

**UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**

TESIS

Evaluación técnica de los evaporadores de múltiple efecto de la empresa Azucarera del
Norte S.A.C. – 2019

PRESENTADO POR:

OROPESA LOLI, Maryceli

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL EN INGENIERÍA QUÍMICA

ASESOR:

M(o). Jhon Herbert Obispo Gavino

Registro CIP 68007

HUACHO - 2021

The logo of the Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrion is a circular emblem. It features a central figure, possibly a coat of arms or a symbolic representation, surrounded by a blue border. The text "UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN" is written in a circular path around the top and sides, and "HUACHO" is at the bottom. The entire logo is rendered in a light, semi-transparent style.

DEDICATORIA

A mis padres Estela y Eduardo por su apoyo constante quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación. Gracias a su esfuerzo y motivación me han sabido guiar hasta cumplir una de mis metas soñadas. A ellos todo mi amor, respeto y admiración.

Maryceli Oropesa Loli

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento y gratitud a Dios por estar siempre conmigo y ser mi mejor guía, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas.

A mi hermana Dulce por llenarme de alegría día tras día, ya que ella es una de mis mejores motivaciones para seguir adelante.

A mi linda familia por haber sido mi apoyo y sustento durante todo este tiempo.

A mis docentes de la Carrera Profesional de Ingeniería Química y a mi asesor de tesis Jhon Herbert Obispo Gavino, quien con su conocimiento motivaron a desarrollarme profesionalmente.

Agradecer a la Jefa de Laboratorio Susy Santamaría por las facilidades brindadas.

Maryceli Oropesa Loli

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN.....	xv
CAPITULO I.....	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.1 Descripción de la realidad problemática	17
1.2 Formulación del problema.....	19
1.2.1 Problema general.....	19
1.2.2 Problemas específicos	19
1.3 Objetivos de la investigación.....	19
1.3.1 Objetivo general	19
1.3.2 Objetivos específicos.....	19
1.4 Justificación de la investigación.....	20
1.4.1 Justificación teórica.....	20
1.4.2 Justificación práctica	20
1.4.3 Justificación legal.....	20
1.4.4 Justificación metodológica.....	20

1.5	Delimitaciones del estudio.....	21
1.5.1	Delimitación espacial	21
1.5.2	Delimitación temporal.....	21
1.5.3	Delimitación teórica	21
1.6	Viabilidad del estudio.....	21
1.6.1	Viabilidad técnica.....	21
1.6.2	Viabilidad ambiental	21
1.6.3	Viabilidad financiera	22
1.6.4	Viabilidad social.....	22
CAPITULO II.....		23
MARCO TEÓRICO		23
2.1	Antecedentes de la investigación.....	23
2.1.1	Investigaciones internacionales.....	23
2.1.2	Investigaciones nacionales	25
2.2	Bases teóricas	27
2.2.1	Evaporadores de múltiple efecto	27
2.2.1.1	Objeto de la evaporación	27
2.2.1.2	Funcionamiento de los evaporadores	28
2.2.1.3	Cálculos en evaporadores de múltiple efecto	29
2.2.1.4	Componentes de un evaporador de múltiple efecto.....	31
2.2.1.5	Parámetros recomendadas en evaporadores de multiple efecto	35
2.2.1.6	Controles en la operación de evaporadores de múltiple efecto	37
2.2.1.7	Problemas comunes en la evaporación.....	41
2.3	Bases filosóficas	43
2.4	Definición de términos básicos.....	44

2.5	Hipótesis de investigación	46
2.5.1	Hipótesis general	46
2.5.2	Hipótesis específicas	46
2.6	Operacionalización de las variables	46
CAPITULO III		49
METODOLOGÍA.....		49
3.1	Diseño metodológico.....	49
3.1.1	Tipo de investigación	49
3.1.2	Nivel de investigación.....	50
3.1.3	Diseño.....	50
3.1.4	Enfoque	51
3.2	Población y muestra.....	51
3.2.1	Población.....	51
3.2.2	Muestra.....	51
3.3	Técnicas de recolección de datos.....	52
3.3.1	Técnicas a emplear	52
3.3.2	Descripción de los instrumentos	52
3.4	Técnicas para el procesamiento de la información.....	53
CAPITULO IV		54
RESULTADOS		54
4.1	Análisis de resultados	54
4.1.1	Dimensionamiento y accesorios en los evaporadores	54
4.1.1.1	Cuerpo del evaporador.....	54
4.1.1.2	Calandria del evaporador.....	55
4.1.1.3	Aislamiento y transferencia de calor	55

4.1.1.4	Accesorios	57
4.1.2	Condiciones de operación	58
4.1.2.1	Vapor al primer evaporador.....	58
4.1.2.2	Vacío en el último evaporador.....	60
4.1.2.3	Jugo Clarificado.....	62
4.1.2.4	Jarabe	64
4.1.2.5	Agua evaporada	66
4.1.2.6	Material en la calandria	67
4.1.2.7	Análisis de condensado	69
4.1.2.8	Superficie de calefacción.....	70
4.1.2.9	Inversión de la sacarosa.....	71
4.1.3	Evaluación técnica de los evaporadores múltiple efecto.....	76
4.1.3.1	Vapor	76
4.1.3.2	Jugo/jarabe.....	76
4.1.3.3	Agua evaporada	77
4.1.3.4	Evaporador.....	77
4.2	Contrastación de hipótesis	77
4.2.1	Contraste de la temperatura de vapor de calefacción al primer evaporador	78
4.2.2	Contraste de la temperatura de vacío del último evaporador	80
4.2.3	Contraste del Brix del jugo clarificado alimentado al evaporador.....	81
4.2.4	Contraste del Brix del jarabe producido en el evaporador	83
4.2.5	Contraste del nivel de material en la calandria de los evaporadores.....	85
4.2.6	Contraste del pH de los materiales en la calandria de los evaporadores.....	87
4.2.7	Contraste del porcentaje de agua evaporada en los evaporadores	89
4.2.8	Contraste del porcentaje de área de calefacción utilizada de los evaporadores	91

CAPITULO V.....	95
DISCUSIÓN.....	95
5.1 Discusión.....	95
CAPITULO VI.....	99
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	99
6.1 Conclusiones.....	99
6.2 Recomendaciones.....	99
CAPITULO VII.....	102
REFERENCIAS.....	102
7.1 Fuentes documentales.....	102
7.2 Fuentes bibliográficas.....	104
7.3 Fuentes hemerográficas.....	105
7.4 Fuentes electrónicas.....	105
ANEXOS.....	107



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Sistema de evaporación súbita del condensado.....	29
<i>Figura 2.</i> Vaso evaporador.....	32
<i>Figura 3.</i> Disposición de los tubos.....	34
<i>Figura 4.</i> Variación del coeficiente de transferencia de calor.....	38
<i>Figura 5.</i> Tipos de trampa de vapor.	40
<i>Figura 6.</i> Sifón	41
<i>Figura 7.</i> Coeficiente de transferencia de calor por evaporadores.....	56
<i>Figura 8.</i> Variación de presión de vapor saturado alimentado al primer evaporador.....	59
<i>Figura 9.</i> Variación de temperatura del vapor saturado alimentado al primer evaporador.....	59
<i>Figura 10.</i> Variación de presión de vacío en el último evaporador.	61
<i>Figura 11.</i> Variación de temperatura de vacío en el último evaporador.....	61
<i>Figura 12.</i> Variación del Brix del jugo clarificado alimentado al evaporador.....	63
<i>Figura 13.</i> Variación de pureza del jugo clarificado alimentado al evaporador.....	63
<i>Figura 14.</i> Variación del Brix del jarabe producido en los evaporadores.....	65
<i>Figura 15.</i> Variación de pureza del jarabe producido en los evaporadores.....	65
<i>Figura 16.</i> Porcentaje de contribución en la evaporación por cada evaporador.....	66
<i>Figura 17.</i> Velocidad del vapor vegetal promedio en los cuerpos de evaporadores.....	67
<i>Figura 18.</i> Variación del nivel de jugo y/o jarabe respecto a la calandria.....	68
<i>Figura 19.</i> Porcentaje de utilización del área de calefacción en los evaporadores.....	70
<i>Figura 20.</i> Distribución de alturas del jugo en las calandrias.....	71
<i>Figura 21.</i> Distribución volumen del material en los evaporadores.....	72
<i>Figura 22.</i> Distribución del tiempo de retención en los evaporadores.....	73
<i>Figura 23.</i> Distribución de pH en los evaporadores.....	74
<i>Figura 24.</i> Distribución de pérdidas de inversión de sacarosa en los evaporadores.....	75

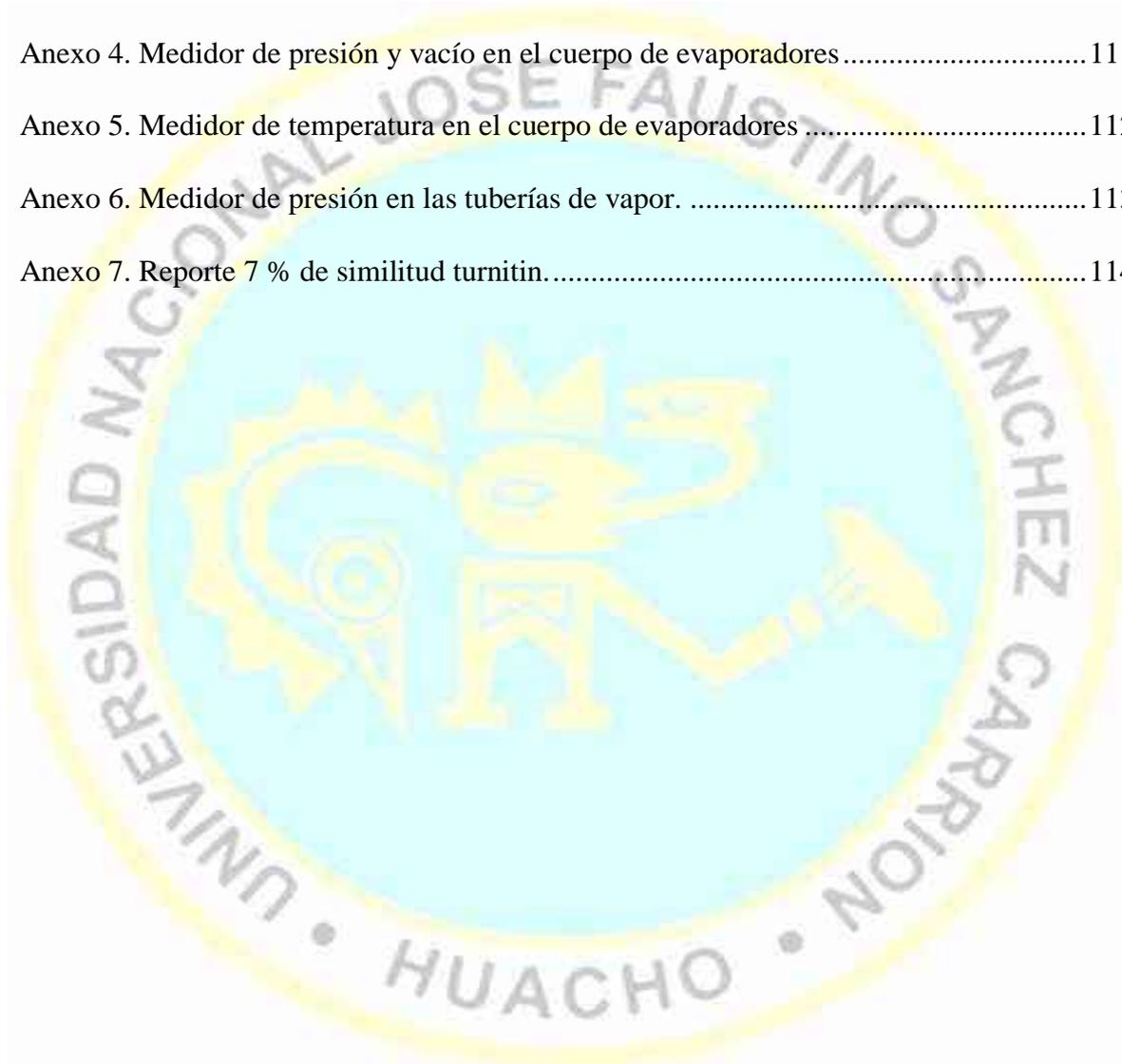
ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Distribución de la caída de presión entre los cuerpos de evaporadores	39
Tabla 2 Operacionalización de variables	47
Tabla 3 Altura y diámetro del cuerpo de los evaporadores de múltiple efecto	54
Tabla 4 Dimensiones de las calandrias de los evaporadores de múltiple efecto	55
Tabla 5 Coeficiente global de transferencia de calor en cada evaporador	56
Tabla 6 Accesorios instalados en los evaporadores	57
Tabla 7 Presión y temperatura del vapor alimentado al primer evaporador.....	58
Tabla 8 Presión de vacío y temperatura de vapor en el último evaporador.....	60
Tabla 9 Brix y pureza del jugo clarificado	62
Tabla 10 Brix y pureza del jarabe.....	64
Tabla 11 Agua evaporada en cada evaporador del múltiple efecto.....	66
Tabla 12 Nivel de jugo y/o jarabe porcentual respecto a la calandria.....	68
Tabla 13 Arrastre de azúcar en los evaporadores	69
Tabla 14 Superficie de calefacción y área utilizada de los evaporadores	70
Tabla 15 Altura del jugo en la calandria de los evaporadores.....	71
Tabla 16 Volumen del material en los evaporadores	72
Tabla 17 Tiempo de retención jugo/jarabe en evaporadores.....	73
Tabla 18 Medición de pH en los evaporadores	74
Tabla 19 Porcentaje de inversión de sacarosa en los evaporadores	75
Tabla 20 Evaluación de la temperatura del vapor en el evaporador.....	76
Tabla 21 Evaluación del material en el jugo y jarabe en el evaporador.....	76
Tabla 22 Evaluación del agua evaporada en el evaporador.....	77
Tabla 23 Evaluación del área de calefacción utilizada por del evaporador.....	77

Tabla 24 Estadística descriptiva temperatura del primer evaporador	78
Tabla 25 Prueba de normalidad de la temperatura del primer evaporador.....	79
Tabla 26 Prueba de T Student para temperatura de vapor al primer evaporador	79
Tabla 27 Estadística descriptiva de temperatura de vacío último evaporador	80
Tabla 28 Prueba de normalidad de la temperatura de vacío último evaporador	80
Tabla 29 Prueba de T Student para temperatura de vapor del vacío último evaporador.....	81
Tabla 30 Estadística descriptiva Brix de jugo clarificado	82
Tabla 31 Prueba de normalidad del Brix de jugo clarificado	82
Tabla 32 Prueba de T Student para el Brix de jugo clarificado.....	83
Tabla 33 Estadística descriptiva para Brix del jarabe	84
Tabla 34 Prueba de normalidad de los análisis del Brix del jarabe.....	84
Tabla 35 Prueba de T Student para el Brix del jarabe	85
Tabla 36 Estadística descriptiva para nivel de material en los evaporadores.....	86
Tabla 37 Prueba de normalidad de los niveles de material en los evaporadores.....	86
Tabla 38 Prueba de T Student para el nivel de material en los evaporadores	87
Tabla 39 Estadística descriptiva del pH de materiales en la calandria de evaporadores.....	88
Tabla 40 Prueba de normalidad del pH de materiales en la calandria de evaporadores.....	88
Tabla 41 Prueba de T Student para el pH de materiales en la calandria de evaporadores ..	89
Tabla 42 Estadística descriptiva del agua evaporada en el múltiple efecto.....	90
Tabla 43 Prueba de normalidad del agua evaporada en el múltiple efecto	90
Tabla 44 Prueba de T Student para el agua evaporada en el múltiple efecto	91
Tabla 45 Estadística descriptiva el uso de áreas de calefacción evaporadores	92
Tabla 46 Prueba de normalidad del uso de áreas de calefacción de evaporadores	92
Tabla 47 Prueba de T Student para el uso de áreas de calefacción en evaporadores.....	93

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1: Matriz de consistencia	108
Anexo 2. Vista desde el último evaporador	109
Anexo 3. Vista desde el primer evaporador	110
Anexo 4. Medidor de presión y vacío en el cuerpo de evaporadores	111
Anexo 5. Medidor de temperatura en el cuerpo de evaporadores	112
Anexo 6. Medidor de presión en las tuberías de vapor.	113
Anexo 7. Reporte 7 % de similitud turnitin.....	114



Evaluación técnica de los evaporadores de múltiple efecto de la empresa Azucarera del Norte S.A.C. – 2019

Maryceli Oropesa Loli ¹

RESUMEN

Objetivo: Realizar la evaluación técnica de los evaporadores de múltiple efecto de la Empresa Azucarera del Norte S.A.C. **Métodos:** Se estudia al equipo evaporador de múltiple efecto, de tipo observacional, retrospectivo y longitudinal, con diseño de investigación no experimental longitudinal de panel, con enfoque mixto y como variables el análisis de evaporadores del múltiple efecto y su evaluación técnica. Se recolectaron los datos con la técnica documental y observacional. Se utilizó la estadística descriptiva y la prueba T de Student de muestra única a una significancia del 5 %, en base a los estándares fijados por información especializada. **Resultados:** Se dimensiona el cuerpo y calandria, encontrándose un aislamiento y accesorios adecuados para el control del proceso. En promedio, el vapor alimentado está a 121,80 °C, el vapor del vacío final 60,0 °C, jugo clarificado 15,79 °Brix, jarabe 59,65 °Brix, agua evaporada 73,47 %, nivel de jugo calandria 33,91 %, pH 6,89, trazas de azúcar en el condensado del cuarto evaporador, porcentaje de evaporación 71,50 %, inversión de sacarosa 0,0040 %. Se contrasta que la temperatura del vapor es menor a 125 °C, la temperatura de vacío supera 55 °C, el jugo clarificado supera 15 °Brix, el jarabe es inferior a 65 °Brix, el material en el evaporador supera los 33 % de la calandria, el pH supera 6,5, la inversión de sacarosa supera el estándar en cada evaporador, porcentaje de agua evaporada inferior a 75 %, existencia de trazas de azúcar en condensados, el área utilizada es inferior a su capacidad instalada. **Conclusiones:** El dimensionamiento del cuerpo, la calandria y sus accesorios están calculados e instalados convenientemente, la que garantiza un adecuado control en la operación del evaporador de múltiple efecto. La mayoría de los parámetros evaluados evidencian diferencias mínimas respecto a los estándares considerados, situación que debe evaluarse en el sacrificio de la eficiencia para incrementar la producción.

Palabras clave: Evaporador, jugo clarificado, jarabe, arrastres, vapor vegetal.

¹ Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, email: maryorope27@hotmail.com

Technical evaluation of multiple effect evaporators of the Company Azucarera del Norte S.A.C. - 2019

Maryceli Oropesa Loli ¹

ABSTRACT

Objective: To carry out the technical evaluation of the multiple effect evaporators of Empresa Azucarera del Norte S.A.C. **Methods:** The observational, retrospective and longitudinal multiple effect evaporator equipment is studied, with a non-experimental longitudinal panel research design, with a mixed approach and the analysis of multiple effect evaporators and their technical evaluation as variables. The data were collected with the documentary and observational technique. Descriptive statistics and the single sample Student's t test were used at a significance level of 5%, based on the standards set by specialized information. **Results:** The body and calender are dimensioned, finding adequate insulation and accessories to control the process. On average, the steam fed is 121.80 ° C, the final vacuum steam 60.0 ° C, clarified juice 15.79 ° Brix, syrup 59.65 ° Brix, evaporated water 73.47%, juice level calender 33.91%, pH 6.89, traces of sugar in the condensate of the fourth evaporator, evaporation percentage 71.50%, sucrose inversion 0.0040%. It is contrasted that the steam temperature is less than 125 ° C, the vacuum temperature exceeds 55 ° C, the clarified juice exceeds 15 ° Brix, the syrup is less than 65 ° Brix, the material in the evaporator exceeds 33% of the calender, the pH exceeds 6.5, the sucrose investment exceeds the standard in each evaporator, the percentage of evaporated water is less than 75%, the existence of traces of sugar in condensates, the area used is less than its installed capacity. **Conclusions:** The sizing of the body, the calender and its accessories are calculated and installed suitably, which guarantees an adequate control in the operation of the multiple effect evaporator. Most of the parameters evaluated show minimal differences with respect to the standards considered, a situation that must be evaluated in the sacrifice of efficiency to increase production.

Keywords: Evaporator, clarified juice, syrup, drag, vegetable steam.

¹ Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, email: maryorope27@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

El estudio denominado *Evaluación técnica de los evaporadores de múltiple efecto de la empresa Azucarera del Norte S.A.C. – 2019*, tuvo como objetivo la recopilación de datos técnicos de los evaporadores de múltiple efecto, para identificar las condiciones de operación para su posterior evaluación técnica de los evaporadores de múltiple efecto en base a los estándares recomendados para las plantas de proceso en los ingenios azucareros, a partir de la caña de azúcar.

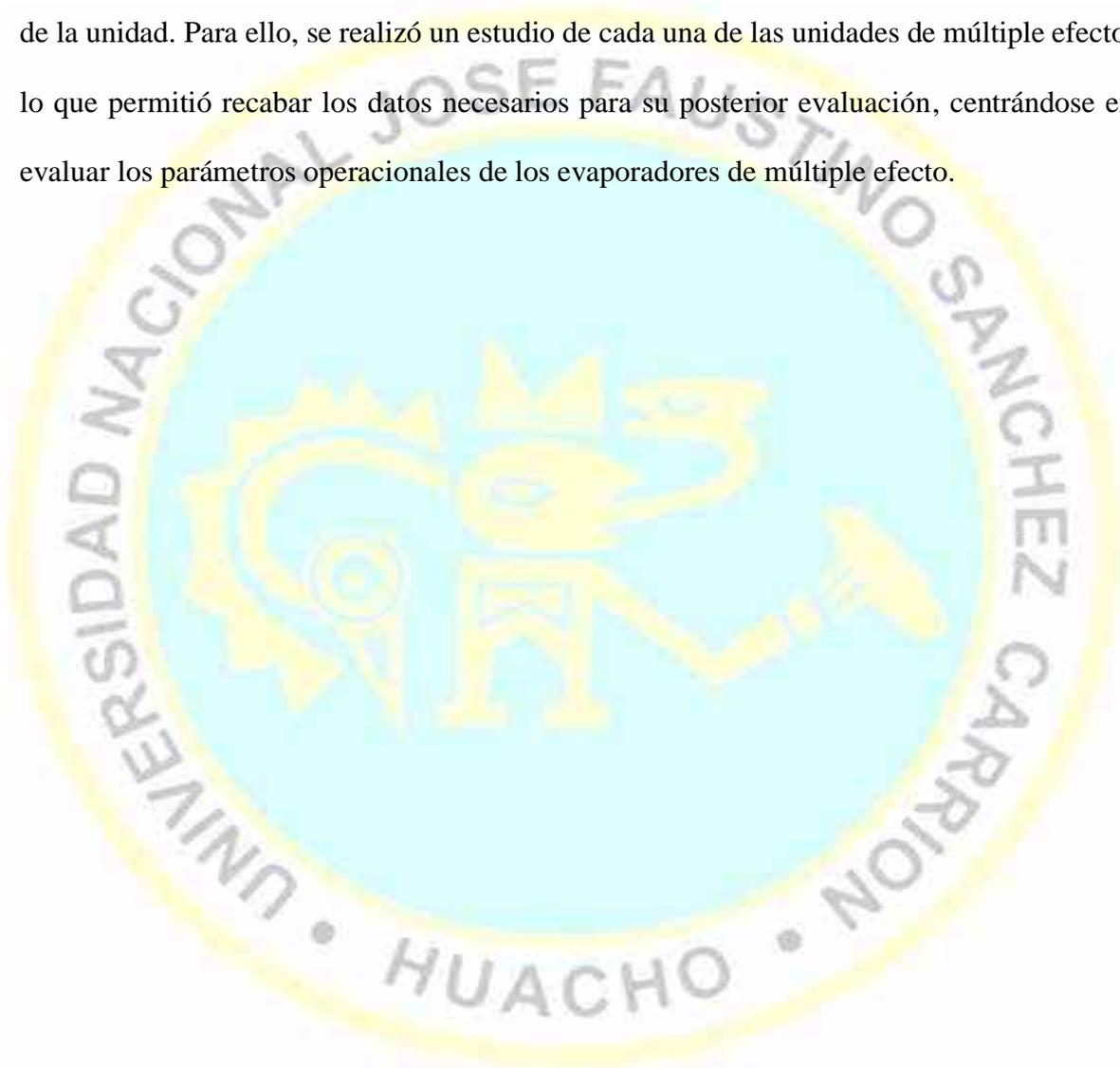
Las empresas azucareras, comúnmente llamados ingenios azucareros desde sus inicios han utilizado bagazo como combustible en la generación de energía térmica en las calderas para la producción de vapor y ser utilizado en sus diferentes unidades de procesos, situación que los hace autosuficientes energéticamente. La autosuficiencia energética en los ingenios azucareros se ve comprometida principalmente por el nivel de eficiencia en los procesos y su grado de automatización. Situación, que se agrava en empresas azucareras de baja capacidad de molienda.

En la empresa, el bagazo utilizado como combustible son quemados en dos calderas acuatubulares para generar vapor saturado para ser distribuido a todas las unidades calefactoras de fábrica (calentadores de jugo encalado, calentador de jugo clarificado, evaporadores, vacuumpanes, centrífugas, secador y otros de menor consumo). Con el vapor desde las calderas, se distribuye la energía térmica de calefacción hacia los diferentes equipos como los evaporadores de múltiple efecto, siendo estos los mayores consumidores de vapor en las empresas azucareras.

El proceso de concentración del jugo clarificado hasta jarabe, se realiza en los evaporadores de múltiple efecto, las cuales tienen la función de eliminar la mayor cantidad de agua del jugo alimentado y de esta manera no sobrecargar las estaciones de cocimiento

con materiales de bajo °Brix (sólidos solubles). De ahí que se considera el mayor consumidor de energía térmica.

En tal sentido, es importante el control y operación eficiente de esta unidad para garantizar la capacidad de producción diaria del ingenio. Por lo que se realizó la evaluación técnica del evaporador múltiple efecto en la búsqueda de mejoras en el control y operación de la unidad. Para ello, se realizó un estudio de cada una de las unidades de múltiple efecto, lo que permitió recabar los datos necesarios para su posterior evaluación, centrándose en evaluar los parámetros operacionales de los evaporadores de múltiple efecto.



CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

El consumo de energía en el mundo según Global Energy (2018), los combustibles fósiles representan un 70 % del consumo de energía, siendo la tendencia el incremento del uso de energías renovables, que representaron en energía eólica 36 %, solar 27 % hidroeléctrica 22 % y otras fuentes (etanol y biomasa) 12 %. Se ha incrementado un 6 % anual el consumo de energías renovables con referencia al año anterior (párr. 2).

Asimismo, la Agencia Internacional de Energía (2018) reporta los cambios crecientes en el consumo de energía a nivel mundial, considerando que puede llegar a incrementarse en un 25 % para el año 2040, considerando que podría ser mayor y oscilar en un 50 % de no haberse mejorado en el consumo energético, garantizando la sostenibilidad del recurso (p. 2).

Según Hugot (1984), la estación de evaporadores en los ingenios azucareros son las que manejan la mayor cantidad de calorías (p. 346). De ahí, que es muy importante evaluar su operación en la búsqueda de parámetros óptimos de eficiencia, en consecuencia, esto traerá un ahorro de energía significativa en estas unidades, repercutiendo directamente en la economía global de la empresa.

En el Perú, existen más de diez empresas azucareras de diferentes capacidades de molienda, cada una de ellas con diferencias marcadas en eficiencia energética. En la Ciudad de Chiclayo, se encuentra ubicada la empresa Azucarera del Norte S.A.C. (ANORSAC) en

el distrito de Pícsi, zona netamente agrícola. En la empresa se tiene la estación de evaporadores de cuádruple efecto en su proceso de fábrica, que se hace necesario analizar en cuanto a la operación, parámetros, automatización, plan de ahorro y consumo de energía térmica.

Las causas de baja eficiencia de funcionamiento de los evaporadores son diversas, entre ellas se puede mencionar la preparación técnica de los operarios, condiciones de aislamiento, métodos de operación y control, contabilización y registro de los parámetros de operación de los evaporadores de múltiple efecto. A pesar que en el lugar se presenta en la mayor parte del año condiciones favorables de clima, en tiempos de lluvia se incrementan las pérdidas de energía térmica por enfriamiento.

La operación ineficiente en la estación de evaporadores, traería consecuencias desfavorables para la empresa, entre ellas, el alto consumo energético, lo que ocasionaría una menor capacidad de molienda y reducción de la extracción por caída en la disponibilidad del bagazo utilizado como combustible en la generación de vapor. Por tanto, se tendría un consumo excesivo e innecesario de bagazo, reduciendo su disponibilidad para su uso en el incremento de la capacidad o eficiencia fabril.

En tal sentido, se estudia la mejora en el principal consumidor de energía térmica en la empresa, la estación de evaporadores de múltiple efecto, mejoras que podrían reducir la quema de combustible y generar una venta de bagazo excedente, mejorando el ingreso de la empresa. En tal sentido, se realizó la evaluación técnica de los evaporadores de múltiple efecto de la empresa ANORSAC, como base para la planificación de acciones de mejora en eficiencia energética.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo se encuentra operando técnicamente los evaporadores de múltiple efecto de la empresa ANORSAC?

1.2.2 Problemas específicos

¿Cuáles son las dimensiones y accesorios instalados en los evaporadores de múltiple efecto de la empresa ANORSAC?

¿En qué condiciones se encuentran operando los evaporadores de múltiple efecto de la empresa ANORSAC?

¿Cómo se está operando los evaporadores de múltiple efecto en la empresa ANORSAC?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Realizar la evaluación técnica de los evaporadores de múltiple efecto de la empresa ANORSAC.

1.3.2 Objetivos específicos

Realizar el acopio de datos técnicos de dimensionamiento y accesorios instalados en los evaporadores de múltiple efecto de la empresa ANORSAC.

Identificar las condiciones de operación de los evaporadores de múltiple efecto de la empresa ANORSAC.

Realizar la evaluación técnica de los parámetros de operación de los evaporadores de múltiple efecto de la empresa ANORSAC.

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación teórica

El estudio brindará un procedimiento para la evaluación técnica del funcionamiento de los evaporadores de múltiple efecto, contribuyendo a las bases teóricas relacionadas a esta línea de investigación. Además, desarrolla en base a conocimientos existentes en la industria azucarera, información adicional, que amplió el conocimiento sobre los evaporadores de múltiple efecto, sirviendo de soporte bibliográfico para otros trabajos de investigación.

1.4.2 Justificación práctica

El estudio permitirá identificar los parámetros técnicos de operación de los evaporadores de múltiple efecto, para una evaluación dentro de la empresa. Asimismo, para ser referenciado en otras investigaciones similares por la metodología de evaluación de los parámetros operacionales de las unidades térmicas, mejorando el desempeño de los operarios y personal técnico incrementando su competitividad.

1.4.3 Justificación legal

Se realiza el estudio con el fin de aplicar conocimientos de ingeniería para la obtención de mi grado, alcanzando así un requisito para mi desarrollo profesional de acuerdo a la normativa dispuesta por la universidad.

1.4.4 Justificación metodológica

El estudio presenta una metodología para la evaluación de evaporadores de múltiple efecto en la industria azucarera, pudiendo ser mejorados de acuerdo a la necesidad y profundidad en los objetivos planteados. Se contará con una metodología de mejora con un control estadístico del proceso de evaporación, para determinar si un parámetro de operación en particular se encuentra controlado significativamente.

1.5 Delimitaciones del estudio

1.5.1 Delimitación espacial

- Lugar : km 12,6 de la carretera Chiclayo – Ferreñafe.
- Distrito : Picsi.
- Provincia : Chiclayo.
- Departamento : La Libertad.

1.5.2 Delimitación temporal

Año : 2018

1.5.3 Delimitación teórica

El estudio se realiza en los evaporadores de cuádruple efecto, con un sistema de calandria y cuerpo en cada unidad de evaporación. Se estudia parámetros del vapor, jugo clarificado, jarabe, agua evaporada, nivel de jugo calandria, pH de los materiales, trazas de azúcar en el condensado, porcentaje de evaporación e inversión de sacarosa.

1.6 Viabilidad del estudio

1.6.1 Viabilidad técnica

Se dispone de personal calificado, el asesor e investigador que tienen la experiencia en el sector azucarero de nuestro país. Asimismo, se dispone de material y fuentes bibliográficas especializadas sobre azúcar rubia desde la caña de azúcar. Encontrándose en ellos los parámetros y estándares de operación de evaporadores de múltiple efecto para su evaluación.

1.6.2 Viabilidad ambiental

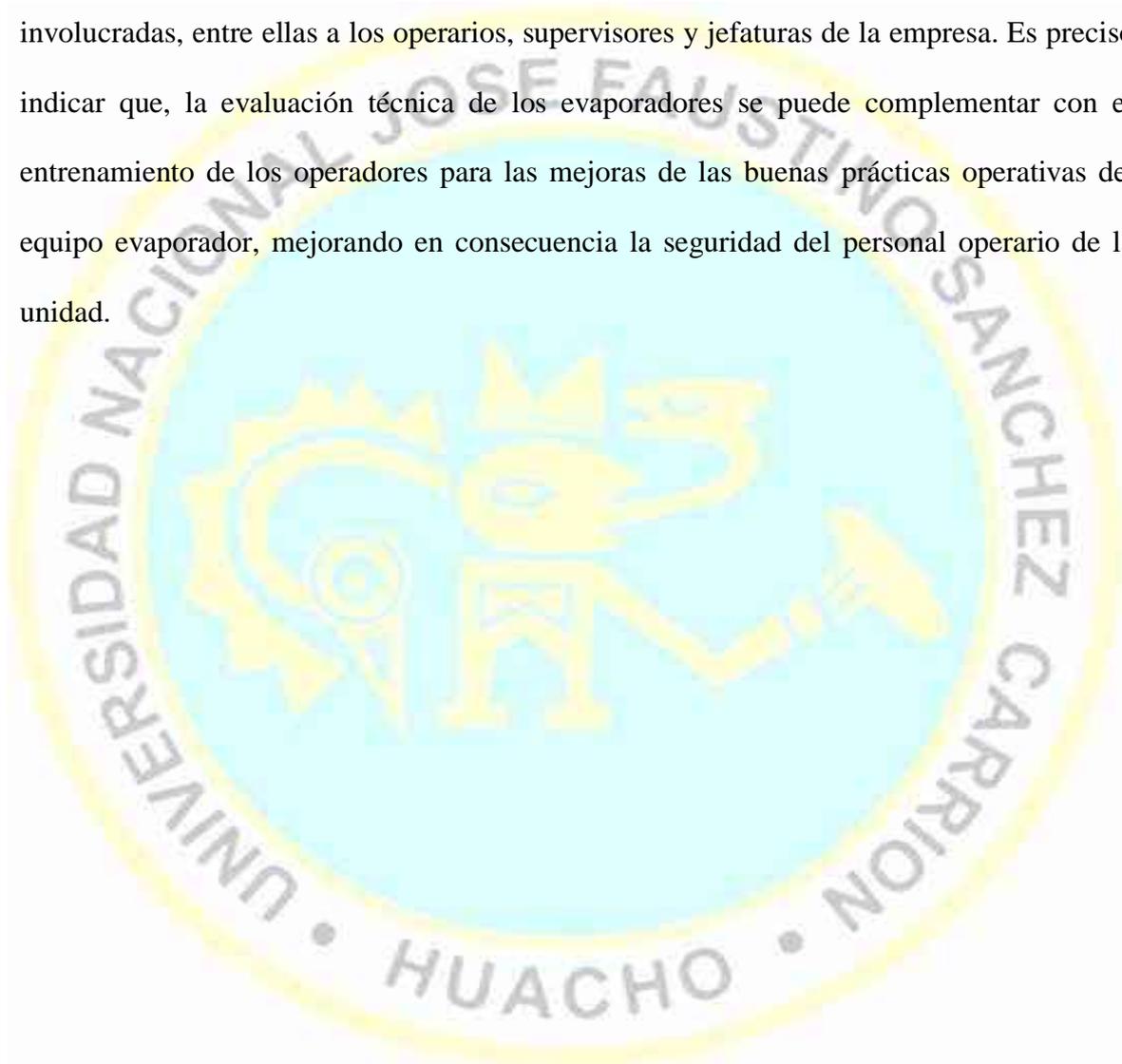
En la ejecución del estudio, por la naturaleza del acopio de datos no se genera impactos negativos al medio ambiente y en general hacia la empresa. En consecuencia, se recaban datos operativos de los evaporadores tal como se están presentando bajo la técnica de observación.

1.6.3 Viabilidad financiera

El estudio para las diferentes fases del estudio se encuentra plenamente garantizado por el investigador.

1.6.4 Viabilidad social

El estudio es viable, considerando que no afecta la integridad física de las personas involucradas, entre ellas a los operarios, supervisores y jefaturas de la empresa. Es preciso indicar que, la evaluación técnica de los evaporadores se puede complementar con el entrenamiento de los operadores para las mejoras de las buenas prácticas operativas del equipo evaporador, mejorando en consecuencia la seguridad del personal operario de la unidad.



CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Investigaciones internacionales

Pantoja y Acuña (2019), Universidad Estatal de Milagro, Ecuador, realizó un trabajo titulado: *“Diseño de un sistema de control para los evaporadores de una industria azucarera”*, entre sus objetivos plantearon mejorar la concentración del producto final, selección apropiada de dispositivos de control de la estación de los evaporadores y un control eficaz del nivel de los evaporadores. Llegaron a concluir que la implementación de modelos de control en los evaporadores es muy importante para las industrias azucareras en la optimización del proceso y la materia prima. El modelo incluye ecuaciones de transferencia de calor para el múltiple efecto y los eyectores de chorro de vapor para optimizar el proceso de evaporación.

Quinteros (2019), Pontificia Universidad Javeriana, Colombia, en su estudio: *“Evaluación de la eficiencia energética en el área de elaboración de un ingenio azucarero”*, entre sus objetivos realiza la simulación con un software, determinando los puntos de menor eficiencia energética en el área de elaboración. Llegó a concluir que a través del software predijo apropiadamente el comportamiento del proceso y sugiere su aplicación en otras operaciones y procesos. Indica que el mayor consumidor de energía térmica es el primer evaporador, seguida por el segundo y el quinto evaporador.

Ferrera (2017) de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, República Dominicana, realizó un estudio titulado: *“Evaluación e implementación de mejoras en el proceso de evaporación y mantenimiento de evaporadores del Consorcio Azucarero Central de Barahona”*, entre sus objetivos planteó la mejora de la eficiencia en los grados °Brix de la meladura con la documentación de los cambios de °Brix del jugo clarificado y jarabe. Indica que realizaron la sustitución de válvulas, tuberías de material, tuberías de calandrias de evaporadores y mejoras para la operación con colores e identificación en las tuberías y mejoras en el control del proceso como manómetros y visores. Concluye que logró mejorar de 58 °Brix a 64 y 65 °Brix en la meladura, mejorando el manejo en la preparación de las masas cocidas en los tachos.

Quesada (2016), Universidad de Costa Rica, República de Costa Rica, en su informe de investigación titulada *“Simulación de un sistema de evaporación de múltiple efecto”*, tuvo como objetivo realizar la simulación para aumentar la concentración de los sólidos en la estación de evaporadores para un ahorro de vapor. Identificó la calidad del jugo clarificado alimentado a los evaporadores de cuádruple efecto en 107 °C y a 12,47 °Brix, reportando en el jarabe 53 °Brix. Evaluando las áreas de calefacción de los evaporadores obtuvo diferencias con las teóricas menores al 10 % para los tres primeros cuerpos y un 36 % para el cuarto evaporador, diseñando un evaporación de quíntuple efecto. Concluye sobre trabajar con los valores óptimos en cada efecto para obtener las áreas calculadas del sistema de evaporación.

López (2016), Universidad Nacional de Colombia. Colombia, en su estudio titulado: *“Evaluación técnica y económica de la implementación de un sistema de evaporación de múltiple efecto en los procesos productivos de la panela”*, entre sus objetivos fue determinar los requerimientos energéticos de las corrientes de proceso y servicios. Indica que por kilogramo de panela se consume 2,07 kg de vapor. Concluye que se obtiene menores

consumos en una planta con evaporación con múltiple efecto respecto a otras tecnologías. Asimismo, manifiestan que a través de los balances de materia, energía y conjuntamente con las leyes de transferencia de calor, modeló el dimensionamiento de la evaporación de múltiple efecto.

Araya (2015), Universidad de Costa Rica, República de Costa Rica, realizó un estudio denominado: “Evaluación del sistema de evaporación para la elaboración de azúcar en el ingenio de la Central azucarera Tempisque (CATSA)”, tuvo como objetivo realizar una evaluación para hallar las deficiencias que existen, informando que el jugo clarificado que ingresa al primer evaporador fue de 16,60 °Brix y concentrando a 68,76 °Brix en el último evaporador, obtiene los coeficientes globales de transferencia de calor en el primer y último evaporador 0,103 y 0,460 KW/m²K respectivamente. Concluye que se debe colocar aislante en todas las tuberías, equipos para mejorar y aumentar la eficiencia de los evaporadores y la existencia de exceso consumo de vapor y pérdidas de calor y presión.

2.1.2 Investigaciones nacionales

Garro (2019), Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, en su estudio: “Desarrollo de un simulador con Microsoft Excel par el diseño y evaluación de evaporadores de múltiple efecto en la industria azucarera”, tuvo entre sus objetivos la identificación de parámetros operacionales y técnicos del evaporador a través de la simulación. Identificó parámetros de operación en el material: flujo másico, °Brix, temperatura y pureza; en el vapor: flujo másico, presión y temperatura. Asimismo, identifica parámetros de dimensionamiento en los evaporadores como la pérdida de energía térmica, diámetro y altura del cuerpo, tubo central de la calandria, cantidad y altura de tubos de calefacción. Obteniendo en el simulador importantes parámetros de diseño, para el vapor su velocidad, para la calefacción su área, para la velocidad de evaporación su flux, para la

transferencia de calor su coeficiente, porcentaje de utilización de área, volumen y tiempo de retención del material en la calandria de cada evaporador.

Perez (2019), Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho realizó el estudio titulado: *“Análisis del consumo de vapor a diferentes configuraciones de funcionamiento de los evaporadores de cuádruple efecto en la industria azucarera”*, entre sus objetivos pudo determinar desde un punto de vista técnico las configuraciones viables de funcionamiento de los evaporadores con sus tomas de vapor hacia los calentadores y vacumpanes. Determinando que el porcentaje de consumo de vapor respecto a la caña limpia varía entre 29,79 % a 45,32 %, indicando que el consumo de vapor es menor en las configuraciones donde utilizan en su mayor parte vapor vegetal del tercer evaporador, seguidamente del segundo y del primer evaporador del cuádruple efecto.

Gamarra y Jave (2016), Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, en su estudio titulado: *“Análisis de pérdida de tiempo y sacarosa en el proceso de evaporación en agroindustrial Laredo S.A.A, desde marzo hasta agosto del 2015”*, analizaron el tiempo perdido y reducción de sacarosa en los evaporadores. Reporta para el jarabe 64,39 °Brix en promedio, con temperatura de vapor saturado alimentado al evaporador de 119,84 °C y temperatura en el último evaporador de 56,20 °C. Concluyen que al ingreso del material al evaporador multiboiler la sacarosa disminuyó un 19,31 % y un tiempo perdido de 49,63 % por paradas.

Gómez (2014), Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, en su tesis: *“Modelamiento y simulación del sistema de evaporación de jugo clarificado para la etapa de ampliación de molienda de la Empresa Agroindustrial San Jacinto”*, tuvo como objetivo el desarrollo de un simulador para el quíntuple efecto de la empresa, en sus resultados para obtener el modelo matemático óptimo, utilizó para el jugo clarificado 14,50 °Brix y de jarabe 65 °Brix, como también la temperatura de entrada de 115,03 °C y para la salida de 55,79 °C.

Concluye que disminuye progresivamente el coeficiente de transferencia de energía térmica de acuerdo al aumento de la viscosidad del jugo. De acuerdo al calentamiento previo del jugo clarificado se obtienen una economía del 12 % del vapor de escape, reduciendo el uso de vapor desde 0,44 hasta 0,39 toneladas por toneladas de caña molida.

Joaquín y Márquez (2004), Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, en su tesis: *“Análisis de los parámetros de operación mediante modelamiento y simulación, del sistema de evaporadores de la empresa Agroindustrial Laredo S.A.A.”*, cuyo objetivo fue analizar la influencia de la variación de flujo y la concentración del material, el incremento del punto de ebullición, tiempo de residencia del material y el coeficiente de transferencia de calor, vapor vegetal utilizado, obteniendo en sus resultados un Brix en último evaporador de 64 °Brix, temperatura de saturación del agua de 116,74 y 68,29 °C en el primer y último evaporador respectivamente, con un coeficiente de 386 kcal/m².h.°C. en el último cuerpo. Concluye que si se aumenta el flujo de jugo clarificado este perjudicaría la concentración del material en el siguiente evaporador sin perjudicar al último evaporador por tener Brix final fijada, indicando que se encuentran en los parámetros óptimos.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Evaporadores de múltiple efecto

2.2.1.1 Objeto de la evaporación

Cada equipo instalado en un ingenio azucarero tiene una finalidad, si consideramos la parte de calidad es eliminar las impurezas físicas, químicas o microbiológicas. Asimismo, los evaporadores en los ingenios azucareros tienen una determinada función

Referente a ello, el objeto de la evaporación según Hugot (1984), indica que una vez eliminado la totalidad de componentes sólidos insolubles, el objeto es eliminar la mayor cantidad de agua del proceso (p. 345). Por consiguiente, la estación de evaporadores esta específicamente diseñada para eliminar del material en proceso la mayor cantidad de agua,

concentrando desde el jugo clarificado hasta jarabe para luego ser procesada en el área de cocimiento.

2.2.1.2 Funcionamiento de los evaporadores

En cuanto al funcionamiento de los evaporadores es necesario tener en cuenta que los fluidos como el agua presentan diferentes puntos de ebullición de acuerdo a la presión a la que se encuentran. Este principio lo aplicó Hugot (1984), quien argumenta que el vapor vegetal producido en un evaporador puede utilizarse para calentar el siguiente evaporador a consecuencia de que este vapor está a una temperatura superior a la tde ebullición del material en el siguiente evaporador (p. 347). En esta perspectiva, el vapor proveniente de los jugos, desde el primer hasta el penúltimo evaporador es utilizado para calentar jugos en las calandrias de los siguientes evaporadores, por la existencia de un diferencial de temperatura que posibilita su calentamiento.

Hay que mencionar, además, que las industrias tienden a mejorar permanentemente sus instalaciones, buscando y diseñando equipos seguros para el operario a cargo de ellos, las diferencias de temperatura entre evaporadores contiguos serán menores a un mayor número de cuerpos del múltiple efecto. Al respecto, Hugot (1984), expresa que la generación de vacío en las estaciones de evaporadores de múltiple efecto, tiene varias ventajas entre ellas el aumento de la gradiente total de temperatura entre el vapor y el vacío generado, así como, reducir la inversión de la sacarosa y una menor coloración del material por un trabajo a menores temperaturas (p. 347). Dentro de esta perspectiva, no es conveniente en la mayoría de las empresas aplicar el principio anterior en los evaporadores mayores al quíntuple efecto por la baja gradiente de temperatura entre el vapor del cuerpo anterior y el material a calentar en el evaporador subsiguiente, lo que conllevaría a aumentar su área de calefacción de las calandrias de los evaporadores, incrementando la inversión en un mayor tamaño de los evaporadores.

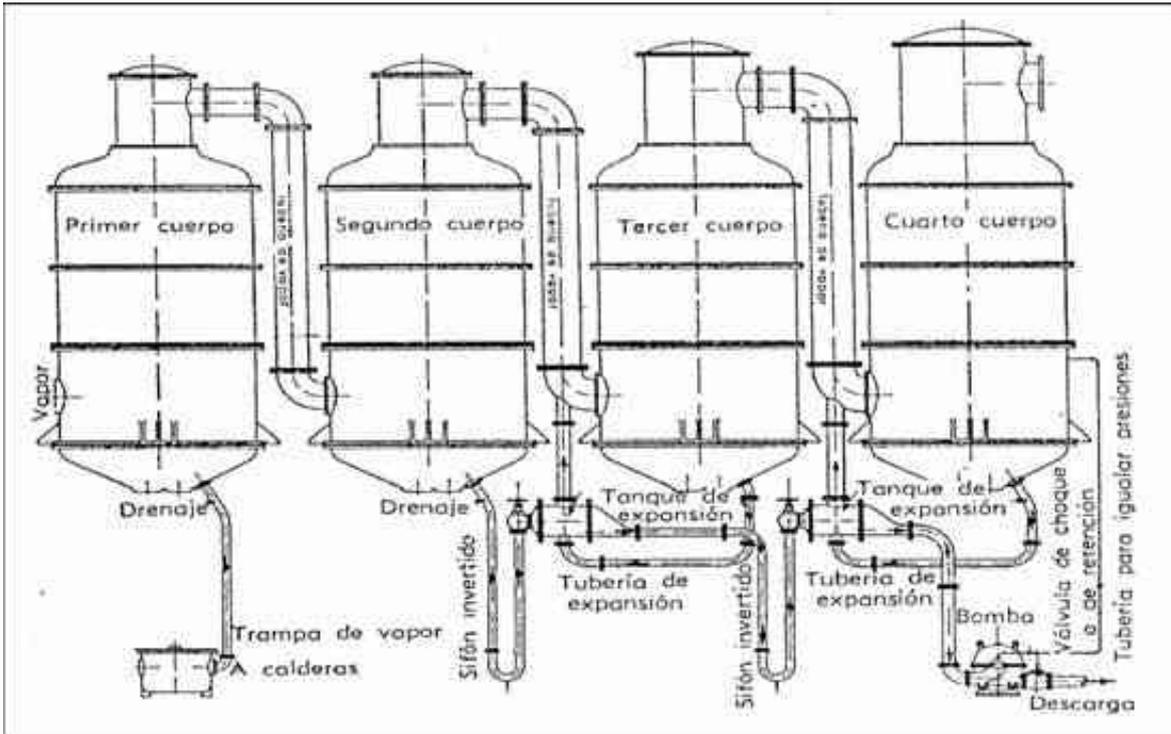


Figura 1. Sistema de evaporación súbita del condensado

Fuente: (Chen, 1997, p. 266).

2.2.1.3 Cálculos en evaporadores de múltiple efecto

Cantidad de agua a evaporar

Todas las unidades instaladas en un ingenio azucarero tienen una determinada finalidad, en la producción de azúcar el jugo de caña contiene materiales indeseables, como sólidos en suspensión y agua en exceso que se adiciona al proceso en las unidades de extracción conocido como molinos de caña. En ese sentido, tienen la finalidad de extraer la mayor cantidad de agua del jugo de caña previamente clarificado por lo que se hace necesario determinar la cantidad de agua evaporada y su eficiencia de remoción. Al respecto, Hugot (1984) facilita un balance de materiales en los evaporadores de múltiple efecto:

$$= - = (1 - \text{---})$$

Donde:

AE : Flujo másico de agua a evaporada.

JC : Flujo másico de jugo clarificado.

J : Flujo másico de jarabe.

Bjc : Brix del jugo clarificado.

Bj : Brix del jarabe.

El consumo energético de la estación de evaporadores de múltiple efecto para Hugot (1984), indica que estas unidades son las de mayor consumo energético en las empresas azucareras (p. 346). En consecuencia, es muy importante su control por su afectación en la economía global de la empresa.

Cálculo de reevaporizados

Las unidades de calefacción en los ingenios azucareros trabajan a un rango de presiones de vapor convenientemente determinada, que en su mayoría superan a la presión atmosférica. Para la evacuación de los condensados de estos vapores, Armstrong Internacional, Inc. (Armstrong, 1998) considera que para no desperdiciar energía térmica es conveniente reaprovechar el vapor flash, que se produce en todo condensado caliente con una temperatura mayor que la temperatura de ebullición del medio predominante donde se dispone (p. 5). Por lo tanto, para una operación eficiente debe de reaprovecharse en su totalidad estos vapores reevaporizados.

Asimismo, Armstrong (1998), expresa el cálculo del porcentaje de reevaporizados (vapor flash):

$$\% = \frac{\quad}{\quad} 100$$

CSE = Calor sensible del condensado de ingreso al flash.

CSS = Calor sensible del condensado a la salida del flash.

CLE = Calor latente evaporación del vapor flash (p. 5).

Temperatura de las aguas condensadas

En cuanto a las unidades calefactoras que usan vapor saturado, se debe tener en cuenta que el vapor cambia al estado líquido, transfiriendo su energía calorífica al material del proceso. Al respecto, Hugot (1984, p. 346) refiere que el vapor saturado usado para calentar las calandrias de los evaporadores. Se encuentran en equilibrio con su condensado, por tanto, la temperatura de ambas es iguales; pero una vez evacuado el condensado esta pierde energía térmica por enfriamiento lo cual se evidencia en la disminución de su temperatura. Precizando que dentro del equipo de la zona que corresponde al vapor saturado se encuentra en equilibrio con el agua líquida por lo que sus temperaturas en ambas fases son iguales, pero al evacuarse el condensado hacia el exterior pierde calor sensible a consecuencia de que las tuberías de evacuación de condensados en su gran mayoría no se encuentran aisladas, reduciéndose mínimamente su temperatura de evacuación final.

2.2.1.4 Componentes de un evaporador de múltiple efecto

a) El cuerpo

Los evaporadores en un múltiple efecto presentan diferentes componentes, una de ellas es el cuerpo del evaporador en donde fluye vapor vegetal hacia el siguiente evaporador. Al respecto Hugot (1984), indica que principalmente el cuerpo de los evaporadores son de forma circular, instalados en la parte superior de la calandria e inferior al separador para asegurar que no pasen las gotas de material para el arrastre (p. 348). Se puede evidenciar que los evaporadores están diseñados para evitar que material azucarado pasen a los siguientes cuerpos y/o condensador de vacío, asegurando que no se contaminen los condensados y a la vez eliminar las pérdidas de sacarosa indeterminadas por una mala operación en estos equipos. En la Figura 2 se detalla sus partes.

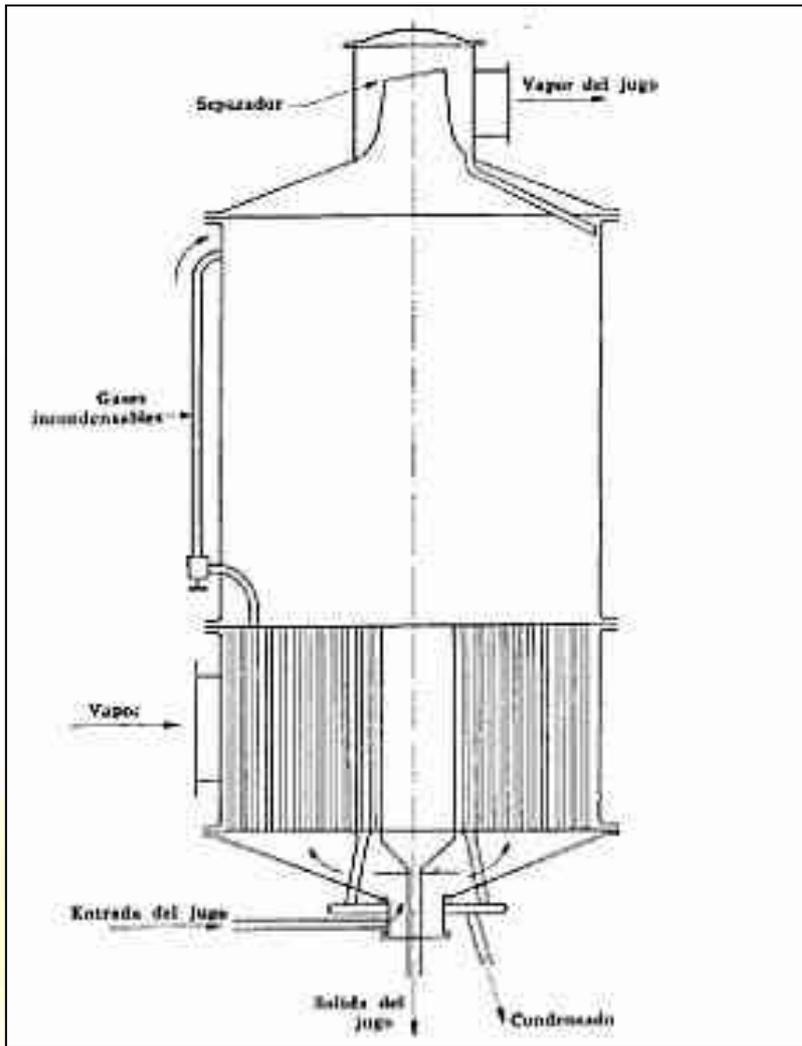


Figura 2. Vaso evaporador

Fuente: (Hugot, 1984, p. 342).

Altura del cuerpo

En el dimensionamiento de la altura del cuerpo del evaporador, debe de considerarse el flujo de vapor vegetal generado para evitar arrastres. Al respecto Hugot (1984), señala que la altura del cuerpo de un evaporador se dimensiona teniendo como objetivo reducir el arrastre de material azucarado que se desprende junto con el vapor vegetal en los evaporadores (p. 349). De mucha importancia, el correcto dimensionamiento de la altura para evitar pérdidas de material junto con el vapor vegetal, ante ocasiones de exceso de vapor vegetal el equipo y sus accesorios instalados en la parte superior deben garantizar su correcta operación.

Diámetro

El diámetro es otro parámetro a tener en cuenta en el diseño para que un evaporador funcione apropiadamente, su exceso involucraría una mayor inversión de capital y en su defecto produciría mayores velocidades del vapor vegetal, incrementando las velocidades de fluido y los arrastres de material ocasionando contaminación de los condensados. Así, Hugot (1984) expresa que también el arrastre es influenciado por el diámetro del cuerpo del evaporador (p. 350). En ese sentido, un inadecuado dimensionamiento en el diámetro y sumada con una sobrealimentación al separador ubicado en la parte superior al cuerpo produciría pérdidas económicas y contaminaciones de agua condensada con material azucarado.

Mirillas

A consecuencia de que los ritmos de producción de una empresa no son constantes, que en algunos casos sobrepasan la capacidad de diseño del evaporador, se hace necesario la instalación de unidades auxiliares que permitan la verificación en tiempo real de su correcto funcionamiento. Al respecto, Hugot (1984) señala que se instalan mirillas en los evaporadores con el objeto de monitorear las condiciones internas de los evaporadores facilitando su control (p. 350). Ahora bien, estas mirillas no sólo posibilitan un control al operador, también al personal técnico y jefaturas encargadas del control de producción.

La calandria

La calandria en los evaporadores, se utilizan como medio de transferencia de la energía calorífica para concentrar y evaporar el material. Según Hugot (1984), las fugas en las calandrias se emiten hacia el exterior de éstas, por las presiones inferiores a la que se encuentra el material calentado (p. 350). Desde una perspectiva más general, se puede argumentar por el principio de transferencia de masa de que un fluido se direcciona de un punto de alta hacia una baja presión, en los evaporadores en ocasiones ante pérdidas de vacío

y con fugas en la calandria, el material pasaría al interior de la calandria contaminando los condensado y ocasionando pérdidas indeterminadas en el ingenio.

El tubo central:

Uno de los componentes de la calandria es el tubo central, que se instala para la evacuación de material concentrado en la unidad de evaporación. Al respecto, Hugot (1984) refiere que el tubo central ubicado en el centro de la calandria, tiene como finalidad principal recolectar y evacuar el jugo al siguiente evaporador (p. 351). En este orden de ideas, este componente permite que se evacue el material concentrado en el evaporador hacia el siguiente evaporador en función a las condiciones de alimentación y de vapor de calefacción.

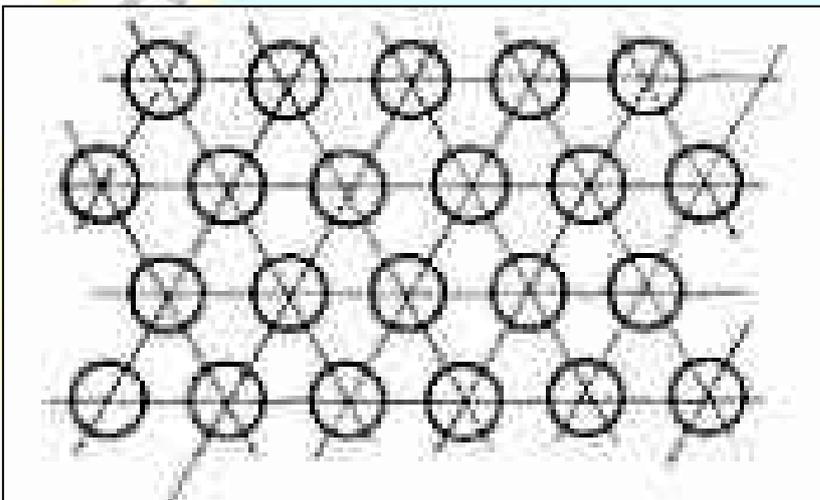


Figura 3. Disposición de los tubos

Fuente: (Hugot, 1984, p. 342).

Los tubos:

En las calandrias de los evaporadores se instalan tubos verticales que permiten transferir el calor latente de vaporización de vapor hacia el jugo para su evaporación. Al respecto, Hugot (1984) menciona que los tubos se instalan en las placas de la calandria en una disposición apropiada que maximice la cantidad de tubos instalados, la mas usual disposición es de rombo (pp. 351-353). Por consiguiente, se puede mencionar que la cantidad de tubos en una menor área de calandria asegurará en el diseño una mayor

superficie de calefacción, apropiada entre el vapor y jugo que permita la evaporación de vapor vegetal considerada para la unidad evaporadora. Se muestra en la Figura 3 la distribución de tubos adoptadas en las calandrias de los evaporadores de múltiple efecto.

2.2.1.5 Parámetros recomendadas en evaporadores de multiple efecto

a) Límite superior de la temperatura

Los controles de temperatura en un ingenio azucarero son muy importantes, las temperaturas altas suman las pérdidas de sacarosa y exceso de pérdida de energía térmica al ambiente, la inadecuada operación trae por tanto pérdidas económicas para la empresa. Asimismo, temperaturas altas dañan el material del proceso perjudicando la calidad del producto final. En ese sentido, Hugot (1984) menciona la existrencia de una temperatura crítica superior de operación para evitar pérdidas, según afirma Tromp es de 130 °C para el vapor de calefacción, correspondiendo a 125 °C a la del material azucarado, de acuerdo al pH de 6,6 a 7,2 muy frecuentes en los evaporadores se estima una inversión de sacarosa del 0,1 % por hora a 110 °C (p. 347). Si bien es cierto, la temperatura es un parámetro de control en el proceso de producción de azúcar no muy controlada, deberá sumarse esfuerzos para determinar la temperatura máxima a la que debe estar sometida el material para evitar la quema de sacarosa, que como se comprenderá dependerá del material procesado y el tiempo de retención en las unidades calefactoras de cada ingenio azucarero.

b) Límite inferior de la temperatura

Así como existe un límite superior que debe ser controlado, también es importante considerar la temperatura mínima en la estación de evaporadores. Al respecto, Hugot (1984) manifiesta que el limite inferior de la estación de eaporadores de múltiple efecto esta determinado por la presion de vacío en el último evaporador, siendo normalmente 55 °C (p. 347). Dentro de esta perspectiva, la eficiencia de los evaporadores dependerá mucho de la temperatura de vacío del último evaporador, que cada ingenio deberá fijar a través de una

evaluación técnica y económica, considerando la altitud a la que se encuentra la empresa como factor limitante, que influye y limita la temperatura de vacío en el último cuerpo del evaporador.

c) Escala de temperaturas

La gradiente de temperatura, es un parámetro directo que permite de manera práctica evaluar la gradiente global de temperatura en la estación de evaporadores, que a la vez se distribuirá de acuerdo a las caídas de presión en el evaporador de múltiple efecto. Al respecto, Hugot (1984) afirma que la gradiente de temperatura en un evaporador bordea los 70 °C, siendo de 55 a 60 °C habitualmente encontrados (p. 348). Por esta razón, los ingenios azucareros en particular operan a valores próximos a los indicados, dependiendo de la temperatura del vapor suministrado y el vacío en el último evaporador.

d) Temperatura de la meladura

Es conveniente afirmar que los jugos y jarabes procesados en los evaporadores de múltiple efecto contienen sólidos disueltos, que desde el jugo clarificado alimentado al primer evaporador se van concentrando hasta descargar el jarabe en el último evaporador. Asimismo, en los evaporadores de múltiple efecto las presiones van disminuyendo desde el vapor calefacción al primer evaporador hasta la presión de vacío del último evaporador. Al respecto, Hugot (1984) sostiene que el jarabe evacuado del último evaporador contienen un 60 a 65° Brix, con una elevación de su temperatura en 2 °C aproximadamente (p. 348). Es habitual encontrar jarabes en promedio a 65° Brix, por conveniencia por el ahorro de energía en su evaporación, la temperatura del jarabe se incrementa ligeramente respecto al vapor vegetal en el cuerpo, por el incremento de la temperatura de ebullición por efectos del Brix y la presión hidrostática del material sobre el punto de salida del jarabe del último evaporador.

e) **Brix de la meladura**

Considerándose que los evaporadores tienen la función de evaporar la mayor cantidad de agua contenida en el jugo clarificado, más no producir cristales que sería perjudicioso para las siguientes unidades de cocimiento, se hace necesario controlar el Brix del jarabe como materia prima a las unidades de cocimiento. En referencia a ello, Hugot (1984) manifiesta que es una práctica habitual llevar la concentración del jarabe menores a 70 °Brix, fluctuando en las industrias azucareras entre 60 a 70° Brix, para asegurar y evitar la cristalización de la sacarosa (p. 346). Por tanto, se puede afirmar que un Brix de jarabe demasiado bajo ocasionaría una sobrecarga de tiempo de cocimiento en los vacumpanes por un mayor tiempo de evaporación para su cristalización, y un Brix elevado del jarabe cerca al punto de cristalización de sacarosa ocasionaría su cristalización, incrementando también el tiempo de cocimiento de masas en los vacumpanes por un mayor lavado de falsos granos. Estas dos situaciones extremas, reducirían la capacidad del área de cocimiento que se reflejaría en una menor producción de azúcar diaria.

2.2.1.6 Controles en la operación de evaporadores de múltiple efecto

a) Nivel de jugo

El nivel de jugo en los evaporadores de múltiple efecto debe determinarse convenientemente para una correcta operación en las unidades evaporativas. Al respecto, Hugot (1984) indica la importancia del nivel de jugo, un nivel bajo impediría que este alcance la parte superior de la calandria y una demasia sobrecargaría la unidad retardando el proceso de evaporación, considera que el nivel de jugo debe estar comprendida entre el 30 y 40 % de su altura que maximiza el coeficiente para la transferencia de calor (pp. 370, 371). Por tanto, la estación de evaporadores debe prever que el operador pueda visualizar el nivel de jugo en cada unidad de evaporación para su correcto funcionamiento. En la Figura

4 se muestra el efecto que tiene la altura del material en los tubos de la calandria hacia el coeficiente de transferencia de calor global.

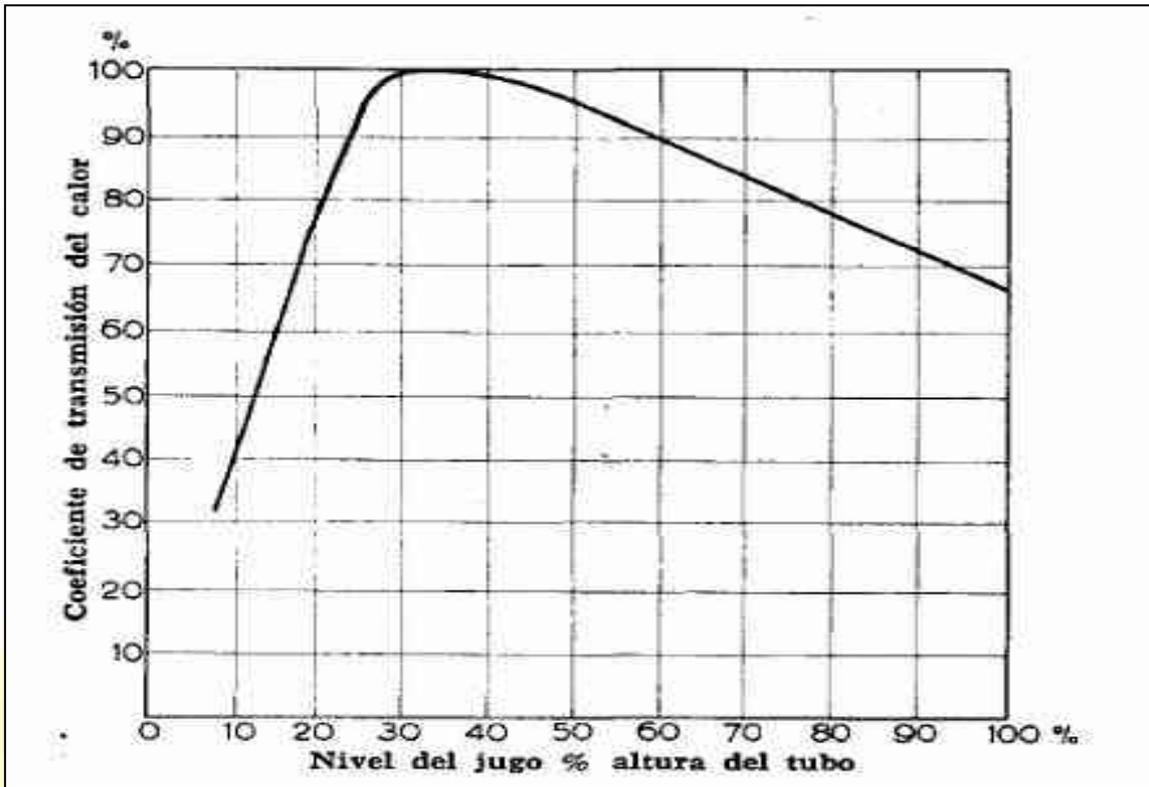


Figura 4. Variación del coeficiente de transferencia de calor.

Fuente: (Hugot, 1984, p. 371).

b) Distribución de la caída de presión

En los ingenios azucareros la estación de evaporadores de múltiple efecto son los mayores consumidores de energía térmica y en consecuencia, su diseño y control deben ser exhaustivos, para mantener aceptables los costos operativos del sistema. Al respecto, Hugot (1984) manifiesta que en el cálculo del diseño de evaporadores prima el aspecto económico antes que el aspecto técnico y operativo (p. 402). En la Tabla 1, se indica la distribución de las caídas de presión para un triple, cuádruple y quíntuple efecto.

Tabla 1

Distribución de la caída de presión entre los cuerpos de evaporadores

	1° cuerpo	2° cuerpo	3° cuerpo	4° cuerpo	5° cuerpo
Triple efecto	11/30	10/30	9/30		
Cuádruple efecto	11/40	10,5/40	9,5/40	9/40	
Quíntuple efecto	11/50	10,5/50	10/50	9,5/50	9/50

Fuente: (Hugot, 1984, p. 402).

c) Extracción de gases incondensables

Los gases incondensables como fluidos que presentan baja conductividad son perjudiciales en los procesos de calefacción, su incorporación a las unidades calefactoras se da principalmente por el aire presente al inicio de cada arranque de fábrica y por los gases disueltos que contiene el material procesado. Así como lo expresa Hugot (1984), la inconveniencia que presenta la acumulación de gases incondensables en las unidades de calefacción reduce la superficie de transferencia de calor de la unidad (p. 265). Se puede evidenciar la importancia que tiene la evacuación oportuna de los gases incondensables de las calandrias de los evaporadores y que su acumulación reduciría enormemente la capacidad global de transferencia de energía térmica de la unidad calefactora, reduciendo la capacidad de procesamiento del múltiple efecto.

d) Extracción de condensados

El agua condensada es otro material perjudicial a parte del aire para el proceso de transferencia de calor, que se produce al contacto del vapor saturado con el material a evaporar, inconveniente que sí o sí se produce en las unidades calefactoras. Al respecto, Hugot (1984) expresa que el condensado producido en las unidades calefactoras debe evacuarse lo más pronto posible a través de trampas de vapor dimensionadas

apropiadamente, y así evitar su acumulación reduciendo la superficie de calefacción útil (p. 265). Por consiguiente, las unidades de evacuación de condensados deben de estar correctamente dimensionadas para evitar su acumulación dentro de la calandria perjudicando la eficiencia de transferencia de energía en el equipo. De acuerdo a la diferencia de presiones de vapor en la calandria y la presión del medio donde se va a evacuar se dimensiona apropiadamente el sistema de evacuación de condensados.

Entre las principales técnicas de evacuación de condensados, se tiene los de tipo mecánico, como las trampas de vapor. En ese sentido, Hugot (1984) indica que en calandrias que trabajan a presión, su evacuación es por gravedad con un aparato de separación del vapor y condensado, donde permita sólo la evacuación de condensado (p. 356).

Spirax Sarco (s.f) indica los modelos típicos de trampa de vapor utilizados en la industria (Figura 5).



Figura 5. Tipos de trampa de vapor.

Fuente: (Spirax Sarco, s.f, p. 5).

Otra alternativa de evacuación de condensado es del tipo sifón que se usa principalmente para evacuar condensados entre cuerpos contiguos de evaporadores aprovechando las caídas de presión en cada una de estas. Al respecto, Hugot (1984) indica que ante la diferencia de presión entre las calandrias la evacuación de condensados de una a

otra se puede facilitar a través de la instalación de tubos en forma de U o sifón invertido (p. 361). Por tanto, el sifón debe tener una altura apropiada que absorba los cambios inesperados de presión en los evaporadores contiguos, su diseño inapropiado reduciría su evacuación repercutiendo en la baja capacidad evaporativa de la estación de evaporadores. En la Figura 6 se indica la forma de conexión de los condensados entre evaporadores contiguos.

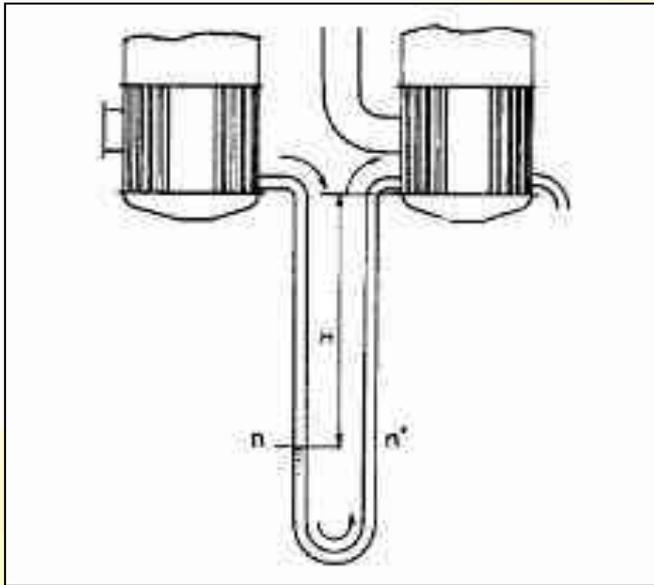


Figura 6. Sifón

Fuente: (Hugot, 1984, p. 342).

2.2.1.7 Problemas comunes en la evaporación

a) Arrastres

Uno de los problemas ya mencionados en la estación de evaporadores es el arrastre de jugos que se producen dentro de los cuerpos de los evaporadores. Al respecto, Chen (1997) indica la existencia de dos métodos para evitar los arrastres, el primero es evitar su generación y el segundo es la retención del líquido arrastrado por la corriente de vapor (p. 255). Por tanto, se debe considerar este inconveniente para el diseño de los evaporadores, considerando el diámetro del cuerpo y el flujo de vapor vegetal generado para obtener velocidades razonables de vapor y la instalación de unidades de separación eficientes para retener la totalidad de jugo arrastrado.

Generalmente todas las unidades de evaporación poseen dimensiones próximas en sus diámetros y teniendo en cuenta que la presión de los evaporadores disminuye desde el primer al último cuerpo, el volumen específico del vapor se eleva repercutiendo directamente en una mayor velocidad de vapor vegetal en los cuerpos. Al respecto, Hugot (1984) manifiesta que los arrastres son más perjudiciales en las unidades evaporadoras de mayor vacío o presión negativa (p. 372). Por tanto, se debe controlar apropiadamente los flujos de material procesado que sobrecargue los sistemas de control de arrastres de condensados instalados en cada unidad de evaporación.

b) Pérdidas por inversión

Otro problema que se presenta comúnmente en el procesamiento de jugo azucarado es la inversión de la sacarosa en glucosa y fructuosa a consecuencia de su acidez, pH, tiempo de retención y temperatura a la que están expuestas. Al respecto, Hugot (1984) enfatiza que la inversión de sacarosa a temperaturas superiores a 115 °C y a pH menor de 6,5 se acelera considerablemente (p. 375). Por tanto, estos parámetros deben monitorearse periódicamente a efectos de reducir al mínimo la inversión de la sacarosa, de ser necesario, se deberá utilizar aditivos químicos para su control.

c) Incrustaciones

Las incrustaciones en los evaporadores dependen del material de suspensión insoluble y de las sales que se insolubilizan producto del calentamiento. Hugot (1984), considera que los sólidos en suspensión en jugos clarificados no bien tratados se incrustan en los primeros evaporadores y en los últimos evaporadores la incrustación es producida por la insolubilización de sólidos a efectos de la concentración (p. 378). Las unidades de tratamiento de jugo son las más importantes en el control y eliminación de material particulado en suspensión del jugo de la caña y que debe ser controlado exhaustivamente,

las sales no azucaradas causantes de la incrustación provienen de la calidad de jugo de la caña procesada y en consecuencia escapa del control de la empresa.

d) Coeficiente total de transferencia de calor

Su determinación es muy importante para garantizar una adecuada evaporación en la estación de evaporadores. Al respecto, Chen (1997) manifiesta que la velocidad de evaporación en los evaporadores es se ve influencia directamente por el coeficiente de transferencia de calor en dichas unidades, donde los parámetros de diseños permanecen constantes en el proceso (p. 273). La existencia de parámetros fijos como la superficie de calefacción en los evaporadores que dependen de la cantidad, longitud, diámetro, espesor y conductividad del tubo de la calandria resaltan la importancia de un buen diseño para una adecuada operación de los evaporadores del múltiple efecto, en cambio los parámetros operacionales de temperatura y transferencia de calor en las unidades dependen principalmente del método de operación y control de la estación de evaporadores.

e) Elevación del punto de ebullición

Es un parámetro no muy controlado que se produce en los jugos y/o jarabes. Al respecto, Hugot (1984) afirma que los materiales azucarados que se encuentran dentro de los evaporadores presentan un incremento de la temperatura de ebullición por el aumento del Brix y de la presión hidrostática a la que el fluido se encuentra (p. 340). Por tanto, los parámetros de presión en el cuerpo del evaporador y Brix del material deben ser considerados para mantener las temperaturas apropiadas.

2.3 Bases filosóficas

El tema de la energía se hace más relevante en los últimos años, tal es así que todos los productos contienen energía de alguna forma y que para opinión de Michael Marder sobre el significado de la energía, plantea: “la cuestión de la energía y apunta hacia un nuevo

paradigma que, ni en la teoría ni en la práctica, exige la extracción-destrucción del mundo” (Instituto de Filosofía, 2017, párr. 2).

2.4 Definición de términos básicos

Brix

Spencer-Meade (1967) lo define “el grado Brix constituye el porcentaje de sacarosa por peso que contienen una solución de azúcar puro” (p. 532).

Calor

Armstrong (1998) define “Una medida de la energía disponible sin hacer referencia a la temperatura” (p. 6).

Calor latente o calor de vaporización

“Es la cantidad de calor (expresada en kJ/kg o kcal/hr) que se requiere para cambiar un kilogramo de agua hirviendo a un kilogramo de vapor” (Armstrong, 1998, p. 4).

Calor total del vapor

“Es el calor total en vapor arriba de 0 °C. Es igual a la suma del Calor del Líquido Saturado y el Calor Latente, expresado en kJ/kg o en kcal/kg” (Armstrong, 1998, p. 4).

Condensado

“El condensado es un producto secundario de la transferencia de calor en un sistema de vapor” (Armstrong, 1998, p. 6).

Evaporador

“Está constituido esencialmente por una calandria tubular que tiene la función de intercambiar temperatura” (Hugot, 1984, p. 339).

Evaporador múltiple efecto

Chen (1997) define:

El evaporador de múltiple efecto más sencillo estaría constituido por dos evaporadores de simple efecto conectados en serie, la salida de vapor del primer

efecto sería la fuente de vapor de segundo vaso. El múltiple efecto se extiende en general a tres, cuatro y más efecto. (p. 249)

Guarapo clarificado

“Son los guarapos combinados que resultan del proceso de clarificación” (Spencer-Meade, 1967, p. 708).

Jarabe

“El guarapo concentrado en los evaporadores, antes que se haya extraído de él azúcar alguno por cristalización” (Spencer-Meade, 1967, p. 708).

Pureza

“Básicamente, la pureza de un producto de azúcar es el azúcar de caña que contiene, en porcentaje sobre la materia sólida” (Spencer-Meade, 1967, p. 709).

Temperatura

“El grado de calentamiento, sin hacer referencia alguna a la cantidad de energía calorífica disponible” (Armstrong, 1998, p. 6).

Vapor

Armstrong (1998) define:

Es un gas invisible que se genera cuando se le añade energía calorífica al agua en una caldera. Se necesita añadir suficiente energía para que se eleve la temperatura del agua hasta su punto de ebullición. Después de ello, cualquier energía adicional transforma el agua en vapor, sin un incremento en la temperatura. (p. 6)

Vapor Saturado

“Es vapor puro a una temperatura igual a la temperatura a que hierve el agua a una presión dada” (Armstrong, 1998, p. 4).

Vapor flash

“Cuando se tiene condensado caliente o agua hirviendo, presurizados, y se libera a una presión más baja, parte de esos líquidos se vuelven a evaporar, y a esto es a lo que se le llama Vapor Flash” (Armstrong, 1998, p. 5).

2.5 Hipótesis de investigación

2.5.1 Hipótesis general

Los evaporadores de múltiple efecto se encuentran operando satisfactoriamente en la empresa ANORSAC.

2.5.2 Hipótesis específicas

Los datos técnicos se ordenan por el cuerpo del evaporador, calandria, aislamiento y accesorios instalados en los evaporadores de múltiple efecto de la empresa ANORSAC.

Las condiciones de operación se identifican por el vapor alimentado al primer evaporador, vacío en el último evaporador, jugo clarificado, jarabe, agua evaporada, material procesado, condensados, % de superficie de calefacción utilizada en los evaporadores de múltiple efecto de la empresa ANORSAC.

Los parámetros de operación están cumpliendo significativamente los estándares de operación recomendadas para los evaporadores de múltiple efecto de la empresa ANORSAC.

2.6 Operacionalización de las variables

Considerando a Carrasco (2017), quien indica que es un proceso metodológico donde se descompone el problema de investigación hasta un nivel apropiado de acuerdo a la complejidad y naturaleza de las variables (p. 226).

En consecuencia, el estudio al ser univariado, se tomó la clasificación de dos variables, de caracterización y de interés tal como se aprecia en la Tabla 2.

			Condiciones de operación	Agua evaporada.	% de Agua evaporada. Velocidad del vapor vegetal.	Razón
				Material en la calandria.	Altura de jugo. Altura Porcentual de la calandria. pH del material.	Razón
				Análisis de condensados	Presencia.	Nominal
				Superficie calefacción.	Porcentaje de utilización.	Razón
				Inversión de sacarosa	Altura del jugo en la calandria. Volumen del material en los evaporadores. % tiempo de retención jugo/jarabe en evaporadores. % pH en cada evaporador. % Inversión de sacarosa en cada evaporador.	Razón
<i>Variable de interés</i>	Para Renovetec (2009-2012), “es el estado técnico en que se encuentra una instalación en su conjunto y cada uno de los equipos y sistemas que la componen”.	Se realizará la evaluación del vapor, jugo, jarabe, agua evaporada y evaporador, respecto a parámetros fijados convenientemente de acuerdo a la literatura e investigaciones previas.	Evaluación técnica	Vapor.	Temperatura del vapor de alimentación. Temperatura del vacío en el último evaporador.	Nominal
2.				Jugo/jarabe	Brix del jugo clarificado Brix del jarabe. Altura Porcentual de la calandria. pH del material en la calandria. Porcentaje de inversión en cada evaporador.	Nominal
Evaluación técnica				Agua evaporada.	Porcentaje de agua evaporada	Nominal
				Evaporador.	Porcentaje de utilización de las áreas de calefacción	Nominal

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 Diseño metodológico

Según lo manifestado por Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) el diseño metodológico sirve para dar respuesta al problema de estudio, recabando la información pertinente (p. 150). Por tanto, es necesario enmarcar el estudio en su tipo, nivel, diseño y enfoque de investigación.

3.1.1 Tipo de investigación

Al respecto, Carrasco (2017) indica que el tipo de investigación depende del objetivo planteado, el cual debe estar bien definido anticipadamente a la formulación del plan de investigación, con el objeto de articular adecuadamente los procedimientos de investigación (P. 43).

Además, BIOESTADISTICO (2012a, 0:25 - 1:46) considera cuatro clasificaciones en la que puede estar comprendido un estudio, si el investigador sólo se limita a observar o a manipular la variable (observacional y experimental), si el acopio de datos se realizará tomando fuentes secundarias o recabadas por el investigador (retrospectivo y prospectivo), por el número de veces en que se mide la variable (transversal y longitudinal) y por la cantidad de variables identificadas en el estudio (descriptivo y analítico).

Bajo estas consideraciones, el estudio corresponde:

Observacional: Se recolectarán datos de operación y dimensionamiento de equipos tal como se encuentran instalados y operando.

Retrospectivo: Se recolectaron datos de operación y técnicos de los evaporadores de múltiple efecto.

Longitudinal: Para el estudio se consideró un periodo de molienda desde su arranque hasta su parada de mantenimiento.

Descriptivo: Por considerar en el estudio una sola variable.

3.1.2 Nivel de investigación

Sobre el nivel de investigación. Pino (2018) indica cuatro vías de estudios de investigación: exploratorios, descriptivos, correlacionales y explicativos. Corresponde de acuerdo a la experiencia y conocimiento del investigador ubicar su estudio en cualquiera de ellas (pp. 31-33).

Teniendo presente el tipo de investigación definido en el ítem anterior, BIOESTADISTICO (2012b, 1:46 - 2:45) considera que el nivel descriptivo estudia fenómenos en un espacio y tiempo definido. Reafirmando que el estudio al ser univariado es de nivel descriptivo.

3.1.3 Diseño

Sobre diseños de investigación no experimentales Carrasco (2017) considera que en estos no se da la manipulación intencional de las variables, limitándose a medir tal y como van aconteciendo (p. 71).

Considerando que el estudio corresponde a un nivel descriptivo y de corte longitudinal, Carrasco (2017) considera el diseño no experimental longitudinal de panel, donde la medición se realiza al mismo sujeto en diferentes unidades de tiempo (p. 75).

En consideración a lo expuesto, para el estudio se considera:

Diseño: diseño no experimental longitudinal de panel.

M O1, O2, ..., On.

Dónde: M: muestra, Oi: Medición de la variable de i a n

3.1.4 Enfoque

Existen de acuerdo a la naturaleza de las variables, dos enfoques de investigación: Investigación cualitativa y cuantitativa. La investigación cualitativa, según Pino (2018) tiene como objeto la descripción de las cualidades de un fenómeno (p. 34).

Sobre la investigación cuantitativa Hernández-Sampieri (2006, como se citó en Pino, 2018, p. 34) indica el uso para datos numéricos que aplican análisis estadísticos para el contraste de hipótesis.

Además, sobre la ruta mixta Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) indican como tercera vía en el proceso de investigación, que mezcla los enfoques anteriores potenciándolos (p. 10).

De acuerdo a los valores finales de los indicadores el enfoque adoptado es mixto.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

Según Córdova (2017) considera a la población como un conjunto de unidades agrupadas convenientemente con características comunes, definidos temporal y espacialmente (p. 84).

Población: Evaporador de múltiple efecto de la empresa ANORSAC en el año 2018.

3.2.2 Muestra

Además, Córdova (2017) considera a la muestra como una parte de la población, donde se estudiará, con objeto de realizar la inferencia estadística hacia la población (p. 84). Por la particularidad de la población, se considerándose la muestra la misma que la población. En tal sentido, se considera un censo.

Censo: Evaporador de múltiple efecto de la empresa ANORSAC en el año 2018.

3.3 Técnicas de recolección de datos

3.3.1 Técnicas a emplear

De acuerdo a la escala de medición de los indicadores, se puede identificar dos técnicas de recolección de datos:

Técnicas documentales

Pino (2007) indica al respecto que la recopilación de datos puede ser de un nivel primario o secundario (p. 68).

Técnica de observación

Esta técnica es sistemática, con y/o sin modificación del desarrollo del evento estudiado (Pino, 2007, p. 75).

3.3.2 Descripción de los instrumentos

Córdova (2017) indica, los instrumentos son medios auxiliares que sirven para recoger y registrar datos obtenidos a través de alguna técnica de acopio (p. 107).

Para la técnica documental:

Ficha documental.

Para técnica de observación:

Ficha de observación.

Se aplicaron los instrumentos de acuerdo a la siguiente secuencia:

1. Definir el fin de la evaluación.
2. Formular las inquietudes o preguntas de la evaluación.
3. Identificar los parámetros de evaluación en la unidad.
4. Desarrollo de instrumentos de recolección de datos de los parámetros.
5. Recolección de datos.
6. Procesamiento de datos.
7. Evaluación respecto a estándares técnicos de operación del equipo.

3.4 Técnicas para el procesamiento de la información

Si comprendemos que el proceso de la información comprende la transformación de los datos recabados en información relevante, se utilizará la estadística descriptiva para el procesamiento y presentación de los resultados. Para el contraste de hipótesis se consideró una significancia de 0,05 equivalente al 5 % con el uso del estadístico de prueba T de Student de muestra única.



CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados

4.1.1 Dimensionamiento y accesorios en los evaporadores

4.1.1.1 Cuerpo del evaporador

El cuerpo del evaporador corresponde al cilindro superpuesto a la calandria, tiene la finalidad de impedir el arrastre de las finas gotas de material que lleva el vapor vegetal producido por la evaporación del material. En esta parte es necesario medir la velocidad de ascenso del vapor y compararlos con valores recomendados para evitar el arrastre. En la parte superior está instalada un separador que tiene la finalidad de atrapar las finas gotas de material y regresarlas por la pared a la calandria.

En la Tabla 3, se detalla las dimensiones físicas de altura y diámetro del cuerpo de cada evaporador para un análisis posterior de la velocidad del vapor vegetal generado en cada unidad.

Tabla 3

Altura y diámetro del cuerpo de los evaporadores de múltiple efecto

Evaporador	Altura (m)	Diámetro (m)
1	2,96	2,15
2	2,93	2,15
3	2,60	1,57
4	2,60	1,59

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.2 Calandria del evaporador

En la calandria, se produce el contacto indirecto entre el vapor de calefacción y el material a concentrar, a través de la superficie de calefacción se da la transferencia de energía térmica. Para medir el área de calefacción en cada calandria se hace necesario contar, determinar la longitud y el diámetro interior de los tubos de calefacción.

En la Tabla 4 se precisa las dimensiones de la calandria para cada unidad evaporadora, como base de cálculo de la superficie de calefacción.

Tabla 4

Dimensiones de las calandrias de los evaporadores de múltiple efecto

Evaporador	Dimensiones calandria		Diámetro tubo central	Tubos de calefacción	
	Diámetro	Altura		Cantidad	Diámetro Interior
	m	m	m	Und.	mm
1	2,15	1,92	0,38	914	40,6
2	2,15	1,50	0,46	773	48,8
3	1,57	2,00	0,38	511	40,0
4	1,59	2,00	0,38	471	40,0

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.3 Aislamiento y transferencia de calor

El aislamiento de los evaporadores es importante para evitar las pérdidas de energía por radiación. Las pérdidas de energía por radiación al ambiente son mayores en los primeros cuerpos de los evaporadores y van disminuyendo hasta el último evaporador, a consecuencia de que se va trabajando a menores temperaturas en el vapor de calefacción y el vapor vegetal producido.

Las unidades de evaporación se encuentran con un grado de aislamiento aceptable. Respecto al coeficiente global de transferencia de calor, fluctúa de acuerdo a los parámetros de operación y dimensionamiento del múltiple efecto. En la Tabla 5 se indica los valores calculados.

Tabla 5

Coeficiente global de transferencia de calor en cada evaporador

Evaporador	Coeficiente global de transferencia de calor				
	Btu/°F pie ²				Promedio
1	735,43	786,56	837,75	863,39	805,78
2	340,48	379,66	418,88	438,51	394,38
3	168,29	192,10	215,92	227,83	201,03
4	114,81	131,17	147,56	155,75	137,32

Fuente: Elaboración propia.

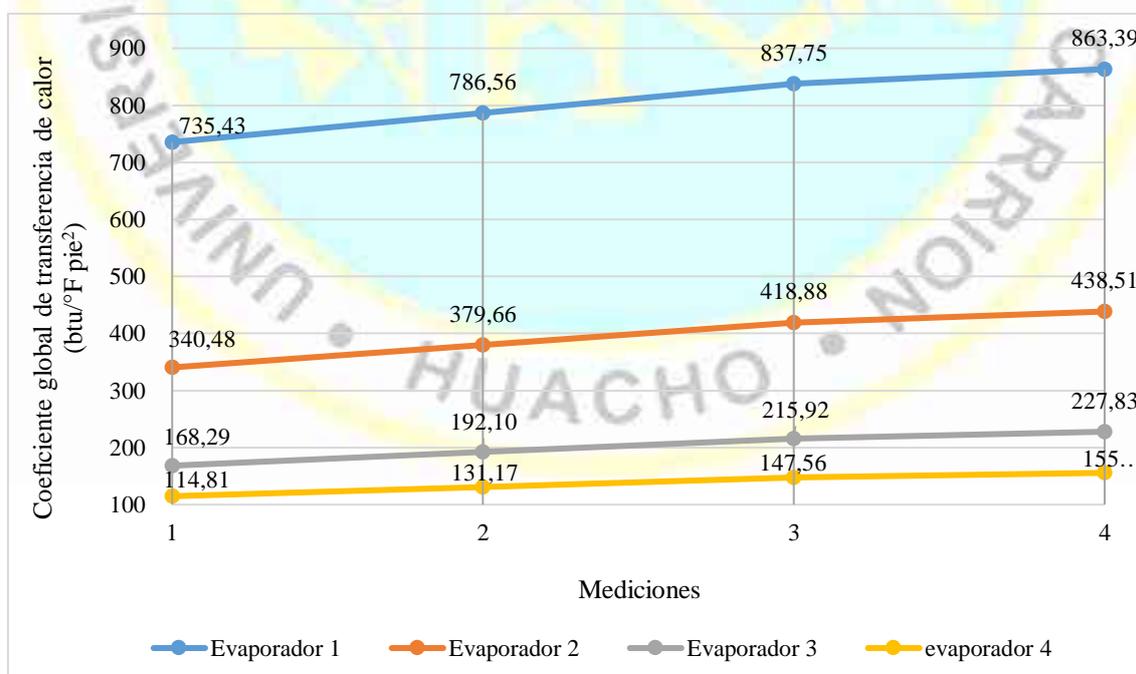


Figura 7. Coeficiente de transferencia de calor por evaporadores.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.4 Accesorios

Los accesorios para el control y operación del evaporador, son importantes para garantizar la producción continua, segura y en cumplimiento de los parámetros operacionales dispuestos para su funcionamiento. En la Tabla 6 se dan aspectos técnicos en relación a los accesorios que cuentan cada unidad evaporadora para el control de jugo, jarabe, vapor y condensado.

Tabla 6

Accesorios instalados en los evaporadores

Evaporador	Visor de nivel	Mirilla de observación cuerpos	Evacuación de gases incondensables	Medidor de Presión	Medidor de Temperatura
1	Si	Si	Si, al exterior	Si	Si
2	Si	Si	Si, al exterior	Si	Si
3	Si	Si	Si, al cuerpo	Si	Si
4	Si	Si	Si, al cuerpo	Si	Si

Fuente: Elaboración propia.

Todos los evaporadores cuentan con un visor de nivel que permite observar en tiempo real la altura del jugo en la calandria.

Asimismo, cada evaporador cuenta con mirillas de observación para observar lo que acontece dentro del evaporador como la súbita evaporación por flasheo en la unidad.

Por otro lado, cada evaporador cuenta con tuberías de evacuación de gases incondensables que evacuan de puntos extremos del interior de la calandria correspondiente a la zona de vapor. Hay que precisar que en paradas la calandria se acumula de aire y en producción las calandrias del segundo hasta el último evaporador se acumulan por los gases incondensables provenientes del material evaporado del evaporador anterior.

La medición de presión y temperatura de vapor, material, agua de alimentación a los condensadores multijet permiten monitorear permanentemente las condiciones de operación del múltiple efecto.

4.1.2 Condiciones de operación

4.1.2.1 Vapor al primer evaporador

El vapor proviene de dos calderas acuotubulares. La calidad de vapor saturado influye en gran medida en la tasa de evaporación y las pérdidas de sacarosa por quemado. Por tanto, las altas temperaturas del vapor incrementan la evaporación, pero también incrementan las pérdidas de sacarosa. Se revisaron 14 mediciones de la presión y temperatura de vapor saturado alimentado al primer evaporador del cuádruple efecto, encontrándose fluctuaciones entre 10 a 20 psig, promediando 15,79 psig, y variaciones de temperatura desde 115 a 126 °C, con un promedio de 121,71 °C, el detalle se indica en la Tabla 7 y representaciones de sus variaciones en las Figuras 8 y 9.

Tabla 7

Presión y temperatura del vapor alimentado al primer evaporador

Día	Presión de alimentación Psig.	Temperatura °C	Día	Presión de alimentación Psig.	Temperatura °C
1	18	124	8	12	118
2	18	124	9	18	124
3	10	115	10	12	118
4	16	122	11	20	126
5	12	118	12	16	122
6	18	124	13	16	122
7	19	125	14	16	122
Promedio global	Presión =15,79		Temperatura = 121,71		

Fuente: Elaboración propia.

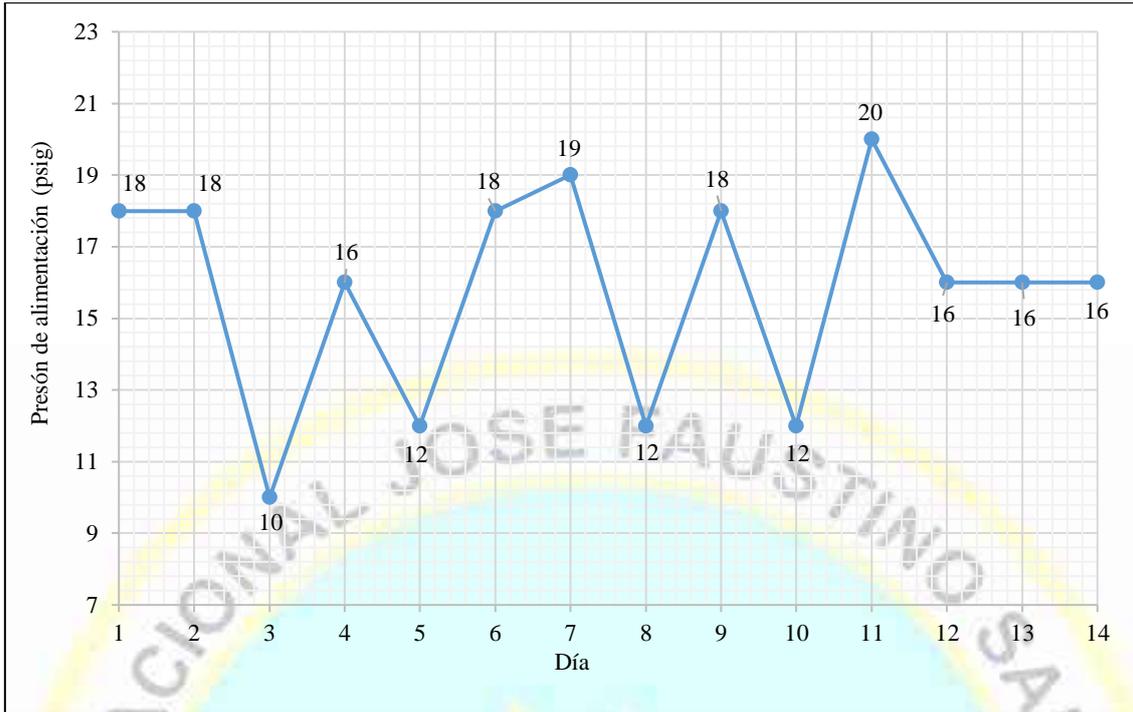


Figura 8. Variación de presión de vapor saturado alimentado al primer evaporador.

Fuente: Elaboración propia.

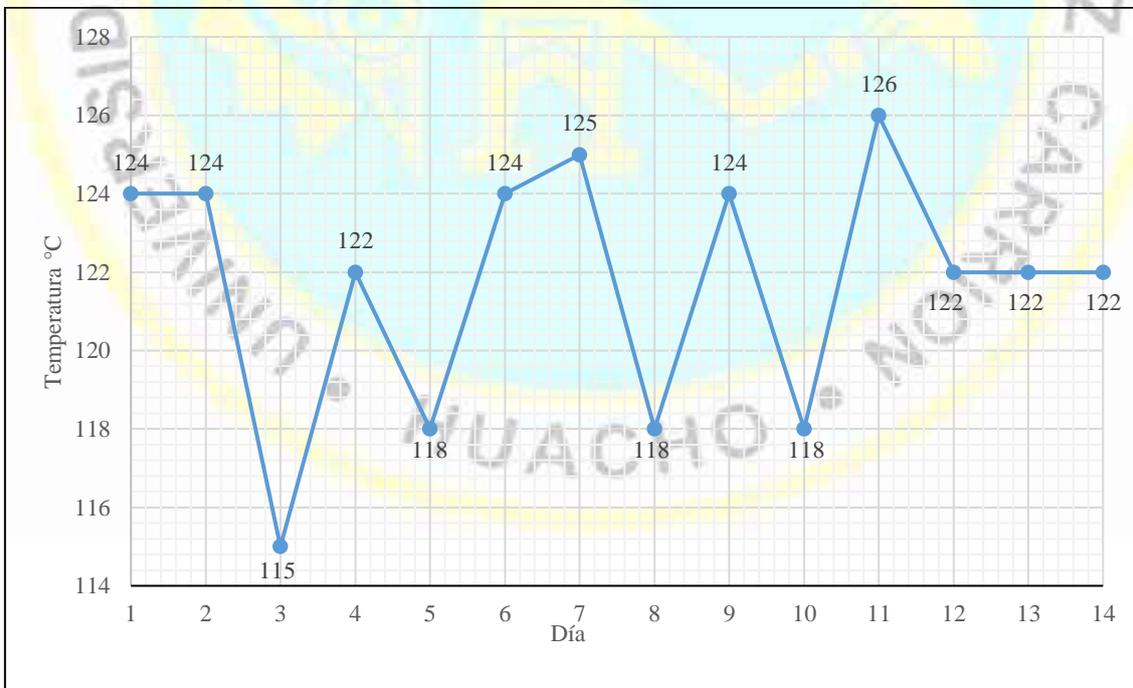


Figura 9. Variación de temperatura del vapor saturado alimentado al primer evaporador.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.2 Vacío en el último evaporador

El control de la presión de vacío en el último evaporador es muy importante para garantizar la evaporación prevista en los evaporadores de múltiple efecto. Un bajo vacío ocasionará que se produzca jarabe por debajo del parámetro establecido, lo que recargará el trabajo en los tachos.

La presión de vacío y temperatura predominante en el cuerpo del último evaporador reflejan variaciones desde 24 a 25,5 pulg. Hg, promediando 24,6 pulg. Hg, y variaciones de temperatura correspondiente desde 53,8 a 60,1 °C, con un promedio de 57,4 °C, se detalla en la Tabla 8 y sus variaciones en las Figuras 10 y 11.

Tabla 8

Presión de vacío y temperatura de vapor en el último evaporador

Día	Cuarto evaporador	
	Vacío	Temperatura
1	24,0	62,0
2	22,0	64,0
3	25,0	60,0
4	24,0	62,0
5	25,5	56,0
6	25,0	60,0
7	25,5	56,0
8	25,0	60,0
9	25,5	56,0
10	24,0	62,0
11	25,0	60,0
12	20,0	66,0
13	25,0	60,0
14	25,5	56,0
Promedio	24,36	60,0

Fuente: Elaboración propia.

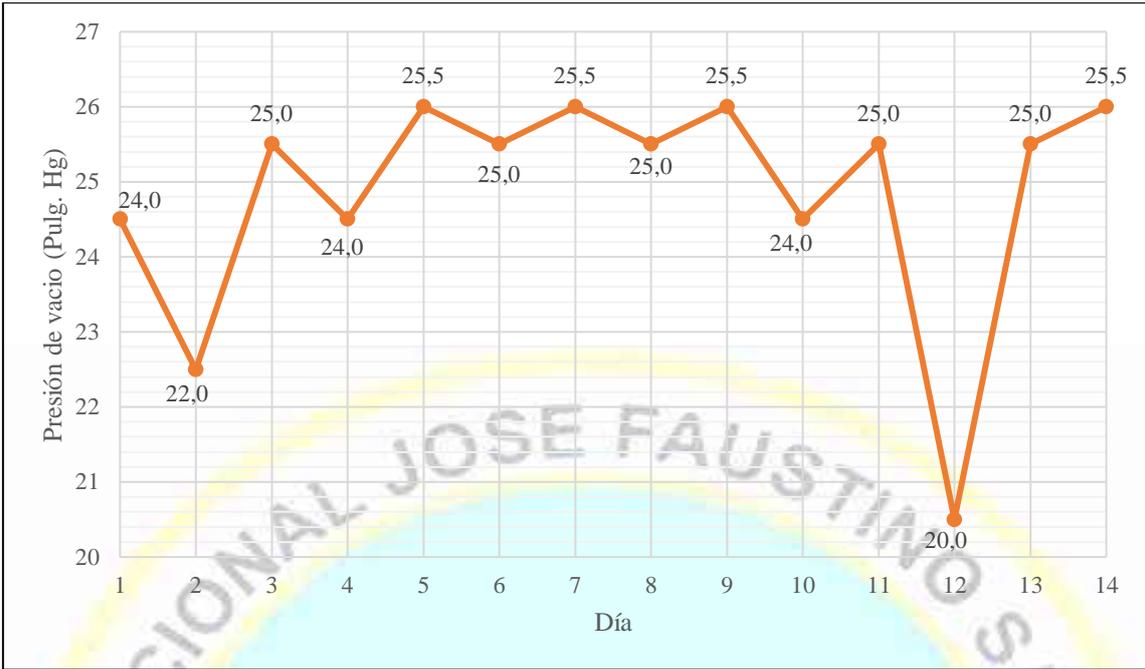


Figura 10. Variación de presión de vacío en el último evaporador.

Fuente: Elaboración propia.

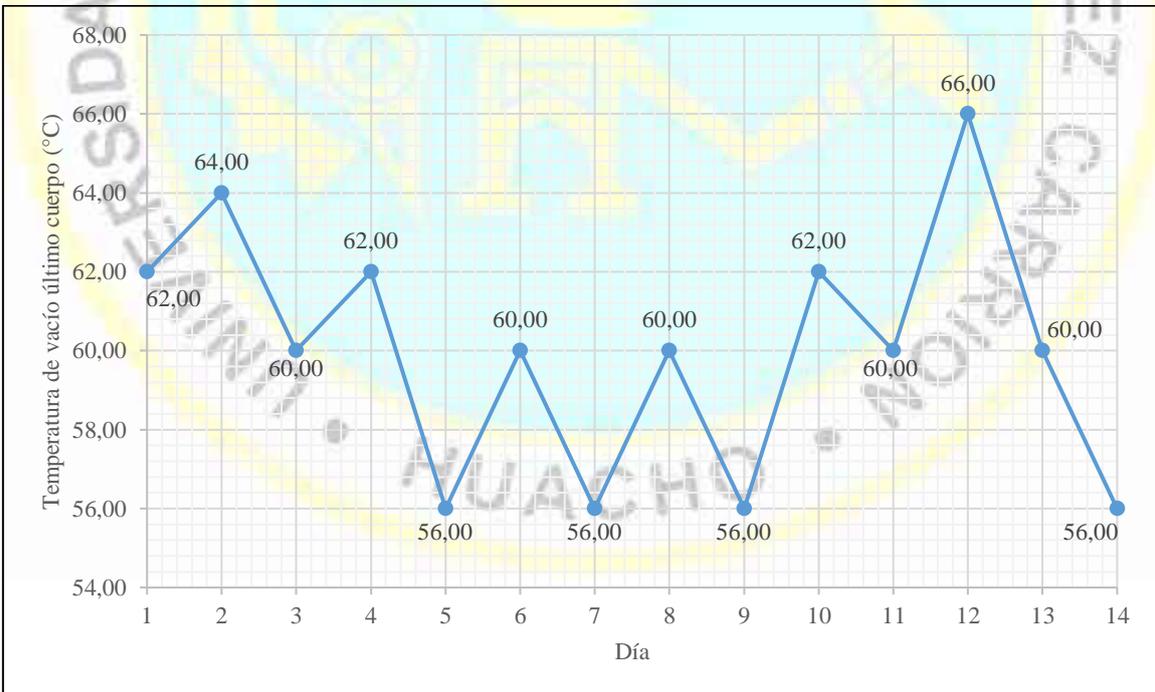


Figura 11. Variación de temperatura de vacío en el último evaporador.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.3 Jugo Clarificado

El jugo clarificado debe estar libre de material sólido en suspensión, en vista que a partir de los evaporadores de múltiple efecto sólo se realizan la concentración de material hasta obtener azúcar. Un bajo contenido de sólidos disueltos en el jugo clarificado podría deberse a la caña o un exceso de agua agregada en el trapiche.

El jugo clarificado que es alimentado a los evaporadores, donde se realizaron mediciones como se indica en la Tabla 9, se obtuvieron valores desde 15,15 a 16,52° Brix promediando un valor de 15,79° Brix y purezas desde 76,69 a 84,60 % con un promedio de 82,0 %, estos datos son representadas apropiadamente en las Figuras 12 y 13.

Tabla 9

Brix y pureza del jugo clarificado

Día	Brix	Pureza
1	15,15	76,69
2	15,64	78,39
3	15,57	83,10
4	15,36	83,25
5	15,58	84,60
6	15,44	83,81
7	15,52	83,35
8	15,27	81,11
9	15,98	81,97
10	16,24	81,86
11	16,20	84,10
12	16,52	80,31
13	16,20	82,92
14	16,36	82,58
Promedio	15,79	82,00

Fuente: Elaboración propia.

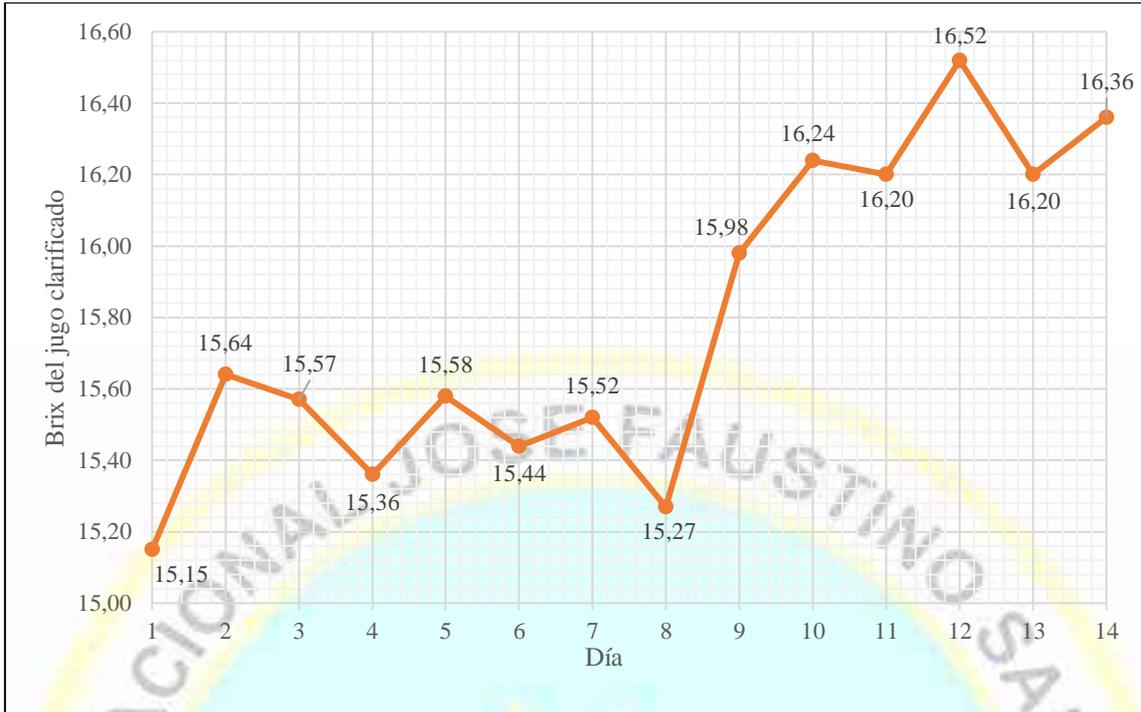


Figura 12. Variación del Brix del jugo clarificado alimentado al evaporador.

Fuente: Elaboración propia.

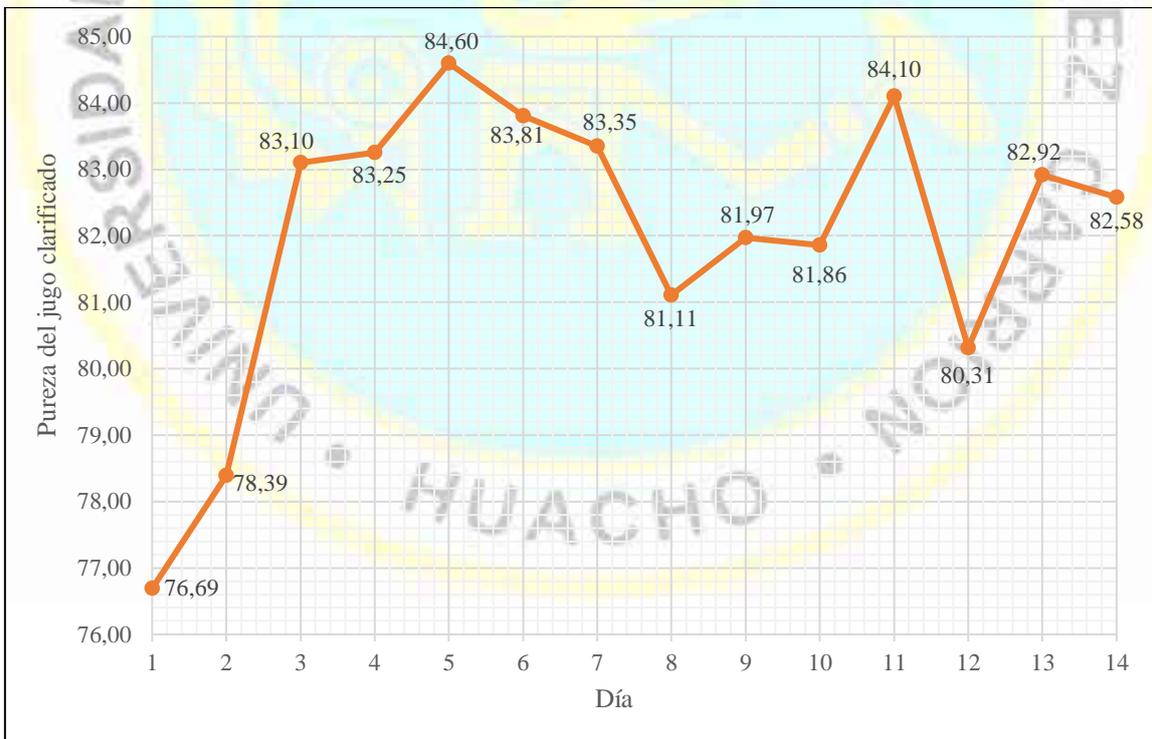


Figura 13. Variación de pureza del jugo clarificado alimentado al evaporador.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.4 Jarabe

Como se mencionó el jarabe debe estar lo más concentrado que se permita, cuidando de que no se produzca un exceso de concentración en vista que produciría cristalización por sobresaturación o por enfriamiento en los tanques de almacenamiento, afectando el cocimiento en los tachos retardando el proceso de producción de masas cocidas.

El jarabe producido en la estación de evaporadores presenta variaciones en sus análisis realizados que van desde 54,12 a 66,89 °Brix con un promedio de 59,65 °Brix y con purezas desde 73,10 a 82,96 % con un promedio de 80,47 %, indicadas en la Tabla 10 y representadas en las Figuras 14 y 15.

Tabla 10

Brix y pureza del jarabe

Día	Brix	Pureza
1	58,00	73,10
2	54,12	77,00
3	57,49	81,43
4	59,20	81,77
5	58,70	82,96
6	59,51	80,85
7	54,62	81,91
8	59,37	79,96
9	63,79	81,81
10	60,86	80,67
11	66,89	82,34
12	62,76	78,82
13	57,00	82,05
14	62,82	81,90
Promedio	59,65	80,47

Fuente: Elaboración propia.

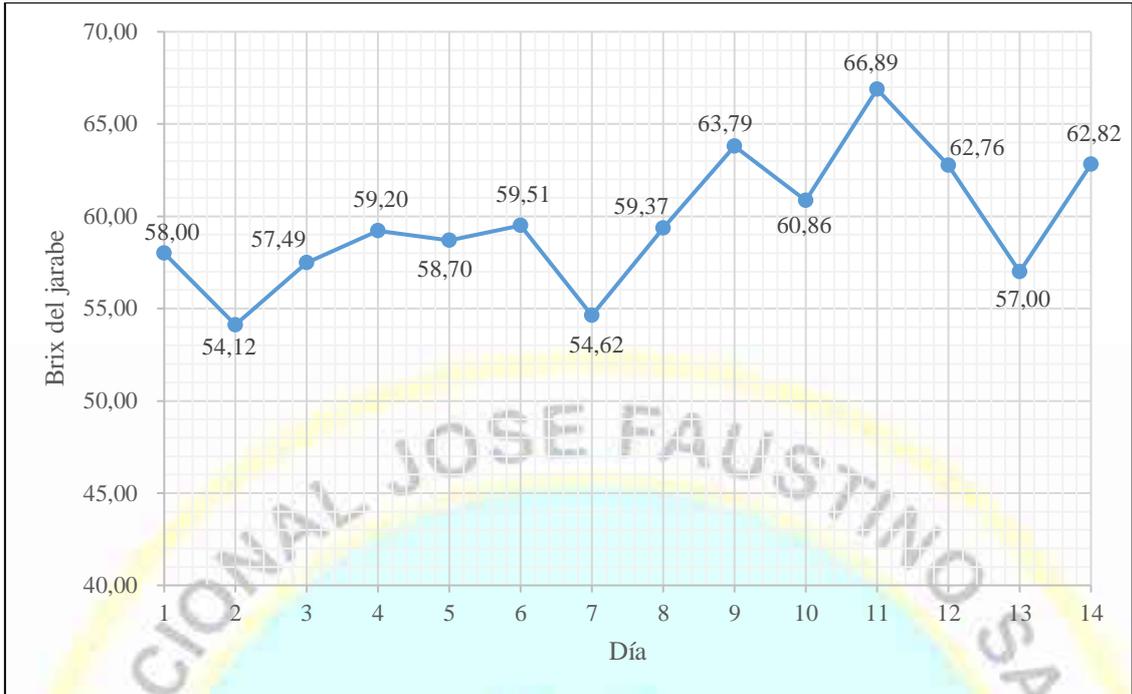


Figura 14. Variación del Brix del jarabe producido en los evaporadores.

Fuente: Elaboración propia.

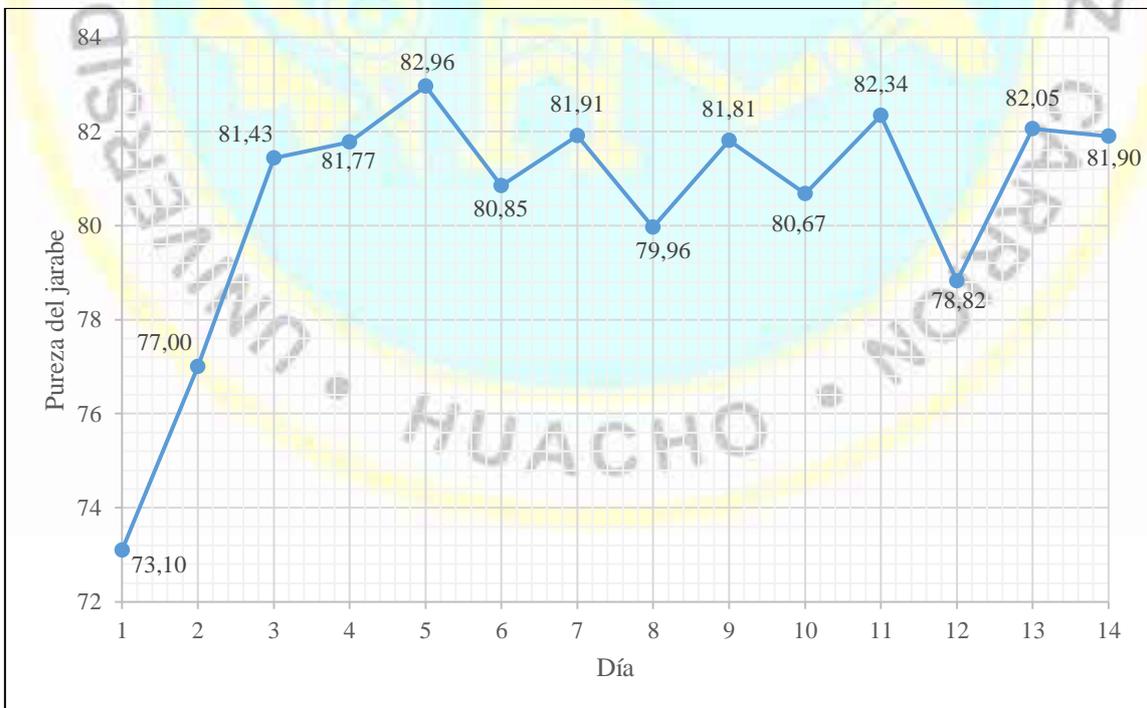


Figura 15. Variación de pureza del jarabe producido en los evaporadores.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.5 Agua evaporada

El evaporador de múltiple efecto tiene la principal función de eliminar la mayor cantidad de agua, en vista que utiliza menos energía para su concentración.

Se determina el porcentaje de agua evaporada en cada unidad evaporadora a efectos de calcular la velocidad del vapor vegetal en el cuerpo del evaporador. Como se indica en la Tabla 11 y es representada en las Figuras 16 y 17.

Tabla 11

Agua evaporada en cada evaporador del múltiple efecto

Evaporador	Agua evaporada %	Velocidad del vapor vegetal				
		m/s				Promedio (m/s)
1	48,06	0,95	1,05	1,14	1,24	1,10
2	24,44	0,66	0,73	0,79	0,86	0,76
3	13,75	0,97	1,07	1,17	1,26	1,12
4	13,75	3,49	3,84	4,19	4,54	4,02

Fuente: Elaboración propia.

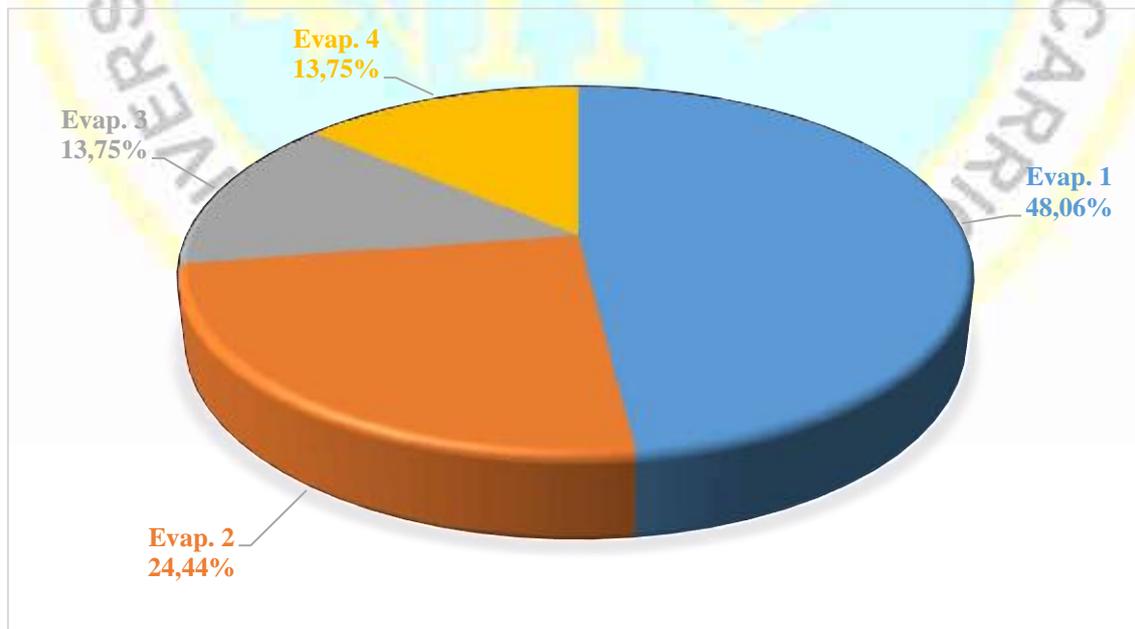


Figura 16. Porcentaje de contribución en la evaporación por cada evaporador.

Fuente: Elaboración propia.

La velocidad del vapor es un parámetro a considerar en los diseños de los evaporadores. En operación, se acostumbra monitorear los condensados producidos en el vapor vegetal para detectar trazas de azúcar, lo que evidenciaría un exceso de velocidad en el evaporador por sobrecarga o un mal funcionamiento del separador instalado en la parte superior de cada evaporador.

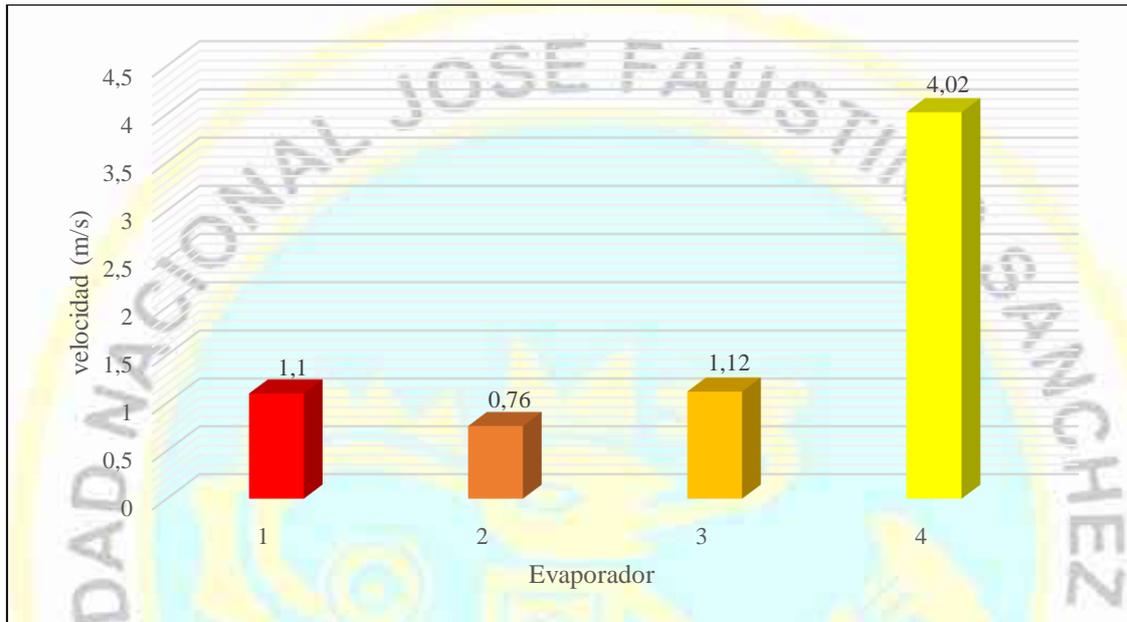


Figura 17. Velocidad del vapor vegetal promedio en los cuerpos de evaporadores.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.6 Material en la calandria

El material en la calandria es importante por el hecho de que niveles altos reducen la transferencia de calor en la unidad, y niveles bajos podría ocasionar pérdidas de sacarosa por quemado, aumentando las pérdidas de sacarosa indeterminadas en la empresa que se reportaran en los informes mensuales de laboratorio. Se acostumbra operar a un tercio el material de la calandria. Cada evaporador debe fijarse a un nivel determinado por pruebas de su desempeño.

Se realizaron mediciones del nivel de jugo y/o jarabe respecto a la altura de las calandrias en los evaporadores. Los niveles de jugo los evaporadores son fluctuante, así para

el primer evaporador varía desde 33,00 a 36,50 % y promedio 34,88 %, para el segundo evaporador varía desde 31,50 a 33,00 % y promedio 32,25 %, para el tercer evaporador varía desde 34,00 a 36,50 % y promedio 35,00 % y para el cuarto evaporador varía desde 32,50 a 34,50 % y promedio 33,50 %. Se indica en la Tabla 12 el resumen y sus cambios en la Figura 18.

Tabla 12

Nivel de jugo y/o jarabe porcentual respecto a la calandria

Evaporador	Mediciones				Promedio	altura	
	1	2	3	4		calandria	jugo
1	36,5	34,5	33,0	35,5	34,88	1,92	0,67
2	31,5	32,5	32,0	33,0	32,00	1,50	0,48
3	34,0	36,5	35,5	34,0	35,00	2,00	0,70
4	32,5	34,5	34,5	33,0	33,50	2,00	0,67
Promedio					33,91		

Fuente: Elaboración propia.

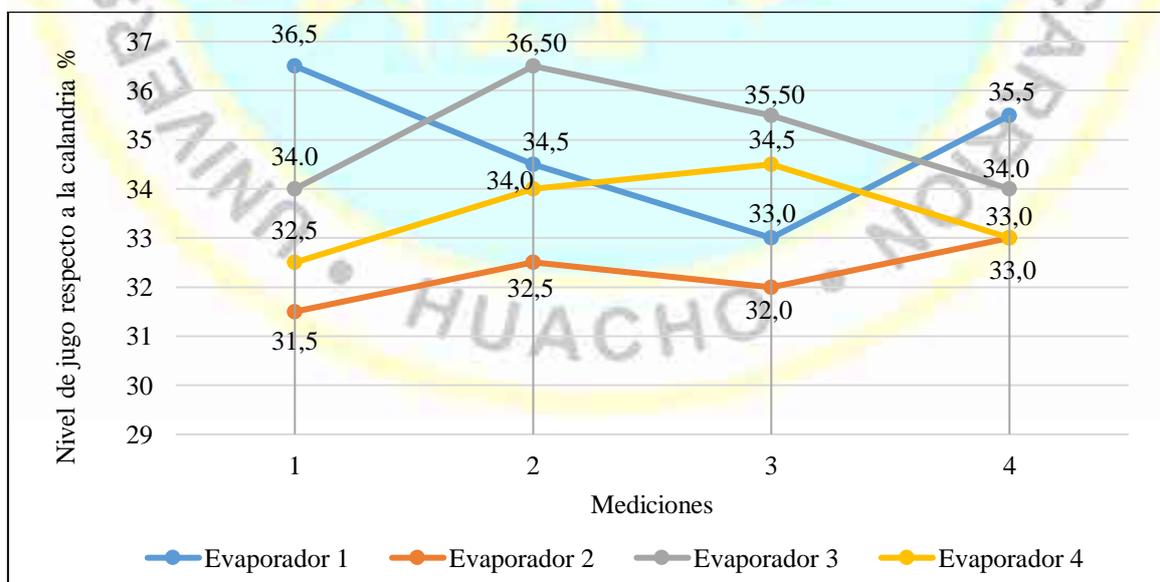


Figura 18. Variación del nivel de jugo y/o jarabe respecto a la calandria.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.7 Análisis de condensado

Al condensado que se evacúa de cada calandria, se le realiza periódicamente un análisis de presencia de sacarosa, de ocurrir evidenciaría fugas en la calandria de la zona de material hacia el condensador en cambios súbitos de presión o un arrastre de material en el vapor vegetal desde los evaporadores anteriores. Su control permite identificar puntos donde se pierde la sacarosa por indeterminados.

Se realizaron muestreos a las aguas condensadas producto de la condensación de vapor en cada evaporador, encontrándose ausencia de arrastres de material azucarado en los evaporadores 1, 2 y 3. Contrario a ello, se evidenciaron en ocasiones trazas de azúcares en el condensado de evaporador 4. En la Tabla 13 se indica el consolidado de los análisis realizados a los condensados.

Tabla 13

Arrastre de azúcar en los evaporadores

Evaporador	Mediciones				
	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	1	0	0	1	0

0: Ausencia, 1: Presencia

Fuente: laboración propia.

Aunque se observó presencia de azúcares, esta se subsanó en las paradas de fábrica.

4.1.2.8 Superficie de calefacción

Una adecuada superficie de calefacción garantiza que la unidad de evaporación permita transferir la energía calorífica por el cambio de fase del vapor en la calandria.

Se indica la superficie de calefacción de cada evaporador en la Tabla 14. De acuerdo a ello, se determinó el porcentaje de utilización de esta superficie de calefacción en consideración a las condiciones operativas de cada unidad evaporadora.

Tabla 14

Superficie de calefacción y área utilizada de los evaporadores

Evaporador	Superficie de calefacción (m ²)	Área utilizada (%)
1	223,83	74,94
2	177,76	79,22
3	128,43	58,40
4	118,38	73,45
Promedio		71,50

Fuente: Elaboración propia.

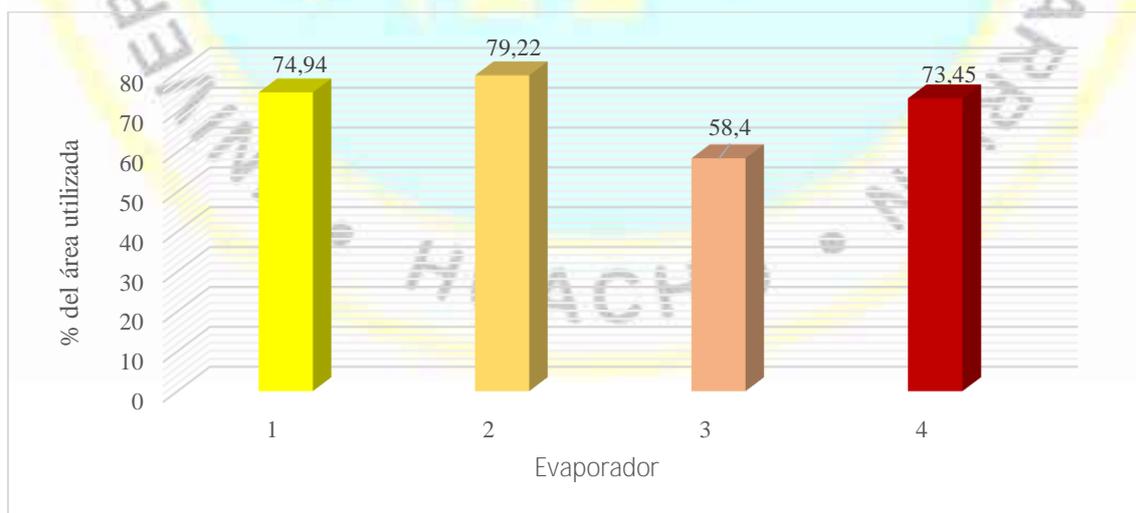


Figura 19. Porcentaje de utilización del área de calefacción en los evaporadores.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.9 Inversión de la sacarosa

La inversión de sacarosa depende del pH del medio y la temperatura del material en la calandria, la cual es diferente en cada evaporador.

En la Tabla 15, se consideró la altura del nivel de jugo y/o jarabe en las calandrias, determinándose su volumen y en consecuencia de acuerdo a la capacidad de procesamiento el tiempo de retención, que conjuntamente con el pH del material permitió calcular el porcentaje de inversión de sacarosa en cada unidad.

Tabla 15

Altura del jugo en la calandria de los evaporadores

Evaporador	Mediciones (m)				Promedio (m)
	1	2	3	4	
1	0,70	0,66	0,63	0,68	0,67
2	0,47	0,49	0,48	0,50	0,48
3	0,68	0,73	0,71	0,68	0,70
4	0,65	0,68	0,69	0,66	0,67

Fuente: Elaboración propia.

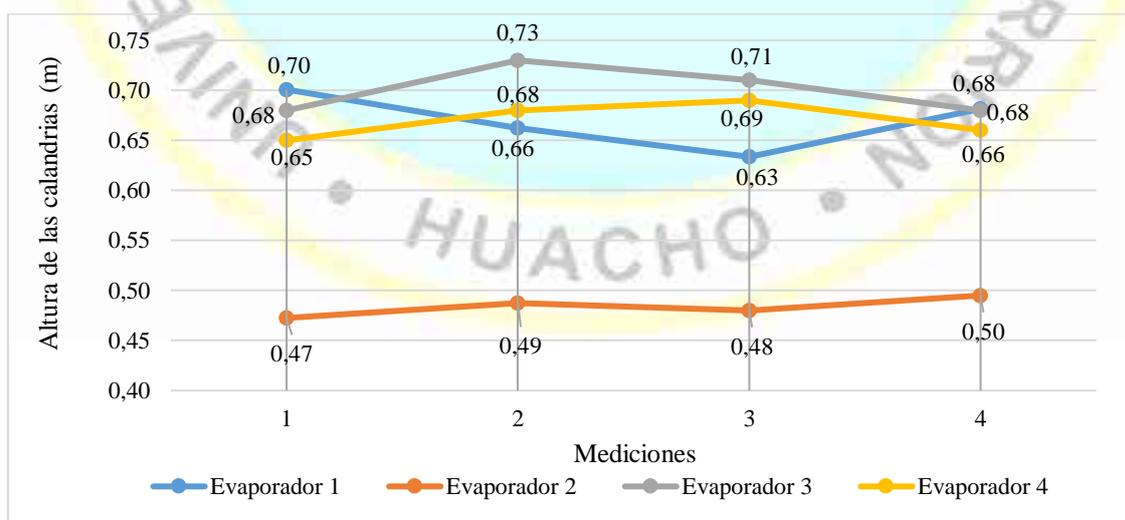


Figura 20. Distribución de alturas del jugo en las calandrias.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 16 se indica el volumen de material en base a las alturas observadas de los materiales en la calandria. Fluctuando para el primer evaporador desde 1,21 a 1,29 m³, para el segundo evaporador de 1,19 a 1,24 m³, para el tercer evaporador de 0,68 a 0,73 m³, y para el cuarto evaporador de 0,64 a 0,66 m³.

Tabla 16

Volumen del material en los evaporadores

Evaporador	Mediciones				Promedio (m ³)
	1	2	3	4	
1	1,29	1,24	1,21	1,27	1,25
2	1,19	1,22	1,21	1,24	1,22
3	0,68	0,73	0,71	0,69	0,70
4	0,64	0,66	0,66	0,65	0,65

Fuente: Elaboración propia.

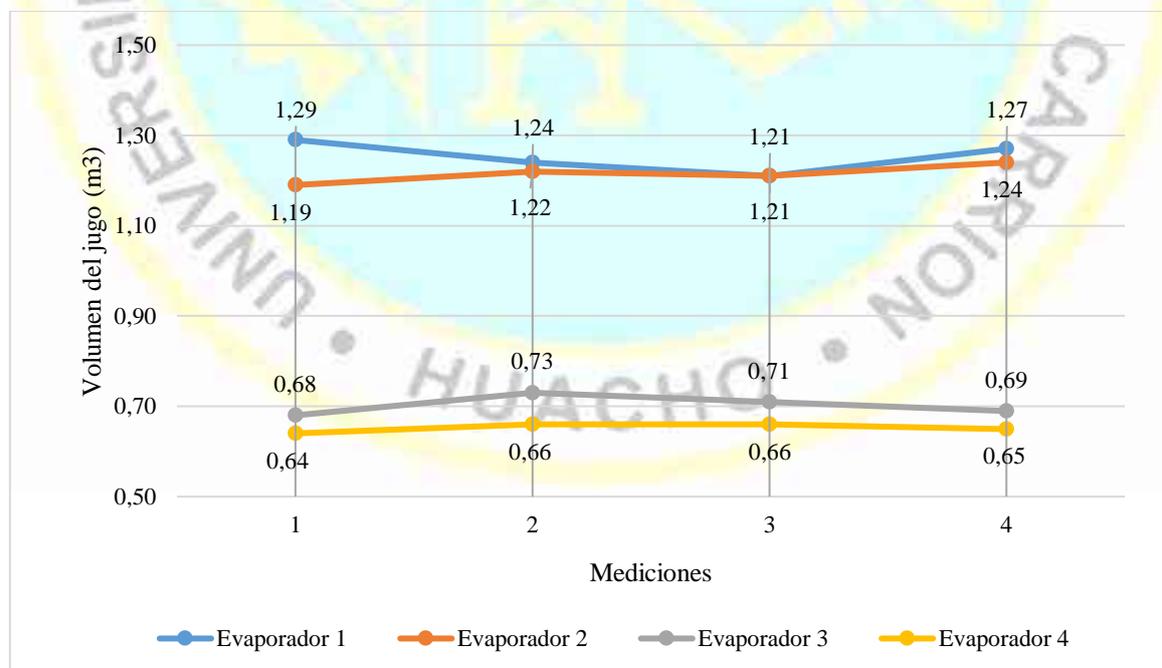


Figura 21. Distribución volumen del material en los evaporadores.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 17, se calcula el tiempo de retención del material en la calandria para cuatro mediciones. Fluctuando para el primer evaporador de 3,55 a 4,70 min, para el segundo evaporador 5,24 a 6,57 min, para el tercer evaporador 3,71 a 4,83 min, y para el cuarto evaporador de 4,82 a 6,21 min.

Tabla 17

Tiempo de retención jugo/jarabe en evaporadores

Evaporador	Mediciones				Promedio (min)
	1	2	3	4	
1	4,70	4,12	3,67	3,55	4,01
2	6,57	6,12	5,54	5,24	5,87
3	4,83	4,59	4,14	3,71	4,32
4	6,21	5,80	5,36	4,82	5,55
Promedio					4,94

Fuente: Elaboración propia.

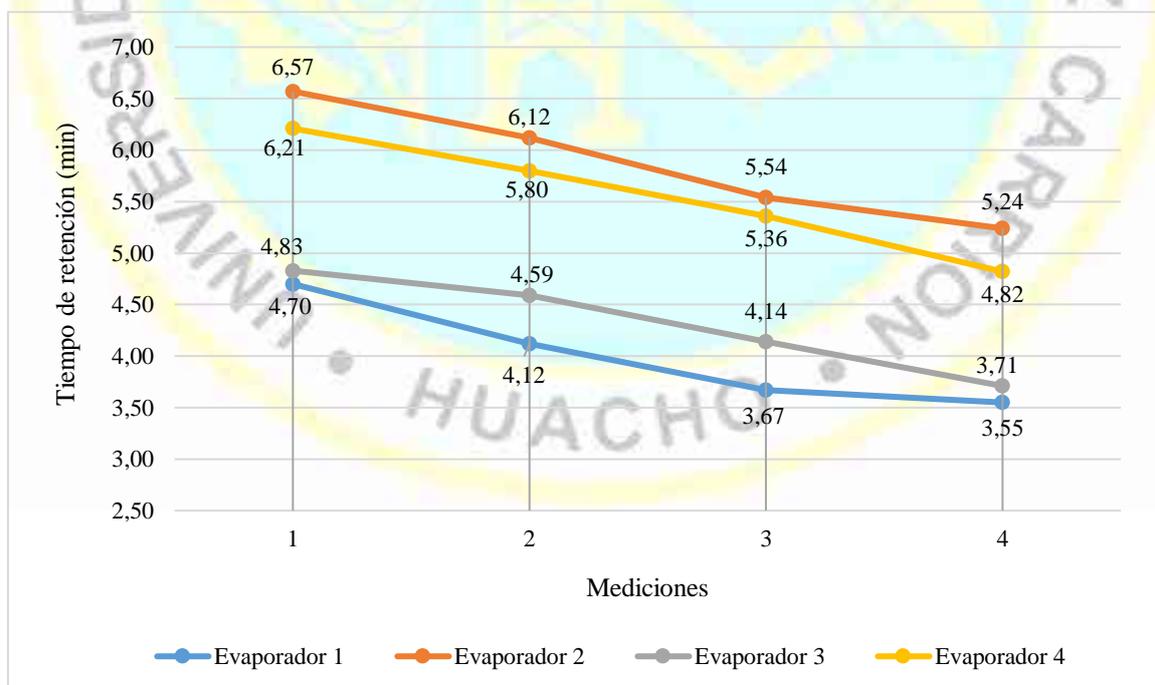


Figura 22. Distribución del tiempo de retención en los evaporadores.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 18, se indica las mediciones del pH de los materiales en la calandria de los evaporadores. Fluctuando para el primer evaporador de 6,90 a 7,15 pH, para el segundo evaporador 6,70 a 7,00 pH, para el tercer evaporador 6,80 a 7,00 pH, y para el cuarto evaporador de 6,70 a 6,90 pH.

Tabla 18

Medición de pH en los evaporadores

Evaporador	Mediciones				Promedio
	1	2	3	4	
1	7,0	6,9	7,1	7,15	7,04
2	6,9	6,7	7,0	6,95	6,89
3	6,8	6,9	7,0	6,8	6,88
4	6,7	6,8	6,9	6,7	6,78
Promedio					6,89

Fuente: Elaboración propia.

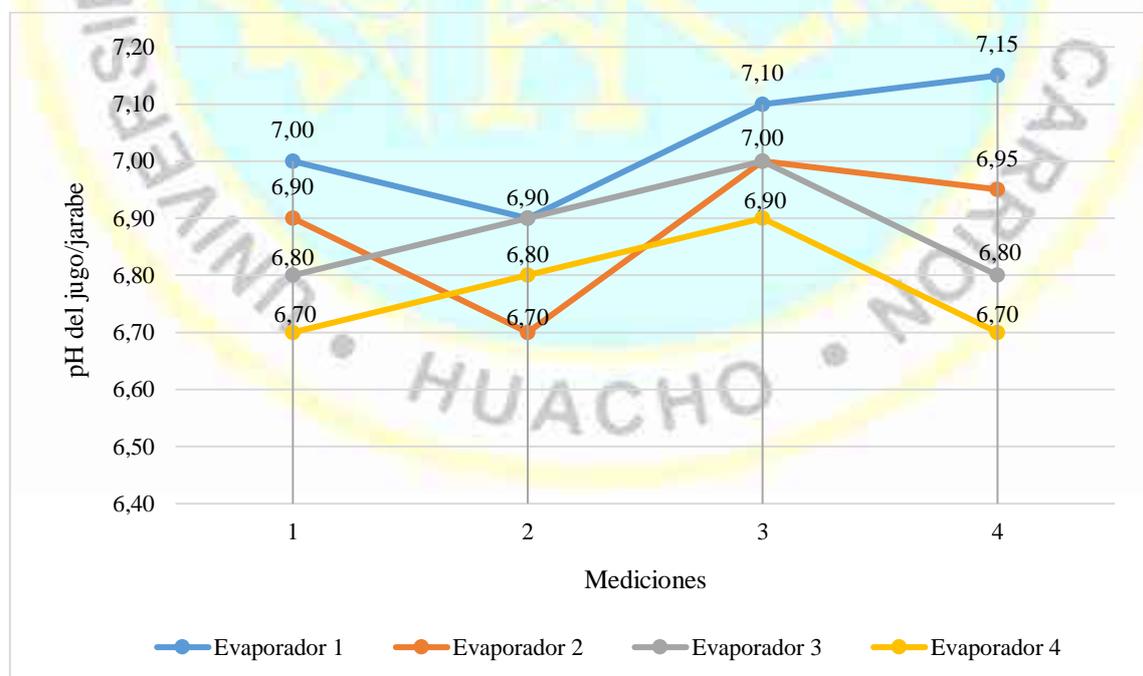


Figura 23. Distribución de pH en los evaporadores.

Fuente: Elaboración propia.

La inversión de la sacarosa en los materiales de la calandria de evaporadores se calcula en función al tiempo de retención y condiciones de pH y temperatura. Resultando en promedio para el primer evaporador de 0,0088 %, para el segundo evaporador 0,0060 %, para el tercer evaporador 0,0013 % y para el cuarto evaporador de 0,0002 %.

Tabla 19

Porcentaje de inversión de sacarosa en los evaporadores

Evaporador	Mediciones				Promedio
	1	2	3	4	
1	0,0103	0,0090	0,0080	0,0077	0,0088
2	0,0067	0,0063	0,0057	0,0054	0,006
3	0,0014	0,0013	0,0012	0,0011	0,0013
4	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0002
Promedio					0,0040

Fuente: Elaboración propia.

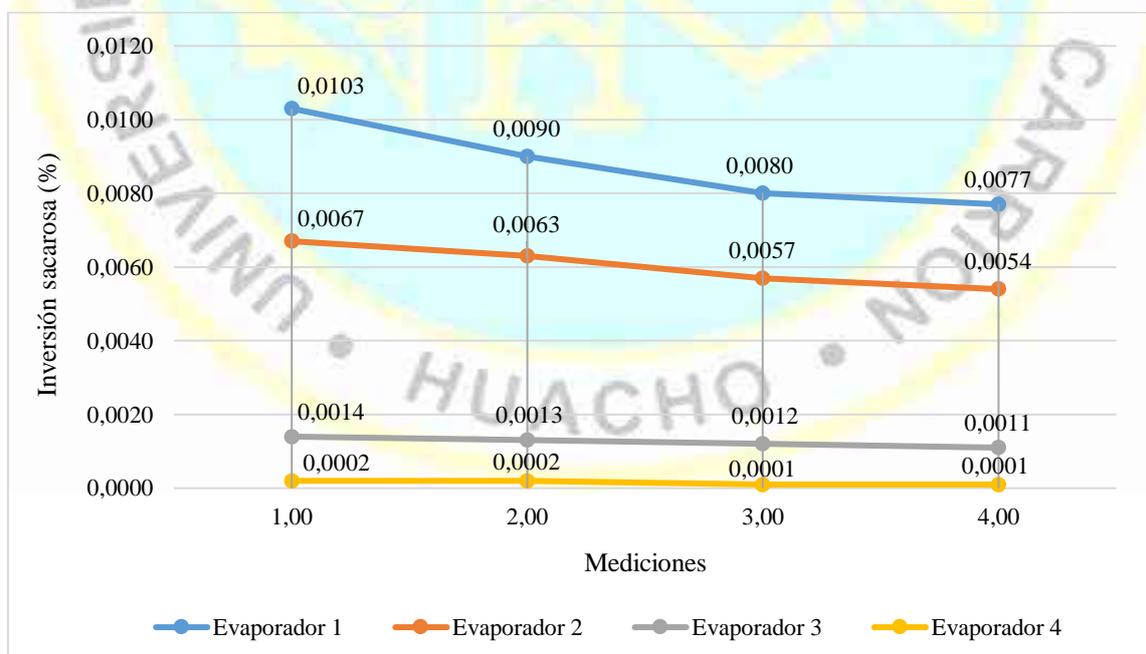


Figura 24. Distribución de pérdidas de inversión de sacarosa en los evaporadores.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Evaluación técnica de los evaporadores múltiple efecto

4.1.3.1 Vapor

Tabla 20

Evaluación de la temperatura del vapor en el evaporador

N°	Parámetro evaluado	Medición	Estándar	Cumplimiento
		Promedio	recomendado	
1	Temperatura del vapor de alimentación	121,71 °C	< 125 °C	Si
2	Temperatura del vacío en el último evaporador	60,00 °C	< 55 °C	No

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.2 Jugo/jarabe

Tabla 21

Evaluación del material en el jugo y jarabe en el evaporador

N°	Parámetro evaluado	Medición	Estándar	Cumplimiento
		Promedio	recomendado	
1	Brix del jugo clarificado	15,79 °Brix	< 15 °Brix	No
2	Brix del jarabe	59,65 °Brix	> 65 °Brix	No
3	Altura porcentual de la calandria	33,91 %	< 33 %	No
4	pH del material en la calandria	6,89 pH	< 6,5 pH	No
5	Inversión de sacarosa (%) en el evaporadores múltiple efecto	0,0040	< 0,00056 %*	No

* A 60 °C y pH 6,80 (Hugot, 1984, p. 375)

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.3 Agua evaporada

Tabla 22

Evaluación del agua evaporada en el evaporador

N°	Parámetro evaluado	Medición Promedio	Estándar recomendado	Cumplimiento
1	Porcentaje de agua evaporada	73,47	> 75 %	No
2	Presencia de azúcar en condensados	Presencia*	0 % Ausencia	No

* Sólo se detectó en el cuarto evaporador.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.4 Evaporador

Tabla 23

Evaluación del área de calefacción utilizada por del evaporador

N°	Parámetro evaluado	Medición Promedio	Estándar recomendado	Cumplimiento
1	Porcentaje de utilización de las áreas de calefacción	71,50 %	< 100 %	No

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Contrastación de hipótesis

De acuerdo a lo comúnmente adoptado, se considerará para el contraste de hipótesis una significancia del 0,05 equivalente al 5 % que se está dispuesto aceptar para la formulación de las conclusiones.

Antes de proceder a aplicar alguna prueba estadística, se realizó una prueba de normalidad de Shapiro Wilk a las mediciones, bajo el criterio de que si p-valor es mayor o igual a 0,05 se acepta la hipótesis de que las mediciones tienden a la normalidad. Un valor inferior a 0,05 del p-valor indica lo contrario.

Para calcular la t de acuerdo a los grados de libertad con T de Student se citará a Clifford & Taylor (2008).

4.2.1 Contraste de la temperatura de vapor de calefacción al primer evaporador

a) Hipótesis del investigador:

La temperatura de vapor de calefacción al primer evaporador del múltiple efecto no excede el estándar recomendado.

b) Redacción de la hipótesis:

H_0 : Temperatura vapor de calefacción al primer evaporador es igual a 125 °C.

H_1 : Temperatura vapor de calefacción al primer evaporador es diferente a 125 °C.

Prueba Normalidad

Tabla 24

Estadística descriptiva temperatura del primer evaporador

		Estadístico	Error típ.
	Media	121,71	0,867
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior 119,84	
		Límite superior 123,59	
Temperatura (°C)	Mediana	122,00	
	Varianza	10,527	
	Desv. típ.	3,245	
	Mínimo	115	
	Máximo	126	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25

Prueba de normalidad de la temperatura del primer evaporador

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Temperatura (°C)	0,892	14	0,086

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 25 se puede observar que el p-valor 0,086, donde $\alpha = 0,05$. Se acepta la hipótesis de que los datos de las temperaturas tomadas en el primer evaporador corresponden a una distribución normal.

Elección de la prueba estadística

T de Student para muestra única.

Tabla 26

Prueba de T Student para temperatura de vapor al primer evaporador

	Valor de la prueba = 125					
	t	gl	Sig.	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
Temperatura (°C)	-3,789	13	0,002	-3,286	-5,16	-1,41

Fuente: Elaboración propia.

Calculando la T de Student de tablas: $t = -1,771$ (Clifford & Taylor, 2008, p. 421)

Conclusiones

Observando que el nivel de significancia 0,002 calculado es menor al α de 0,05 se acepta la hipótesis H_1 planteada, la cual se comprueba con la t calculada -3,789 que es menor a -1,771 tabulada. Por lo que, se tiene evidencia estadística razonable a una significancia del 5 % para afirmar que la temperatura de vapor del primer evaporador es menor al parámetro establecido de 125 °C.

4.2.2 Contraste de la temperatura de vacío del último evaporador

a) Hipótesis del investigador:

La temperatura de vacío del último evaporador supera el estándar recomendado.

b) Redacción de la hipótesis:

H₀: La temperatura de vacío en el último evaporador es igual a 55 °C.

H₂: La temperatura de vacío en el último evaporador es diferente a 55 °C.

Prueba de normalidad

Tabla 27

Estadística descriptiva de temperatura de vacío último evaporador

		Estadístico	Error típ.
	Media	60,00	0,8386
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	58,188
		Límite superior	61,812
Vacío último evaporador	Mediana	60,000	
	Varianza	9,846	
	Desv. típ.	3,1379	
	Mínimo	56,0	
	Máximo	66,0	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28

Prueba de normalidad de la temperatura de vacío último evaporador

Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.
T° vacío	0,896	14	0,099

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 28 se puede observar que el p-valor 0,099 , donde $\alpha = 0,05$. Se acepta la hipótesis de que los datos de las temperaturas tomadas en el último evaporador provienen de una distribución normal.

Elección de la prueba estadística

T de Student para muestra única.

Tabla 29

Prueba de T Student para temperatura de vapor del vacío último evaporador

Valor de prueba = 55						
t	gl	Sig.	Diferencia de medias Error típ de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		
				Inferior	Superior	
Temperatura (°C)	5,962	13	0,000	5,000	3,188	6,812

Fuente: Elaboración propia.

Calculando la T de Student de tablas: $t = 1,771$ (Clifford & Taylor, 2008, p. 421)

Conclusiones

Observando que el nivel de significancia 0,000 calculado es menor al α de 0,05 se acepta la hipótesis H_2 planteada, la cual se comprueba con la t calculada 5,912 que es superior a 1,771 tabulada. Por lo que se tiene evidencia estadística razonable a una significancia del 5 % para afirmar que la temperatura de vapor en el último evaporador es superior al parámetro establecido de 55 °C.

4.2.3 Contraste del Brix del jugo clarificado alimentado al evaporador

a) Hipótesis del investigador:

El Brix del jugo clarificado alimentado al evaporador supera el estándar recomendado.

b) Redacción de la hipótesis:

H₀: El Brix del jugo clarificado es igual a 15° Brix.

H₃: El Brix del jugo clarificado es diferente a 15° Brix.

Prueba de normalidad

Tabla 30

Estadística descriptiva Brix de jugo clarificado

		Estadístico	Error típ.	
Brix Jugo clarificado	Media	15,7879	0,11970	
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	15,5293	
		Límite superior	16,0465	
	Mediana	15,6100		
	Varianza	0,201		
	Desv. típ.	0,44789		
	Mínimo	15,15		
	Máximo	16,52		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31

Prueba de normalidad del Brix de jugo clarificado

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Brix jugo	0,921	14	0,230

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 31 se puede observar que el p- valor 0,230 , donde $\alpha = 0,05$. Se acepta la hipótesis de que los datos de Brix del jugo clarificado corresponden a una distribución normal.

Elección de la prueba estadística

T de Student para muestra única.

Tabla 32

Prueba de T Student para el Brix de jugo clarificado

	Valor de la prueba = 15					
	t	gl	Sig.	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
Brix jugo	6,582	13	0,000	0,78786	0,5293	1,0465

Fuente: Elaboración propia.

Calculando la T de Student de tablas: $t = 1,771$ (Clifford & Taylor, 2008, p. 421)

Conclusiones

Observando que el nivel de significancia 0,000 calculado es menor al de 0,05 se acepta la hipótesis H3 planteada, la cual se comprueba con la t calculada 6,582 que es superior a 1,771 tabulada. Por lo que, se tiene evidencia estadística razonable a una significancia del 5 % para afirmar que el Brix del jugo clarificado es superior a 15° Brix.

4.2.4 Contraste del Brix del jarabe producido en el evaporador

a) Hipótesis del investigador:

El Brix del jarabe producido en el evaporador es inferior el estándar recomendado.

b) Redacción de la hipótesis:

H₀: El Brix del jarabe es igual a 65° Brix.

H₄: El Brix del jarabe es diferente a 65° Brix.

Prueba de normalidad.

Tabla 33

Estadística descriptiva para Brix del jarabe

		Estadístico	Error típ.
	Media	59,6521	0,94415
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior 57,6124	Límite superior 61,6919
Brix jarabe	Mediana	59,2850	
	Varianza	12,480	
	Desv. típ.	3,53268	
	Mínimo	54,12	
	Máximo	66,89	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34

Prueba de normalidad de los análisis del Brix del jarabe

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Análisis	0,970	14	0,881

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 34 se puede observar que el p-valor 0,881, donde $\alpha = 0,05$. Se acepta la hipótesis de que los datos del °Brix del jarabe corresponden a una distribución normal.

Elección de la prueba estadística.

T de Student para muestra única.

Tabla 35

Prueba de T Student para el Brix del jarabe

Valor de la prueba = 65						
	t	gl	Sig.	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
Brix del jarabe	-5,664	13	0,000	-5,34786	-7,3876	-3,3081

Fuente: laboración propia.

Calculando la T de Student de tablas: $t = -1,771$ (Clifford & Taylor, 2008, p. 421)

Conclusiones

Observando que el nivel de significancia 0,000 calculado es menor al de 0,05 se acepta la hipótesis H_4 planteada, la cual se comprueba con la t calculada -5,664 que es inferior a -1,771 tabulada. Por lo que, se tiene evidencia estadística razonable a una significancia del 5 % para afirmar que el Brix del jarabe es inferior al parámetro establecido de 65 °Brix.

4.2.5 Contraste del nivel de material en la calandria de los evaporadores

a) Hipótesis del investigador:

El nivel de material en la calandria de los evaporadores supera el estándar recomendado.

b) Redacción de la hipótesis:

H_0 : El nivel de material en los evaporadores es igual a 33 % de la altura de la calandria.

H_5 : El nivel de material en los evaporadores es diferente a 33 % de la altura de la calandria.

Prueba de normalidad.

Tabla 36

Estadística descriptiva para nivel de material en los evaporadores

		Estadístico	Error típ.
	Media	33,906	0,382
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior Límite superior	33,091 34,722
Nivel material	Mediana	34,000	
	Varianza	2,341	
	Desv. típ.	1,530	
	Mínimo	31,50	
	Máximo	36,50	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37

Prueba de normalidad de los niveles de material en los evaporadores

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Nivel material	0,9500	16	0,484

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 37 se puede observar que el p-valor 0,484, donde $\alpha = 0,05$. Se acepta la hipótesis de que los datos del nivel de material en los evaporadores respecto a la altura de la calandria corresponden a una distribución normal.

Elección de la prueba estadística

T de Student para muestra única.

Tabla 38

Prueba de T Student para el nivel de material en los evaporadores

Valor de la prueba = 33						
	t	gl	Sig.	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
Nivel de material	2,369	15	0,032	0,90625	0,910	1,7215

Fuente: Elaboración propia.

Calculando la T de Student de tablas: $t = 1,753$ (Clifford & Taylor, 2008, p. 421)

Conclusiones

Observando que el nivel de significancia 0,032 calculado es menor al de 0,05 se acepta la hipótesis H_5 planteada, la cual se comprueba con la t calculada 2,369 que es superior a 1,753 tabulada. Por lo que, se tiene evidencia estadística razonable a una significancia del 5 % para afirmar que el nivel de material en los evaporadores es superior a 33 % de la altura de la calandria.

4.2.6 Contraste del pH de los materiales en la calandria de los evaporadores

a) Hipótesis del investigador:

El pH de los materiales en la calandria de los evaporadores supera el estándar recomendado.

b) Redacción de la hipótesis:

H_0 : El pH de los materiales en la calandria de los evaporadores es igual a 6,5.

H_6 : El pH de los materiales en la calandria de los evaporadores es diferente a 6,5.

Prueba de normalidad

Tabla 39

Estadística descriptiva del pH de materiales en la calandria de evaporadores

		Estadístico	Error típ.
	Media	6,8938	0,03442
pH	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior Límite superior	6,8204 6,9671
	Mediana	6,9000	
	Varianza	0,019	
	Desv. típ.	0,13769	
	Mínimo	6,70	
	Máximo	7,15	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40

Prueba de normalidad del pH de materiales en la calandria de evaporadores

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
pH	0,942	16	0,374

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 40 se puede observar que el p-valor 0,374, donde $\alpha = 0,05$. Se acepta la hipótesis de que los datos del pH de los materiales en la calandria de evaporadores corresponden a una distribución normal.

Elección de la prueba estadística

T de Student para muestra única.

Tabla 41

Prueba de T Student para el pH de materiales en la calandria de evaporadores

Valor de la prueba = 6,5						
	t	gl	Sig.	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
pH	11,439	15	0,000	,39375	0,3204	0,4671

Fuente: Elaboración propia.

Calculando la T de Student de tablas: $t = 1,753$ (Clifford & Taylor, 2008, p. 421)

Conclusiones

Observando que el nivel de significancia 0,000 calculado es menor al de 0,05 se acepta la hipótesis H_6 planteada, la cual se comprueba con la t calculada 11,439 que es superior a 1,753 tabulada. Por lo que, se tiene evidencia estadística razonable a una significancia del 5 % para afirmar que el pH de los materiales en la calandria de los evaporadores es superior a 6,5.

4.2.7 Contraste del porcentaje de agua evaporada en los evaporadores

a) Hipótesis del investigador:

El porcentaje de agua evaporada en los evaporadores de múltiple efecto es inferior al estándar recomendado.

b) Redacción de la hipótesis:

H_0 : El porcentaje de agua evaporada es igual al 75,00 % en los evaporadores múltiple efecto.

H_7 : El porcentaje de agua evaporada es diferente al 75,00 % en los evaporadores múltiple efecto.

Prueba de normalidad

Tabla 42

Estadística descriptiva del agua evaporada en el múltiple efecto

		Estadístico	Error típ.
	Media	73,4714	0,35048
Agua evaporada	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	72,7143
		Límite superior	74,2286
	Mediana	73,7800	
	Varianza	1,720	
	Desv. típ.	1,31138	
	Mínimo	71,10	
	Máximo	75,78	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43

Prueba de normalidad del agua evaporada en el múltiple efecto

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
% agua evaporada	0,935	14	0,359

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 43 se puede observar que el p-valor 0,359, donde $\alpha = 0,05$. Se acepta la hipótesis de que los datos de % de agua evaporada en el múltiple efecto corresponden a una distribución normal.

Elección de la prueba estadística

T de Student para muestra única.

Tabla 44

Prueba de T Student para el agua evaporada en el múltiple efecto

Valor de la prueba = 75						
	t	gl	Sig.	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
% agua evaporada	-4,361	13	0,001	-1,52857	-2,2857	-0,7714

Fuente: Elaboración propia.

Calculando la T de Student de tablas: $t = -1,771$ (Clifford & Taylor, 2008, p. 421)

Conclusiones

Observando que el nivel de significancia 0,001 calculado es menor al de 0,05 se acepta la hipótesis H_7 planteada, la cual se comprueba con la t calculada -4,361 que es inferior a -1,771 tabulada. Por lo que, se tiene evidencia estadística razonable a una significancia del 5 % para afirmar que el porcentaje de agua evaporada es inferior al 75,00 % en los evaporadores múltiple efecto.

4.2.8 Contraste del porcentaje de área de calefacción utilizada de los evaporadores

a) Hipótesis del investigador:

El porcentaje de utilización de las áreas de calefacción en los evaporadores son inferiores a su capacidad instalada.

b) Redacción de la hipótesis:

H_0 : El porcentaje de utilización de las áreas de calefacción del múltiple efecto es igual al 100 % de su capacidad instalada.

H_8 : El porcentaje de utilización de las áreas de calefacción del múltiple efecto es diferente al 100 % de su capacidad instalada.

Prueba de normalidad

Tabla 45

Estadística descriptiva el uso de áreas de calefacción evaporadores

		Estadístico	Error típ.
	Media	71,5025	4,53546
Análisis	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	57,0687
		Límite superior	85,9363
	Mediana	74,1950	
	Varianza	82,281	
	Desv. típ.	9,07091	
	Mínimo	58,40	
	Máximo	79,22	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46

Prueba de normalidad del uso de áreas de calefacción de evaporadores

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
% utilización	0,857	4	0,255

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 46 se puede observar que el p- valor 0,255 , donde $\alpha = 0,05$. Se acepta la hipótesis de que los datos del porcentaje de utilización de las áreas de calefacción del múltiple efecto corresponden a una distribución normal.

Elección de la prueba estadística

T de Student para muestra única.

Tabla 47

Prueba de T Student para el uso de áreas de calefacción en evaporadores

Valor de la prueba = 100						
	t	gl	Sig.	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
% utilización	-6,283	3	0,008	-28,4975	-42,9313	-14,0637

Fuente: Elaboración propia.

Calculando la T de Student de tablas: $t = 2.353$ (Clifford & Taylor, 2008, p. 421)

Conclusiones

Observando que el nivel de significancia 0,008 calculado es menor al de 0,05 se acepta la hipótesis H_8 planteada, la cual se comprueba con la t calculada -6,283 que es inferior a 2,353 tabulada. Por lo que, se tiene evidencia estadística razonable a una significancia del 5 % para afirmar que el porcentaje de utilización de las áreas de calefacción del múltiple efecto es inferior al 100 % de su capacidad instalada.

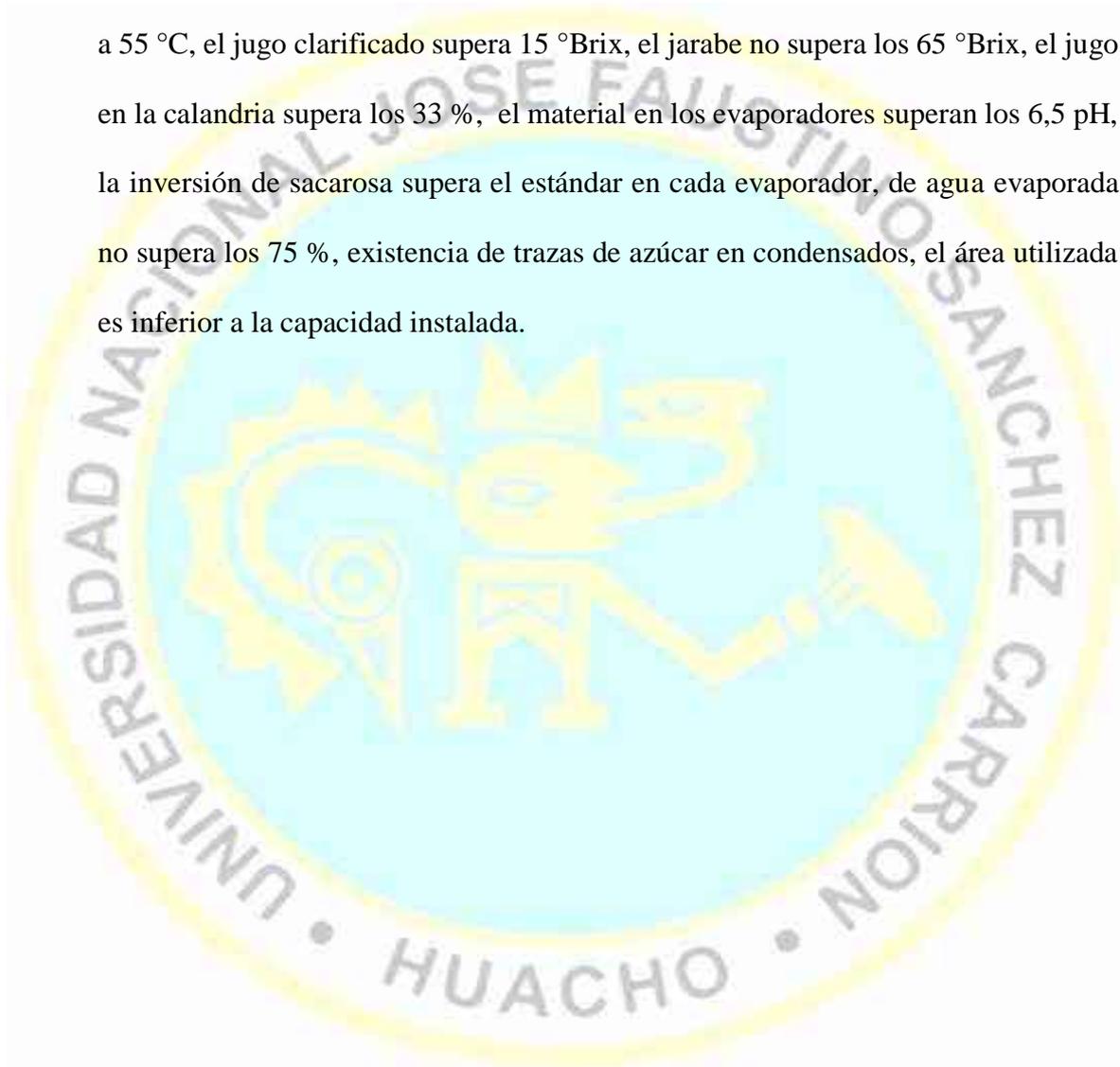
Resumen de los resultados

Se dimensiona los evaporadores de múltiple efecto en lo referente al cuerpo del evaporador, calandria, aislamiento en buen estado con accesorios para un adecuado control del material en proceso como los visores de nivel en cada evaporador, mirillas para observar el proceso de evaporación dentro de los evaporadores, control adecuado de gases incondensables apropiadamente instalados, medidores de presión y temperatura para las líneas de vapor y material apropiados.

En promedio y/o para cada evaporador vapor alimentado a 121,71 °C, vacío final 60,0 °C, jugo clarificado 15,79 °Brix y 82,00 Pureza, jarabe 59,65 °Brix y 80,47 pureza, agua evaporada 48,06, 24,44, 13,75 y 13,75 % y global (73,47 %), velocidad de vapor vegetal 1,10, 0,76, 1,12 y 4,02, nivel de jugo calandria 34,9, 32,0,

35,0 y 33,50 % (33,91 %), pH 7,04, 6,89, 6,88 y 6,78 (6,89), trazas de azúcar en condensados, ocasional en el cuarto evaporador, porcentaje de utilización 74,94, 79,22, 58,40 y 73,45 %, (71,50 %), tiempo de retención 4,01, 5,87, 4,32 y 5,55 min, (4,94 min), inversión de sacarosa 0,0088, 0,0060, 0,0013 y 0,0002 % (0,0040 %)

En promedio, la temperatura del vapor alimentado es menor a 125 °C, el vacío mayor a 55 °C, el jugo clarificado supera 15 °Brix, el jarabe no supera los 65 °Brix, el jugo en la calandria supera los 33 %, el material en los evaporadores superan los 6,5 pH, la inversión de sacarosa supera el estándar en cada evaporador, de agua evaporada no supera los 75 %, existencia de trazas de azúcar en condensados, el área utilizada es inferior a la capacidad instalada.



CAPITULO V

DISCUSIÓN

5.1 Discusión

Con respecto al estudio de Pantoja y Acuña (2019), donde afirman que la implementación de modelos de control en los evaporadores es muy importante para las industrias azucareras en la optimización del proceso y la materia prima, además indica que el modelo incluye ecuaciones de transferencia de calor para el múltiple efecto y los eyectores de chorro de vapor para optimizar el proceso de evaporación. Si bien es cierto, el estudio evidencia que el evaporador de múltiple efecto no cuenta con controles automatizados y que la experiencia de los operadores suple este inconveniente. Por tanto, se puede afirmar que la automatización es importante para el proceso concordante con lo afirmado por los autores.

Con referencia a la investigación realizada por Quinteros (2019), quien realiza la simulación con el software Aspen plus V8 determinando los puntos de menor eficiencia energética en el área de elaboración, predice apropiadamente el comportamiento del proceso y sugiere su aplicación en otras operaciones y procesos, evidenciando que el mayor consumidor de energía térmica es el primer evaporador, seguida por el segundo y el quinto evaporador. Del mismo modo, el evaporador de múltiple efecto en la empresa se controla con programas de simulación, confirmándose que el mayor consumidor de energía térmica es el evaporador de múltiple efecto. Por tanto, se puede afirmar que los controles a través de software, aseguran la operación del principal consumidor de energía térmica, concordante con lo afirmado por Quinteros.

En relación a la investigación realizada por Ferrera (2017), quien logró elevar de 58 ° Brix a 64 y 65° Brix en la meladura, mejorando el manejo en la preparación de las masas cocidas en los tachos. De igual manera, en la empresa el propósito de la evaluación técnica de los evaporadores de múltiple efecto es garantizar la separación de la mayor cantidad de agua contenida en el material por evaporación. En consecuencia, es viable la mejora del °Brix del jarabe, lo que reafirma las conclusiones a que llegó Ferrera.

Refiriendo a la investigación realizada por Quesada (2016), quien afirma que se debe de trabajar con los valores óptimos en cada efecto para calcular sus áreas. De igual forma, determinó las áreas de calefacción para su análisis y verificación del uso de su capacidad respecto a la capacidad instalada. Por lo tanto, se puede evidenciar que los valores óptimos de operación deben darse para sacar el máximo provecho a la capacidad instalada, corroborando lo afirmado por Quesada.

En cuanto a la investigación realizada por López (2016), quien afirma que se tiene un menor consumo térmico con evaporación múltiple efecto respecto a otras tecnologías, y que, a través de los balances de materia, energía conjuntamente con las leyes de transferencia de calor modeló el sistema. Se afirma, que la forma de operación del sistema de evaporación con tomas de vapor del segundo y tercer evaporador reduce significativamente el consumo térmico del sistema. Por consiguiente, esta situación de funcionamiento reafirma lo expresado por López.

En cuanto a la investigación realizada por Araya (2015), quien manifiesta que se debe colocar aislante en todas las tuberías, equipos para mejorar y aumentar la eficiencia de los evaporadores, determinando que existía un exceso consumo de vapor y pérdidas de calor y presión. Bajo esta perspectiva, en la empresa, los evaporadores de múltiple efecto están bien aislados y en consecuencia, se reducen significativamente las pérdidas de energía por radiación.

Acerca de la investigación realizada por Garro (2019), donde su simulador determinó los parámetros de diseño del evaporador, es preciso indicar que en el estudio se priorizó la evaluación de variables operacionales como temperatura, presión, nivel de material, porcentaje de evaporación e inversión de sacarosa, entre otros. Por tanto, se consideró parte de los parámetros proporcionado por Garro, en vista que es más fácil ajustar los parámetros operacionales en un equipo ya instalado.

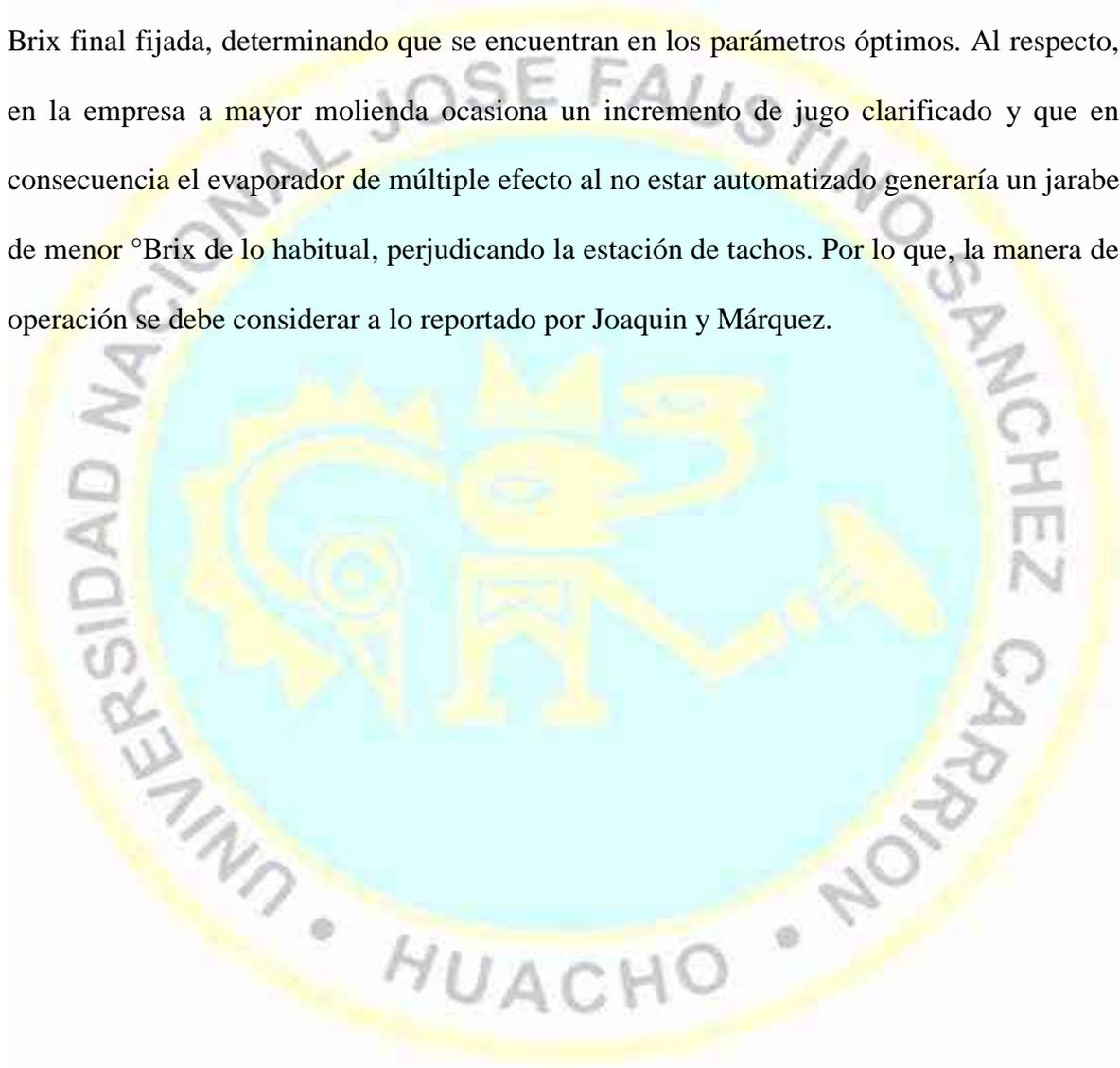
Refiriendo a la investigación realizada por Perez (2019), donde determinó el rango del porcentaje de consumo de vapor respecto a la caña limpia de 29,79 % a 45,32 %, indicando que el consumo de vapor es menor en las configuraciones donde utilizan en su mayor parte vapor vegetal del tercer evaporador, seguidamente del segundo y del primer evaporador del cuádruple efecto. De igual manera, en el evaporador de múltiple efecto que se evaluó, se considera preferentemente el uso de vapores vegetales del primer, segundo y tercer evaporador. Por lo tanto, se aproxima a lo afirmado por Perez.

En cuanto a Gamarra y Jave (2016), quien reportó que el ingreso del material al evaporador multiboiler la sacarosa disminuyó un 19,31 % con un tiempo perdido de 49,63 % por paradas. Considerando que cada empresa tiene sus propias particularidades, el evaporador múltiple efecto evaluado opera a un tiempo de retención promedio moderado lo que conlleva a incrementar la inversión de la sacarosa, favorecida por la no ocurrencia de paradas de los evaporadores de múltiple efecto. Por consiguiente es menor a lo reportado por Gamarra y Jave.

Referente a la investigación realizada por Gómez (2014), quien manifiesta que de acuerdo al calentamiento previo del jugo clarificado se obtienen una economía del 12 % del vapor de escape, reduciendo de 0,44 hasta 0,39 toneladas de vapor por tonelada de caña molida. Considerando ello, se pudo comprobar que una mayor temperatura del material a

los evaporadores incrementa la capacidad de evaporación del equipo a consecuencia del menor consumo de vapor requerido. Por lo tanto, se comprueba lo afirmado por Gómez.

Referente a la investigación realizada por Joaquin y Márquez (2004), quienes manifiestan que si se aumenta el flujo de jugo clarificado este perjudicaría la concentración del material en los siguientes evaporadores sin perjudicar al último evaporador por tener Brix final fijada, determinando que se encuentran en los parámetros óptimos. Al respecto, en la empresa a mayor molienda ocasiona un incremento de jugo clarificado y que en consecuencia el evaporador de múltiple efecto al no estar automatizado generaría un jarabe de menor °Brix de lo habitual, perjudicando la estación de tachos. Por lo que, la manera de operación se debe considerar a lo reportado por Joaquin y Márquez.



CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

El dimensionamiento del cuerpo, de la calandria de los evaporadores y sus accesorios instalados convenientemente, garantizan un adecuado control en la operación del evaporador de múltiple efecto.

Se obtiene las mediciones de la calidad de vapor alimentado, el vacío final obtenido en la estación de evaporadores, calidad de jugo clarificado, calidad de jarabe producido, la cantidad de agua evaporada por evaporador y total, el nivel de jugo en las calandrias, mediciones de pH de los materiales en proceso en los evaporadores, análisis de azúcar en condensados de cada evaporador y cálculo de la inversión de la sacarosa en cada evaporador.

Respecto a lo recomendado, si bien es cierto en la mayoría de los casos no cumplen con los estándares recomendado, se puede observar que las diferencias de las mediciones son mínimas respecto a los estándares fijados. Situación que la empresa debe considerar para un control de acuerdo a su evaluación económica de sacrificio de la eficiencia respecto al nivel de producción.

6.2 Recomendaciones

Para el control de la presión del vapor de alimentación, se sugiere instalar una válvula reguladora de presión con el objeto de mantener constante la presión de alimentación, en consecuencia, su temperatura también debe corresponder al de

vapor saturado, en tal sentido se sugiere adicionalmente instalar un humidificador que permitirá una mayor capacidad de calentamiento en el primer evaporador.

Para mejorar la presión de vacío en el último evaporador, se sugiere instalar un sistema automático que enlace la temperatura y flujo de agua hacia el condensador multijet. Asimismo, evaluar la altura de la pierna barométrica.

Respecto al °Brix del jugo clarificado, se sugiere automatizar el °Brix del jugo mezclado producido en el trapiche en función de la calidad de caña y el agua de imbibición. Situación que permitirá estandarizar el °Brix de alimentación al evaporador y asegurando un trabajo continuo del equipo.

Para el °Brix del jarabe, se sugiere mantenerlos muy próximos a 65 °Brix, mediante la instalación de un control automatizado, con el propósito de enviar una calidad constante de jarabe al departamento de cocimiento.

Para el nivel de material jugo o jarabe en los evaporadores se sugiere fijar éstos para que el operador los mantenga constantes durante su turno. Nivel que otorgue al evaporador el mayor coeficiente de transferencia de energía térmica, lo que permitirá mantener a la estación de evaporadores operando a su máxima capacidad.

Referente al pH del material en los evaporadores, se sugiere controlar con mayor frecuencia el ingreso de jugo mezclado encalado, reduciendo las paradas de molienda que afecta el tiempo de retención en las unidades de clarificación de jugo.

Se sugiere realzar un plan de mejoras para los evaporadores de múltiple efecto para el incremento de su capacidad, priorizando las acciones de importancia que incide en el incremento de capacidad.

La reducción de consumo de vapor en los evaporadores permitirá mejorar la eficiencia energética en el ingenio azucarero, la cual puede ser más atractivo si se aplica la cogeneración, generación simultanea de energía térmica y eléctrica, lo que

reduciría significativamente la demanda de energía eléctrica por la empresa, lo cual representaría en un ahorro económicamente significativo para la empresa azucarera. En general, observándose variaciones en los parámetros evaluados se debe considerar automatizar para la mejora de la eficiencia del evaporador, el cual será significativo en la reducción de costo de la empresa al ser el principal consumidor de energía térmica.



CAPITULO VII

REFERENCIAS

7.1 Fuentes documentales

Araya, J. A. (2015). *Evaluación del sistema de evaporación para la elaboración de azúcar en el Ingenio de la Central Azucarera Tempisque (CATSA)*. (Tesis de grado), Universidad de Costa Rica, San José. Recuperado el 21 de diciembre de 2019, de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/4300/1/38712.pdf>

Ferrera, G. Y. (2017). *Evaluación e implementación de mejora en el proceso de evaporación y mantenimiento de evaporadores del Consorcio Azucarero Central de Barahona*. (Tesis de grado), Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, Santo Domingo, República Dominicana. Recuperado el 18 de diciembre de 2019, de repositorio.unphu.edu.do/bitstream/handle/123456789/1190/Evaluaci%3fb3n%20e%20implementaci%3fb3n%20de%20mejoras%20en%20el%20proceso%20de%20evaporaci%3fb3n%20y%20mantenimiento%20de%20evaporadores%20del%20Consorcio%20Azucarero%20Central%20de%20Barahona.p

Gamarra, R. F., & Jave, D. L. (2016). *Análisis de pérdida de tiempo y sacarosa en el proceso de evaporación en agroindustrial Laredo S.A.A, desde marzo hasta agosto del 2015*. (Tesis de grado), Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad. Recuperado el 12 de enero de 2020, de http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9003/GamarraTorres_R%20-%20JaveRojas_D.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Garro, S. A. (2019). *Desarrollo de un simulador con microsoft excel par el diseño y evaluación de evaporadores de múltiple efecto en la industria azucarera*. (Tesis de grado), Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho. Recuperado el 02 de abril de 2020, de 200.48.129.167/bitstream/handle/UNJFSC/2764/GARRO%20VIA%20SIMEON.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gómez, E. B. (2014). *Modelamiento y simulación del sistema de evaporación de jugo clarificado para el etapa de ampliación de molienda de la empresa agroindustrial San Jacinto*. (Tesis de grado), Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, Trujillo. Recuperado el 12 de octubre de 2018, de http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3567/GomezCabanillas_E.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Joaquín, E., & Márquez, V. C. (2004). *Análisis de los parámetros de operación mediante modelamiento y simulación, del sistema de evaporadores de la Empresa Agroindustrial Laredo S.A.A.* (Tesis de grado), Universidad de Trujillo, Trujillo. Recuperado el 11 de octubre de 2018, de http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9125/JoaquinOruna_E%20-%20MarquezMathey_V.pdf?sequence=1&isAllowed=y

López, R. A. (2016). *Evaluación técnica y económica de la implementacion de un sistema de evaporación de múltiple efecto en los procesos productivos de la panela*. (Tesis de grado), Universidad Nacional de Colombia, Bogota. Recuperado el 17 de diciembre de 2019, de <http://bdigital.unal.edu.co/56075/1/1032385252.2016.pdf>

Pantoja, K. G., & Acuña, B. J. (2019). *Diseño de un sistema de control para los evaporadores de una industria azucarera*. (Tesis de grado), Universidad Estatal de

Milagro, Ecuador. Recuperado el 12 de diciembre de 2019, de
<http://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/4866/2/DISE%20E%20UN%20SISTEMA%20DE%20CONTROL%20PARA%20LOS%20EVAPORADORES%20EN%20UNA%20INDUSTRIA%20AZUCARERA.pdf>

Perez, N. (2019). *Análisis del consumo de vapor a diferentes configuraciones de funcionamiento de los evaporadores de cuádruple efecto en la industria azucarera*. (Tesis de grado), Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho. Recuperado el 02 de abril de 2020, de
repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/UNJFSC/3125/PEREZ%20PEREZ%20NILVIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Quesada, A. (2016). *Simulación de un sistema de evaporación de múltiple efecto*. (Tesis de grado), Universidad de Costa Rica, San José. Recuperado el 16 de diciembre de 2019, de
repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/5295/1/40223.pdf

Quinteros, C. A. (2019). *Evaluación de la eficiencia energética en el área de elaboración de un ingenio azucarero*. (Tesis de maestría), Pontificia Universidad Javeriana, Santiago de Cali, Colombia. Recuperado el 17 de enero de 2020, de
http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/12161/Evaluaci%20n_Eficiencia_Energ%20tica.pdf?sequence=1&isAllowed=y

7.2 Fuentes bibliográficas

Carrasco Díaz, S. (2017). *Metodología de la Investigación Científica: pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación* (2^a ed., 13^a reimpr.). Lima, Perú: San Marcos E.I.R.L.

Chen, J. C. (1997). *Manual de azúcar de caña: para fabricantes de azúcar de caña y químicos especializados* (11ª ed. 1ª reimpr.). (C. A. García, & C. Álvarez, Trads.) Mexico, México: Limusa S.A.

Clifford, B., & Taylor, R. (2008). *Bioestadística* (1ª ed.). (R. Fuerte, Ed.) México: Pearson Educación.

Córdova, I. (2017). *El proyecto de investigación cuantitativa* (1ª ed. 4ª reimpr.). Lima: San Marcos E.I.R.L.

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: McGraw-Hill Interamericana editores S.A.

Hugot, E. (1984). *Manual para ingenieros azucareros* (1ª ed. 7ª impr.). (C. Ruiz, Trad.) Mexico: CIA Editorial Continental S.A.

Pino, R. (2018). *Metodología de la investigación: elaboración de diseños para contrastar hipótesis* (2ª ed.). Lima: San Marcos E.I.R.L.

Pino, R. (2007). *Metodología de la investigación* (1ª ed.). Lima: San Marcos E.I.R.L.

RENOVETEC. (2009-2012). *Ingeniería de mantenimiento - Manual práctico de ingeniería de mantenimiento*. Madrid, España.

Spencer-Meade. (1967). *Manual de Azúcar de caña* (9ª ed.). (J. Roget, Trad.) Barcelona, España: Montaner y Simon S.A.

7.3 Fuentes hemerográficas

7.4 Fuentes electrónicas

Agencia Internacional de Energía. (2018). *World Energy Outlook 2018*. Recuperado el 12 de marzo del 2020, de

<https://webstore.iea.org/download/summary/190?fileName=Spanish-WEO-2018-ES.pdf>

Armstrong Internacional, Inc. (1998). *Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados: evaluación y selección de trampa de vapor*. Recuperado el 20 de marzo de 2020, de

<http://www.armstronginternational.com/files/products/traps/pdf/n101spanish.pdf>

BIOESTADISTICO. (12 de febrero de 2012a). 01. Tipos de investigación | Metodología de la investigación científica [Video]. Recuperado el 23 de agosto de 2019, de Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=QXmKN34hbtM>

BIOESTADISTICO. (12 de febrero de 2012b). 02. Niveles de investigación | Metodología de la investigación científica [Video]. Recuperado el 23 de agosto de 2019, de Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=hVmjWV4rpEQ&t=4s>

Global Energy. (2018). *La demanda global de energía continua en aumento: IEA*. Recuperado el 20 de marzo del 2020, de <https://globalenergy.mx/noticias-especiales/la-demanda-global-de-energia-continua-en-aumento-iea/>

Instituto de Filosofía. (2017). *Conferencia de Michael Marder: “Hacia una nueva filosofía de la energía”*. Recuperado el 20 de julio de 2020, de <http://institutedefilosofia.udp.cl/conferencia-de-michael-marder-hacia-una-nueva-filosofia-de-la-energia/>

Spirax Sarco. (s.f). Steam trapping overview. Recuperado el 12 de agosto de 2019, de https://content.spiraxsarco.com/-/media/spiraxsarco/international/documents/en/sb/steam_trapping-overview-sb-gst-33-en.ashx?rev=3e853d7bfaea4141a42ae8a660a7cc7a&_ga=2.84460313.1821912884.1586225946-1918931955.1583979900



ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Evaluación técnica de los evaporadores de múltiple efecto de la empresa Azucarera del Norte S.A.C. – 2019

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	SU DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA	MÉTODOS Y TÉCNICAS
GENERAL	GENERAL	GENERAL						TIPO DE INVESTIGACIÓN
¿Cómo se encuentra operando técnicamente los evaporadores de múltiple efecto de la empresa ANORSAC?	Realizar la evaluación técnica de los evaporadores de múltiple efecto de la empresa ANORSAC.	Los evaporadores de múltiple efecto se encuentran operando satisfactoriamente en la empresa ANORSAC.	<u>Variable de caracterización</u>	Dimensionamiento y accesorios en los evaporadores	Cuerpo del evaporador	Altura Diámetro	Razón Razón	Aplicativa Observacional.
ESPECÍFICOS ¿Cuáles son las dimensiones y accesorios instalados en los evaporadores de múltiple efecto de la empresa ANORSAC?	Realizar el acopio de datos técnicos de dimensionamiento y accesorios instalados en los evaporadores de múltiple efecto de la empresa ANORSAC.	ESPECÍFICAS Los datos técnicos se ordenan por el cuerpo del evaporador, aislamiento y accesorios instalados en los evaporadores de múltiple efecto de la empresa ANORSAC.			Calandria	Diámetro calandria Altura calandria Diámetro del tubo central Cantidad de tubos de calefacción Diámetro interior del tubo de calefacción	Razón Razón Razón Razón Razón	Retrospectivo. Longitudinal descriptivo
¿En qué condiciones se encuentran los evaporadores de múltiple efecto de la empresa ANORSAC?	Identificar las condiciones de operación de los evaporadores de múltiple efecto de la empresa ANORSAC.	Las condiciones de operación se identifican por el vapor alimentado al primer evaporador, vacío en el último evaporador, jugo clarificado, jarabe, agua evaporada, material procesado, condensados, % de superficie de calefacción utilizada en los evaporadores de múltiple efecto de la empresa ANORSAC.	1 Análisis de evaporadores de múltiple efecto	Condiciones de operación	Aislamiento y transf-de calor	Estado aislamiento Coeficiente global de transferencia	Ordinal Razón	NIVEL DE INVESTIGACIÓN Descriptivo
¿Cómo se está operando los evaporadores de múltiple efecto en la empresa ANORSAC?	Realizar la evaluación técnica de los parámetros de operación de los evaporadores de múltiple efecto de la empresa ANORSAC.	Los parámetros de operación están cumpliendo significativamente los estándares de operación recomendadas para los evaporadores de múltiple efecto de la empresa ANORSAC.	<u>Variable de interés</u>	Evaluación técnica	Accesorios	Visor de nivel (instalación, estado) Mirilla de observación cuerpos Evacuación de gases incondensables Medidor de Presión Medidor de Temperatura	Ordinal Ordinal Ordinal Ordinal Ordinal	DISEÑO No experimental transversal descriptivo.
					Vapor al primer evaporador.	Presión. Temperatura.	Razón Intervalo	
					Vacío en el último efecto,	Presión. Temperatura.	Razón Intervalo	POBLACIÓN Y MUESTRA
					Jugo clarificado,	Brix. Pureza.	Razón Razón	.Población
					Jarabe.	Brix. Pureza.	Razón Razón	Evaporador de múltiple efecto de la empresa ANORSAC en el año 2019.
					Agua evaporada	% de Agua evaporada Velocidad del vapor vegetal	Razón Razón	
					Material en la calandria	Altura de jugo Altura Porcentual de la calandria pH del material	Razón Razón Razón	Muestra.
					Análisis de condensados	Presencia	Nominal	Evaporador de múltiple efecto de la empresa ANORSAC en el año 2019.
					Calefacción	Porcentaje de utilización.	Razón	TÉCNICAS Documental Observación
					Inversión de sacarosa	Altura del jugo en la calandria Volumen del material en los evaporadores % tiempo de retención jugo/jarabe en evaporadores % pH en cada evaporador % Inversión de sacarosa en cada evaporador	Razón Razón Razón Razón Razón	
					Vapor	Temperatura del vapor de alimentación Temperatura del vacío en el último evaporador	Nominal Nominal	
					Jugo/jarabe	Brix del jugo clarificado Brix del jarabe Altura Porcentual de la calandria pH del material en la calandria Porcentaje de inversión en cada evaporador	Nominal Nominal Nominal Nominal Nominal	INSTRUMENTOS •Ficha de recolección Ficha de observación
					Agua evaporada	Porcentaje de agua evaporada	Nominal	
					Evaporador	Porcentaje de utilización de las áreas de calefacción	Nominal	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2. Vista desde el último evaporador



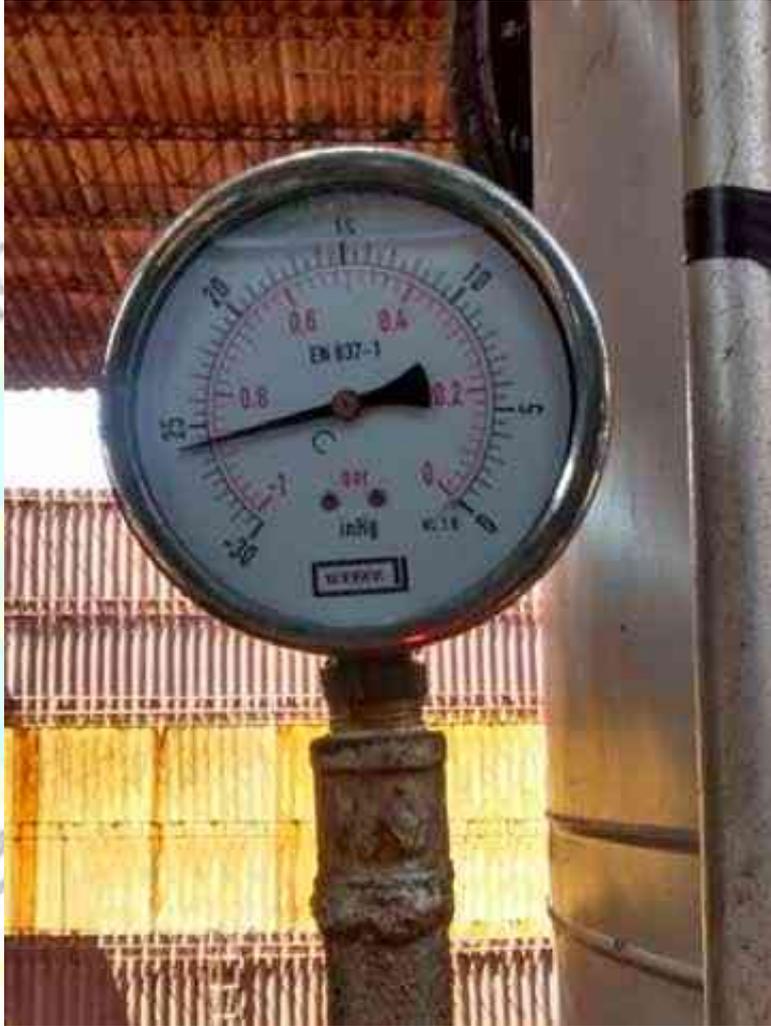
Fuente: ANORSAC

Anexo 3. Vista desde el primer evaporador



Fuente: ANORSAC

Anexo 4. Medidor de presión y vacío en el cuerpo de evaporadores



Fuente: ANORSAC

Anexo 5. Medidor de temperatura en el cuerpo de evaporadores



Fuente: ANORSAC

Anexo 6. Medidor de presión en las tuberías de vapor.



Fuente: ANORSAC

Anexo 7. Reporte 7 % de similitud turnitin.

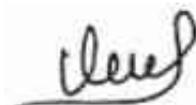
REPORTE PLAGIO OROPESA LOLI Maryceli			
INFORME DE ORIGINALIDAD			
7 %	%	%	%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
FUENTES PRIMARIAS			
1	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet		2 %
2	metodosestadisticos.unizar.es Fuente de Internet		1 %
3	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante		1 %
4	Submitted to Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion Trabajo del estudiante		<1 %
5	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante		<1 %
6	www.delcocontrols.ch Fuente de Internet		<1 %
7	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet		<1 %
8	David Anibal Paz Panduro. "Impacto de los diarios digitales en la votación electoral",		<1 %

TESIS

EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS EVAPORADORES DE MÚLTIPLE EFECTO DE LA EMPRESA AZUCARERA DEL NORTE S.A.C. – 2019



M(o). JHON HERBERT OBISPO GAVINO
Registro CIP 68007
Asesor



Dr. BERARDO BEDER RUIZ SANCHEZ
Registro CIP 26627
Presidente



Dr. MAXIMO TOMAS SALCEDO MEZA
Registro CIP 15140
Secretario



M(o). JAIME MAN MENDOZA
Registro CIP 108834
Vocal