



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROCEDIMIENTO OPERATIVO DE EVAPORACIÓN DE
JUGO DE CAÑA CLARO NECESARIO PARA COMPLEMENTAR EL SISTEMA DE GESTIÓN
DE CALIDAD EN INGENIO MADRE TIERRA, SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA,
ESCUINTLA**

Melissa Fabiola Martínez De La Roca

Asesorado por el Ing. William Eduardo Fagiani Cruz

Guatemala, abril de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROCEDIMIENTO OPERATIVO DE
EVAPORACIÓN DE JUGO DE CAÑA CLARO NECESARIO PARA
COMPLEMENTAR EL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD EN INGENIO
MADRE TIERRA, SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MELISSA FABIOLA MARTÍNEZ DE LA ROCA
ASESORADO POR EL ING. WILLIAM EDUARDO FAGIANI CRUZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, ABRIL DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
EXAMINADOR	Ing. Gerardo Ordóñez
EXAMINADOR	Ing. Sergio Alejandro Recinos
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROCEDIMIENTO OPERATIVO DE
EVAPORACIÓN DE JUGO DE CAÑA CLARO NECESARIO PARA
COMPLEMENTAR EL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD EN INGENIO
MADRE TIERRA, SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 7 de marzo de 2017.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Melissa Fabiola Martínez De La Roca', written in a cursive style.

Melissa Fabiola Martínez De La Roca



Guatemala, 12 de enero de 2018.
Ref.EPS.DOC.09.01.18.

Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Usac.

Inga. Classon de Pinto:

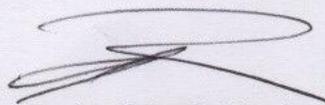
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **Melissa Fabiola Martínez de la Roca** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **201212717**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROCEDIMIENTO OPERATIVO DE EVAPORACIÓN DE JUGO DE CAÑA CLARO NECESARIO PARA COMPLEMENTAR EL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD EN INGENIO MADRE TIERRA, SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA”**.

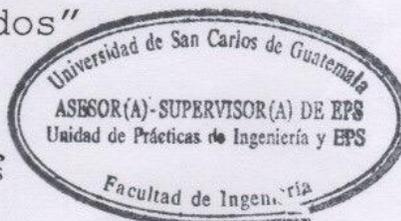
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Ing. Sergio Alejandro Recinos
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Química



c.c. Archivo
SAR/ra



Guatemala, 27 de febrero de 2018.
 Ref. EIQ.TG-IF.010.2018.

Ingeniero
 Carlos Salvador Wong Davi
 DIRECTOR
 Escuela de Ingeniería Química
 Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **002-2017** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Modalidad Seminario de Investigación-

Solicitado por la estudiante universitaria: **MELISSA FABIOLA MARTÍNEZ DE LA ROCA**.
 Identificada con número de carné: **2269 79652 0101**.
 Identificada con registro académico: **2012-12717**.
 Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROCEDIMIENTO OPERATIVO DE EVAPORACIÓN DE JUGO DE CAÑA CLARO NECESARIO PARA COMPLEMENTAR EL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD EN INGENIO MADRE TIERRA, SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **William Eduardo Fagiani Cruz**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Estuardo Edmundo Monroy Benítez
 COORDINADOR DE TERNA
 Tribunal de Revisión
 Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.008.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Ejercicio Profesional Supervisado (**EPS final**) de la **carrera de Ingeniería Química** del estudiante **MELISSA FABIOLA MARTÍNEZ DE LA ROCA** titulado: **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROCEDIMIENTO OPERATIVO DE EVAPORACIÓN DE JUGO DE CAÑA CLARO NECESARIO PARA COMPLEMENTAR EL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD EN INGENIO MADRE TIERRA, SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA"** Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
FACULTAD DE INGENIERIA USAC
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
DIRECTOR

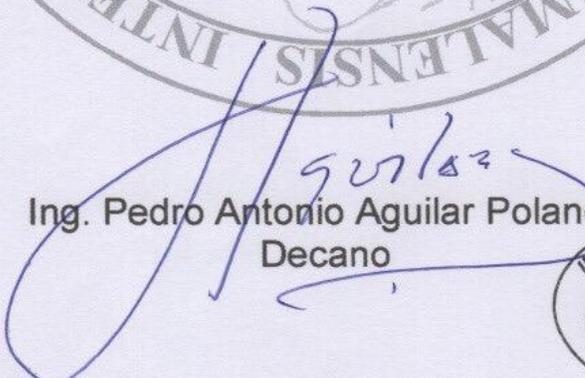
Guatemala, abril de 2018

Cc: Archivo
CSWD/ale



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROCEDIMIENTO OPERATIVO DE EVAPORACIÓN DE JUGO DE CAÑA CLARO NECESARIO PARA COMPLEMENTAR EL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD EN INGENIO MADRE TIERRA, SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA**, presentado por la estudiante universitaria: **Melissa Fabiola Martínez De La Roca**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, abril de 2018

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Todo se lo debo a Él.
Mis padres	René Martínez y Fabiola De La Roca, por su apoyo, paciencia y amor. En especial por la motivación dada y el gran ejemplo que son en mi vida.
Mi hermana	Andrea Martínez, por su comprensión, apoyo y amor.
Mi novio	Luis Carlos Perdomo, por haberme acompañado y apoyado en este proceso.
Mis abuelos maternos	Armín De La Roca (q.e.p.d) y Benilde Quiroa.
Mis abuelos paternos	René Martínez (q.e.p.d) y Alba Corado.
Mis tíos	Astrid De La Roca, Armín De La Roca, Juan Pablo De La Roca, Roberth Martínez y William Martínez.
Mis primos	Josué De La Roca, Vannessa De la Roca, Pedro Pablo De La Roca, Ivanna De La Roca Lauren Martínez, Gabriela Martínez, Daniel Martínez y Natalie Martínez.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por haberme amado y regalado salvación. Hasta aquí su mano me ha sostenido.
Mis padres	Rene Martínez y Fabiola De La Roca, por su apoyo para alcanzar esta meta.
Mi hermana	Andrea Martínez, por su ayuda y cariño.
Mi novio	Luis Carlos Perdomo, por su ayuda y cariño.
Asesor	Ing. William Eduardo Fagiani Cruz, por el apoyo en la realización del proyecto y a lo largo de la carrera.
Revisor	Ing. Estuardo Monroy. Por el tiempo dedicado a la revisión de este proyecto.
Ingenio Madre Tierra	Por haberme recibido como un miembro más de su equipo.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por haber puesto a prueba mi paciencia y perseverancia.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. ANTECEDENTES.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Norma ISO 9001.....	3
2.2. Norma ISO 22000.....	4
2.3. Norma FSSC 22000.....	5
2.4. Requisitos documentales PepsiCo SQA.....	6
2.5. Requisitos de la documentación.....	7
2.5.1. Generalidades.....	7
2.5.2. Control de los documentos.....	7
2.6. Características del proceso a evaluar y documentar.....	8
2.6.1. Concentración.....	9
2.6.2. Espuma.....	9
2.6.3. Termolabilidad.....	9
2.6.4. Incrustaciones.....	10
2.6.5. Evaporación de simple y múltiple efecto.....	10
2.6.6. Rango de temperaturas y presiones.....	11
2.6.7. Elevación del punto de ebullición.....	11

2.6.8.	Cabeza hidrostática	12
2.6.9.	Principios de evaporación con múltiples efectos.....	12
2.6.9.1.	Principios de Rillieux.....	12
2.6.10.	Extracciones de vapor	13
2.6.11.	Sistemas de flujo en paralelo, contracorriente y combinado.....	13
2.6.12.	Tasa de transferencia de calor	15
2.6.13.	Pérdidas de calor.....	16
2.6.14.	Golpe de ariete	17
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	19
3.1.	Variables	19
3.2.	Delimitación del campo de estudio	19
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	19
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	20
3.5.	Técnica cualitativa.....	21
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	21
4.	RESULTADOS	23
4.1.	Diagrama de flujo de jugo	23
4.2.	Diagrama de flujo vapor y condensados.....	24
4.3.	Metodología de arranque de la estación de evaporadores	25
4.4.	Metodología de operación de la estación de evaporadores.....	29
4.5.	Metodología de preparación, dosificación y almacenamiento de alfa-amilasa.....	30
4.5.1.	Preparación	30
4.5.2.	Dosificación	30
4.5.3.	Almacenamiento.....	31

4.6.	Metodología de dosificación y almacenamiento de antiincrustante.	32
4.6.1.	Dosificación	32
4.6.2.	Almacenamiento	33
4.7.	Metodología de limpieza de evaporadores	34
4.8.	Procedimiento de evaporación de jugo claro	38
4.8.1.	Alcance	38
4.8.2.	Propósito.....	38
4.8.3.	Términos y definiciones	39
4.8.4.	Parámetros de desempeño	40
4.8.5.	Desarrollo	42
4.8.5.1.	Operación	42
4.8.5.2.	Limpieza.....	43
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	45
6.	LOGROS OBTENIDOS.....	49
	CONCLUSIONES.....	51
	RECOMENDACIONES.....	53
	BIBLIOGRAFÍA.....	55
	APÉNDICES.....	57
	ANEXOS	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Evaporación múltiple efecto	10
2.	Diagrama de flujo de jugo claro	23
3.	Diagrama de flujo vapor y condensados	24
4.	Estación de alfa-amilasa	31
5.	Rombo de seguridad alfa-amilasa	32
6.	Rombo de seguridad antiincrustante	34

TABLAS

I.	Tiempo de ebullición durante la limpieza con hidróxido de sodio	36
II.	Presión de prueba hidrostática	37
III.	Información técnica del área de evaporación	49

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°Brix	Grados Brix
°C	Grados centígrados
inHg	Pulgadas de mercurio
kPa	Kilo pascales
mmHg	Milímetros de mercurio
POL	Polarización
PSI	Libras por pulgada cuadrada

GLOSARIO

Alfa-amilasa	Es una enzima cuya función es hidrolizar el almidón en el jugo de caña para evitar la pérdida por inversión del azúcar.
Antiincrustante	Es una formulación estable de dispersantes específicos en forma líquida, especialmente, formulado como inhibidor de incrustación.
Bomba de vacío	Máquina designada para la compresión de un gas. Es un tipo de compresor que succiona a una presión por debajo de la atmosférica y descarga a presión atmosférica.
Cogeneración	Excedente de energía producido por la unión entre un usuario de calor de bajo grado, en este caso la estación de evaporación, con una planta generadora de energía. El excedente podrá venderse cuando la fábrica esté operando o esté quemando bagazo almacenado.
Condensador barométrico	Es un condensador de contacto directo en el que el agua es rociada como spray y el vapor fluye en contra corriente.

Diagrama de flujo

Es una copia autorizada del proceso que permite ver el diseño de la planta y que puede servir para hacer cálculos de costos, rediseños, operaciones, balances de masa y energía, etc. En términos generales, es la representación gráfica del algoritmo o proceso.

Evaporador

Consiste en un haz de tubos verticales, corto, usualmente de no más de 6'0" de altura, colocado entre dos espejos que se remachan en las bridas del cuerpo del evaporador. El vapor fluye por fuera de los tubos de la calandria y hay un gran paso circular de derrame en el centro del haz de tubos donde el líquido más frío recircula hacia la parte inferior de los tubos. Este equipo está compuesto por la calandria y el vaso o cuerpo del evaporador.

Grados Baumé

En ocasiones también se refiere a escala Baumé. Se utiliza en la medida de las concentraciones de algunas soluciones como jarabes o ácidos. La escala Baumé no tiene ninguna relación conveniente con el porcentaje de composición de las soluciones de azúcar, y por esta razón su uso ha desaparecido en gran parte del trabajo azucarero. Sin embargo, existe una relación entre el Brix y el Baumé a una temperatura específica

Grados Brix	Es el porcentaje en peso de la sacarosa en una solución de azúcar pura. Se acostumbra a considerar al grado Brix como el porcentaje de materia sólida, o sólidos totales, disueltos en un líquido. Sin embargo, esto solamente es cierto en las soluciones de azúcar pura.
Hidrolavado	Lavado de equipo a alta presión. Generalmente, se utiliza con la finalidad de remover incrustaciones o corrosión.
Hidróxido de sodio	También llamado soda cáustica; es un compuesto químico, sólido y corrosivo; generalmente, se categoriza como una base fuerte y se usa en forma perlas o en solución; uno de sus usos es la limpieza y remoción de incrustaciones.
Homogéneo	Dicho de una sustancia o de una mezcla de varias. De composición y estructura uniformes en una solución de azúcar pura.
Imbibición	Proceso de añadir agua en la estación de molienda para aumentar la extracción de jugo. El agua añadida se denomina agua de imbibición.
Jugo de caña clarificado	Jugo proveniente de los clarificadores.

Luceta	Parte de un evaporador que permite medir el nivel o contenido del líquido de un evaporador.
Prueba hidrostática	Evaluación que se realiza un equipo para determinar el estado de tuberías y posibles fugas. Consiste en presurizar un equipo, sin estar en funcionamiento, hasta una presión de prueba que debe ser mayor al 10 % de la presión de seguridad. Para esto se utiliza un fluido incompresible, generalmente agua, cuyo comportamiento al incremento de presión no genere riesgos.
SQA	Se refiere al sistema de control de calidad para proveedores por parte del cliente. Es decir, la forma como un cliente específico audita la calidad de la meladura producida.

RESUMEN

Con el objetivo de diseñar e implementar el procedimiento operativo y de limpieza del área de evaporación de jugo de caña claro en Ingenio Madre Tierra, se propuso elaborar una serie de documentos para la correcta operación de los equipos utilizados en la evaporación de jugo; de forma que se eviten paros no programados en la producción, daños en las tuberías y los equipos; también, meladura que no cumpla con los parámetros de calidad establecidos.

El proyecto se desarrolló en tres fases: fase de investigación: recopilación de la información necesaria respecto al sistema documental y de gestión de la calidad aplicado en el ingenio; también la información técnica de los aditivos químicos utilizados, la configuración de los evaporadores en el sistema múltiple efecto y los equipos involucrados. Fase de servicio técnico profesional: análisis de la operación actual del sistema de evaporación y la elaboración de documentos que detallan la correcta operación y limpieza de los equipos en el área de evaporación.

Finalmente, en la fase de difusión se presentan los documentos realizados; además, un plan de capacitación para el personal a cargo de la operación de los evaporadores.

Luego de la ejecución de cada fase, se obtuvo un documento que promueve prácticas estandarizadas en la operación de equipos en el área de evaporadores, de forma que se produzca meladura con las especificaciones requeridas.

OBJETIVOS

General

Diseñar e implementar el procedimiento de evaporación de jugo de caña claro en Ingenio Madre Tierra, que considere la adición de aditivos al jugo que influyen directamente en el proceso de evaporación y la limpieza de las calandrias.

Específicos

1. Realizar un análisis de los flujos de entrada y salida del sistema de evaporación.
2. Elaborar el diagrama de flujo del proceso de evaporación.
3. Determinar metodologías de operación de evaporadores, bombas de vacío y condensadores barométricos por medio de instrucciones que permitan a los operarios ejecutar prácticas estandarizadas de producción.
4. Determinar metodologías de dosificación de aditivos al jugo de caña clarificado por medio de instrucciones que permitan a los operarios estandarizar la dosificación de cualquier aditivo.
5. Elaborar un documento que estandarice la operación de los evaporadores, las bombas de vacío y los condensadores barométricos.

INTRODUCCIÓN

El proceso de fabricación de azúcar sigue siete procesos elementales: molienda, alcalizado, clarificación, evaporación, cristalización, centrifugación, secado y, en algunos casos, enfriado. Sin embargo, la operación de dichos procesos requiere de prácticas estandarizadas y documentadas que garanticen y respalden la calidad del producto final.

Por tal razón, surgen sistemas de gestión de calidad que requieren de un alto nivel de documentación de procesos, situación que en la agroindustria azucarera es de suma importancia debido a la implementación de normativas de seguridad alimentaria.

Típicamente la documentación y estandarización de operaciones se fundamenta en normativas internacionales que facilitan las operaciones de comercialización de los productos y/o materias primas. Entre las normativas utilizadas en la industria azucarera se encuentran las normas ISO 9001 e ISO 22000; estas normativas establecen los requisitos para los sistemas de gestión de calidad y los requisitos para los sistemas de gestión de la inocuidad de los alimentos en cualquier organización en la cadena alimentaria.

Una de las principales razones para documentar el proceso de evaporación es que es el proceso con mayor consumo energético. Además, generalmente el condensado obtenido en la etapa de evaporación es utilizado en el lavado de cristales en el proceso de centrifugación por lo que se vuelve importante contar con prácticas que estandaricen la operación y garanticen la inocuidad en el proceso.

El proceso de documentación en el área de evaporación pretende servir como base en la mejora continua del área para la concentración de soluciones o jarabes. Elimina típicamente alrededor del 90 % del agua del jugo clarificado; lo que aumenta los sólidos presentes en el jugo de cerca de 15 °Brix alrededor de 65 a 70 °Brix.

A partir de lo mencionado anteriormente, surge la necesidad de estandarizar el procedimiento de operación y limpieza de las series de evaporadores de forma que la operación de evaporación produzca meladura de calidad con parámetros de desempeño uniformes y documentados de forma que se satisfaga las necesidades del sistema de gestión de calidad y los consumidores.

1. ANTECEDENTES

Central Agro Industrial Guatemalteca se dedica a procesar caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la obtención de azúcar crudo y blanco estándar; también, CJM, jugo de caña y melaza, por sus siglas en inglés. Ubicada en el kilómetro 94,5 carretera a Mazatenango, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla; esta empresa opera, durante la zafra, las veinticuatro horas del día y atiende en horario de siete a diecisiete horas.

Como parte del programa de crecimiento y el sistema de gestión de calidad, Central Agro Industrial Guatemalteca S. A., ha decidido ser el proveedor de una de las fábricas de refrescos carbonatados más grandes del país. Sin embargo, uno de los requerimientos de su potencial cliente es la documentación del proceso de fabricación de azúcar; específicamente, la evaporación que incluye parámetros de desempeño, puntos críticos, etc.

Entre los principales parámetros a investigar y documentar están: temperatura de ebullición en cada uno de los efectos y su presión; variables que determinan el desempeño eficiente del tándem de evaporadores. Además, debido a que existen diferentes configuraciones del sistema de evaporación resulta importante la implementación de procedimientos e instructivos que faciliten la operación eficiente y estandarizada de los evaporadores.

Actualmente, los procesos documentales en el ingenio se fundamentan en normas internacionales, certificables que permiten evaluar de forma objetiva el proceso de documentación.

2. MARCO TEÓRICO

Uno de los casos especiales de transferencia de calor a un líquido en ebullición es la evaporación. El objetivo principal de esta operación es concentrar una solución consistente en un soluto no volátil y un solvente volátil; generalmente, el solvente es agua. La evaporación se realiza vaporizando una parte del solvente para producir una solución concentrada de licor espeso.

La evaporación es una de las operaciones unitarias más importantes de la industria azucarera. Además, es uno de los factores más influyentes en la eficiencia energética de un ingenio. El proceso de evaporación consiste en incrementar la concentración del jugo clarificado desde 14 – 16 °Brix hasta 65 – 68 °Brix; lo cual hace que la operación de evaporación sea la de mayor consumo de vapor en un ingenio. La configuración de la estación de evaporación determina la cantidad de vapor que el ingenio requiere, es por esto que una buena distribución de los evaporadores influye en la eficiencia energética del proceso.

2.1. Norma ISO 9001

La adopción de un sistema de gestión de la calidad debería ser una decisión estratégica de la organización. El diseño y la implementación del sistema de gestión de la calidad de una organización están influenciados por:

- El entorno de la organización y los cambios y riesgos asociados con el mismo
- Necesidades cambiantes de la organización
- Objetivos particulares

- Los productos que proporciona
- Los procesos que emplea
- El tamaño y la estructura de la organización

El proceso documental pretende la adopción de un enfoque basado en procesos de forma que sea posible aumentar la satisfacción del cliente mediante el cumplimiento de sus requisitos.

Esta norma internacional especifica los requisitos para un sistema de gestión de la calidad, cuando una organización necesita demostrar su capacidad para proporcionar regularmente productos que satisfagan los requisitos del cliente y los legales y reglamentarios aplicables y aspira a aumentar la satisfacción del cliente a través de la aplicación eficaz del sistema; incluidos los procesos para la mejora continua del sistema y el aseguramiento de la conformidad con los requisitos del cliente y los legales y reglamentarios aplicables.

Todos los requisitos de esta norma internacional son genéricos y se pretende que sean aplicables a todas las organizaciones sin importar su tipo, tamaño y producto suministrado.

2.2. Norma ISO 22000

La inocuidad de los alimentos se refiere a la existencia de peligros asociados a los alimentos en el momento de su consumo (ingestión por los consumidores). Como la introducción de riesgos para la inocuidad de los alimentos puede ocurrir en cualquier punto de la cadena alimentaria, es esencial su control adecuado.

Así, la inocuidad de los alimentos está asegurada a través de la combinación de esfuerzos de todas las partes que participan en la cadena alimentaria.

Las organizaciones dentro de la cadena alimentaria varían desde productores de alimentos para animales y productores primarios hasta fabricantes de alimentos, operadores de transporte y almacenaje y subcontratistas para la venta al por menor y centros de servicios de alimentación (junto con organizaciones interrelacionadas como productores de equipamiento, material de embalaje, agentes de limpieza, aditivos e ingredientes). Los proveedores de servicios también están incluidos.

Esta norma internacional especifica los requisitos para un sistema de gestión de la inocuidad de los alimentos que combina los siguientes elementos clave generalmente reconocidos para asegurar la inocuidad de los alimentos a lo largo de toda la cadena alimentaria hasta el punto de consumo final.

2.3. Norma FSSC 22000

La certificación de sistemas de seguridad alimentaria 22000 (FSSC 22000) es un sistema de certificación sólido y basado en las normas ISO, aceptado a nivel internacional para la auditoría y la certificación de la seguridad alimentaria en toda la cadena de suministro.

La FSSC 22000 utiliza las normas existentes ISO 22000, ISO 22003 y las especificaciones técnicas de los PPR del sector, que fueron desarrolladas a través de una consulta amplia y abierta con un gran número de organizaciones afines.

Los fabricantes certificados por la ISO 22000 pueden obtener la certificación FSSC 22000 completa aceptada por la GFSI, que cumple los requisitos de las especificaciones técnicas de los PPR del sector y los requisitos adicionales del sistema.

2.4. Requisitos documentales PepsiCo SQA

Los requisitos del sistema de gestión de calidad de proveedores de grupo PepsiCo deben estar orientados a una lista de revisión que comprende:

- ¿Existe un sistema implementado para mantener y controlar los documentos y registros críticos para la inocuidad alimentaria, calidad, legalidad y efectividad de las operaciones?
- ¿Los documentos vigentes son conocidos por el personal pertinente y se puede acceder a ellos fácilmente?
- ¿Se requiere que todos los registros de calidad y de la operación sean controlados periódica y rutinariamente por personal autorizado y que dicho control se documente?
- ¿Está implementada una política de retención de documentos? ¿Cumple la misma con los estándares PepsiCo? (Retención mínima de 1 año más allá del vencimiento de los productos y cumplimiento de los requisitos legales locales).

2.5. Requisitos de la documentación

2.5.1. Generalidades

La documentación del sistema de gestión de la inocuidad de los alimentos debe incluir:

- Declaraciones documentadas de una política de la inocuidad de los alimentos y de objetivos relacionados.
- Los procedimientos documentados y registros requeridos por esta norma internacional.
- Documentos que la organización necesita para asegurarse del eficaz desarrollo, implementación y actualización del sistema de gestión de la inocuidad de los alimentos.

2.5.2. Control de los documentos

Los documentos requeridos por el sistema de gestión de la inocuidad de los alimentos deben controlarse.

Los controles deben asegurar que todos los cambios propuestos se revisan antes de su implementación para determinar sus efectos sobre la inocuidad de los alimentos y su impacto sobre el sistema de gestión de la inocuidad de los alimentos.

Se debe establecer un procedimiento documentado que defina los controles necesarios para:

- Aprobar los documentos en cuanto a su adecuación antes de su emisión.
- Revisar y actualizar los documentos cuando sea necesario y aprobarlos nuevamente.
- Asegurarse de que se identifican los cambios y el estado de revisión actual de los documentos.
- Asegurarse de que las versiones pertinentes de los documentos aplicables se encuentran disponibles en los puntos de uso.
- Asegurarse de que los documentos permanecen legibles y fácilmente identificables.
- Asegurarse de que se identifican los documentos pertinentes de origen externo y se controla su distribución.
- Prevenir el uso no intencionado de documentos obsoletos y asegurarse de que están identificados apropiadamente como tales en el caso de que se mantengan por cualquier razón.

2.6. Características del proceso a evaluar y documentar

La solución práctica a un problema de evaporación está en estrecha relación con el carácter del líquido que se concentra.

Es la gran variedad de características de licores lo que amplía esta operación desde una sencilla transferencia de calor hasta un arte separado.

2.6.1. Concentración

Aunque la solución de alimentación que entra como licor a un evaporador puede estar suficientemente diluida, teniendo muchas de las propiedades físicas del agua, a medida que aumenta la concentración esta adquiere gradualmente propiedades características.

La densidad y viscosidad aumentan con el contenido de sólidos hasta que la solución se transforma en saturada o el licor se vuelve demasiado viscoso para una transferencia de calor adecuada. La temperatura de ebullición de la solución puede también aumentar en forma considerable al aumentar el contenido de sólidos, de modo que la temperatura de ebullición de una solución concentrada puede ser mucho mayor que la del agua a la misma presión.

2.6.2. Espuma

Algunos materiales, en especial las sustancias orgánicas, forman espuma durante la vaporización. Una espuma estable acompaña al vapor que sale del evaporador, causando un fuerte arrastre del soluto.

2.6.3. Termolabilidad

Muchos productos químicos finos, productos farmacéuticos y alimentos se deterioran cuando se calientan a temperaturas moderadas durante tiempos relativamente cortos.

En la concentración de estos materiales se necesitan técnicas especiales para reducir la temperatura del líquido y el tiempo de calentamiento.

En el caso particular del azúcar esta experimenta caramelización (una serie de reacciones) a temperaturas superiores a 160 °C lo que modifica su color y sabor. Además, junto con los cambios mencionados anteriormente, se producen compuestos químicos volátiles e inversión de la sacarosa.

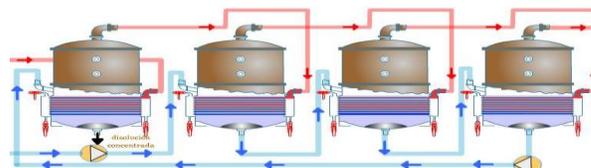
2.6.4. Incrustaciones

Algunas soluciones depositan costras sobre la superficie de calentamiento. En estos casos, el coeficiente global de transferencia de calor disminuye a medida que avanza el tiempo hasta que resulta inevitable detener la operación del evaporador y realizar una limpieza (química y/o física) de los tubos.

2.6.5. Evaporación de simple y múltiple efecto

Generalmente, la transferencia de calor en los evaporadores es por medio de vapor de agua que condensa sobre tubos metálicos. Típicamente, la solución a concentrar (patrón) fluye dentro de los tubos y el medio de calentamiento (comparsa) fluye en el exterior de la tubería.

Figura 1. **Evaporación múltiple efecto**



Fuente: *Múltiple efecto*. <https://www.epsem.upc.edu/ca>. Consulta: 12 de noviembre de 2017.

En los casos donde se utiliza un solo evaporador, el vapor procedente del líquido en ebullición se condensa y se desecha. Este caso en particular recibe el nombre de evaporación de simple efecto y utiliza ineficazmente el vapor. Sin embargo, si el vapor procedente de uno de los evaporadores, se utiliza como medio de calentamiento de otro evaporador y el vapor extraído de éste se envía al condensador, la operación recibe el nombre de doble efecto. Puede establecerse, entonces, un método de evaporación que utiliza el vapor producido por una serie de evaporadores entre el suministro de vapor y el condensador para mejorar la eficiencia energética; este es el caso de la evaporación de efecto múltiple.

2.6.6. Rango de temperaturas y presiones

El calor que se suministra a los evaporadores generalmente es vapor de escape que se encuentra a presiones entre 180 y 250 kPa absolutos. Las temperaturas de saturación del vapor correspondientes son 117 °C y 127 °C.

Generalmente, el último efecto de la serie de evaporadores opera en un rango de presiones de 12 – 17 kPa, correspondientes a una temperatura de vapor saturado de 49 – 57 °C, respectivamente. Este rango corresponde a un vacío de entre 26,5 – 25,0 pulgadas de mercurio en la mayoría de ingenios localizados cerca del nivel del mar.

2.6.7. Elevación del punto de ebullición

A medida que la concentración de sólidos disueltos incrementa, la temperatura de ebullición del líquido aumenta por encima de la correspondiente a la temperatura de vapor saturado a igual presión. La elevación del punto de ebullición es una consecuencia de los cambios en las propiedades del líquido.

2.6.8. Cabeza hidrostática

Los líquidos que hierven por debajo de cierta presión hidrostática presentan ebullición a mayor temperatura que la temperatura de saturación del vapor en el espacio por encima del líquido. Este efecto debe considerarse al realizar cálculos referentes a evaporación.

Este efecto generalmente es pequeño en la mayoría de los procesos de evaporación; sin embargo, se vuelve importante al incrementar el vacío, debido a que la presión hidrostática se vuelve significativa con relación a la presión absoluta del evaporador.

La elevación del punto de ebullición puede calcularse como el incremento de la temperatura de saturación debido a un incremento de presión equivalente a la cabeza del líquido correspondiente. La temperatura promedio de ebullición ha de ser evaluada a la profundidad media del líquido.

2.6.9. Principios de evaporación con múltiples efectos

2.6.9.1. Principios de Rillieux

La evaporación con múltiples efectos fue desarrollada por Norbert Rillieux en Luisiana y patentada en 1840.

A partir de investigaciones en la industria azucarera se desarrollaron principios para el diseño y funcionamiento de evaporadores:

- En un evaporador múltiple efecto con N efectos, un kg de vapor evaporará N kg de agua.

- En una serie de evaporadores de dos efectos un kg de vapor evaporará dos kg de agua; en uno de tres efectos, tres kg de agua, etc.
- Cuando se efectúan extracciones de vapor desde el i -enésimo efecto de una serie de evaporadores múltiple efecto de N efectos, para ser utilizadas en reemplazo de vapor de escape en otra aplicación distinta de los evaporadores, el ahorro de vapor será i/N veces la cantidad de vapor utilizada para esta tarea.

2.6.10. Extracciones de vapor

A medida que incrementa el número del efecto desde el cual se extrae vapor, la temperatura de la extracción es menor. En consecuencia, para mejorar la economía de vapor se prefieren efectuar las extracciones desde un efecto tan cerca de último como sea posible; sin embargo, frecuentemente esto es restringido por la finalidad que se le dará al vapor.

El vapor de gases del primer efecto se utiliza generalmente en los tachos y en los calentadores de jugo, mientras que el vapor de gases del segundo efecto se usa frecuentemente para una primera etapa de calentamiento y en los tachos continuos. El vapor de gases del tercer efecto se utiliza únicamente en aquellos casos donde sea requerida una economía de vapor anormalmente elevada; por ejemplo, el procesamiento de derivados que requieren mayor cantidad de vapor.

2.6.11. Sistemas de flujo en paralelo, contracorriente y combinado

Normalmente, los evaporadores se configuran de forma que operen en un arreglo paralelo.

Es decir, con los flujos de líquido y de vapor en la misma dirección. En industrias distintas a la azucarera es posible encontrar arreglos a contracorriente o combinado.

Existe una ventaja en los sistemas de flujo en contracorriente, debido a que resulta en una mayor concentración y el líquido de mayor viscosidad se evapora en el efecto más caliente. Sin embargo, para el procesamiento de azúcar el arreglo en paralelo se prefiere debido a los siguientes factores:

- La formación de color depende de la concentración y la temperatura. Para minimizar la formación de color, la corriente de mayor concentración se procesa a la menor temperatura.
- Las pérdidas por degradación de sacarosa aumentan con el tiempo de residencia y la temperatura. Los tiempos de residencia de los sólidos disueltos son menores en los primeros efectos, lo que limita las pérdidas de sacarosa.
- En los sistemas en paralelo el jugo que sale de cada efecto tiene cierto sobrecalentamiento respecto al siguiente efecto. La evaporación instantánea por descompresión al entrar en el siguiente efecto promueve efectivamente la circulación del jugo en los tubos, mejorando considerablemente la tasa de transferencia de calor.
- En los sistemas de flujo en contracorriente, el líquido que entra en cada efecto se encuentra subenfriado, de forma que parte del área de los tubos se utiliza ineficientemente para calentar el líquido; lo que reduce la tasa global de transferencia de calor.

- El perfil de presiones en un sistema de flujo en paralelo permite que al utilizar evaporadores tipo Robert no sea necesario efectuar ningún bombeo entre los diferentes cuerpos; de forma que las instalaciones se simplifiquen.
- Las sales de calcio son el componente de mayor proporción en las incrustaciones de evaporadores, típicamente son inversamente solubles; por lo tanto, precipitan con mayor facilidad a temperaturas elevadas; por lo que en los sistemas a contracorriente, el licor concentrado ocupa el efecto más caliente y las incrustaciones son más severas.

2.6.12. Tasa de transferencia de calor

El coeficiente de transferencia de calor representa el flujo de calor por unidad de área y por unidad de diferencia de temperatura. En algunos casos la transferencia de calor se representa utilizando el coeficiente de evaporación, que se define como los kilogramos de agua evaporada por hora por metro cuadrado de superficie de calentamiento. Este indicador no toma en consideración el diferencial de temperatura, que es el potencial que permite la transferencia de calor.

Los coeficientes de transferencia de calor son datos importantes para los cálculos de procesos de evaporación. Entre los factores que afectan la evaporación están: una resistencia debido a la película del líquido dentro del tubo, el efecto de las incrustaciones sobre las paredes internas del tubo, una capa de incrustación sobre el diámetro externo del tubo y una resistencia a la transferencia de vapor a través del vapor que se condensa sobre la pared externa de los tubos.

El caso de intercambio de calor en los evaporadores es considerablemente complejo, pues la transferencia de calor al líquido que hierve dentro del tubo es más difícil de predecir a partir de principios fundamentales. La transferencia de calor es afectada por la velocidad con que el líquido fluye a través de los tubos, la cual es desconocida, y por el nivel del líquido en los tubos, que puede variar significativamente.

Generalmente, el grado de incrustación dentro de los tubos es el factor dominante. Las incrustaciones se vuelven severas debido a que un número considerable de sustancias compuestas se precipitan a medida que se alcanzan sus límites de solubilidad durante la concentración del líquido.

Los coeficientes de transferencia de calor decrecen a lo largo de la serie de evaporadores, debido al incremento de la concentración de sólidos disueltos y a la reducción progresiva de la temperatura. Estos factores conducen a un incremento de la viscosidad del líquido, con lo cual se reduce la tasa de transferencia de calor.

2.6.13. Pérdidas de calor

Las pérdidas de calor son dependientes del aislante de los evaporadores y de las tuberías. La teoría sugiere una pérdida del 1,5 al 1,6 % del calor transferido en la calandria de cada efecto.

Las pérdidas de calor son mayores en los primeros efectos, debido a que la diferencia de temperaturas entre el cuerpo del evaporador y el entorno es mayor. Las pérdidas de calor en el primer efecto son las más significativas, pues la pérdida de evaporación resultante afecta a todos los efectos siguientes.

2.6.14. Golpe de ariete

Cuando un fluido en movimiento, dentro de una tubería, disminuye su velocidad lineal a cero debido al cierre repentino de una válvula se produce una onda de presión que viaja en sentido contrario a la trayectoria original del fluido. A menudo, en esta situación se produce el fenómeno conocido como golpe de ariete o martillo de agua.

En el caso de la detención repentina del flujo, el aumento de presión debido a la desaceleración de un fluido incompresible dentro de una tubería incapaz de expandirse sería infinito; el fluido dentro de la tubería se comportaría como una especie de tapón y el aumento de presión sería el correspondiente a los efectos de inercia de dicho tapón.

A pesar de que el aumento de presión se supone infinito, la experiencia ha demostrado que existe un aumento de presión máximo finito, debido a que parte de la energía cinética del fluido en movimiento dentro de una tubería se gasta como fricción del fluido con las paredes del tubo y en el trabajo de compresión del fluido.

En un ingenio azucarero el golpe de ariete, producido por cambios bruscos en el estado de las válvulas o accesorios puede llevar a deformaciones en tuberías, deformación en volutas de bombas centrífugas, entre otros.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

- Grados brix (°Brix) del jugo de caña claro
- Grados brix (°Brix) de la meladura
- Polarización (POL) del jugo de caña claro
- Polarización (POL) de la meladura
- Pureza del jugo de caña claro
- Pureza de la meladura

3.2. Delimitación del campo de estudio

Los procedimientos y la documentación propuestos aplican al sistema de evaporadores de jugo clarificado y a los aditivos químicos agregados al jugo que influyen en el proceso de evaporación; también a los condensadores barométricos y bombas de vacío cada múltiple efecto. También, aplica al proceso de limpieza del tándem de evaporadores.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Asistente del área de fabricación
- Ingenieros de turno encargados del área de evaporación
- Gestores de calidad
- Supervisores de turno
- Asistentes de laboratorio

3.4. Recursos materiales disponibles

- Diario de fabricación
- Registros de calidad
- Papel
- Impresora
- Tinta
- Cámara digital
- Apoyo económico para el personal a cargo del proyecto
- Computadora portátil
- Evaporadores tipo Robert
 - Vapor de escape
- Condensadores barométricos
 - Agua de enfriamiento
- Bombas centrífugas
- Bombas de calibración
- Equipo de hidrolavado
- Equipo de protección personal
- Probetas de vidrio de 100 ml
- Vaso de precipitados
- Potenciómetro
- Energía eléctrica
- Hidróxido de sodio
- Anti incrustante
- Jugo de caña clarificado
- Polarímetro
- Refractómetro

3.5. Técnica cualitativa

La primera técnica aplicada fue la observación para determinar el estado vigente del proceso de evaporación de jugo caña; así como, la cantidad y el tipo de válvulas utilizadas, la cantidad y tipo de bombas utilizadas, la disposición del tándem de evaporadores, el tipo de condensadores utilizados y todas las generalidades de los equipos del área de evaporación; de forma que sea posible diseñar el diagrama de flujo en formato de ingeniería química del proceso.

La observación se complementó con información obtenida a partir de entrevistas realizadas al personal a cargo del área de evaporación.

Además, se utilizó teoría fundamentada cuyo objetivo fue generar teoría a partir de datos recogidos en contextos naturales. Lo que permitió el desarrollo de formulaciones teóricas de la realidad, especialmente, en aquellos casos en los que la teoría disponible no explicó los fenómenos o planteamientos operativos.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

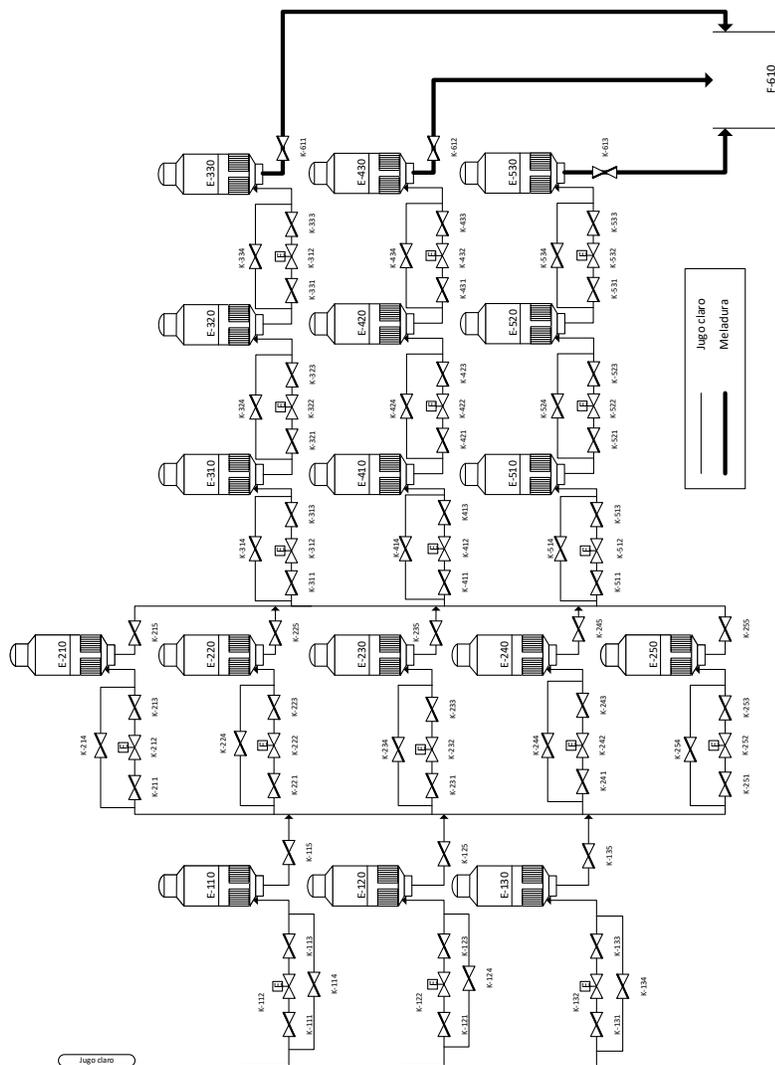
- Se realizó una visita al área de gestión de calidad.
- Se solicitaron lineamientos para la elaboración y presentación de documentos realizados en el ingenio.
- Se realizó una visita al área de evaporación.
- Se determinaron el tipo y la cantidad de accesorios y/o equipos en el área de evaporación.

- Se entrevistó a los ingenieros, supervisores y operarios encargados del área de evaporación.
- Se recopilaron registros de parámetros de desempeño que se han mantenido en zafras anteriores.
- Se recopilaron registros de limpieza de los evaporadores.
- Se diseñó el diagrama de flujo del proceso de evaporación según los parámetros de desempeño.
- Se diseñó el procedimiento operativo y de limpieza del área de evaporación.
- Se verificó que el procedimiento cumpla y se apegue a las acciones necesarias para la operación de los equipos en el área de evaporación.
- Se realizaron los cambios necesarios que pudieran surgir de las verificaciones realizadas.
- Se verificaron nuevamente los cambios evidenciados de la primera verificación.
- Se divulgó la documentación elaborada con: asistente de fábrica, jefes de turno y supervisores de turno.
- Se entregó la versión original de todos los documentos y diagramas al encargado del sistema de gestión de la calidad.

4. RESULTADOS

4.1. Diagrama de flujo de jugo

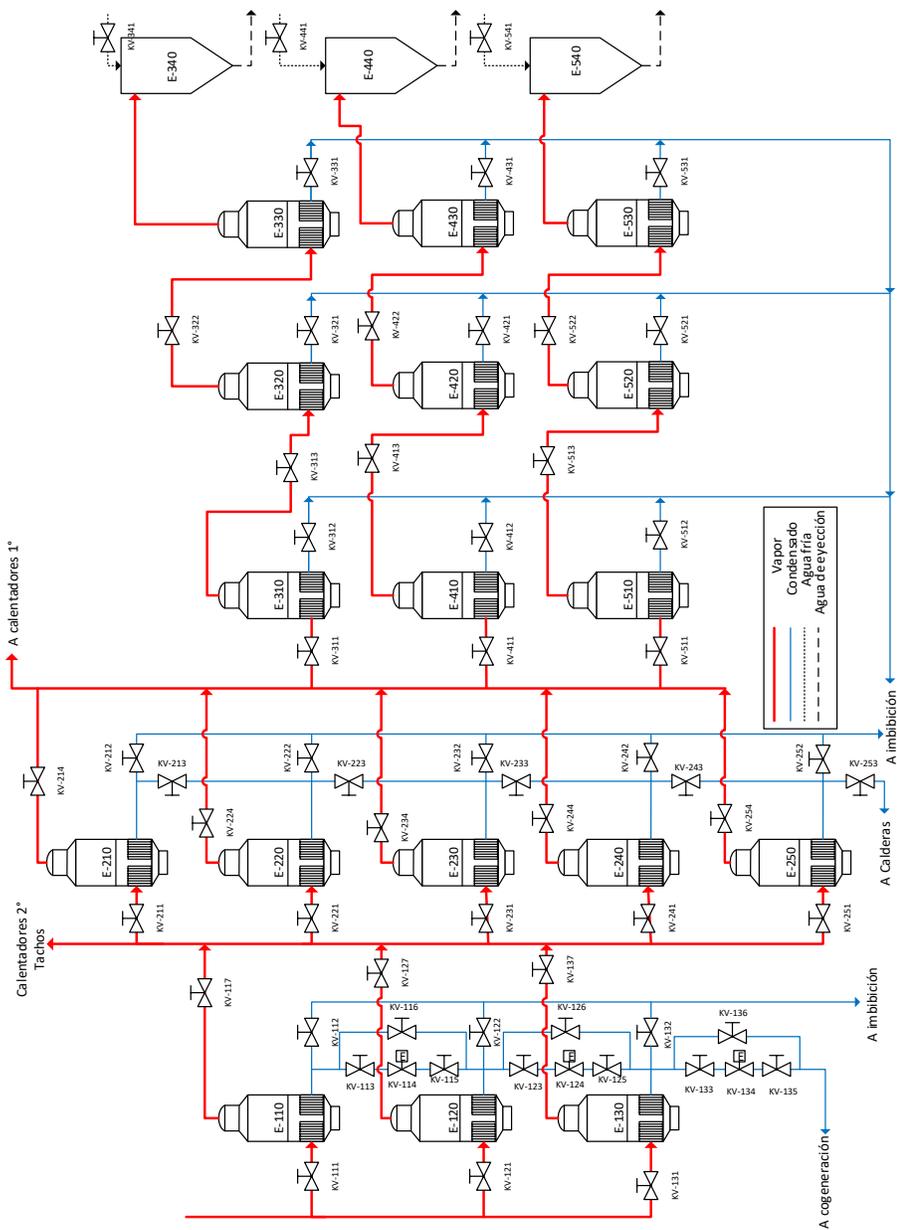
Figura 2. Diagrama de flujo de jugo claro



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

4.2. Diagrama de flujo vapor y condensados

Figura 3. Diagrama de flujo vapor y condensados



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

4.3. Metodología de arranque de la estación de evaporadores

- Será responsabilidad de los operarios de evaporadores:
 - Cerrar la válvula de drenaje de los evaporadores E-110, E-120, E-130, E-210, E-220, E-230, E-240 y E-250.
 - Cerrar las válvulas manuales y automáticas de entrada y salida de jugo de los evaporadores E-110, E-120, E-130, E-210, E-220, E-230, E-240 y E-250, respectivamente.
 - Abrir la válvula de atmósfera o venteo de los evaporadores E-110, E-120, E-130, E-210, E-220, E-230, E-240 y E-250.
 - Verificar que los registros superior e inferior estén cerrados en los evaporadores E-110, E-120, E-130, E-210, E-220, E-230, E-240 y E-250.
 - Abrir la válvula de alimentación de agua y nivelar a la altura de la segunda luceta de los evaporadores E-110, E-120, E-130, E-210, E-220, E-230, E-240 y E-250, respectivamente.
 - Abrir la válvula de entrada de vapor de escape a la calandria de los evaporadores E-110, E-120 y E-130.
 - Abrir la válvula de salida de vapor a los evaporadores E-110, E-120 y E-130.

- Abrir la válvula de entrada de vapor a los evaporadores E-210, E-220, E-230, E-240 y E-250.
- Abrir la válvula de salida de vapor de los evaporadores E-210, E-220, E-230, E-240 y E-250.
- Abrir las válvulas KV-112, KV-122, KV-132, KV-212, KV-222, KV-232, KV-242 Y KV-251.
- Cerrar las válvulas KV-113, KV-114, KV-115, KV-116, KV-123, KV-124, KV-125, KV-126, KV-133, KV-134, KV-135, KV-136, KV-213, KV-223, KV-233, KV-243 y KV-253.
- Llevar a ebullición el agua en los evaporadores E-110, E-120, E-130, E-210, E-220, E-230, E-240 y E-250 mientras llega jugo clarificado.
- Verificar que las válvulas K-114, K-124, K-134, K-214, K-224, K-234, K-244 y K-254 estén cerradas.
- Al llegar jugo, abrir las válvulas K-111, K-112, K-113, K-121, K-122, K-123, K-131, K-132, K-133, K-211, K-212, K-213, K-221, K-222, K-223, K-231, K-232, K-233, K-241, K-242, K-243, K-251, K-252 y K-253.
- Cerrar la válvula de atmósfera o venteo de los evaporadores E-110, E-120, E-130, E-210, E-220, E-230, E-240 y E-250.

- Abrir las válvulas K-115, K-125, K-135, K-215, K-225, K-235, K-245 y K-255.
- Cerrar las válvulas de drenaje de los evaporadores E-310, E-320, E-330, E-410, E-420, E-430, E-510, E-520 y E-530.
- Cerrar las todas las válvulas de entrada y salida de jugo de los evaporadores descritos en el inciso anterior.
- Verificar que las válvulas KV-313, KV-413, KV-513, KV-322, KV-422 y KV-522 estén abiertas.
- Verificar que las válvulas de atmosfera de los evaporadores E-310, E-320, E-330, E-410, E-420, E-430, E-510, E-520 y E-530 estén cerradas.
- Verificar que las válvulas de salida de gases incondensables de cada evaporador descrito en el inciso anterior estén cerradas.
- Verificar que las válvulas KV-311, KV-411 y KV-511 estén cerradas.
- Poner en línea una bomba de agua de inyección para levantar vacío en el condensador barométrico (E-340, E-440 y E-540).
- Abrir las válvulas de entrada y salida de agua a cada bomba de inyección.
- Verificar que la bomba de vacío no tenga ningún problema y que estén bien puestas las fajas.

- Verificar que los filtros de entrada de agua de enfriamiento a la bomba estén limpios.
- Arrancar cada bomba de vacío.
- Abrir las válvulas de entrada de agua de enfriamiento (KV-341, KV-441 y KV-541).
- Esperar a que la presión en la bomba de vacío sea de 25 inHg.
- Verificar que las válvulas K-314, K-324, K-334, K-414, K-424, K-434, K-514, K-524 y K-534 estén cerradas.
- Abrir las válvulas K-411, K-412, K-413, K-421, K-422, K-423, K-431, K-432, K-433, K-511, K-512, K-513, K-521, K-522, K-523, K-531, K-532 y K-533.
- Abrir las válvulas KV-311, KV-411, KV-511.
- Abrir las válvulas KV-313, KV-413, KV-513.
- Abrir las válvulas KV-322, KV-422, KV-522
- Abrir la válvula de salida de meladura de cada quinto efecto (válvulas K-611, K-612 y K-613).

4.4. Metodología de operación de la estación de evaporadores

- Será responsabilidad de los operarios de evaporadores:
 - Verificar periódicamente el nivel de jugo en cada evaporador
 - Verificar que la presión del vapor en los equipos E-110, E-120, E-130, E-210, E-220, E-230, E-240, E-250 se encuentre dentro de los parámetros establecidos.
 - Medir la concentración de la meladura en los evaporadores E-330, E-430 y E-530 con un medidor Baumé.
 - Verificar los resultados del análisis de condensados previo a enviarse a los tanques respectivos.

- Será responsabilidad del operario de cuarto de control:
 - Verificar periódicamente los parámetros de desempeño en la pantalla de la consola.
 - Solicitar una inspección visual al operario de evaporadores, en caso que los parámetros de desempeño estén fuera de lo especificado.

- Será responsabilidad del ayudante de oficios varios:
 - Tomar una muestra del jugo en cada evaporador
 - Tomar una muestra del condensado producido en cada evaporador

- Llevar la muestra al área de laboratorio para su análisis

4.5. Metodología de preparación, dosificación y almacenamiento de alfa-amilasa

4.5.1. Preparación

- Será responsabilidad del ayudante de oficios varios:
 - Tomar dos galones de alfa-amilasa del tanque de cincuenta y cinco galones.
 - Colocar los dos galones de alfa-amilasa en un tanque, limpio y vacío, de cincuenta y cinco galones.
 - Aforar o llenar por completo el tanque con agua.
 - Mezclar el contenido del tanque hasta que la composición sea homogénea con la paleta plástica respectiva.

4.5.2. Dosificación

Este compuesto se agrega en el evaporador E-320, E-420 o E-520; quedando a criterio del jefe de fabricación el momento en el que se utiliza.

- Será responsabilidad del ayudante de oficios varios:

- Conectar la manguera de descarga desde la bomba al evaporador indicado por el jefe de fabricación.
- Llenar registro para dosificación de químicos en jugo, 1-IN-F-R-014.
- Verificar periódicamente que la alfa-amilasa preparada rinda ocho horas.

4.5.3. Almacenamiento

- Será responsabilidad del ayudante de oficios varios:
 - Recibir los tanques de alfa-amilasa de cincuenta y cinco galones provenientes de bodega.
 - Subir los tanques de alfa-amilasa de cincuenta y cinco galones al nivel 30´.
 - Colocar los tanques de alfa-amilasa en el área designada, figura 4.

Figura 4. **Estación de alfa-amilasa**



Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Rombo de seguridad alfa-amilasa



Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

4.6. Metodología de dosificación y almacenamiento de antiincrustante.

4.6.1. Dosificación

La calibración de la bomba debe realizarse cada dos horas o luego de un paro programado o no programado.

- Será responsabilidad del ayudante de oficios varios:
 - Preparar el equipo necesario para la calibración de la bomba (probeta de 100 mL y cronómetro).
 - Verificar que la cantidad de anti incrustante en el tanque de cincuenta y cinco galones sea la necesaria para que la bomba no succione aire.

- Conectar la bomba al tomacorriente.
- Abrir la válvula de descarga de la bomba.
- Retirar la manguera de descarga de la bomba del tubo receptor de anti incrustante.
- Cuando el flujo de anti incrustante sea constante, llenar la probeta durante un minuto.
- Verificar que el volumen en la probeta sea 32 – 40 mL.
- Si el volumen del líquido en la probeta no se encuentra en el intervalo establecido:
- Regular la válvula de descarga de la bomba hasta que el volumen medido durante un minuto en la probeta sea de 32 – 40 mL.
- Tomar nota de la calibración de la bomba en el registro correspondiente (registro para dosificación de químicos en jugo, 1-IN-F-R-014).

4.6.2. Almacenamiento

- Será responsabilidad del ayudante de oficios varios:
 - Recibir los tanques de anti incrustante de cincuenta y cinco galones provenientes de bodega.

- Colocar los tanques de cincuenta y cinco galones en el área designada para el antiincrustante en el nivel 30'.

Figura 6. **Rombo de seguridad antiincrustante**



Fuente: elaboración propia, empleando Word 2016.

4.7. Metodología de limpieza de evaporadores

La limpieza de los equipos E-110, E-120, E-130, E-210, E-220, E-230, E-240 y E-250 ha de realizarse cada ocho días; mientras que en los equipos E-310, E-320, E-330, E-410, E-420, E-430, E-510, E-520 y E-530 ha de realizarse cada quince días.

- Será responsabilidad del operario de evaporadores en el evaporador correspondiente a la limpieza:
 - Cerrar las válvulas de entrada y salida de vapor.
 - Cerrar las válvulas de entrada y salida de jugo.

- Abrir la válvula de venteo en el vaso del evaporador.
- Abrir la válvula de drenaje del evaporador.
- Vaciar el jugo restante en el evaporador.
- Abrir la válvula de suministro de agua fría.
- Abrir la válvula de entrada de solución de hidróxido de sodio al evaporador y solicitar bombeo de solución de hidróxido de sodio.
- Llenar el evaporador con la solución de hidróxido de sodio a la altura de la primera luceta.
- Cerrar la válvula de alimentación de solución de hidróxido de sodio al evaporador.
- Abrir la válvula de alimentación de vapor de escape del evaporador. Cada evaporador cuenta con una válvula para la alimentación de vapor de escape, independientemente que sea pre evaporador o evaporador.
- Dejar en ebullición el tiempo correspondiente según tabla I.
- Abrir la válvula de drenaje de solución de hidróxido de sodio.
- Cerrar la válvula de alimentación de vapor.

- Abrir válvula de drenaje de solución de hidróxido de sodio y retornar a tanque de la solución madre.
- Abrir la válvula de alimentación de agua fría y enjuagar el evaporador.
- Solicitar apoyo mecánico para abrir el registro superior e inferior.
- Activar los rociadores para enfriar el evaporador.

Tabla I. **Tiempo de ebullición durante la limpieza con hidróxido de sodio**

Efecto	Tiempo de ebullición (h)
1°	3
2°	2
3°, 4°, 5°	1,5

Fuente: elaboración propia.

- Será responsabilidad del operario de hidrolavado:
 - Realizar hidrolavado según instructivo de uso de equipo de hidrolavado (sección de apéndice).
 - Realizar prueba hidrostática a la calandria correspondiente según tabla II.

- Realizar prueba de registros al cuerpo del evaporador, llenándolo con agua a la altura del registro.
- Verificar fugas en la tubería.

Tabla II. **Presión de prueba hidrostática**

Efecto	Presión de prueba hidrostática en calandria (psi)
1°	25
2°	20
3°, 4°, 5°	15

Fuente: elaboración propia.

- Será responsabilidad del ingeniero jefe de turno:
 - Informar a supervisión de cogeneración y molinos para dar el visto bueno de la calandria y limpieza de la tubería.
- Será responsabilidad del operario de evaporadores:
 - Solicitar apoyo mecánico para cerrar los registros superior e inferior
 - Realizar prueba hidrostática a los registros del cuerpo del evaporador
- Será responsabilidad del supervisor de turno de fabricación:

- Solicitar a mantenimiento las reparaciones necesarias, en caso de que los resultados de las pruebas hidrostáticas muestren daños al equipo.
- Será responsabilidad del supervisor de hidrolavado:
 - Verificar el estado de la calandria y de la tubería
 - Aprobar el estado de la calandria y la limpieza de los tubos
 - Dejar constancia de la limpieza en el registro correspondiente

4.8. Procedimiento de evaporación de jugo claro

4.8.1. Alcance

Aplica al equipo de evaporadores. Así como a los compuestos químicos o aditivos agregados al jugo claro que influyen directamente en el desempeño del sistema de evaporación.

4.8.2. Propósito

Establecer, definir y estandarizar las actividades necesarias para la correcta operación y funcionamiento de los pre evaporadores y evaporadores. De forma que las actividades se desarrollen dentro de los parámetros de desempeño establecidos y de conformidad con el sistema de gestión integrado.

4.8.3. Términos y definiciones

- Alfa – amilasa: es una enzima cuya función es hidrolizar el almidón en el jugo de caña.
- Antiincrustante: es una formulación estable de dispersantes y secuestrantes específicos en forma líquida, especialmente, formulado como inhibidor de incrustación.
- Evaporador: consiste en un haz de tubos verticales, corto, usualmente, de no más de 6'0" de altura, colocado entre dos espejos que se remachan en las bridas del cuerpo del evaporador. El vapor fluye por fuera de los tubos de la calandria y hay un gran paso circular de derrame en el centro del haz de tubos donde el líquido más frío recircula hacia la parte inferior de los tubos. Este equipo está compuesto por la calandria y el vaso o cuerpo del evaporador.
- Grados Baumé: en ocasiones también se refiere a escala Baumé. Se utiliza en la medida de las concentraciones de algunas soluciones como jarabes o ácidos. La escala Baumé no tiene ninguna relación conveniente con el porcentaje de composición de las soluciones de azúcar, y por esta razón su uso ha desaparecido en gran parte del trabajo azucarero. Sin embargo, existe una relación entre el Brix y el Baumé a una temperatura específica.
- Grados Brix: es el porcentaje en peso de la sacarosa en una solución de azúcar pura. Se acostumbra considerar al grado Brix como el porcentaje de materia sólida, o sólidos totales, disueltos en un líquido.

- Hidrolavado: lavado de equipo a alta presión. Generalmente, se utiliza con la finalidad de remover incrustaciones o corrosión.
- Hidróxido de sodio: también llamado soda caústica, es un compuesto químico, sólido y corrosivo; generalmente, se categoriza como una base fuerte y se usa en forma perlas o en solución; uno de sus usos es la limpieza y remoción de incrustaciones.
- Homogéneo: dicho de una sustancia o de una mezcla de varias: De composición y estructura uniformes.
- Luceta: parte de un evaporador que permite medir el nivel o contenido del líquido de un evaporador.
- Probeta: instrumento utilizado para la medición de volumen de líquidos. Puede ser de vidrio o de plástico.
- Prueba hidrostática: evaluación que se realiza un equipo para determinar el estado de tuberías y posibles fugas. Consiste en presurizar un equipo, sin estar en funcionamiento, hasta una presión de prueba que debe ser mayor al 10 % de la presión de seguridad. Para esto se utiliza un fluido incompresible, generalmente agua, cuyo comportamiento al incremento de presión no genere riesgos.

4.8.4. Parámetros de desempeño

- Flujo de dosificación de antiincrustante: 32 – 40 mL/min.
- Presión del vapor alimentado a los pre-evaporadores: 18 – 20 psi.

- Presión de salida de pre-evaporadores: 8 – 10 psi.
- Presión de salida de gases segundo efecto: 2 – 4 psi.
- Presión de salida de gases tercer efecto: 0 – 1 psi.
- Presión de salida de gases cuarto efecto: 14 inHg de vacío.
- Presión de salida de gases quinto efecto: 25 inHg de vacío.
- Temperatura de pre evaporador: 260 °F.
- Temperatura de gases del segundo efecto: 205 °F.
- Temperatura de gases del tercer efecto: 190 °F.
- Temperatura de gases del cuarto efecto: 180 °F.
- Temperatura de gases del quinto efecto: 150 °F.
- Concentración del jugo de salida pre evaporador: 20 – 22 °Bx.
- Concentración del jugo de salida segundo efecto: 22 – 24 °Bx.
- Concentración del jugo de salida tercer efecto: 32 – 34 °Bx.
- Concentración del jugo de salida cuarto efecto: 40 – 45 °Bx.
- Concentración del jugo de salida quinto efecto (meladura): 60 – 62 °Bx.

- Concentración de solución de hidróxido de sodio de limpieza: 20 – 22 %.
- Presión de prueba hidrostática en calandria del pre evaporador: 25 psi.
- Presión de prueba hidrostática en calandria del segundo efecto: 20 psi.
- Presión de prueba hidrostática en calandria del tercer, cuarto y quinto efecto: 15 psi.

4.8.5. Desarrollo

4.8.5.1. Operación

El arranque y la operación del sistema de evaporación ha de realizarse según las metodologías descritas en las subsecciones correspondientes:

- Agregar anti incrustante al jugo, previo a ser alimentado a los evaporadores según metodología de dosificación y almacenamiento de anti incrustante.
- Evaporar el jugo en el primer efecto (pre evaporador) desde una concentración de 14 – 15 °Bx hasta una concentración de 20 – 22 °Bx.
- Evaporar el jugo en el segundo efecto hasta una concentración de 22 – 24 °Bx.
- Evaporar el jugo en el tercer efecto hasta una concentración de 32 – 34 °Bx.

- Evaporar el jugo en el cuarto efecto hasta una concentración de 40 – 45 °Bx. De ser necesario, dosificar a este efecto (en uno de los tándem o trenes de evaporadores) alfa-amilasa según metodología de preparación, dosificación y almacenamiento de alfa amilasa.
- Evaporar el jugo en el quinto efecto hasta una concentración de 60 – 62 °Bx

4.8.5.2. Limpieza

La limpieza de los evaporadores ha de realizarse de acuerdo a la programación realizada por el jefe de fábrica al inicio de zafra. Se debe realizar limpieza química, con hidróxido de sodio y física con equipo de hidrolavado. El proceso de limpieza se debe realizar de acuerdo a la metodología de limpieza de evaporadores descrita en la subsección correspondiente

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En las figuras 1 y 2 se muestra la distribución o configuración de los evaporadores en la estación de evaporación. Esta estación consta de 17 evaporadores tipo Roberts distribuidos en dos secciones de pre evaporación y 3 tandems o series de 3 evaporadores, respectivamente.

Cada evaporador tiene 3 válvulas manuales de mariposa en la alimentación de jugo y una más en la descarga; además, posee una válvula automática que es usada en condiciones normales de operación. La configuración de las válvulas manuales en la alimentación permite operar el evaporador si la válvula automática falla permitiendo que esta sea reparada sin detener el flujo de jugo al evaporador; en este caso, el jugo sería regulado por una válvula auxiliar manual. Es decir, si la válvula K-112, mostrada en la figura 2, está fuera de operación las válvulas K-111 y K-113 se cierran para aislar el sector con problema y la válvula K-114 regula, manualmente, el flujo de jugo alimentado al evaporador correspondiente.

En el caso del flujo de vapor, cada evaporador cuenta con una válvula de paso para la alimentación y una para la descarga, excepto en el último evaporador de cada tandem donde no es necesario regular el flujo de vapor extraído asía los condensadores, así como una válvula automática para la descarga; esta válvula automática se encuentra en medio de dos válvulas manuales de paso que permiten realizar reparaciones a la válvula automática (en este caso existe una válvula manual que permite el control del flujo de vapor).

La sección de pre evaporación está conformada por los equipos: E-110, E-120, E130, E-210, E-220, E-230, E-240 y E-250; así como las válvulas respectivas. Esta sección de la estación de evaporación se encuentra dedicada exclusivamente a generar extracciones de vapor vegetal.

Entre las ventajas de los pre evaporadores se encuentra un menor costo de instalación de tuberías, pues se pueden instalar cerca a los equipos que usaran la extracción de vapor. Además, brindan mayor flexibilidad para controlar la tasa global de evaporación, debido a que la presión del suministro de vapor de escape al primer efecto puede ser controlada sin afectar la presión de las extracciones de vapor.

Otro factor importante, que cabe destacar, es la distribución de tuberías de condensados en la estación de evaporación. Esta distribución permite que los condensados sean clasificados según el arrastre que tengan en determinado punto de operación. Los condensados de mayor pureza son enviados para ser usados en el área de cogeneración de energía eléctrica de Ingenio Madre Tierra, sin embargo, si tienen trazas de algún tipo son enviados como agua de imbibición.

Los condensados con trazas o concentraciones mínimas de azúcar, son utilizados en la sección de calderas para la generación de vapor de escape; y al igual que en el caso de cogeneración, si la concentración de azúcar es alta los condensados son desviados para su uso como agua de imbibición. Finalmente, todos los condensados producidos en los últimos tres evaporadores de cada tándem son enviados únicamente para su uso como agua de imbibición en la sección de molinos.

Otro aspecto importante del área de evaporación de un ingenio azucarero es su operación. Con base en experiencia, se sabe que el mejor desempeño de un tren de evaporadores se obtiene cuando es operado en la forma más estable posible, es decir, sin fluctuaciones. Esto, generalmente, se logra a través del uso de controles automáticos. Sin embargo, es posible lograr cierto grado de estabilidad por medio de prácticas estandarizadas, documentadas, que permitan la capacitación uniforme del personal a cargo de la estación de evaporadores.

Las metodologías de arranque, operación y limpieza descritas en la sección de resultados buscan la estabilidad de operación de la estación de evaporación; y junto con las válvulas automáticas, mostradas en los diagramas de flujo, ayudan a que la estación opere en condiciones óptimas.

Además de la operación misma de los equipos, es posible mejorar el desempeño del proceso de evaporación por medio de aditivos químicos. Uno de estos aditivos es un agente anti incrustante; este compuesto de ácido poliacrílico es agregado al jugo previo a su ingreso a los evaporadores y busca modificar las características de cristalización y precipitación, previniendo la incrustación de las tuberías. Sin embargo, en la estación de evaporación de Ingenio Madre Tierra el efecto del agente anti incrustante únicamente hace las incrustaciones más blandas, lo que facilita su remoción y/o extiende el periodo de limpieza.

La limpieza de los evaporadores, otro factor significativo en la eficiencia, sigue dos etapas: limpieza química con soda caustica (hidróxido de sodio) y física por hidrolavado (lavado a presión). La literatura recomienda un valor de concentración mínimo del 20 % (m/m); en Ingenio Madre Tierra se busca una concentración ideal del 22 %; esto debido a que luego de la limpieza la soda caústica regresa al tanque matriz y una concentración muy cercana al mínimo puede verse más afectada por la dilución luego de la limpieza.

Adicionalmente, no resulta conveniente utilizar una concentración superior al 30 % de soda caustica debido a que la evaporación (parte del proceso de limpieza) se hace más difícil debido a la elevación del punto de ebullición.

La limpieza mecánica es, en general, más económica que la limpieza química. Sin embargo, reduce la vida útil de las tuberías en los evaporadores. Debido a esto en Ingenio Madre Tierra se utiliza una metodología de limpieza que combina la limpieza química con la limpieza física. Esto permite un balance entre el costo de la limpieza, la vida útil de las tuberías y el tiempo requerido para efectuar la limpieza.

El desempeño del área de evaporación no solo es determinado por la eficiencia energética, también, por las pérdidas de sacarosa que ocurren a lo largo del proceso. Los almidones y las dextranas son polisacáridos que constituyen impurezas indeseables en el jugo o meladura.

Debido a esto es frecuente agregar amilasa a los evaporadores para reducir el nivel de almidones en la meladura producida. Sin embargo, la amilasa, al igual que la mayoría de enzimas, es sensible al calor y se tornan inefectivas por encima de cierto límite de temperatura. Debido a esto se estableció que la alfa-amilasa debe ser añadida en el cuarto efecto, donde la temperatura no afecta el desempeño de la enzima; además con esto se brinda suficiente tiempo bajo las condiciones de temperatura y sólidos disueltos para lograr la reducción de almidón requerida.

6. LOGROS OBTENIDOS

- Diagrama de flujo de la sección de evaporación (figuras 2 y 3).
- Inventario y especificaciones de los equipos en la sección de evaporación.

Tabla III. **Información técnica del área de evaporación**

Nombre del equipo/accesorio	Tamaño/cantidad
E-110	30 800 ft ²
E-120	30 800 ft ²
E-130	30 000 ft ²
E-210	16 200 ft ²
E-220	16 200 ft ²
E-230	17 400 ft ²
E-240	10 300 ft ²
E-250	6 500 ft ²
E-310	6 400 ft ²
E-320	6 300 ft ²
E-330	6 800 ft ²
E-340	N.A
E-410	7 700 ft ²
E-420	7 700 ft ²
E-430	8 400 ft ²
E-440	N.A
E-510	10 400 ft ²
E-520	10 000 ft ²
E-530	10 500 ft ²
E-540	N.A
Válvulas manuales	62
Válvulas automáticas	20
Válvulas de paso	59

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. La disposición de las entradas y salidas de condensados permite su distribución según el grado de pureza, lo que, indirectamente, mejora la eficiencia global del vapor utilizado en Ingenio Madre Tierra.
2. La disposición de los equipos, tuberías y accesorios en la estación de evaporación del Ingenio Madre Tierra proporciona versatilidad para efectuar reparaciones y modificaciones en el área de evaporación.
3. Metodologías estandarizadas de operación y limpieza permiten que el proceso de evaporación se lleve a cabo con la menor cantidad de fluctuaciones en flujos posible; lo que permite condiciones óptimas de operación.
4. La adición oportuna de anti incrustante, mejora la eficiencia energética del proceso de evaporación. Mientras que la adición de alfa-amilasa disminuye las pérdidas por inversión de sacarosa.
5. La documentación de metodologías de los procesos en el área de evaporación permite la estandarización de las actividades realizadas y la mejora continua del área.

RECOMENDACIONES

1. Identificar las tuberías según el uso que se le dará al condensado que transportan.
2. Identificar por código las válvulas y equipos utilizados en la estación de evaporación.
3. Abrir las válvulas desde la más lejana a la fuente de alimentación hasta la más próxima. De forma que disminuya la probabilidad de daños a las tuberías por golpe de ariete.
4. Cerrar las válvulas desde la más cercana a la fuente de alimentación hasta la más lejana. De forma que disminuya la probabilidad de daños a la tubería por golpe de ariete.
5. Verificar periódicamente que el pH de la solución de hidróxido de sodio para la limpieza de los equipos sea mayor al 20 % pero menor al 30 %.

BIBLIOGRAFÍA

1. CHEN, James. *Manual del azúcar de caña*. México: Limusa Wiley, 1999. 1999 p.
2. Food Safety System Certification, *FSSC 22000 certificación de sistemas de seguridad alimentaria*. Estados Unidos de América: FSSC, 2005. 10 p.
3. HUGOT, Emilé. *Manual de ingeniería de la caña de azúcar*. 3a ed. Ámsterdam: Elsevier, 1986. 1166 p.
4. MCCABE, Warren; SMITH, Julian; HARRIOTT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 7a ed. México: McGraw-Hill Interamericana, 2007. 1190 p.
5. Organización Internacional de Normalización. *Norma ISO 9001:2008 Sistemas de gestión de la calidad — requisitos*. Suiza: ISO, 2008. 42 p.
6. _____. *Norma ISO 22000:2005 Sistemas de gestión de la inocuidad de los alimentos - requisitos para cualquier organización en la cadena alimentaria*. Suiza: ISO, 2005. 212 p.
7. PERRY, Robert; GREEN, Don. *Manual del ingeniero químico de Perry*. 8a ed. Estados Unidos de América: McGraw-Hill, 2008. 2735 p.

8. REIN, Peter. *Ingeniería de la caña de azúcar*. Alemania: Bartens, 2012.
880 p.

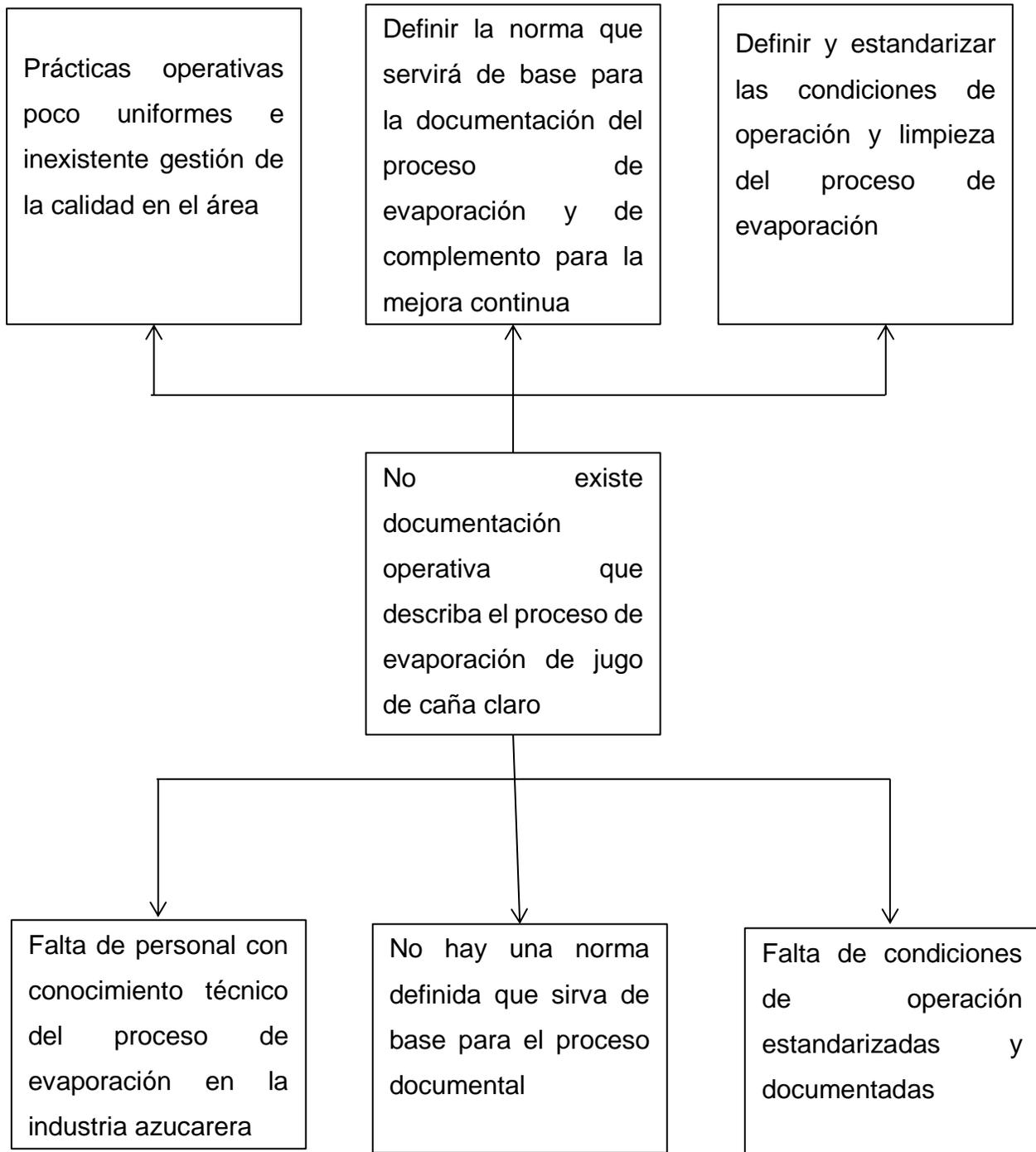
APÉNDICES

Apéndice 1. **Requisitos académicos**

Carrera	Área	Curso	Principio	Temática a resolver
Ingeniería química	Operaciones unitarias	IQ1-Balance masa y energía	Balance de masa y energía	Elaboración del balance de masa y energía del área de evaporación
		IQ2-Flujo de fluidos	Principios de transferencia de momento	Disminuir los daños a tuberías, equipos y accesorios por golpe de ariete
		IQ3-Transferencia de calor	Principios de transferencia de calor y equipos	Fundamentar la operación del área de evaporación
	Especialización	Ingeniería del azúcar	Evaporación en un ingenio azucarero	Determinar las acciones complementarias al proceso de evaporación
	EPS	Prácticas intermedias	Buenas prácticas de manufactura	Incorporar buenas prácticas de manufactura en el área de evaporación

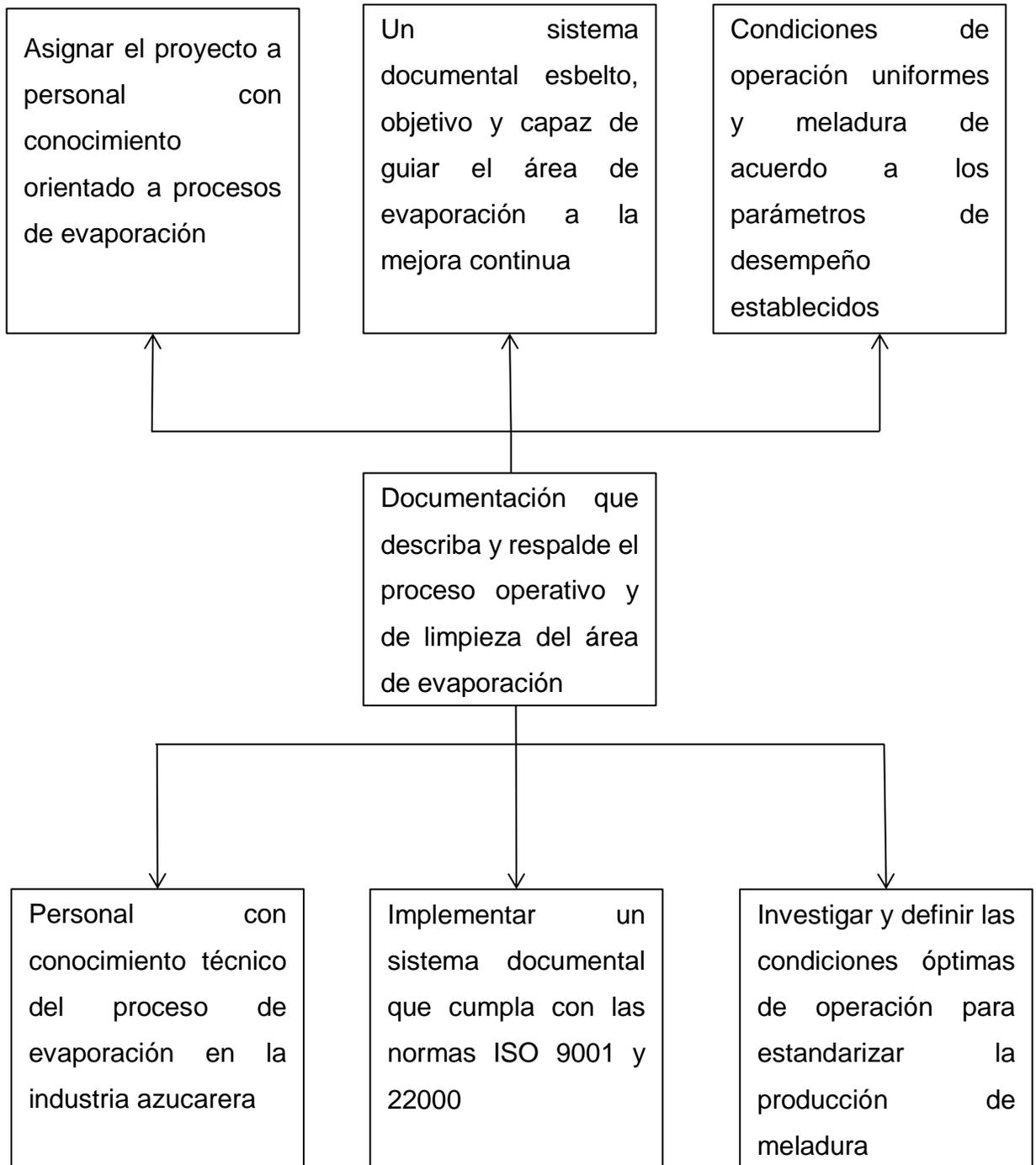
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Árbol del problema**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Árbol de solución**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Cronograma

Actividad	Semanas
Inducción a Ingenio Madre Tierra, visita al área de sistemas de gestión y capacitación en documentación según ISO 9001.	1
Capacitaciones a colaboradores de nuevo ingreso.	1
Visita al área de evaporación de Ingenio Madre Tierra.	1
Entrevista a los ingenieros, supervisores y operarios encargados del área de evaporación.	4
Recopilación de registros, si existieran, de parámetros de desempeño que se han mantenido en zafras anteriores.	1
Tabulación de la información obtenida en la fase de investigación.	1
Diseño de diagrama de flujo.	2
Desarrollo de las metodologías de operación de los pre evaporadores.	2
Desarrollo de las metodologías de operación de los evaporadores.	2
Desarrollo de las metodologías de dosificación de químicos en jugo y/o meladura.	2
Desarrollo de las metodologías de limpieza de los cuerpos y calandrias de los evaporadores.	2
Compilación de las metodologías desarrolladas.	1
Presentación de los documentos propuestos,	1
Modificaciones o cambios a los documentos propuestos.	3
Verificación y/o aprobación de los documentos propuestos.	1

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Presupuesto

TAREAS DEL PROYECTO		COSTO MANO OBRA(Q)		COSTO MATERIAL (Q)		TOTAL POR TAREA	
FASE DE INVESTIGACIÓN	Capacitación en documentación de sistemas de Gestión de Información	Q	1 600,00	Q	250,00	Q	1 850,00
	Determinar especificaciones técnicas de equipos y accesorios	Q	1 303,20	Q	150,00	Q	1 453,20
	Compilar la información obtenida	Q	217,20	Q	-	Q	217,20
	Subtotal	Q	3 120,40	Q	400,00	Q	3 520,40
FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	Diseño del diagrama de flujo	Q	434,40	Q	100,00	Q	534,40
	Desarrollar metodologías de operación de los pre-evaporadores	Q	868,80			Q	868,80
	Desarrollar metodologías de operación de los evaporadores	Q	868,80	Q	-	Q	868,80
	Desarrollar metodologías de dosificación de químicos en jarras	Q	868,80	Q	-	Q	868,80
	Desarrollar metodologías de limpieza de los cuerpos y calderas	Q	868,80	Q	500,00	Q	1 368,80
	Compilar las metodologías desarrolladas	Q	217,20	Q	100,00	Q	317,20
	Subtotal	Q	4 126,80	Q	700,00	Q	4 826,80
FASE DE DOCENCIA	Desarrollar plan de capacitación	Q	217,20	Q	300,00	Q	517,20
	Subtotal			Q	300,00	Q	517,20
Total (programado)		Q	8 864,40				

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Instructivo de hidrolavado

- Propósito

Definir y estandarizar las actividades necesarias para el correcto uso del equipo de hidrolavado.

- Términos y definiciones

- Hidrolavado: lavado de equipo a alta presión. Generalmente, se utiliza con la finalidad de remover incrustaciones o corrosión.
- Filtros: tela o tamiz con agujeros de tamaño determinado que impiden el paso de partículas de mayor tamaño al de su poro o agujero.

- Desarrollo

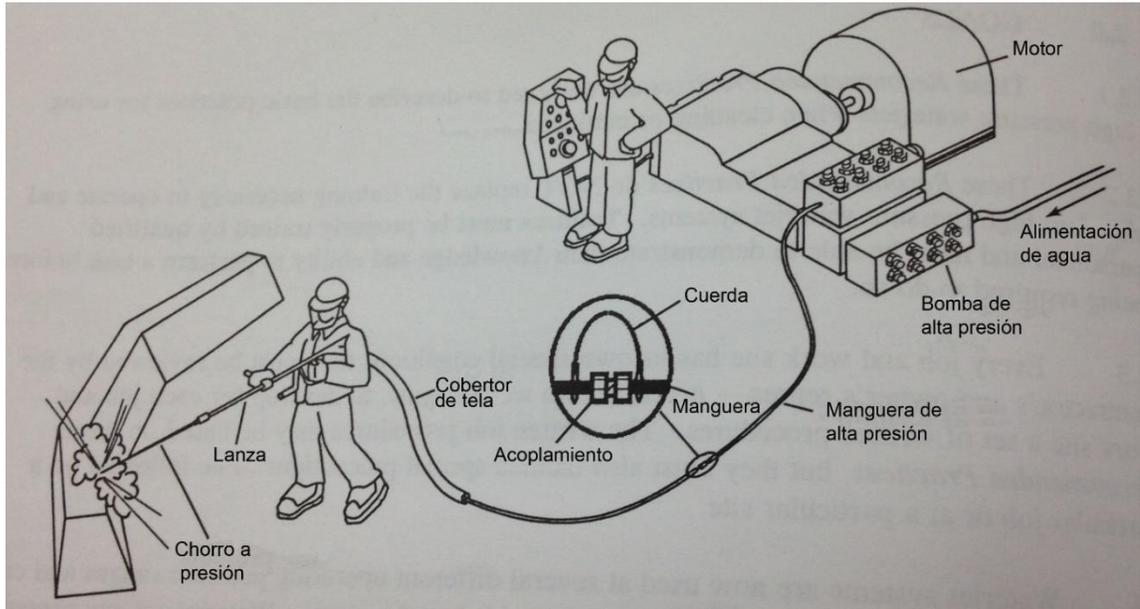
- El operador de hidrolavado debe
 - Revisar el nivel de aceite de la bomba.
 - Verificar que los filtros en la sección de entrada de agua estén limpios.
 - Verificar que la presión de la bomba sea de 10 000 a 15 000 psi.

Continuación del anexo 1.

- Preparar mangueras y lanzas rígidas.
- Verificar que las boquillas giratorias estén colocadas adecuadamente.
- Conectar las mangueras al pedal.
- Notificar al operador de la bomba la puesta en marcha de la misma hasta que la boquilla este direccionada o posicionada hacia la pieza de trabajo.
- Confirmar la solicitud con una segunda notificación. La notificación puede ser una señal o por voz.
- Antes de presurizar el equipo el operador de la bomba debe realizar una inspección visual de las mangueras y conexiones a la boquilla. De forma que sea posible detectar fugas o goteos en el sistema.
- Presurizar el equipo.
- Realizar hidrolavado.
- Despresurizar la línea de lavado.

Fuente: Central Agroindustrial Guatemalteca. *Instructivo de hidrolavado*. p.2.

Anexo 2. Equipo de hidrolavado



Fuente: Central Agroindustrial Guatemalteca. *Manual del usuario de equipo de hidrolavado*. p. 24.