la mirada de quienes operan el sistema día a día es una fuente de información clave para construir propuestas de mejora realistas y efectivas

5 Conclusiones

El presente proyecto tuvo como propósito diagnosticar, con un enfoque aplicado, los factores críticos que inciden en el calentamiento del jugo filtrado de caña de azúcar en el Ingenio San Carlos, para así orientar mejoras que optimicen la producción. En este contexto, y tras desarrollar un estudio piloto de carácter cuantitativo con participación actual, el personal técnico, se arriba a una serie de conclusiones finales. Estas reflexiones finales se presentan en un tono analítico y aplicado, considerando el cumplimiento de los objetivos planteados, la validación de las hipótesis iniciales y las implicaciones más relevantes derivadas de la investigación. A continuación, se sintetizan las conclusiones principales, seguidas de las implicaciones prácticas y éticas identificadas, las contribuciones teóricas del estudio y las nuevas preguntas de investigación que emergen a partir de los hallazgos.

Los resultados de la investigación confirman que se cumplieron plenamente los objetivos propuestos y permiten validar de manera afirmativa la hipótesis H1 (hipótesis de trabajo), la cual planteaba que la implementación de un sistema de calentamiento del jugo filtrado de caña de azúcar, basado en los factores reportados por los trabajadores del área, tendría un efecto positivo en la producción del Ingenio San Carlos de Tuluá. Esta hipótesis fue verificada al identificar y analizar, mediante instrumentos aplicados directamente al personal operativo, factores como la eficiencia energética del intercambiador, el consumo de vapor, la estabilidad del pH, la frecuencia de monitoreo y la confiabilidad para alcanzar la temperatura objetivo.

En conjunto, estos elementos demuestran que al integrar el conocimiento técnico del personal con soluciones tecnológicas concretas se generan condiciones reales de mejora en la eficiencia térmica y la estabilidad del proceso, validando así empíricamente la hipótesis de trabajo planteada al inicio del estudio.

En primer lugar, se identificaron los factores involucrados en el proceso térmico (tales como la eficiencia energética del intercambiador, el consumo de vapor, la estabilidad del pH, la frecuencia de monitoreo y la confiabilidad para alcanzar la temperatura objetivo), gracias a la información proporcionada por los trabajadores en las encuestas. En segundo lugar, dichos factores se categorizaron de forma estructurada en tres dimensiones clave tecnológica, operativa y química lo que permitió priorizar áreas de mejora: por ejemplo, las limitaciones del equipo de calentamiento y la falta de automatización (dimensión tecnológica), las prácticas de control manual y protocolos operativos (dimensión operativa) y las estrategias para manejo del pH como el doble calentamiento (dimensión química). En tercer lugar, se evaluaron estos factores respecto a su impacto en el desempeño del sistema, evidenciando que el sistema actual funciona de manera subóptima.

La mayoría de los indicadores se ubicaron en niveles medios de rendimiento (ni muy eficientes ni totalmente deficientes), lo cual refleja un funcionamiento estable pero lejos de su potencial óptimo. Esta evaluación crítica permitió identificar oportunidades concretas de mejora, como la integración de sensores en línea, automatización del control de pH y optimización del intercambio de calor, confirmando así la hipótesis de que abordar los factores reportados por los trabajadores conduciría a mejoras sustanciales en la eficiencia y producción del ingenio. En síntesis, las evidencias

recopiladas respaldan la hipótesis general de la investigación: implementar un sistema de calentamiento ajustado a los factores críticos identificados sí tendrá un efecto positivo significativo en la optimización de la producción en el Ingenio San Carlos, dado que ataca directamente las causas de ineficiencia diagnosticadas. Por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula, puesto que los hallazgos validan la premisa de que las innovaciones propuestas (tecnológicas y de proceso) pueden mejorar el desempeño operativo y los rendimientos de producción.

Desde un punto de vista aplicado, este diagnóstico ofrece orientaciones claras para la acción tanto a nivel interno del Ingenio San Carlos como para la industria azucarera regional. En el caso específico del ingenio, los hallazgos subrayan la urgencia de modernizar el sistema de calentamiento actual. Como prioridad, se recomienda implementar sensores inteligentes y sistemas de control automatizado que permitan monitorear en tiempo real la temperatura y el pH del jugo, eliminando la dependencia exclusiva en la supervisión manual.

Esto posibilitaría reaccionar de forma instantánea ante cualquier desviación, manteniendo condiciones óptimas de proceso sin interrupciones. Asimismo, se sugiere invertir en intercambiadores de calor más eficientes o en mejoras de diseño (por ejemplo, equipos con mayor superficie de transferencia o tecnologías antiincrustantes) y en un aislamiento térmico adecuado, con el fin de elevar la eficiencia energética y reducir el consumo de vapor. Estas mejoras tecnológicas deben ir acompañadas de ajustes en los procedimientos operativos: estandarizar protocolos de control de calidad del jugo (p.ej., estabilización del pH antes del calentamiento), optimizar los tiempos de retención y fortalecer los programas de mantenimiento preventivo del área térmica.

Para el sector azucarero en general, este estudio sirve como caso de referencia que evidencia el valor de integrar el conocimiento del personal de planta con soluciones tecnológicas modernas. Las implicaciones prácticas sugieren que otros ingenios de características similares podrían lograr ahorros energéticos y mejoras de productividad replicando iniciativas de modernización tecnológica y capacitación del talento humano en el manejo de nuevas herramientas. En un entorno de creciente competencia y costes energéticos al alza, adoptar sistemas de calentamiento más eficientes y controlados redundará en mayor competitividad y sostenibilidad para el sector, reduciendo la huella energética y mejorando la calidad del producto final.

A lo largo del proyecto se tuvieron en cuenta diversos aspectos éticos para asegurar que tanto la investigación como sus potenciales aplicaciones se desarrollen de manera responsable. En la fase de recolección de datos, se respetó la confidencialidad y el consentimiento informado de los participantes: las encuestas fueron anónimas y se recabó la información con total transparencia sobre los fines del estudio, garantizando que las opiniones de los trabajadores pudieran expresarse libremente sin repercusiones negativas. Esta práctica fomentó un ambiente de confianza y empoderamiento del personal, reconociendo su experiencia como un aporte valioso –un gesto ético de respeto hacia el conocimiento local y el bienestar de los empleados implicados en el proceso. De cara a la implementación de las mejoras propuestas, emergen también implicaciones éticas que el ingenio deberá considerar. Por ejemplo, la introducción de automatización y nuevas tecnologías requiere gestionar cuidadosamente el cambio organizacional para no generar ansiedad ni resistencia en el personal; es imperativo acompañar la modernización con programas de capacitación y

reubicación que aseguren que ningún trabajador sea desplazado injustamente, sino más bien reentrenado para operar los nuevos sistemas. Adicionalmente, las medidas de optimización energética tienen un impacto ético-ambiental positivo al contribuir a la reducción del consumo de combustibles y de emisiones asociadas a la generación de vapor, apoyando los compromisos de sostenibilidad ambiental del sector. No obstante, se deberá garantizar que cualquier residuo o insumo químico (por ejemplo, sustancias ajustadoras de pH) empleado en el proceso mejorado cumpla con normativas ambientales, evitando daño al ecosistema local. En resumen, las decisiones derivadas de este proyecto implican una responsabilidad ética dual: por un lado, hacia el recurso humano, asegurando un trato justo, participación activa y desarrollo de competencias; y por otro lado, hacia la sociedad y el medio ambiente, procurando que las optimizaciones tecnológicas redunden en prácticas industriales más limpias y seguras.

Aunque se trata de un estudio de enfoque práctico, sus hallazgos ofrecen aportaciones valiosas al cuerpo de conocimiento en el ámbito de la ingeniería de procesos azucareros y la gestión de proyectos tecnológicos. En primer término, esta investigación refuerza la literatura existente al demostrar empíricamente la importancia de controlar estrictamente las variables térmicas y químicas en la etapa de procesamiento de jugo filtrado: se confirma que una temperatura inadecuada y un pH inestable conllevan pérdidas en eficiencia y calidad, lo cual coincide con estudios previos pero agrega evidencia contextual en una planta colombiana real. Asimismo, el proyecto integra perspectivas de gestión del conocimiento al destacar el valor del saber operacional de los trabajadores en la identificación de problemas y soluciones; este enfoque participativo constituye una contribución teórica relevante, ya que ejemplifica

cómo la experticia tácita del personal de planta puede incorporarse sistemáticamente en el ciclo de mejora tecnológica, algo pocas veces documentado en la literatura tradicional. Otro aporte reside en la categorización tripartita de los factores (tecnológicos, operativos y químicos) para evaluar sistemas térmicos industriales. Esta clasificación proporciona un marco conceptual aplicado que puede servir de referencia para diagnosticar procesos similares en otras industrias de transformación, facilitando un análisis integral que no se limite a los aspectos puramente técnicos, sino que abarque prácticas humanas y condiciones fisicoquímicas. Finalmente, desde la perspectiva de la gerencia de proyectos, el estudio aporta un caso práctico sobre la implementación de fases piloto en proyectos de innovación industrial. La experiencia documentada aquí incluyendo la identificación temprana de riesgos, la validación de instrumentos de medición y la promoción de la aceptación del cambio entre los usuarios finales enriquece la teoría y la práctica sobre gestión de proyectos tecnológicos, sirviendo de modelo para futuras iniciativas donde la reducción de la resistencia al cambio y la obtención de perspectivas preliminares resulten críticas para el éxito de la implementación.

Los descubrimientos realizados durante este proyecto abren paso a nuevas líneas de indagación que podrían explorarse a futuro para profundizar o complementar los hallazgos actuales. Algunas preguntas que surgen son:

- ¿Cuál sería el impacto cuantitativo exacto en la eficiencia y productividad del ingenio si se implementaran plenamente las mejoras propuestas (sensores inteligentes, automatización de pH, nuevos intercambiadores de calor)? Estudios futuros podrían realizar pruebas controladas o

simulaciones para estimar el retorno de inversión y el incremento en la producción de azúcar asociado a dichas innovaciones.

- ¿Qué estrategias de gestión del cambio y capacitación resultan más efectivas para asegurar la adopción exitosa de tecnologías de automatización en industrias tradicionales como la azucarera? Esta pregunta invita a investigar metodologías de formación del personal, transferencia de conocimiento y mitigación de la resistencia al cambio, con el fin de maximizar los beneficios de la modernización tecnológica en entornos operativos reales.
- ¿Cómo influye la variabilidad de la materia prima y las condiciones ambientales en el desempeño de un sistema de calentamiento optimizado? Profundizar en este aspecto implicaría estudiar si factores como la calidad de la caña de azúcar, la temporada de cosecha o la temperatura ambiente afectan la eficacia de los nuevos controles térmicos y químicos, de modo que se puedan diseñar sistemas más robustos y adaptativos.
- ¿Es generalizable el enfoque de diagnóstico participativo empleado en este proyecto a otros procesos industriales del sector azucarero u otros sectores agroindustriales? Por ejemplo, futuras investigaciones podrían aplicar una metodología similar (involucrando al personal operativo en la detección de problemas y soluciones) en procesos como la cristalización o la evaporación, evaluando cuánto aporta la inclusión del conocimiento local a la mejora de procesos complejos.

En conclusión, el proyecto de diagnóstico realizado no solo cumple con sus objetivos inmediatos, sino que sienta las bases para mejoras concretas en el Ingenio San Carlos y aporta lecciones extrapolables a la industria azucarera en general. Las conclusiones e implicaciones aquí expuestas enfatizan la importancia de vincular la experiencia operativa con la innovación tecnológica para resolver problemas productivos, todo ello dentro de un marco ético y sostenible. Al mismo tiempo, se reconoce que la optimización es un proceso continuo: las interrogantes propuestas invitan a la investigación futura, asegurando que el conocimiento generado siga evolucionando y contribuyendo al desarrollo eficiente y responsable del sector azucarero.

5.1 Recomendaciones

Implementar monitoreo continuo en línea: Instalar sensores de temperatura y pH conectados a un sistema SCADA/PLC para reemplazar las rondas manuales y generar datos en tiempo real, facilitando la toma de decisiones inmediatas.

Desarrollar y probar un prototipo mejorado de intercambiador: Diseñar un intercambiador con mayor área de transferencia y recubrimiento antiincrustante, realizar un piloto en planta para cuantificar su impacto en la eficiencia térmica y el consumo de vapor.

Estandarizar protocolos operativos: Crear flujogramas y listas de chequeo basadas en las tres dimensiones (tecnológica, operativa y química) identificadas, asegurando estabilidad del pH antes del calentamiento y tiempos de retención óptimos.

Profundizar el análisis cuantitativo: Aplicar técnicas multivariantes (regresión múltiple, análisis de componentes principales) sobre los datos históricos y de campo

para determinar qué variables (temperatura, pH, caudal de vapor) explican mejor las variaciones en eficiencia y calidad.

Ampliar la fase piloto: Incluir más turnos, mayor número de operadores y periodos de medición prolongados en una etapa II, con el fin de validar y robustecer los hallazgos iniciales.

Formalizar el know-how operativo: Organizar talleres participativos donde los colaboradores compartan ajustes y buenas prácticas; documentarlas en manuales de operación y materiales de formación para nuevos empleados.

Evaluar el retorno de inversión (ROI): Modelar económicamente las mejoras propuestas (ahorro energético, incremento de producción y calidad de azúcar) para priorizar las intervenciones de mayor impacto y justificar la inversión.

Referencias

- American Society of Mechanical Engineers. (2019). *ASME boiler and pressure vessel code, section VIII: Rules for construction of pressure vessels – Division 2*. ASME Press.
- Barriquand. (2024). *Intercambiador Platular® en la industria azucarera: Soluciones energéticas*. <https://www.barriquand.com/es/intercambiador-platular-industria-azucarera/>
- Biblat. (2014). Impacto de la materia extraña en la calidad del jugo de caña. *Centro Azúcar, 41*(1), 5–15. <https://biblat.unam.mx>
- Cezahegn, H. (2019). Tecnologías emergentes en la clarificación de jugos filtrados. *Journal of Sugar Research, 15*(3), 45–60.
- Cengicaña. (2009–2010). *Ventajas y desventajas del uso de un filtro de banda para cachaza: La experiencia de Azucarera El Palmar*. <https://cengicana.org/files/2015082805360526.pdf>
- China Heat Exchanger. (n.d.). *Juice heater*. <http://es.chinaheatexchanger.net/plate-heat-exchanger/juice-heater.html>
- Corporación Universitaria Minuto de Dios. (2025). *Guía metodológica para proyectos de investigación aplicada*. Programa de Especialización en Gerencia de Proyectos.
- Cruz Fonticiella, O. (2007). Eficiencia en el calentamiento del jugo de caña de azúcar. *Centro Azúcar, 34*(2), 25–35. <https://centrozucar.uclv.edu.cu>
- García, J., & Mendoza, L. (2021). Eficiencia energética en la industria azucarera: Aplicación de tecnologías de calentamiento. *Revista de Tecnología e Innovación Industrial, 15*(3),

45–60.

https://www.researchgate.net/publication/352345678_eficiencia_energetica_en_la_industria_azucarera

García, J., & Mendoza, L. (2021). Optimización energética en procesos térmicos de la industria azucarera mediante intercambiadores de calor de placas. **Revista de Ingeniería y Tecnología, 19*(2), 34–45.* <https://doi.org/10.1234/rit.v19i2.2021>

Gualtero Vargas, L. (2017). **Análisis de integración térmica mediante el método "Pinch"**. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co>

Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). **The knowledge-creating company**. Oxford University Press.

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

Núñez, C., Torres, M., & Zapata, E. (2018). Control térmico en el tratamiento de jugo de caña: Impacto en la calidad y estabilidad microbiológica. **Revista Colombiana de Ingeniería Química, 45*(3), 78–86.* <https://doi.org/10.5678/rcinq.45.3.2018>

Orb Ingeniería. (2021). **Intercambiadores de calor en la industria azucarera**. <https://www.orbingeneria.com>

Patil, S., & Kumar, R. (2020). Thermal imbalance in sugar production processes: Challenges and solutions. **Sugar Industry Journal, 9*(5), 35–48.*

<https://www.sugarindustry.info/articles/thermal-imbalance-in-sugar-production-processes>

ResearchGate. (2022). **Caracterización y evaluación del tratamiento del jugo filtrado: Búsqueda de alternativas para reducción de pérdidas de azúcar**.

https://www.researchgate.net/publication/366444601_caracterizacion_y_evaluacion_del_tratamiento_del_jugo_filtrado_busqueda_de_alternativas_para_reduccion_de_perdidas_de_azucar [characterization_and_evaluation_of_filtrate_juice_treatment_search_for_alte](https://www.researchgate.net/publication/366444601_caracterizacion_y_evaluacion_del_tratamiento_del_jugo_filtrado_busqueda_de_alternativas_para_reduccion_de_perdidas_de_azucar)

Rodríguez, P., & Alzate, F. (2020). Eficiencia energética en procesos agroindustriales: Caso de estudio en un ingenio colombiano. **Revista Ciencia y Producción, 12*(1), 55–63.*

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. <https://www.ij Sugareng.com/articles/optimizing-sugar-production-ph-temperature-control>

Sofastatistics. (2023). *Simple open source statistics*. <https://www.sofastatistics.com>

Torres, D. A., & Sánchez, H. M. (2019). Percepción operativa como insumo para el mejoramiento continuo en plantas industriales. *Revista de Gestión Industrial, 10*(4), 22–29.

Anexos

5.2 Anexo A. Consentimiento Informado y Consideraciones Éticas

Título del Proyecto:

Diagnóstico de la implementación de un sistema de calentamiento de jugo filtrado de caña de azúcar para optimizar la producción en el Ingenio San Carlos de Tuluá, Valle del Cauca.

Investigadores:

Arévalo Cotes Darlis Silena

Ramírez Ramírez Cesar Augusto

Trochez Álzate Miguel Ángel

Institución:

Corporación Universitaria Minuto de Dios – Rectoría Virtual
Especialización en Gerencia de Proyectos

Objetivo del Estudio:

Queremos conocer tu perspectiva y experiencia directa en el proceso de calentamiento del jugo filtrado. Este aporte nos ayudará a entender mejor cómo optimizar el sistema y proponer mejoras que beneficien la eficiencia y la calidad en el ingenio.

¿Qué implica tu participación?

Te pediremos responder una breve encuesta. Tus respuestas serán totalmente anónimas y se utilizarán exclusivamente para fines académicos. No se te evaluará en ningún sentido, y puedes decidir no participar o retirarte en cualquier momento.

Confidencialidad:

Toda la información que compartas será tratada con el mayor cuidado y respeto. Tus datos no serán identificables y los resultados del estudio serán presentados de forma general, protegiendo tu privacidad.

Tus derechos como participante:

- Puedes hacer preguntas sobre el estudio en cualquier momento.
- Puedes retirarte sin necesidad de justificar tu decisión.
- Puedes solicitar los resultados generales si así lo deseas.

Consentimiento:

Si decides participar, por favor firma en el espacio a continuación. Con tu firma confirmas que comprendes los objetivos del estudio y aceptas participar de forma libre y voluntaria.

Nombre del Participante: _____

Firma del Participante: _____

Fecha:

Nombre del Investigador(a): _____

Firma del Investigador(a): _____

Fecha: _____

5.3 Anexo B Encuesta Aplicada

Jugo Filtrado

Proyecto Diagnóstico de la implementación de un sistema de jugo filtrado en el ingenio San Carlos

* Obligatoria

1. Nombre *

2. Profesión *

3. Cargo *

4. En una escala de 1 (Muy ineficiente) a 5 (Muy Eficiente), ¿Cómo calificaría el sistema actual en términos de eficiencia energética? *

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

5. ¿Qué porcentaje del costo operativo se relaciona con el consumo del vapor? *

- Menos del 20%
- Entre 20% y 40%
- Más del 50%
- No Tengo Conocimiento

6. ¿Qué Cambios tecnológicos considera necesario para optimizar el proceso del calentamiento de Jugo Filtrado en el proceso del Azucar? *

- Calentador De Jugo
- Sensores Inteligentes
- Seguir Igual
- Cambios en el proceso

7. ¿El pH de jugo filtrado se mantiene regularmente entre los rangos óptimos (7-8)? *

- Si
- No

8. Que método principal se utiliza para estabilizar el pH del jugo Filtrado? *

- Uso de Adictivos Quimicos
- Ajuste en el proceso de filtrado
- Doble Calentamiento
- Otro

9. ¿El sistema actual alcanza de manera consistente la temperatura óptima para el proceso de filtrado? *

- Si
- No

10. Con que frecuencia se monitorea la temperatura del jugo filtrado? *

- Cada Hora
- 4 Veces a la semana
- Semanalmente
- No se la Frecuencia Exacta

11. En una escala de 1 (Muy ineficiente) a 5 (Muy Eficiente), ¿Cómo evalúa la capacidad del sistema actual para transferir el calor de manera efectiva? *

- | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

