

Plan de mejora para la reactivación del proceso de recuperación de condensado del sistema de vapor en una empresa cervecera

Improvement plan for the reactivation of the steam system condensate recovery process in a brewery company

María Carolina García Leal, Adriana Ramírez Terife, Mariangel Sánchez Neira

Palabras clave: plan de mejora, Retorno, Condensado, industria cervecera

Key words: improvement plan, condensate recovery, brewing industry

RESUMEN

El objetivo de investigación es diseñar un plan de mejora para reactivar el proceso de recuperación de condensado del sistema de vapor en una empresa cervecera. Debido a la presencia de problemas con el retorno hacia las calderas, saliendo éste a cañería. Con un nivel Descriptivo, la investigación presenta un diseño de campo no experimental, documental y su tipo es el de proyecto factible. Al abordar esta problemática, se propuso implementar dos dispositivos de enfriamiento, uno con Dióxido de Carbono (CO₂); para la evaporación de CO₂ y enfriamiento del condensado, y otro con amoníaco, para enfriar el condensado a una temperatura de 50°C. Finalmente, una reubicación y reconexión de las tuberías para recuperar condensado y reducir tiempos de recorrido del fluido y haciendo más eficiente las conexiones de retorno hacia las calderas. La implementación de las propuestas, busca una recuperación más eficiente de condensado a calderas, equivalente a unos \$181000/día, representando una inversión total de \$8685, recuperados en 1 semana de producción.

ABSTRACT

The current study was developed to create an improvement plan to reactivate the condensate recovery process in the steam system at a local Brewery. This, due to current issues with the return to the boilers, causing the condensate to be discharged into the sewer. This is a Descriptive study, with a non-experimental and documentary field design, and considered a feasible project. In order to address the problem, a CO₂ Device (Carbon Dioxide) for CO₂ evaporation and condensate cooling, an ammonia device to cool the condensate to 50°C and a pipes' relocation and reconnection were proposed. These measures aim to recover condensate and reduce travel times. It's expected that implementing these proposals, the condensate will be cooled and returned to the boilers, fluids travel distances will be reduced, and the pipes will be connected to the boilers' return line improving efficiency equivalent to a rough. \$181000/day, with a \$8685 investment turn around in a week's production.

INTRODUCCIÓN

La industria cervecera ha estado durante mucho tiempo a la vanguardia de la sostenibilidad y, a medida que esta tendencia global continúa expandiéndose, surgen nuevas oportunidades (Serviss et al., 2025). La industria cervecera a nivel global busca constantemente mejorar su eficiencia energética y reducir su huella ambiental.

La recuperación de condensado, el agua que se forma al enfriar el vapor representa una oportunidad significativa para lograr estos objetivos. El agua es un componente fundamental en la industria cervecera, ya que no solo sirve como medio para la extracción de azúcares fermentables de la malta de cebada, sino también en una variedad de actividades, incluida la limpieza de equipos, el enjuague de botellas y otras tareas operativas (Maria et al., 2023). Al reutilizar esta agua caliente en el proceso productivo, se reduce el consumo de agua potable, se disminuye la carga en los sistemas de aguas residuales y se sinceran los costos de energía asociados a la generación de vapor.

Para la empresa cervecera donde se desarrolló la investigación, la implementación de un sistema de recuperación de condensado eficiente puede traducirse en una serie de beneficios concretos, como: reducir costos, generando a su vez, menor consumo de agua, energía y productos químicos para el tratamiento de aguas. Aumento de la eficiencia, optimizando los procesos productivos y la reduciendo pérdidas energéticas, con una

mayor confiabilidad y, por consiguiente, la corrosión de las tuberías y equipos, prolongando con ello su vida útil. Los enormes volúmenes de producción anual ponen de relieve el fuerte impacto de la industria cervecera en el medio ambiente y la economía. Por estas razones, se requieren cambios radicales en la cadena cervecera para la transición de una economía lineal a una circular (Belardi et al., 2025). En tal sentido, durante el análisis del proceso de producción, en la sala de máquinas de la empresa cervecera, se observa que la recuperación del condensado implica, analizar y optimizar, identificando las fuentes de condensado, incluyendo todos los puntos donde se genera, como los intercambiadores de calor, las trampas de vapor y las tuberías. Luego, se evalúa la calidad y se determina el grado de contaminación del condensado. Seguidamente, seleccionar el sistema de tratamiento adecuado, con un diseño de red de recuperación cuya ruta mejor se adapte para transportar el condensado, desde el punto de generación hasta el punto de reutilización. Esto apoyándose en las tecnologías disponibles como trampas de vapor y las bombas de condensado. También se analizan casos de éxitos de otras cervecerías, que hayan implementado sistemas de recuperación de condensados, y para finalizar hacer un análisis económico, costo beneficio, para evaluar el impacto económico de la inversión.

De esta manera, la presente investigación tiene como finalidad analizar el proceso de

generación de vapor y así poder proponer mejoras en los métodos de trabajo que incrementen la productividad en la

empresa. Estas mejoras estarán basadas en técnicas de Ingeniería Industrial.

METODOLOGÍA

La unidad de análisis en la presente investigación está representada por el proceso de recuperación de condensado en las áreas de elaboración, sala de máquina y envasado a través de la generación de vapor, de la empresa Cervecera.

El enfoque metodológico empleado en esta investigación es cuantitativo, dado que analiza la realidad objetiva de la empresa. Hernández et al (2014). Su diseño es de campo; ya que se definen las actividades que se llevan a cabo en la Empresa Cervecera, para recolectar la información que permita analizar la situación actual de la empresa. También está enmarcada dentro de una investigación descriptiva; ya que, se observan, identifican y analizan las actividades que se llevan a cabo dentro de la empresa, con el objetivo de determinar los problemas existentes en el proceso de generación de vapor y recuperación de condensado.

Fases de la investigación

Fase I. Diagnóstico de la situación actual en el proceso de generación de vapor y recuperación de condensado.

Para identificar qué impide el retorno del condensado a las calderas, se evalúa el proceso de producción actual de la empresa llevando a cabo las siguientes actividades:

- Recibir información respecto a la situación actual de la empresa en su proceso productivo.

- Observar directamente las actividades realizadas en el proceso productivo.

- Realizar entrevistas informales al personal involucrado (ingenieros de procesos, químicos, mecánicos), instrumentistas y superintendentes del área de envasados específicamente en pasteurización y lavado.

- Elaborar diagrama de operación del proceso.

Fase II. Análisis de la situación actual e identificación de problemas existentes en el proceso de generación de vapor y recuperación de condensado.

Se analiza la información recolectada durante la fase anterior, realizándose entre otras las siguientes actividades:

- Diagrama de Flujo.

- Planeación sistemática de la distribución en planta.

- Colaboración del personal que labora en el proceso de generación de vapor y recuperación de condensado.

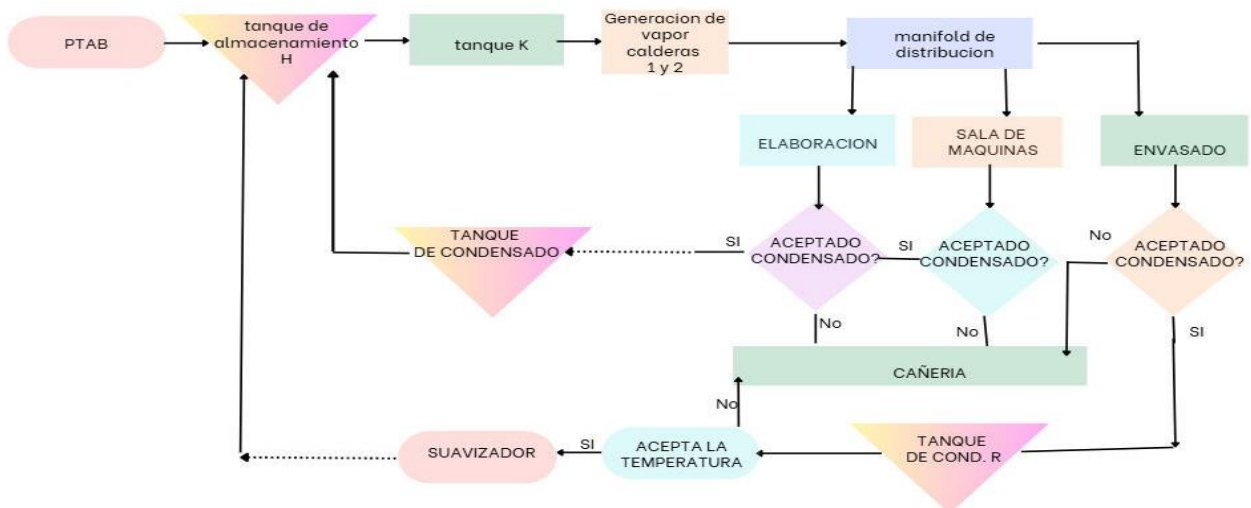
Fase III. Diseño de propuestas de mejoras en el proceso de vapor para la recuperación de condensado.

- El tiempo de recuperación de inversión de cada una de las propuestas.

RESULTADOS

pueda traer. El agua después atraviesa el filtro suavizador, cuya función principal es eliminar el carbonato y bicarbonato de calcio y minerales contenidos en el agua. Seguidamente, pasa por un Desalinizador que elimina la sílice presente en la etapa anterior. En la figura 1 se aprecia un flujograma del Sistema de vapor que se describe.

Figura 1. *Flujograma del Sistema de vapor*



Posteriormente, en el filtro de descarbonatación se añade ácido sulfúrico para regenerar las resinas de los filtros CNP, con los que se utilizan resinas catiónicas débiles y regenerados con ácido sulfúrico. Se eliminan la dureza carbonatada del agua cruda, preparándose para la siguiente etapa de suavización. Finalmente, el agua pasa por suavizadores, filtros de intercambio iónico con resinas catiónicas fuertes. Estas resinas regeneradas con sal industrial retienen los iones de calcio y magnesio, que son los principales responsables de la dureza del agua. El resultado es agua con "cero durezas". Una vez tratada, el agua se almacena en el tanque H donde se precalienta mediante la mezcla con condensado de agua de caldera, producto del intercambio térmico del vapor saturado.

El calor generado en el hogar de la caldera eleva la temperatura de estas tuberías, produciendo vapor saturado a una presión de entre 8 y 9 bar. Finalmente, este vapor saturado se distribuye a través del manifold, (también llamado colector de vapor o dispositivo que centraliza el suministro de vapor proveniente de la caldera) a los puntos de consumo del área de elaboración, envasado y sala de máquinas.

El sistema de generación de vapor de la cervecería consta de 4 calderas: 2 operando de forma continua para cubrir la demanda base que son 889.508 kg/día, y la otra en modo de apoyo para picos de consumo. Se cuenta con una reserva para activarse en caso de falla de alguna de las otras o que

alcance su presión máxima de 11 bar. Esta caldera siempre está presurizada preparada para el arranque. Habitualmente, las cuatro calderas utilizan gas natural como combustible, pero pueden operar también con otras fuentes de energía como el gasoil. La presión debe nivelarse para que todas las calderas trabajen a la misma.

El sistema de recuperación de condensado cuenta con varias tuberías de recuperación provenientes de las áreas de envasado elaboración y servicios industriales hasta llegar a los tanques recolectores de condensado. Antes de retornar al tanque de recuperación de condensado, procedente del área de elaboración y sala de máquinas, y con una capacidad de 10.50 m³, solo se recupera 2.4 m³. Para ello, deben cumplirse con ciertos parámetros para su almacenamiento y posterior reutilización en las calderas.

Análisis de los parámetros para el tanque de condensado en el área de elaboración y envasado

Apoyado en lo propuesto por Franco y Russo (2002) y Robinson (2002) sobre el análisis de parámetros operacionales se observó un consumo de vapor en el área de elaboración de 177.900 kg/día y representa un 20% del total entregado del sistema (889.508 kg/día) de este consumo total. El mismo representa un 30% de recuperación de condensado que retorna nuevamente hacia las calderas. Este condensado debe cumplir con los siguientes parámetros de aceptación, para su recuperación, pH: 8,5-10,0, conductividad: < 20 μ S/cm, dureza $\leq$ 0.3 ppm, alcalinidad M < 7ppm).

Al observar que el condensado que estaba almacenado en un tanque de unos 40m³ de capacidad, del área de elaboración estaba contaminado con soda caustica, obstaculizando su retorno se envía

directamente a cañería. Debido a esto, se realizó un estudio a cada uno de los CIP para verificar cuál presentaba la falla. Ver tabla 1.

Tabla 1. *Análisis de los parámetros de aceptación presentes en el condensado*

CIP	Conductividad (μS/cm)	Alcalinidad (ppm)	Dureza (ppm)	pH	Cumple con Especificaciones
A	657,00	192	2,45	11,72	✗ No cumple
B	15,98	8	0,15	9,66	✓ Cumple (excepto alcalinidad ligeramente alta aceptable).
C	10,96	1,2	0,20	10,96	✓ Cumple (pH alto, pero dentro de rango)
D	7,06	4	0,28	9,09	✓ Cumple

Nota: esta tabla muestra el análisis de los parámetros (alcalinidad, dureza, conductividad y pH), que debe tener el condensado para una óptima recuperación en cada uno de los CIP tomados en la Cervecería.

Hallazgos y Acciones Correctivas

De acuerdo con los resultados reflejados en la tabla 1, se observa que el CIP A presenta contaminación crítica:

- Conductividad extremadamente alta (657 μS/cm vs. <20).
- Alcalinidad 192 ppm (muy superior al límite de 7 ppm).
- Dureza 2,45 ppm (por encima de 0,3 ppm).
- pH 11,72 (fuera del rango 8,5-10,0).

Causa probable: Fuga en el intercambiador de placas, permitiendo el paso de soda debido a la porosidad que presenta el equipo. Principal responsable de la contaminación del condensado, afectando la calidad del agua recuperada para

generación de vapor. Su exclusión temporal del sistema permite mantener la eficiencia del proceso; mientras se realiza la reparación correspondiente, sabiendo que por tal exclusión por contaminación no se estará recibiendo el 25% del condensado proveniente del CIP A. Se recomienda una Inspección técnica del intercambiador de placas del CIP A. Por otra parte, los CIP B presentan una pequeña desviación de alcalinidad de 8ppm y el CIP C, un PH de 10.96, pero estos valores no comprometen la recuperación de condensado. En cuanto a las pailas donde se cocina el mosto con el vapor, el condensado generado al mezclarse con el condensado proveniente de los CIP produce una contaminación total

en el tanque, perteneciente al área de elaboración.

En otro orden de ideas, el área de envasado cuenta con 11 lavadoras y 11 pasteurizadoras que consumen el 75% del vapor generado por las calderas y representa una cantidad de vapor de 667.13

kg/día. Este vapor se distribuye en un consumo del 30% en las lavadoras de botellas y un 45% en las pasteurizadoras. Luego de este consumo, se recupera un 10% de condensado, que se evalúa por el departamento de calidad, dando los resultados que se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. *Análisis de los parámetros de aceptación presentes en las lavadoras y pasteurizadoras*

Equipos	Conductividad (μS/cm)	Alcalinidad (ppm)	Dureza (ppm)	pH	Cumple con Especificaciones
LAVADORAS	660,00	195	2,58	12.65	✗ No cumple
PASTEURIZADORAS	15,98	7	0,38	9,05	✓ Cumple (excepto dureza ligeramente aceptable)

Nota: esta tabla muestra el análisis de los parámetros (alcalinidad, dureza, conductividad y pH), que debe tener el condensado para una óptima recuperación en las pasteurizadoras y lavadoras en el tanque R de la Cervecería.

La Alcalinidad de todas las lavadoras de botellas está entre 192-198 ppm, superando el límite de los 7ppm. Esto indica que no se puede recuperar porque está contaminado con soda caustica. Este valor representa un 30% del consumo de vapor entregado a las lavadoras.

En cuanto a las pasteurizadoras, encargadas de pasteurizar la cerveza, malta y caroreña, consumen vapor para controlar el agua a diferentes temperaturas. Este consumo para su proceso de pasteurización genera un condensado de vapor. Por lo tanto, se puede afirmar que el 40% del condensado generado del vapor entregado por las calderas a los pasteurizadores es recuperable.

Análisis de la situación actual

Análisis P – Q y calificación de los trenes

Con la finalidad de utilizar las herramientas de forma más eficientes y simplificar el estudio, se decide realizar el análisis sistemático de manejo de materiales (SHA), que según Muther y Haganäs (1969) es un abordaje organizado y aplicado universalmente a cualquier necesidad de manejo de materiales. En este sentido se extrae que el análisis P-Q (Producto-Cantidad) como una herramienta de análisis que, grafica el volumen de producción (Q) por producto (P), ayudando a determinar el tipo de distribución de planta que se adecúe mejor a la necesidad planteada. Este análisis permite identificar si conviene más elegir un arreglo de distribución por producto

con alto volumen y baja variedad de producción, o un arreglo de distribución por proceso para bajo volumen de producción y alta variedad Muther (1968) citado por Gómez y Núñez (1997), hace una breve referencia sobre los elementos más importantes a considerar en la planificación y distribución de planta. En este caso se concentra el análisis solo al área correspondiente a envasado, ya que ésta ha sido identificada como el área más crítica, dado que presenta mayores inconvenientes en cuanto al retorno de condensado.

A consecuencia de que el vapor es generado en contra pedido, resulta indispensable llevar un control detallado

del consumo de vapor en cada uno de los procesos involucrados en el área de envasado. En este sentido, se realizó un análisis P-Q, que consiste en priorizar clasificando aquellos productos según su nivel o volumen de producción para evaluar entre las alternativas de planificación y distribución, cuál es la más idónea para atender la necesidad detectada (Gómez et al., 1997). Dentro de la cervecería se evaluaron dos aspectos fundamentales: el consumo de vapor requerido para el arranque de cada tren de pasteurización y el consumo continuo necesario durante el proceso de pasteurización de los productos (Ver tabla N°3).

Tabla 3. Consumo de Vapor por Pasteurizadores (Btu/min)

N° de Tren Operativos	Modelo del Pasteurizador	Consumo de vapor-producto (Btu/min)	Consumo de vapor En arranque (Btu/min)
1	BARRY WEHMILLER	48600	109000
2	BARRY WEHMILLER	45700	147000
3	BARRY WEHMILLER	45700	147000
5	BARRY WEHMILLER	45700	147000
7	BARRY WEHMILLER	45700	147000
11	KRONES	49500	108000
12	KRONES	40300	160000
13	BARRY WEHMILLER	45700	147000
14	BARRY WEHMILLER	45700	147000
15	BARRY WEHMILLER	45700	147000
Paster flash	PASTER FLASH	48600	109000

Nota: En la tabla se muestra la cantidad de vapor que consume cada pasteurizador para su arranque y la cantidad de vapor que consume para pasteurizar cada producto. Tomado de la Cervecería

La tabla 3 muestra los resultados obtenidos, donde se representan los valores de consumo de vapor expresados en Btu/min para cada tren operativo. Se observa que el

consumo de vapor en la etapa de arranque es significativamente mayor que durante la operación continua. Por ejemplo, los trenes 2, 3, 5, 7, 13, 14 y 15 (todos del modelo Barry

Wehmiller) presentan un consumo en arranque de 147.000 Btu/min, mientras que su consumo durante la pasteurización es de 45.700 Btu/min.

En el caso del tren 12, modelo Krones, se evidencia el mayor consumo de vapor en arranque, alcanzando 160.000 Btu/min, y el menor consumo durante la operación es 40.300 Btu/min. Estos datos permiten identificar trenes con alta demanda térmica inicial, crucial para la planificación de la energía que se utiliza en la planta y para

evaluar adecuadamente la capacidad de generación de vapor, especialmente durante el inicio de operaciones.

De manera similar, se llevó a cabo un análisis P-Q orientado a determinar cuáles trenes de pasteurización están recuperando condensado, con el apoyo técnico del especialista en equipos pasteurizadores. A partir de su experiencia operativa, se establecieron estimaciones aproximadas del volumen de retorno de condensado por cada tren operativo. Ver tabla 4.

Tabla 4. Cantidad Aproximada de Condensado (m³/h) que se genera en cada pasteurizador

N° de Tren operativo	Modelo del pasteurizador	Condensado (m ³ /h)
1	BARRY WEHMILLER	8.09
2	BARRY WEHMILLER	7.60
3	BARRY WEHMILLER	7.60
5	BARRY WEHMILLER	7.60
7	BARRY WEHMILLER	7.60
11	KRONES	8.00
12	KRONES	6.70
13	BARRY WEHMILLER	7.60
14	BARRY WEHMILLER	7.60
15	BARRY WEHMILLER	7.60
Paster flash	PASTER FLASH	8.09

Nota: en la tabla se muestra la cantidad de condensado que genera cada pasteurizador para su retorno a las calderas en sala de máquinas. Tomado de la Cervecería

En la Tabla 4, se muestra la cantidad de condensado que debería retornar desde cada pasteurizador, según las especificaciones del fabricante. No obstante, los operadores informaron que no se estaba recuperando el volumen de condensado proveniente del área de envasado requerido por el proceso, refiriéndose a unos 28m³/h. Ante esta

situación, se decidió realizar un estudio en el tanque R, considerando el volumen de dicho tanque. Para ello, se calculó el caudal mediante el método volumétrico, el cual consiste en medir directamente el tiempo que tarda en llenarse un recipiente de volumen conocido. (ver tabla 5).

Luego de realizar los cálculos, se procedió a analizarlos detalladamente para

identificar los factores que afectan la recuperación del condensado hacia el tanque R. Con el acompañamiento del especialista del área en la Cervecería, se

efectuó un recorrido por el área de envasado, donde se identificaron los equipos consumidores de vapor.

Tabla 5. *Cálculo del caudal de condensado real que llega al tanque R*

Hora inicio	Hora final	Total, en tiempo	Nivel obtenido	Caudal	Trenes
Jueves 21/03 10:00 am	Viernes 22/03 2:00 pm	16 horas	h = 0.50 m	0.063 m ³ /h	05, 11, 14, 15
Lunes 01/04 11:00 am	Lunes 01/04 4:00 pm	5 horas	h = 0.87 m	0.345 m ³ /h	01, 05, 07, 13, 14, 15
Lunes 02/04 4:00 pm	Miércoles 03/04 8:30 am	40 horas	H = 1.94 m	0.0962 m ³ /h	05, 07, 13, 14, 15

Al inspeccionar las lavadoras, se observó que el condensado generado en el proceso se estaba desechando a través de la cañería, debido a su contaminación con soda cáustica. Esta situación ocurre porque el tanque que contiene la soda cáustica en las lavadoras ha perforado las tuberías internas sumergidas en su interior. La soda cáustica, como producto altamente abrasivo, deteriora estas tuberías cuando el vapor las atraviesa para calentar el contenido. Como resultado, el vapor entra en contacto con la soda cáustica, contaminando completamente el condensado. Se estableció que dicho condensado no puede recuperarse, ya que todas las lavadoras presentan el mismo problema. Durante la conversación con el especialista, se explicó que estas lavadoras fueron importadas desde Alemania y

repararlas implicaría una parada total de la planta. Por esta razón, se decidió excluirlas del alcance del estudio de recuperación de condensado.

Por otro lado, se inspeccionaron las pasteurizadoras y sus respectivos tanques recolectores de condensado, cada uno equipado con una bomba de condensado que opera automáticamente mediante un sensor de nivel. No obstante, se constató que los componentes de las bombas —incluyendo motor, eje, sellos y bobinas— están completamente quemados en cada una de las siete pasteurizadoras, lo que impide su funcionamiento. En consecuencia, el condensado acumulado en los tanques es desechado a la cañería, desperdiciándose totalmente.

Durante el recorrido también se verificó el estado de las tuberías de retorno. Se

evidenció que los pasteurizadores 2 y 5 no disponen de conexión a la línea de retorno de condensado. Por ello, se midieron los metros de tubería requeridos para conectar dichos tanques a la línea principal de retorno hacia sala de máquinas. Además, se detectó que el pasteurizador 11 estaba conectado a una tubería diferente, que no corresponde a la línea de retorno de condensado y las otras tuberías tienen largos recorridos.

Finalmente, mediante un medidor de temperatura, se comprobó que el condensado se encontraba a 100 °C, un valor por encima del máximo permitido por el suavizador que se encuentra en el área de sala de máquinas. Su temperatura de entrada debe ser inferior a 50 °C. Por tanto, se obtuvo que era necesario reducir la temperatura del condensado antes de enviarlo al suavizador, con el fin de evitar su deterioro.

Análisis de la situación actual a través de los criterios del análisis de la operación

Los Analistas de métodos recurren al análisis de operaciones para estudiar todos los elementos de una operación, productivos y no productivos para así poder incrementar los niveles de productividad por unidad de tiempo y a su vez reducir los costos unitarios con la finalidad de conservar o mejorar la calidad. (Níebel y Freivalds, 2009). En este sentido, Burgos (2009), también afirma que el análisis de la operación “es un procedimiento empleado por el Ingeniero de métodos para investigar las actividades que Agregan y que No agregan valor a una

tarea, con la finalidad de tratar de eliminar o reducir al mínimo aquellas que no agregan valor.”p53. Así mismo, es importante aprovechar toda la data generada dentro del proceso en estudio para así proponer mejoras y asegurar el uso eficiente de los recursos disponibles, para lo cual existen varios métodos, herramientas o técnicas aplicables para dicho fin. (Montoya-Reyes et al, 2020). Partiendo de estos principios y de los propuestos por Alarcó Bort (2007) se desarrolló un análisis de operación dentro del área de estudio que fundamentan el diseño de las propuestas de recuperación del Condensado.

Propósito de la operación: en la Cervecería son ineludibles las actividades realizadas en las áreas de servicios industriales, elaboración y envasado, generando la necesidad de mejorar el manejo de materiales, para permitir un cumplimiento más eficiente y funcional de las tareas exigidas en cada área mencionada.

Tolerancia y especificaciones: si no se adecuan los márgenes de especificaciones con los parámetros de alcalinidad, pH y dureza, ocurrirán situaciones donde el condensado se contaminará con soda caustica o dureza.

Materiales: aunque existe una planta de tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), que recolecta toda el agua condensada que viene contaminada y que puede ser recuperada. Esta planta de tratamiento está diseñada de manera tal que no cumple con las capacidades exigidas para recuperar esa agua. Por consiguiente, se genera un consumo de aditivos químicos más alto

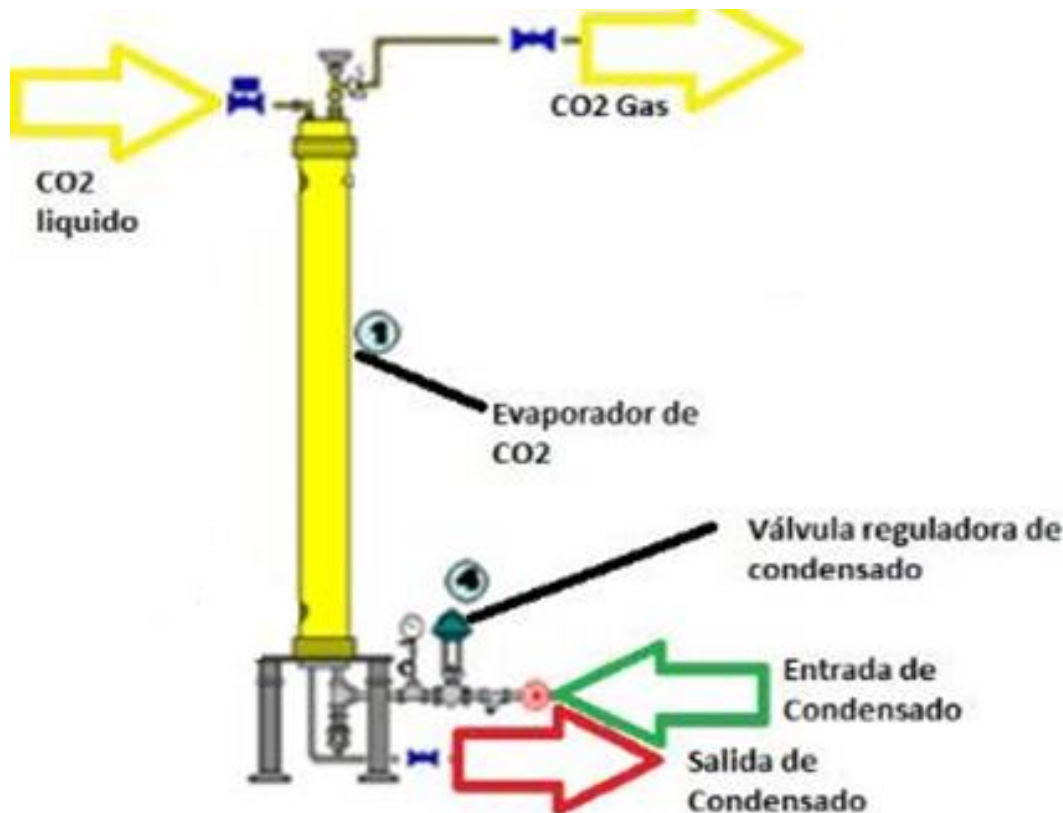
para su limpieza, incurriendo en un uso antieconómico del material.

Equipos, herramientas y tiempo de preparación: debido a que los equipos del área de envasado presentan porosidad, el condensado proveniente de la pasteurizadora presenta trazas de dureza, producto de los intercambiadores dañados, que requieren reparación inmediata para su correcto funcionamiento. Entre los 10 Principios de Análisis de la Operación más relevantes en el estudio y enumerados por Niebel (2014) citado por Montoya-Reyes et al (2020) y Burgos (2009).

Dispositivo de Enfriamiento con CO₂ (Dióxido de Carbono)

Esta propuesta busca reemplazar el vapor, para ello se debe cerrar el suministro de vapor y reemplazarlo por el condensado proveniente del proceso de envasado como fluido de trabajo para la evaporación. El condensado le entrega calor al CO₂ pasando de estado líquido a gaseoso (Noie-Baghban & Majodeian, 2000), y a su vez enfriará el condensado para que entre al suavizador. Este debe estar a una temperatura de 50 °C. Como sugieren Cabanillas (2015), Casarosa et al (2004) y Jabboury & Darwish (1990) en cuanto a los efectos de los parámetros de operación para recuperación y reutilización de vapor (ver figura 2).

Figura 2. Dispositivo de enfriamiento con CO₂



Se propone incorporar un sistema de enfriamiento del condensado mediante un circuito de enfriamiento con amoníaco, que permita reducir la temperatura del condensado de manera controlada antes de su paso por el suavizador. El proceso consta de las siguientes etapas:

Recuperación del condensado: El vapor condensado generado en la caldera se recoge y se canaliza hacia un intercambiador de calor equipado con un circuito de refrigeración por amoníaco.

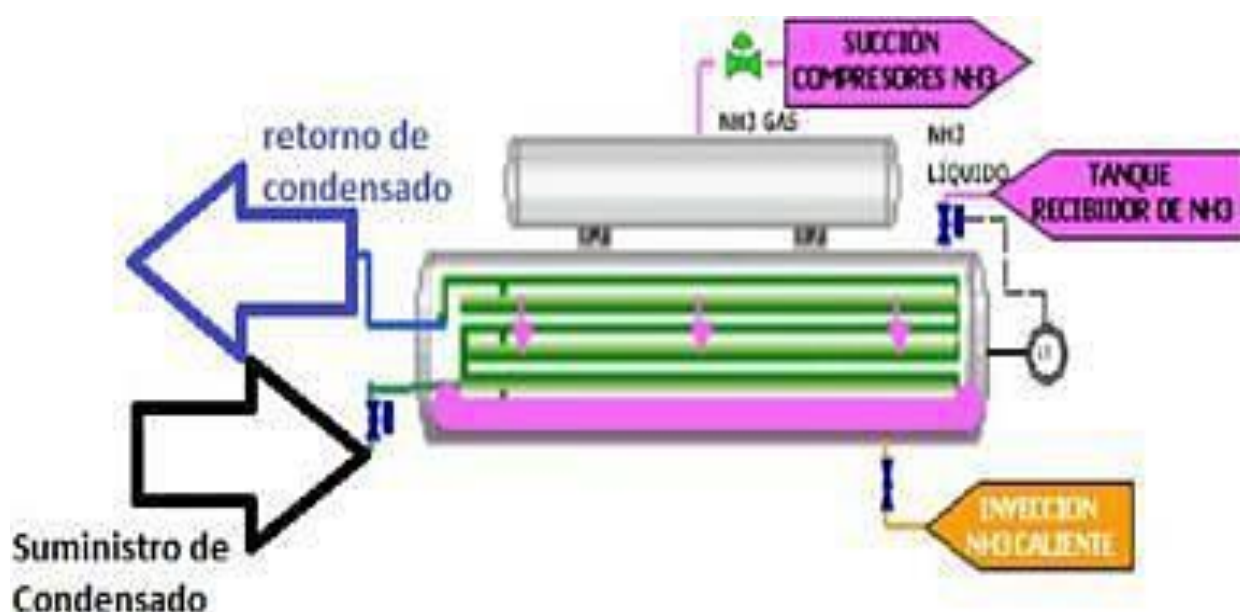
Enfriamiento con amoníaco: El amoníaco, en estado líquido y en un circuito cerrado, absorbe el calor del condensado, reduciendo su temperatura a niveles óptimos para su tratamiento posterior. Este método garantiza un enfriamiento eficiente y controlado, minimizando riesgos de temperatura excesiva.

Paso por el suavizador: El condensado enfriado pasa a través del suavizador, que eliminará posibles impurezas y partículas, protegiendo la resina del equipo, debido a la reducción previa de la temperatura que previene daños por temperaturas elevadas.

Recirculación del condensado: El condensado ya tratado es recolocado en el ciclo de generación de vapor, cerrando el circuito y optimizando la recuperación del recurso.

Antes de poner en marcha esta propuesta, se debe considerar la despresurización de la línea de NH_3 líquido y NH_3 gas, para su posterior vacío. Así podrá trabajar el personal de manera segura sin riesgos de asfixia y quemaduras por contacto directo con el amoníaco. (ver figura 3).

Figura 3. *Dispositivo de enfriamiento vilter*



Reubicación y Reconexión de las Tuberías en el área de Envasado

En la siguiente propuesta se plantea realizar la conexión de las tuberías provenientes del pasteurizador 11; ya que retornan el condensado de manera incorrecta, y disminuir la distancia existente entre los paster 5,7,14 y 15, que ocasiona que este condensado se vaya a la cañería. En cada pasteurizador se debe tomar en cuenta la distribución correcta de las tuberías para el retorno del condensado, la renovación de las bombas que están dañadas. Esto refleja que se está dejando de percibir 15.21 m³/h por jornada laboral de 12 hrs /día 6 días a la semana. Tomando como punto de partida, un punto de carga y descarga en que se moviliza el condensado entre las estaciones de trabajo. Para ello, se han identificado 14 rutas de recuperación, tomando en consideración desde el condensado generado en los

pasteurizadores hasta la tubería de retorno de condensado. Esta información se refleja en la tabla 6. Así mismo, se presenta un estudio realizado en consecuencia de los largos recorridos y alta demanda de uso de las rutas existentes, observándose que hay rutas que están desviadas de manera incorrecta. En la búsqueda del objetivo de recuperación se recomendó realizar un análisis más profundo en relación a la problemática. En tal sentido y tomando en consideración los principios del análisis de relaciones entre actividades apoyados en los parámetros P, Q, S y T antes mencionados, a través del uso de tablas de preferencias o tabla de relaciones se vinculan las diversas actividades propias del área (Gómez y Nuñez, 1997). De este análisis se obtuvo la disposición de las tuberías (ruta) y relación entre éstas, como se aprecia en las tablas 6 y 7. En la figura 4 se presenta lo derivado de este análisis.

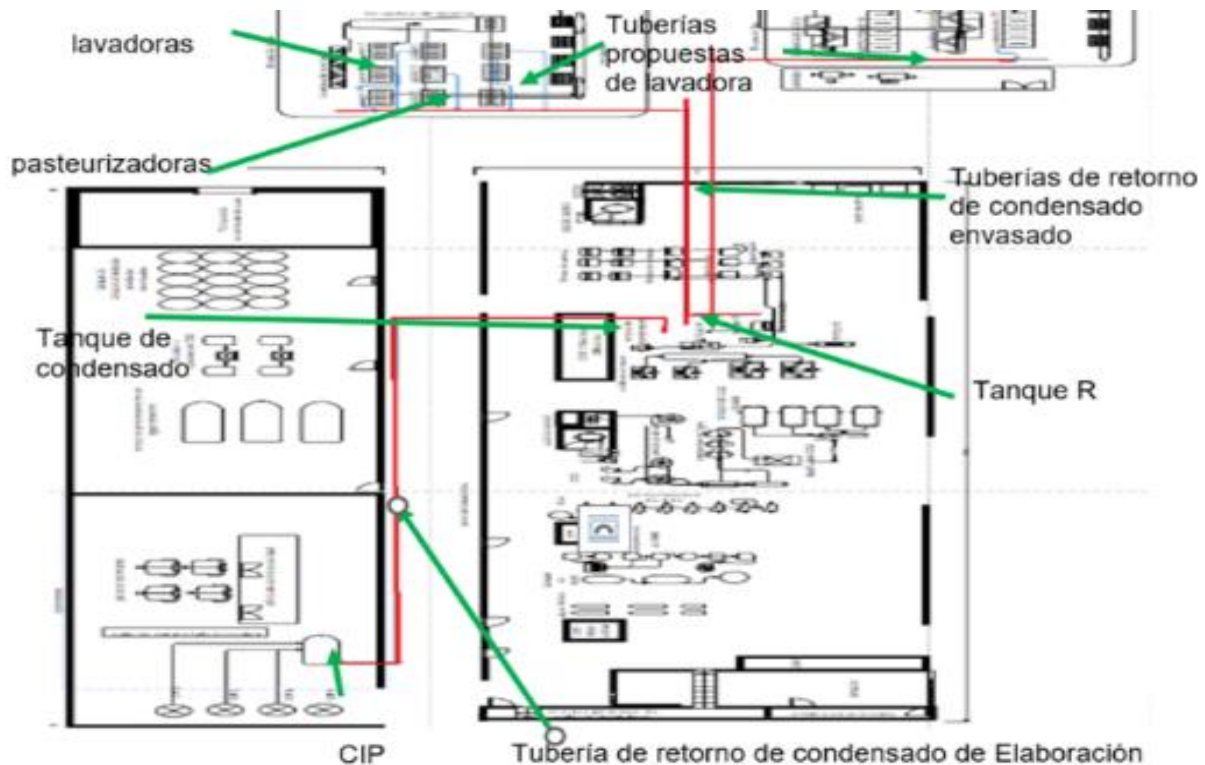
Tabla 6. Hoja de Ruta

RUTA	PUNTO DE CARGA	PUNTO DE DESCARGA	DISTANCIA (metros)
1	Pasteurizador tren 1	Tubería de retorno de condensado	12 metros Diámetro= 2"
2	Pasteurizador tren 2	Tubería de retorno de condensado	14 metros Diámetro=2 ½"
3	Pasteurizador tren 3	Tubería de retorno de condensado	14 metros Diámetro=2 ½"
5	Pasteurizador tren 5	Tubería de retorno de condensado	54 metros Diámetro=4 ½"
7	Pasteurizador tren 7	Tubería de retorno de condensado	25 metros Diámetro=3"
11	Pasteurizador tren 10	Tubería de retorno a otra línea	12 metros Diámetro=2"
12	Pasteurizador tren 12	Tubería de retorno de condensado	30 metros Diámetro=1 ½"
13	Pasteurizador tren 13	Tubería de retorno de condensado	27 metros Diámetro=2 ½"
14	Pasteurizador tren 14	Tubería de retorno de condensado	60 metros Diámetro 2 ½"
15	Pasteurizador tren 15	Tubería de retorno de condensado	80 metros Diámetro 2 ½"
Paster flash	Pasteurizador flash	Tubería de retorno de condensado	14 metros Diámetro=2 ½"

Tabla 7. Definición de tipo de relación

TIPO DE RELACION		DEFINICION
A	4	Alta cantidad anormal
E	3	Alta cantidad especial
I	2	Cantidad importante
O	1	Cantidad ordinaria
U	0	No importante

Figura 4. Layout con la recuperación de las tuberías propuesto



Se puede observar que el layout propuesto presenta una nueva distribución de las tuberías, con líneas de color azul representando el trazado correspondiente al sistema modificado, orientado hacia la línea principal de retorno de condensado.

Esta última se encuentra representada en color rojo y conecta el condensado proveniente de las pasteurizadoras hasta su destino final. Asimismo, se destaca en verde la ubicación tanto del tanque R como del tanque de condensado, elementos claves dentro del sistema de recuperación.

Entre los beneficios cualitativos se mencionan: menor desperdicio de condensado ganándose más tiempo en cuanto a la producción de vapor y la resina del suavizador no se dañará por temperatura. Por otra parte, entre los Beneficios Cuantitativos, se plantea recuperar de un 10% a un 60% del condensado. Se puede recuperar la

inversión en una semana de producción proyectándose un ahorro en los costos de consumo de agua y químicos para la generación de vapor.

Estimación de Costos de las Propuestas

En las tablas 7 y 8, se presentan los costos estimados del material y personal a necesitar.

Tabla 7. Costos estimados del personal a necesitar

Personal	Cantidad	Costo (\$/día-hombre)	Días necesarios	Costo total (\$)
Mecánicos	1	250	3	750
Soldador	1	120	3	360
Ayudante	1	20	3	60

Nota: la tabla muestra los costos del personal a necesitar para la propuesta, tomado de cervecera polar C.A. Año 2024.

Tabla 1. Costos estimados de los insumos o materiales a necesitar

Material	Cantidad	Costo por Unidad (\$)	Costo total (\$)
Electrodos	3 paquetes	12.50	37.5
Lentes	5 unidades	1	5
Guantes	20 unidades	1	20
Mascara Protectora para gases 3M	5 unidades	36	180
Sensor de temperatura (RTD)	1 unidades	18	18
Alquiler de equipo de soldadura	10 días	10	100
Tuberías de acero al carbono de 8"	9 tubos de 6m x 52m	2000	2000
Tubería de 2" amoniaco liquido	4 tubos de 6m x 20m	1800	1800
Tubería de 2" para suministro de NH ₃ g	4 tubos de 6 m *20m	1800	1800
Sensor de nivel	1	132.90	132.90
Válvula mecánica	1	180	180
Medidor de flujo electromagnético	1	480	480
Válvula manual	6	127	762

Nota: estos costos fueron consultados por la página de mercado libre, año 2024

Costo total de Inversión =	Proporción de recuperación del condensado
costo del personal + costo de materiales =	Producción diaria de vapor:
8685,4 \$	889.508 kg/día
Volumen de condensado recuperado diariamente:	Condensado recuperado: 672.000 kg/día
(28 m ³ /h) (24 h/día) = 672 m ³ /día	$(\frac{672.000}{889.508})(100) = 75,54\%$
Como 1 m ³ de agua $\approx$ 1.000 kg:	Esto significa que con esta propuesta
672 m ³ /día=672.000 kg de condensado / día	se estaría recuperando el 75,54 % del vapor generado en forma de condensado.

Tabla 9. Costos estimados de los insumos o materiales a necesitar

Material	Cantidad	Costo por Unidad (\$)	Costo Total (\$)
Máquina de soldar	1	10 por día, durante 10 días	100
Electrodos	20	2.50	250
Guantes	15	1	15
Lentes	12	1	12
Tubería de 12 m de longitud * 2" de diámetro.	2 tubos de 6 metros	3600	3600

Nota: la tabla muestra los costos consultados en la página mercado libre, año 2025

Tabla 10. Costos estimados del Personal a necesitar

Personal	Cantidad	Costo(\$/día-hombre)	Días necesarios	Costo total (\$)
Mecánico	1	250	3	750
Soldador	1	200	3	600
Fabricador	1	200	3	600
Ayudante	1	40	3	120

Nota: la tabla muestra los costos del personal a necesitar para la propuesta, tomado de Cervecería

El Costo total de la Implementación de la Propuesta: 6047\$.

Tiempo de recuperación de la inversión
Estimación de ahorro y tiempo de recuperación de la propuesta 3

Basado en costos de combustible, energía eléctrica y bombeo de bombas, costos operativos provistos por la empresa. Operación continua 24h/día durante 300 días al año.

Recuperación de condensado en el
pasteurizador 11
Caudal máximo recuperado
(8 m³/h) (24 h * 300 días) = 57.600 m³/año
(8 m³/h) (24 h / día) = 192 m³/ día
Masa equivalente en kg
1 m³ ≈ 1000 kg
(192 m³/día) (1000 kg / 1 m³) = 192.000
kg/día
Ahorro en combustible y energía
Proporción del caudal recuperado y
producción total
$$\frac{192.000}{889.508} = (0,2159) (100\%) = 21,59 \%$$

Ahorro diario
(21,59%) (13.440,87 \$/ día) = 2901,
88\$/día (equivalente a agua caliente
recuperada)

Potencia de la bomba en kW
1 HP equivale a 0,746 kW
3 HP ($\frac{0,746kW}{1HP}$) = 2,24 kW
Energía ahorrada = (2.24 kW) (24 h/día)
(44%) = 23.65 kW h/ día
(23,65 kW h / día) (300) (79,78 bs/ kW h)
(0,025 \$ /bs) = 14, 145 \$/ año.
Costo ahorrado
(23.65 kW h/ día) (79.78 bs/kW h)
(0.025\$/bs) = 47,15\$/día
Reducción de bombeo (44% menos de
distancia)
$$TR = \frac{\text{Inversión}}{\text{ahorro}}$$

$$TR = \frac{6047 \$}{2949,05 \$/\text{día}}$$

TR= 2.05 días laborables = 3 días laborables.

CONCLUSIONES

El diagnóstico realizado permitió
identificar las causas que afectan los
procesos en el área de estudio. Después de
estudiar los parámetros de aceptación se
observó que los mismos se encontraban por
encima de estos rangos por lo que se tomó
en cuenta analizar estos niveles. Los
resultados obtenidos permitieron concluir
que, debido a una fuga en el
intercambiador de placas, su exclusión
temporal del sistema permite mantener la
eficiencia del proceso, sin embargo, no se
estará recuperando el 25% del condensado
que proviene de ese equipo.
Se realizó el estudio de cuánto condensado
se recuperaba en los pasteurizadores y que
cantidad llegaba al tanque R durante 1 mes,

información suministrada por la Empresa
lo que permitió evidenciar que el volumen
de condensado recuperado no es el
esperado en condiciones normales de
operación, que debe estar en promedio en
28 m³/h, este estudio permitió realizar una
comparación con el condensado
recuperado actual de la empresa y
confirmar las pérdidas de dicho fluido.
La aplicación del análisis P-Q permitió
clasificar y cuantificar el consumo de vapor
y la recuperación de condensado por cada
tren de pasteurización, diferenciando
claramente los requerimientos térmicos en
las fases de arranque y operación continua.
Esto hizo posible identificar cuáles equipos
tienen mayor demanda energética y cuáles

representan mayores oportunidades de recuperación de condensado.

El criterio de visualización de actividades y rutas de recuperación permitió identificar de forma clara las deficiencias que existen en la línea de retorno de condensado de los diferentes equipos hacia la sala de máquinas. Esta herramienta facilitó la detección de tuberías inexistentes, conexiones erradas, recorridos largos e innecesarios, lo que afecta directamente la recuperación de condensado.

Los criterios del análisis de la operación fueron de utilidad para poder extraer de cada problemática, de las cuales se identificaron equipos fuera de servicio, materiales inadecuados y una secuencia de actividades que no favorece el proceso actual.

La herramienta Diagrama causa – efecto permitió visualizar y describir las principales causas de la baja recuperación de condensado dentro del proceso, en su mayoría encontrándose como principales causas: mano de obra, método, materiales, maquinaria y medio ambiente.

Así mismo se propone como alternativa el enfriamiento del condensado a través del evaporador con CO₂ esta alternativa permite diseñar un sistema eficaz para reducir la temperatura del condensado a 50 °C, requeridos por el suavizador.

La implementación de la propuesta de enfriamiento del condensado mediante un sistema de refrigeración basado en Amoníaco (NH₃), mediante el análisis térmico se demostró que dicho refrigerante posee una elevada capacidad de absorción de calor altamente efectivo para lograr la

reducción de la temperatura de 100 °C a 50 °C, sin comprometer la calidad del agua recuperada.

En términos económicos, la reducción del consumo de vapor indiscriminado equivale a un ahorro de 181.027,78 \$/ día. Con una inversión inicial de 8685.40\$ recuperándose ésta en 1 h de producción. En consecuencia, esta propuesta no solo optimiza el uso energético de la planta, sino que fortalece el ciclo de recuperación del condensado, reduce el consumo de combustible y contribuye directamente a la sostenibilidad operativa del sistema de vapor.

Se realizó una redistribución y reconexión de las tuberías, en el área de los equipos pasteurizadores y lavadoras que se encuentran en el área de envasado, al reubicarla y reconectar las se obtuvo una disminución del recorrido de un 44%.

En los siguientes diseños de propuestas alineadas con criterios técnicos se concluye: Funcionalidad: se propuso el enfriamiento del condensado mediante un evaporador con CO₂ y un sistema alternativo de refrigeración con amoníaco (NH₃), capaces de reducir la temperatura de 100 °C a 50 °C, cumpliendo los requisitos del suavizador sin comprometer la calidad del agua recuperada.

Capacidad térmica: debe dimensionarse para cubrir el caudal máximo operativo (m³/h) especificado por el área de producción. Aunque el compresor se encuentre sobredimensionado, esta condición obedece a que actualmente solo operan 5 de los 14 pasteurizadores disponibles diariamente, con una demanda de vapor de 886.680 kg/día. Se mantiene

este sobredimensionamiento para garantizar que, en caso de que entren en operación los 14 pasteurizadores, la capacidad instalada pueda responder al incremento de la demanda sin limitaciones. Tiempo de proceso: los sistemas propuestos alcanzan la reducción térmica requerida sin generar cuellos de botella en la línea, garantizando continuidad operativa.

Facilidad de operación y mantenimiento: el diseño prioriza un control sencillo, procedimientos de operación claros y accesos directos para limpieza y reparación, reduciendo el tiempo medio de intervención ($MTTR \leq 1$ h).

Facilidad de montaje: el uso de materiales disponibles en el mercado y componentes estándar permite un ensamblaje ágil en planta, con bajo requerimiento de fabricación a medida.

Bajo costo y viabilidad económica: la inversión inicial estimada de 8 685,40 \$/día se recupera en aproximadamente 1 hora de operación, generando un ahorro energético equivalente a 181 027,78 \$/día y

fortaleciendo la sostenibilidad del sistema de vapor.

Impacto global, las propuestas diseñadas reducen pérdidas de condensado, disminuyen el consumo de agua y optimizan el uso del vapor. Cada alternativa evaluada resultó técnicamente viable, económicamente atractiva y alineada con los principios de mejora continua, eficiencia energética y sustentabilidad industrial.

En conjunto, los resultados confirman que la reactivación y optimización del sistema de recuperación de condensado en Empresas Polar, C.A., es factible, rentable y aporta beneficios significativos tanto en ahorro de recursos como en confiabilidad operativa.

Finalmente se evaluó el tiempo de recuperación de cada propuesta planteada, y se determinó que cada una de ellas, es adecuada para disminuir los desperdicios de condensado, reducir el consumo de agua. Y se caracterizan por ser un proyecto factible para su ejecución.

REFERENCIAS

Alarcó Bort, V. (2007). *Diseño de líneas de vapor y condensados en una fábrica de cartón ondulado*. Valencia: UPV.

Noie-Baghban, S. H., & Majodeian, G. R. (2000). Waste heat recovery using heat pipe heat exchanger (HPHE) for surgery rooms in hospitals. *Applied Thermal Engineering*, 20(14), 1271-1282. [https://doi.org/10.1016/S1359-4311\(99\)00092-7](https://doi.org/10.1016/S1359-4311(99)00092-7)

Jabboury, B. & Darwish, M. (1990). The effect of the operating parameters of heat recovery steam generators on combined cycle/sea-water desalination performance. *Heat Recovery Systems and CHP*, 10(3), 255-267. [https://doi.org/10.1016/0890-4332\(90\)90006-6](https://doi.org/10.1016/0890-4332(90)90006-6)

Belardi, I., De Francesco, G., Alfeo, V., Bravi, E., Sileoni, V., Marconi, O., & Marrochi, A. (2025). Advances in the valorization of brewing by-

- products. *Food Chemistry*, 465(1), 141882. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141882>
- Burgos, F. V. (2009). *Ingeniería de Métodos. Calidad y Productividad. 4ta. Reimpresión de la 2da.edición*. Universidad de Carabobo.
- Cabanillas, L. P. (2015). *Análisis de la eficiencia del sistema de tratamiento para la reutilización de aguas residuales de la cervecera Backus* [Trabajo especial de grado, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio USS. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/7343>
- Casarsa, C., Donatini, F., & Franco, A. (2004). Thermoeconomic optimization of heat recovery steam generators operating parameters for combined plants. *Energy*, 29(3), 389-414. [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(02\)00078-6](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(02)00078-6)
- Consejo Mundial de la Energía (2010). Eficiencia energética: una receta para el éxito. Consejo Mundial de la energía, recuperado de <https://www.worldergy.org>.
- Franco, A., & Russo, A. (2002). Combined cycle plant efficiency increase based on the optimization of the heat recovery steam generator operating parameters. *International Journal of Thermal Sciences*, 41(9), 843-859. [https://doi.org/10.1016/S1290-0729\(02\)01378-9](https://doi.org/10.1016/S1290-0729(02)01378-9)
- Gómez, A., y Núñez, F. (1997). *Plantas Industriales. Aspectos Técnicos para el Diseño*. Universidad de Carabobo.
- Hernández S., R., Fernández C., C.,y Baptista L., P. (2014). *Metodología de la Investigación. 6ta Edición*. McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A.
- Maria, M.P, Hortense T., N., Silva N., V.R., Alves C., T.S., Dattatraya, G. S.,Mulla, S.I., Bharagava, R.N., Bezerra C., E., Romanholo F. L.F. (2023). Current advances in the brewery wastewater treatment from anaerobic digestion for biogas production: A systematic review. *Environmental Advances*, (13), 100394. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100394>
- Montoya- Reyes, M.; González-Ángeles, A., Mendoza-Muñoz, I., Gil-Samaniego-Ramos M.y Ling-López, J. (2020). Method engineering to increase labor productivity and eliminate downtime. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 13(2), 321-331. <https://doi.org/10.3926/jiem.3047>
- Muther, R. & Haganäs, K. (1969). *Systematic Handling Analysis*. Management and Industrial Research Publications.
- Muther, R. (1968). *Planificación y Proyección de la Empresa Industrial. Método SLP*. Editores Técnicos Asociados S.A.
- Niebel, B.W., & Freivalds, A. (2014). *Ingeniería industrial de niebel métodos, estándares y diseño del trabajo (12th ed.)*. McGraw-Hill.
- Robinson, V. (2002). *Boiler blowdown heat recovery project reduces steam system energy losses at Augusta Newsprint*. Office of Industrial Technology Energy Efficiency.
- Rosales, D. (2023). *Propuesta de diseño de un sistema de precalentamiento de aire para la combustión en las calderas de Alimentos Heinz de Venezuela C.A.* [Proyecto de Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico, Universidad José Antonio Páez]. Repositorio Institucional RIUJAP. <https://riujap.ujap.edu.ve/handle/123456789/250>
- Serviss, M. T., Van Hout, D., Britton, S. J., & MacIntosh, A. J. (2025). Brewing for the Future: Balancing Tradition and Sustainability. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 5, 2155-2159. <https://doi.org/10.1080/03610470.2025.2509059>

Autores

María Carolina García. Ingeniero Industrial, Universidad de Carabobo; Magister en Ingeniería Industrial, Universidad de Carabobo, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6384-3185>

Email: prof.ma.carolina.garcia@gmail.com

Adriana Isabel Ramírez Terife. Ingeniero Industrial, Universidad de Carabobo, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6998-0619>

Email: isabelterife@gmail.com

Mariangel Sánchez Neira Ingeniero Industrial, Universidad de Carabobo, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8692-2308>

Email: marisanchez1506@gmail.com

Recibido: 30-03-2025

Aceptado: 29-06-2025