

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE
INGENIERÍA EN ALIMENTOS**



TRABAJO DE GRADUACIÓN

**EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE SACAROSA POR ARRASTRES EN EL
VAPOR VEGETAL, EN LOS CONDENSADORES BAROMÉTRICOS DE LA
ESTACIÓN DE EVAPORADORES DE UN INGENIO AZUCARERO DURANTE
LA ZAFRA 2015-2016**

**Manuel De Jesús Ambrocio López
Carné No. 200340916**

Mazatenango, abril del 2019

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE
INGENIERÍA EN ALIMENTOS**



TRABAJO DE GRADUACIÓN

**EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE SACAROSA POR ARRASTRES EN EL
VAPOR VEGETAL, EN LOS CONDENSADORES BAROMÉTRICOS DE LA
ESTACIÓN DE EVAPORADORES DE UN INGENIO AZUCARERO DURANTE
LA ZAFRA 2015-2016**

**Manuel De Jesús Ambrocio López
Carné No. 200340916**

manuelambrocio3499@hotmail.com

manuel.ambrosio@ronesdeguatemala.com

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE

M.Sc. Murphy Olimpo Paiz Recinos

Rector

Arq. Carlos Enrique Valladares Cerezo

Secretario General

**MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE
SUROCCIDENTE**

Dr. Guillermo Vinicio Tello Cano

Director

REPRESENTANTES DE PROFESORES

MSc. José Norberto Thomas Villatoro

Secretario

Dra. Mirna Nineth Hernández Palma

Vocal

REPRESENTANTE GRADUADO DEL CUNSUROC

Lic. Ángel Estuardo López Mejía

Vocal

REPRESENTANTES ESTUDIANTILES

TPA. Angélica Magaly Domínguez Curiel

Vocal

PEM. Y TAE. Rony Roderico Alonzo Solis

Vocal

COORDINACIÓN ACADÉMICA

MSc. Luis Felipe Arias Barrios
Coordinador Académico

MSc. Rafael Armando Fonseca Ralda
Coordinador Carrera Licenciatura en Administración de Empresas

Lic. Edin Anibal Ortiz Lara
Coordinador Carrera de Licenciatura en Trabajo Social

Dr. René Humberto López Cotí
Coordinador de las Carreras de Pedagogía

M.Sc. Víctor Manuel Nájera Toledo
Coordinador Carrera Ingeniería en Alimentos

Ing. Agr. Héctor Rodolfo Fernández Cardona
Coordinador Carrera Ingeniería Agronomía Tropical

MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes
Coordinadora Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local

Lic. Marco Vinicio Salazar Gordillo
Coordinador Carrera de Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales
Abogacía y Notariado

Lic. José Felipe Martínez Domínguez
Coordinador de Área

CARRERAS PLAN FIN DE SEMANA

MSc. Tania Elvira Marroquín Vásquez
Coordinadora de las carreras de Pedagogía

Lic. Heinrich Herman León
Coordinador Carrera Periodista Profesional y
Licenciatura en Ciencias de la Comunicación

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser la fuente de mi sabiduría, fortaleza y soporte para alcanzar esta meta.

Mis padres

José Luis Ambrocio Noj y María Reyes López.

Con mucho amor y admiración por su esfuerzo y dedicación que formaron la persona que soy ahora.

Mis hermanos

Julia Aracely, José Daniel, Henry Leonel, Luis Estuardo Ambrocio López.

Por el amor y apoyo incondicional.

Mis abuelitos

Manuel López Guatzín y Nicolasa López Chaman (D.E.P.), Higinio Ambrocio Ixim (D.E.P.) y Julia Noj Salsá (D.E.P.).

Por sus enseñanzas y ejemplo de trabajo y esfuerzo.

Mi esposa

Darlin Oneida López. Por su amor, apoyo y comprensión.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Ingeniero por excelencia, por ser mi compañero incondicional en todo momento y permitirme alcanzar esta meta.
Virgen María	Por ser el mejor ejemplo de humildad y fe.
Mi padre	José Luis Ambrocio Noj, por su amor, esfuerzo y trabajo. Por enseñarme a luchar con perseverancia.
Mi madre	María Reyes López, por su amor, dedicación y desvelos. Por sus oraciones y sacrificios.
Ing. Erick Orellana	Gerente Industrial de Ingenio Tululá, por su apoyo y amistad brindada, por enseñarme a ser perseverante.
Ing. Byron López	Por su amistad, por compartir sus conocimientos y brindarme su apoyo.
Mis catedráticos	Inga. Astrid Argueta, Ing. Víctor Nájera, Dr. Marco Antonio Del Cid. Por sus enseñanzas, por brindarme su amistad y apoyo incondicional en los momentos más difíciles de mi carrera.

ÍNDICE GENERAL

1. Resumen.....	1
2. Introducción.....	2
3. Planteamiento del problema	3
4. Justificación.....	5
5. Objetivos	6
6. Hipótesis	7
7. Marco teórico.....	8
7.1 Pérdidas de azúcar en un ingenio azucarero	8
7.1.1 Pérdidas determinadas	8
7.1.2 Pérdidas indeterminadas.....	10
7.2 Evaporación.....	12
7.3 Pérdidas por arrastre de sacarosa en evaporadores	13
7.3.1 Arrastres	13
7.4 Tipos de separadores	14
7.4.1 Separadores por reversión de flujo.....	15
7.4.2 Separadores centrífugos	15
7.4.3 Separadores de malla de alambre.....	15
7.4.4 Separadores de placas chevron	16
7.5 Condensadores y equipos de vacío	17
7.5.1 Presiones absolutas requeridas	17

7.5.2	Cantidad de agua y de vapor	18
7.5.3	Disposición de condensadores y requerimientos.....	18
7.5.4	Tipos de condensadores	19
7.6	Muestreador modelo Munters	19
7.6.1	Cálculos para determinar las pérdidas	20
7.7	Tamaño de muestra.....	21
7.8	Medidas de posición o localización	22
7.8.1	Media aritmética	22
7.9	Coeficiente de correlación de Pearson	23
7.10	Gráficos estadísticos	24
7.10.1	Gráficas de barras.....	24
7.10.2	Gráficas lineales.....	24
8.	Metodología	25
8.1	Variables.....	25
8.1.1	Variable dependiente	25
8.1.2	Variable independiente.....	25
8.2	Delimitación del campo de estudio	25
8.3	Recursos humanos.....	25
8.4	Recursos materiales	26
8.4.1	Cristalería, materiales y equipo	26

8.4.2	Reactivos	26
8.4.3	Muestras	26
8.5	Análisis fisicoquímicos	26
8.5.1	Determinación del °brix refractométrico de la muestra	26
8.5.2	Determinación del Pol (sacarosa aparente) de la muestra	27
8.5.3	Determinación de la pureza de la muestra	27
8.6	Recolección y ordenamiento de los datos	27
8.7	Tabulación y procesamiento de los datos	28
8.7.1	Cálculo de la constante de relación de áreas	28
8.7.2	Cálculo para obtener masa de arrastre total en el tubo de vapor hacia el condensador para cada línea de evaporación	28
8.7.3	Cálculo para determinar la masa de azúcar total arrastrado en cada línea de evaporación	29
8.7.4	Hojas de cálculos para cada línea de evaporación	29
8.7.5	Determinación de la relación entre la molienda diaria y el arrastre de azúcar aparente total en evaporadores y la obtención del arrastre en lb Pol/toneladas de caña molida	30
8.7.6	Determinación de los efectos o cuerpos evaporadores que induzca a mayor pérdida de sacarosa en condensadores barométricos, cuando está fuera de línea por limpieza de incrustación en calandrias.	30

8.8	Análisis estadístico	31
8.8.1	Determinación del tamaño de la muestra	31
8.8.2	Diseño estadístico	32
9.	Resultados	33
10.	Conclusiones.....	44
11.	Recomendaciones.....	45
12.	Referencias bibliográficas	46
13.	Apéndice	48
14.	Glosario.....	62

1. RESUMEN

La investigación se basó en la evaluación de pérdidas por arrastre de sacarosa en el vapor vegetal, hacia los condensadores barométricos de la estación de evaporadores, para determinar el total de las pérdidas en tal punto de la etapa del proceso.

Dicho trabajo se realizó en el Ingenio Tulula S.A. durante el periodo de zafra 2015-2016, empleando los días de zafra No. 17 al 79, siendo un total de 63 días de zafra evaluados del proceso de azúcar crudo.

Se instalaron toma muestras tipo Munters en los condensadores barométricos de la estación de evaporadores, del cual, se obtuvieron 24 muestras diarias para el análisis de sacarosa arrastradas en el vapor, es decir, doce muestras en cada línea de evaporación.

De los datos obtenidos se calcularon las pérdidas por arrastre de sacarosa en libras Pol/día, tanto para la línea A como para la línea B y la pérdida total de la estación de evaporadores, encontrándose que el 23% de la pérdida total lo aporta la línea A y el 77% lo aporta la línea B.

Aunado a ello, también se calculó las pérdidas por arrastre de sacarosa en la estación de evaporadores obtenidas por cada tonelada de caña molida, dando un dato de 0,039 libras Pol/tonelada de caña molida.

Se logró determinar la relación entre las mencionadas pérdidas y la molienda, aparte, se relacionó con la limpieza de los vasos o efectos cuando están fuera de línea encontrándose que cuando el vaso 2B está en limpieza se reportaron mayores pérdidas.

Por tales motivos se recomendó la instalación de separadores de arrastre externos de placas chevron en la tubería de vapor vegetal hacia cada condensador de la estación de evaporadores y el uso de válvulas automáticas para regular el agua de inyección entrando a los condensadores.

2. INTRODUCCIÓN

Actualmente la industria azucarera en Guatemala clasifica las pérdidas del proceso en pérdidas determinadas e indeterminadas. Las primeras tienen lugar en el bagazo, la cachaza y la miel final, y las segundas se obtienen de la diferencia entre la sacarosa aparente que entra con la caña y la cantidad de azúcar producida, menos la cantidad de las pérdidas determinadas.

Las pérdidas indeterminadas se deben a fugas en estoperos de bombas, lavado de equipo, arrastres en condensadores barométricos, arrastres en aguas condensadas, lavado de caña, fugas en tuberías de equipos, inversión por bacterias, temperatura y pH, entre otros.

La gerencia industrial del Ingenio Azucarero está interesada en conocer las pérdidas de sacarosa, provocados por los arrastres en los condensadores barométricos de la estación de evaporadores, esto con el fin de tener un registro detallado acerca de la cuantificación de ésta pérdida y poder disminuir las mismas en este punto del proceso, así como buscar mayor eficiencia en el proceso. El estudio tiene importancia debido a que las pérdidas indeterminadas han sufrido un incremento significativo con respecto a lo normal, lo que conlleva a evaluar los puntos en el proceso, que generen mayor incertidumbre acerca de las pérdidas de sacarosa.

Para llevar a cabo el estudio se emplearon los métodos tradicionales de °Brix, Pol y Pureza en jugos para determinar la presencia de sacarosa en el vapor vegetal hacia los condensadores barométricos, en la estación de evaporadores, los cuales trabajan entre (20 a 26) pulgadas de mercurio de vacío.

Se analizaron las muestras recolectadas del toma muestras tipo Munters durante el periodo de zafra, otras variables analizadas fueron, la molienda diaria y el efecto (cuerpo) evaporador en limpieza (limpieza de calandrias).

Se realizó un análisis estadístico a los datos obtenidos y se cuantificaron las pérdidas en libras Pol por día, libras Pol/tonelada de caña y se buscó una relación entre la variable de proceso (molienda diaria) y su incidencia sobre las pérdidas de sacarosa.

Aunado a ello, se determinó el efecto o cuerpo evaporador que inducía a mayor pérdida de sacarosa en los condensadores barométricos cuando estaba fuera de línea por limpieza de incrustación en calandrias.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Ingenio Azucarero donde se realizó la investigación, cerró el periodo de zafra 2014-2015 con una pérdida indeterminada de 7,75 libras de azúcar por tonelada corta de caña molida, siendo aproximadamente el doble de lo normal, debido a que el rango normal de las pérdidas indeterminadas oscila entre (4-5) libras de azúcar por tonelada de caña.

El Ingenio Azucarero cuenta con una estación de evaporadores tipo Roberts, que consta de un Pre-evaporador y dos líneas de evaporadores A y B de quintuple efecto, por lo que los últimos efectos (meladores) trabajan con vacío y condensadores barométricos, cada uno de los efectos (cuerpos) está diseñado con separadores de arrastre convencionales (mamparas o deflectores) y no cuentan con separadores externos.

El sistema actual de evaporación fue diseñado para una molienda de 5 500 toneladas de caña al día, sin embargo debido al crecimiento de la demanda de azúcar crudo por parte de los consumidores finales, la demanda de bagazo por parte de cogeneración para la producción y venta de energía eléctrica y la demanda de miel final por parte de destilería de alcoholes, ha provocado que se aumente la cantidad de caña molida, por lo que en los últimos periodos de zafra la molienda ha aumentado a 6 700 TCD (toneladas cortas por día), aunque en algunos días se han registrado moliendas de 7 200 TCD (toneladas cortas por día).

Esto implica aumento de la velocidad lineal del flujo de vapor saliendo de los últimos efectos o cuerpos evaporadores (meladores) hacia los condensadores barométricos de la estación de evaporadores, integrado a lo anterior, los condensadores barométricos no cuentan con válvulas automáticas que regulen la cantidad de agua necesaria para la operación, por lo que muchas veces entra más o menos agua de la necesaria.

Se desconocía además la magnitud del arrastre de sacarosa hacia los condensadores barométricos en la estación de evaporadores, y cuál era la incidencia de la variable de proceso, siendo ésta, molienda diaria de caña, con respecto a la pérdida de sacarosa.

Aunado a lo anterior, también se quiere conocer si la limpieza de incrustación en tuberías de calandria en los efectos o cuerpos evaporadores tienen relación con las pérdidas de sacarosa, debido a que siempre hay un efecto o cuerpo en limpieza por lo que una línea de evaporación queda trabajando como un cuádruple efecto, lo que provoca un desbalance en la capacidad de áreas de la estación de evaporadores.

Es por ello que la gerencia industrial se interesó en que se realizará el estudio sobre las pérdidas de sacarosa en los condensadores barométricos de la estación de

evaporadores, con la finalidad de determinar qué porcentaje de las pérdidas indeterminadas se debe a pérdidas en condensadores barométricos y si ésta pérdida es significativa en comparación con las pérdidas indeterminadas totales en la producción de azúcar crudo, además de la relación existente entre las variables de proceso frente a las pérdidas de sacarosa en los condensadores barométricos.

Por lo que se generan las siguientes interrogantes:

¿Será significativa la magnitud del arrastre de sacarosa hacia los condensadores barométricos en la estación de evaporadores con respecto a las pérdidas indeterminadas en el proceso de azúcar crudo?

¿Tendrá incidencia significativa la variable de proceso, molienda diaria, en las pérdidas de sacarosa por arrastre en los condensadores barométricos de la estación de evaporadores de un Ingenio Azucarero?

4. JUSTIFICACIÓN

La investigación se realizó para evaluar las pérdidas de sacarosa por arrastre en los condensadores barométricos de la estación de evaporadores, con el fin de cuantificar las pérdidas en lb Pol/día y así poder determinar su significancia con respecto a las pérdidas indeterminadas totales de la producción de azúcar crudo.

Además, se estableció una relación entre las variables de proceso (molienda diaria y limpieza de las calandrias de los cuerpos evaporadores) y su incidencia sobre las mencionadas pérdidas.

Con los datos obtenidos de la investigación se logró demostrar sí la magnitud de las pérdidas de sacarosa son significativos para el proceso de recuperación de azúcar crudo y poder recomendar alternativas que conlleven a disminuir las pérdidas de sacarosa en la estación de evaporadores, lo que ayudaría a disminuir también las pérdidas indeterminadas totales, haciendo el proceso más eficiente y obteniendo mayor recuperación de sacarosa, aunado a ello, se lograría menor contaminación del agua utilizada para los condensadores barométricos lo que conlleva a ser más amigable con el medio ambiente.

La limpieza para eliminar la incrustación en tuberías de las calandrias de los efectos o cuerpos evaporadores provoca que una de las dos líneas A y B de la estación de evaporadores quede trabajando como un cuádruple efecto, éste procedimiento crea la incertidumbre que exista incidencia en la pérdida de sacarosa en los condensadores barométricos, por el desbalance de áreas, por lo tanto, fue importante evaluarlo.

Sumado a lo anterior, se logró demostrar si los separadores de arrastre convencionales de los últimos efectos de la estación de evaporadores son eficientes para disminuir el arrastre de sacarosa y si será necesario instalar separadores de arrastre externos para lograr una mejor eficiencia.

Si no se realizaba la investigación continuaría la incertidumbre por saber si el aumento en las pérdidas indeterminadas se deba a que en el vapor hacia los condensadores barométricos se estaba perdiendo sacarosa económicamente significativa, lo que se traduce en menor eficiencia en la recuperación de sacarosa en la estación de evaporadores.

5. OBJETIVOS

GENERAL:

1. Evaluar las pérdidas de sacarosa por arrastre en el vapor vegetal, en los condensadores barométricos de la estación de evaporadores de un Ingenio azucarero durante la zafra 2015-2016.
2. Establecer la relación entre la variable de proceso, molienda diaria y las pérdidas de sacarosa por arrastre en el vapor vegetal en los condensadores barométricos de la estación de evaporadores.

ESPECÍFICOS:

1. Calcular las pérdidas de sacarosa en libras Pol/día en los condensadores barométricos de cada una de las líneas de evaporación A y B de múltiple efecto.
2. Cuantificar en lb Pol/día las pérdidas de sacarosa por arrastre en el vapor vegetal, en condensadores barométricos de la estación de evaporadores.
3. Calcular las pérdidas de sacarosa en libras Pol/tonelada de caña molida en los condensadores barométricos de la estación de evaporadores de múltiple efecto.
4. Determinar la relación existente entre la molienda diaria y pérdidas de sacarosa en el vapor hacia los condensadores barométricos, de la estación de evaporadores de múltiple efecto.
5. Determinar el efecto o cuerpo evaporador en limpieza de calandrias (fuera de línea), el cual provoca mayor pérdida de sacarosa en los condensadores barométricos en las líneas A y B de la estación de evaporadores de múltiple efecto.

6. HIPÓTESIS

1. El arrastre de sacarosa hacia los condensadores barométricos de la estación de evaporadores, representan valores $>5\%$ de las pérdidas indeterminadas del proceso de producción de azúcar crudo.
2. La variable de proceso, molienda diaria, tiene incidencia significativa en las pérdidas por arrastre de sacarosa en los condensadores barométricos en la estación de evaporadores del Ingenio Azucarero.

7. MARCO TEÓRICO

7.1 Pérdidas de azúcar en un ingenio azucarero

La caña de azúcar y especialmente la composición de su jugo es, sin embargo, muy variable, ya que permanentemente se dispone y se efectúa la extracción de diferentes variedades y bajo diferentes condiciones del suelo y climáticas, por lo que se debe establecer tecnología flexible para obtener el máximo de eficiencia y de recuperación del azúcar.

Todas las pérdidas que se obtienen en los ingenios azucareros se clasifican en dos grupos:

- Pérdidas determinadas
- Pérdidas indeterminadas

Las pérdidas determinadas son las que tienen lugar en el bagazo, la cachaza y en la miel final o melaza. Ahora bien, las pérdidas indeterminadas son calculadas por un balance de masa, resultado obtenido por la diferencia entre el total de sacarosa que llega en el jugo, con la cantidad de ella que es cristalizada para ser convertida en azúcar y con la cantidad de sacarosa calculada en las pérdidas determinadas. Las pérdidas indeterminadas se pueden clasificar en químicas o microbiológicas, físicas y pérdidas indeterminadas aparentes (Ramos R, 2009, pág. 247).

7.1.1 Pérdidas determinadas

Estas pérdidas se determinan debido a los procedimientos establecidos en el laboratorio de fábrica. Las pérdidas en el bagazo se obtienen utilizando los análisis de Pol de bagazo (sacarosa aparente) y el peso del bagazo producido. De igual forma se calculan las pérdidas en la cachaza, ya que también se registran valores de Pol en cachaza y peso de cachaza producida. Por último, las pérdidas en la miel final se obtienen con la ayuda del volumen y la densidad de la miel final, además de su contenido de sacarosa (Pol de miel final).

7.1.1.1 Pérdidas en bagazo

Este tipo de pérdida corresponde a la sacarosa presente en la caña y que no se ha logrado extraer en el tándem de molinos. Algunos de los factores que contribuyen a la pérdida de sacarosa en el bagazo son:

- Grado de preparación de la caña
- Porcentaje de fibra en caña
- Presión en los molinos
- Abertura de los molinos
- Alimentación y temperatura del agua de imbibición
- Sistema de maceración
- Mantenimiento y operación del tándem de molinos

7.1.1.2 Pérdidas en cachaza

Las pérdidas en cachaza se deben principalmente a la ineficiencia en la operación de los filtros de cachaza, los cuales se encargan de lavar y agotar la cachaza para recuperar el máximo de sacarosa que va impregnada en esta. Los factores de operación que influyen negativamente en las pérdidas en cachaza son los siguientes:

- Vacío defectuoso en los filtros de cachaza
- Tubos de succión saturados
- Telas rotas o saturadas
- Presión deficiente del agua de lavado de torta
- Espesor inadecuado de la torta de cachaza
- Velocidad alta en la rotación de los filtros
- Grado de mantenimiento de los filtros

7.1.1.3 Pérdidas en miel final

El azúcar que va en la miel final no se considera como pérdida irre recuperable debido a que forma parte de un subproducto que tiene valor, sin embargo, el exceso de azúcar que va a las mieles finales afecta directamente al rendimiento en el azúcar comercial. Por lo tanto, en el balance de azúcar en fábrica, las pérdidas en la miel final se

toman en cuenta. De esta forma, cuanto más azúcar vaya a las mieles finales, menos azúcar comercial se producirá (Esquite L, 2011, pág. 10).

7.1.2 Pérdidas indeterminadas

Las pérdidas indeterminadas resultan de la sacarosa que viene en la caña y la diferencia entre la producción de azúcar y las pérdidas determinadas.

La medición de pérdida indeterminada sólo es realmente útil si se utiliza para identificar y eliminar la fuente de la pérdida. Esta no es una tarea sencilla. Una limitación importante del indeterminado es que se calcula como la pequeña diferencia entre dos grandes números. Los resultados de este tipo de cálculo son notoriamente poco fiables, siendo altamente sensibles a pequeñas imprecisiones en los dos grandes números que se comparan. El uso de cifras de pérdidas no calculadas como una herramienta para minimizar la pérdida de sacarosa es, a veces, más un oficio practicado por tecnólogos experimentados, en lugar de un proceso lógico bien definido. Dada la incertidumbre en la medición de las pérdidas indeterminadas, es importante no poner demasiado énfasis en los resultados individuales, sino buscar tendencias y cambios en las medias móviles (Love D. J., 2001, pág. 402).

La pérdida estimada indeterminada para una fábrica, es una medición de rendimiento clave y una guía importante para la gestión de la producción. Debido a problemas inherentes en la medición de pérdidas indeterminadas, el uso efectivo de estas mediciones normalmente requiere un alto grado de conocimiento, experiencia y juicio de procesamiento. Se ha propuesto un nuevo enfoque para tratar de identificar posibles fuentes de pérdidas indeterminadas. Esto implica comparar las mediciones del proceso disponibles con las predicciones de un balance de masas de la casa hirviendo (Love, Peacock, & Bindoff, 2010, pág. 355).

7.1.2.1 Pérdidas químicas

La sacarosa, al ser un disacárido, en presencia de agua y en un medio ácido, se puede hidrolizar, dando como resultado la transformación de sacarosa en glucosa y fructosa (es decir en sus monosacáridos primarios). A estos azúcares se les

denomina azúcares invertidos o reductores. La sacarosa es bastante estable en un medio neutro y puede soportar temperaturas hasta cierto límite sin alteraciones apreciables.

La inversión de la sacarosa se da por la acidez, la temperatura y el tiempo durante el cual los materiales se encuentran bajo esas condiciones. A temperaturas de (50 a 60) °C la inversión es baja, a 70 °C es perceptible y a temperaturas mayores de 80 °C es considerable. La descomposición por estos factores puede darse principalmente en la clarificación y evaporación (Esquite L, 2011, pág. 10).

7.1.2.2 Pérdidas físicas

Éstas están asociadas con fugas y desbordes de materiales intermedios o arrastres en condensados y en los efluentes del proceso fabril. Los altos niveles de material en la operación normal pueden ocasionar arrastre que contaminan el agua condensada con pérdidas de sacarosa. Existe la posibilidad de arrastre de pequeñas gotas de jugo o meladura por las rápidas corrientes de los vapores producto de la evaporación. Estas gotitas son muy ligeras y las corrientes de vapor las arrastra fácilmente hacia la calandria del cuerpo siguiente donde contaminarán el agua condensada de ese cuerpo, o hacia el condensador en el último efecto donde se irán con el agua de enfriamiento. Además, cuando hay tubos flojos o rotos en la calandria de los tachos se puede dar la contaminación del agua condensada (Ramos R, 2009, pág. 252).

En cuanto a las pérdidas físicas indeterminadas, los lavados de fin de semana y el arrastre se estiman como las dos mayores fuentes de pérdidas en el proceso. Se estima que, con un manejo cuidadoso del proceso y un mantenimiento cercano, debería ser capaz de disminuir cada una de estas pérdidas estimadas en al menos el 50% (Rivalland, 2001, pág. 342).

7.1.2.3 Pérdidas aparentes

Estas son atribuidas a errores en pesajes de los materiales del balance o en las determinaciones analíticas, muestreos no representativos, cálculos incorrectos, o a la estimación errada de materiales en existencia, entre otras. Estas pueden llegar a ser una parte importante de las pérdidas; sin embargo, se pueden reducir si se establecen sistemas de verificación de pesos, análisis y resultados (Esquite L, 2011, pág. 12).

7.2 Evaporación

El objetivo de la evaporación es la eliminación del agua del jugo clarificado. Durante la evaporación, las influencias físicas y químicas provocan cambios en las propiedades de los sólidos disueltos, por ejemplo, la descomposición de la sacarosa, la precipitación de ciertos no azúcares y un cambio en la relación del azúcar reductor. En los evaporadores estándar con jugo de buen pH (pH 7,0) normalmente hay una disminución en la relación del azúcar reductor, por ejemplo: 3,17 en jugo claro a 2,97 en jarabe (Hulett's Sugar Limited, 1975, pág. 85).

Esta operación incrementa la concentración del jugo clarificado hasta un contenido de sólidos disueltos alrededor de 65 a 68 %, lo cual la convierte en el principal consumidor de vapor (Rein, 2012, pág. 313).

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

El último efecto del tren de evaporadores normalmente opera en un rango de presiones entre 12 y 17 kPa, correspondientes a temperaturas de vapor saturado entre (49 y 57) °C. Este rango de presión corresponde aproximadamente a un vacío entre 26.5" y 25" de mercurio en la mayoría de las fábricas de azúcar, que tienden a localizarse cerca del nivel del mar.

7.3 Pérdidas por arrastre de sacarosa en evaporadores

7.3.1 Arrastres

El arrastre se refiere a las partículas líquidas (jugo / jarabe) que es arrastrado en la corriente de vapor, provocado por los cambios repentinos en el vacío o la presión del espacio de vapor, es importante mantener los niveles de jugo en el óptimo, de 30% al 40% de la longitud del tubo en los vasos tipo Robert. Esto no sólo reduce el arrastre, sino que aumenta la capacidad del evaporador (Hulett's Sugar Limited, 1975, pág. 94).

Los vapores generados en cualquier efecto de un evaporador de múltiple efecto siempre contienen pequeñas gotas que llevan azúcar. Si los vapores proceden del último efecto y se condensan en un condensador barométrico, el líquido arrastrado que contiene azúcar representa una pérdida monetaria y una descarga de contaminantes a las aguas receptoras (Chen, 1991, pág. 255).

Los arrastres se producen como consecuencia de cinco causas diferentes:

1. Salpicaduras del líquido en ebullición.
2. Erupciones puntuales de líquido debidas a condiciones no uniformes, tales como entradas puntuales de alimentación o entradas de aire o fugas en tuberías internas de incondensables.
3. Arrastres debido a la formación de espumas, frecuentemente asociadas con los arranques o paradas o condiciones de operaciones inestables.
4. Problemas operacionales, incluyendo cambios súbitos de presión, niveles de líquido demasiado elevados o bajos, bloqueo de las tuberías de retorno de arrastres recolectados, o remoción errática de condensado que causa fluctuaciones en la tasa de evaporación.
5. Arrastre de pequeñas gotas cuya velocidad terminal se encuentra por debajo de la velocidad de la corriente de vapor producida.

La primera se puede resolver asegurando que exista suficiente espacio por encima del nivel del líquido.

La segunda se debe eliminar mediante modificaciones apropiadas o reparaciones y la tercera y cuarta son condiciones anormales que pueden ser minimizadas mediante una operación cuidadosa.

La última es la situación de mayor preocupación, la remoción de pequeñas gotas que tienden a encontrarse en un rango de diámetro entre 1 a 100 μm . Estas gotas son atrapadas y arrastradas por el vapor sin importar cuál sea la altura de separación disponible por encima del nivel del líquido (Rein, 2012, pág. 353).

7.4 Tipos de separadores

Los separadores de arrastre o acumuladores son accesorios importantes para los vasos evaporadores utilizados para separar las partículas de jugo del vapor que se escapa. Estos separadores pueden instalarse dentro del propio vaso o en la línea de vapor de cada uno de los vasos (Hulett's Sugar Limited, 1975, pág. 352).

Los separadores hacen uso de uno o más de los siguientes mecanismos de separación:

- Gravedad
- Fuerza centrífuga
- Cambio de dirección
- Intercepción y coalescencia
- Impacto inercial

La separación por gravedad no es una solución práctica, debido a que requiere una cámara de sedimentación demasiado grande. La acción centrífuga es utilizada en algunos casos para lograr la separación de manera más efectiva.

Los separadores son instalados en la parte superior de los cuerpos o en la línea de vapor que comunica al cuerpo con el siguiente efecto o con el condensador; preferiblemente se instalan en la parte superior del cuerpo porque los separadores en líneas de vapor son más costosos de instalar y mantener (Rein, 2012, pág. 354).

7.4.1 Separadores por reversión de flujo

Algunos separadores de incrustaciones dependen totalmente de cambios en la dirección del flujo de vapor, lo cual resulta en remoción de las gotas mediante impacto inercial sobre las superficies sólidas. Es posible tener uno o más cambios de dirección. El área de flujo de estos separadores debe ser dimensionada de manera que la máxima proporción de flujo, la velocidad a la cual ocurre el arrastre de las gotas no sea excedida. Las gotas se deben recolectar y enviar de retorno al líquido en ebullición, (Rein, 2012, pág. 354).

El tipo más simple de separador se conoce a veces como sombrero superior. Éste induce dos cambios en la dirección del flujo de vapor, separando gotas que deben ser retornadas al cuerpo.

7.4.2 Separadores centrífugos

Algunos tipos de separadores utilizan a la fuerza centrífuga para la separación. Sin embargo, su eficiencia depende de alcanzar elevadas velocidades, lo cual conduce a altas caídas de presión. La velocidad límite es aquella velocidad a la cual todo el líquido separado es rearrastrado o reincorporado en la corriente de vapor. A bajas presiones la máxima velocidad permisible se incrementa debido a la menor densidad del vapor, (Rein, 2012, pág. 354).

Para que los separadores centrífugos grandes puedan operar tan bien como los separadores centrífugos pequeños, es necesario incrementar la velocidad del vapor. Sin embargo, la caída de presión a lo largo del separador se incrementa con la potencia cuadrada de la velocidad y debido a esto luego de cierto tamaño los separadores centrífugos se tornan imprácticos.

7.4.3 Separadores de malla de alambre

Los separadores de malla de alambre son probablemente los más eficientes. Estos consisten en almohadillas de alambre entretejido con un espesor entre (100 y 300) mm. El diámetro de los alambres generalmente se encuentra entre (0,10-0,28) mm. Las almohadillas tienen una elevada fracción vacía, entre (0,95 y 0,99).

Las almohadillas se montan sobre un marco sujetador, el cual se emplaza sobre soportes metálicos dentro del cuerpo. Estos normalmente se instalan horizontalmente en flujos verticales ascendentes.

Estos separadores son capaces de remover gotas cuyo tamaño exceda los 2-5 μm y la caída de presión es normalmente inferior a 25 mm de agua. Las almohadillas de alambre ofrecen un amplio rango operacional entre 30-110 % de su capacidad de diseño. El límite superior está determinado por la reincorporación o rearrastré de gotas de líquido desde la almohadilla de alambre, (Rein, 2012, pág. 355).

7.4.4 Separadores de placas chevron

El uso de una serie de secciones angulares de hierro en un arreglo intercalado es simple y se ha encontrado que logra operar eficientemente. Sin embargo, estos demandan una porción significativa de área de flujo, requiriendo grandes áreas.

Estos separadores consisten de una serie de placas o baffles a través de los cuales fluye el vapor. Estos ofrecen como ventajas una elevada capacidad, baja caída de presión y son libres de taponamientos, (Rein, 2012, pág. 356).

Generalmente se inducen varios cambios de dirección, lo cual causa que las gotas impacten sobre las placas. El líquido separado escurre sobre las placas y cae desde el fondo del paquete de placas a manera de gotas que son suficientemente grandes para no ser rearrastradas. Generalmente se tienen entre 2 y 4 pasos (es decir, el número de secciones planas en el zigzag de un chevron equivalente).

Estos pueden ser instalados para flujos verticales u horizontales, pero la mejor opción para la instalación de separadores chevron en evaporadores es sobre flujos verticales. En ambos casos el flujo máximo de vapor está determinado por el rearrastré de gotas desde las superficies del separador.

Estos separadores ofrecen típicamente menores eficiencias que los separadores de malla de alambre, pero logran separar gotas tan pequeñas como de aproximadamente 10 μm cuando se seleccionan correctamente. La eficiencia aumenta a medida que el ángulo se incrementa y el espacio entre placas se reduce. Un ángulo entre placas de 45 grados es común, que con una separación entre placas

de 22 mm es generalmente adecuado para aplicaciones en fábricas de azúcar (Rein, 2012, pág. 357).

En Komati Mill Sudáfrica, encontraron que la limpieza inadecuada de las poliamidas fue la causa de un excesivo ensuciamiento de los deflectores y resultó en un arrastre serio. Las huellas de azúcar en el VI condensado oscilaban entre 50 y 100 ppm. El conjunto completo de polybaffles de los separadores se retiró y se hirvió en cáustico durante aproximadamente ocho horas. Este esfuerzo resultó muy exitoso y se obtuvieron deflectores impecables (Govender & Williamson, 1996, pág. 178).

7.5 Condensadores y equipos de vacío

Los condensadores y equipos de vacío se encuentran comúnmente en los evaporadores y tachos. Prácticamente todos estos equipos utilizan condensadores de contacto directo, donde el agua de enfriamiento o inyección entra en contacto directo con el vapor a ser condensado.

Las principales ventajas de la condensación por contacto directo son un bajo costo de construcción del condensador y la capacidad de alcanzar una muy cercana aproximación de temperaturas; esto particularmente importante porque las temperaturas de saturación del agua son relativamente bajas y la temperatura del agua de inyección es relativamente elevada en las regiones cálidas donde se cultiva caña. Ambos factores tienen impacto sobre la demanda de agua de inyección. Los flujos de agua utilizados son bastante elevados, (Rein, 2012, pág. 369).

7.5.1 Presiones absolutas requeridas

Es mejor referirse a la presión absoluta que al vacío. El vacío es la presión relativa a la presión atmosférica, que varía día a día en cada lugar y puede ser significativamente menor al incrementar la altitud. Sin embargo, el uso del término vacío es aún muy común, mientras que la unidad del SI kiloPascal (kPa) no es comúnmente utilizada en algunos países productores de azúcar.

Generalmente no es recomendable utilizar la mínima presión absoluta que sea posible alcanzar. Para cada caso existe un punto óptimo y es de esperar que diferentes presiones absolutas sean empleadas en las diferentes aplicaciones. En términos generales, una presión absoluta muy baja causa problemas de arrastres y bajas temperaturas,

conduciendo a mayores viscosidades que reducen la transferencia de calor.

Además, presiones absolutas que sean muy elevadas conducen a temperaturas de ebullición muy altas, haciendo posible que se presenten reacciones de inversión o Maillard u otro tipo de degradación. Lo rangos de presiones absolutas halladas y valores óptimos recomendados para últimos efectos de evaporadores es de (10-18) kPa y el óptimo es de 15 kPa, (Rein, 2012, pág. 369).

7.5.2 Cantidad de agua y de vapor

El flujo de vapor que sale del último efecto de los evaporadores tiende a ser bastante estable y se puede estimar mediante cálculo. Como una primera aproximación, para estimar la cantidad de vapor a ser condensado, se puede utilizar una tasa de evaporación de 25 kg/h por m² de área de transferencia de calor en el último efecto. Esta cifra podría ser ligeramente mayor para efectos cuádruples y ligeramente inferior para quintuples. Se puede asumir un valor máximo de diseño de 40 kg/ h m ² (Rein, 2012, pág. 370).

7.5.3 Disposición de condensadores y requerimientos

Normalmente cada uno de los tachos y líneas de evaporación cuenta con un condensador propio. Los dos requerimientos principales de un buen condensador son:

- Debe condensar todo el vapor con mínimo consumo de agua, es decir la temperatura del agua que sale debe estar muy cerca de la temperatura de saturación del vapor.
- Debe enfriar los gases incondensables hasta una temperatura tan baja como sea posible, cercana a la temperatura del agua de inyección que entra, incluso cuando la tasa de evaporación sea baja.

En la práctica, cuando los gases incondensables no se enfrían adecuadamente, la bomba de vacío o el eyector de vapor se pueden sobrecargar y resultar siendo incapaces de remover todos los gases incondensables. En consecuencia, la presión absoluta aumenta y generalmente la acción correctiva consiste en incrementar la cantidad de agua de inyección admitida, (Rein, 2012, pág. 374).

7.5.4 Tipos de condensadores

Los condensadores se pueden clasificar en tres tipos básicos, contracorrientes, concurrentes y condensadores tipo jet. Los dos primeros nombres identifican la dirección relativa de los flujos de vapor y agua. Los condensadores contracorriente tienen la entrada de vapor al fondo del condensador mientras que el agua fluye desde arriba descendiendo a lo largo del cuerpo en contra de la dirección del vapor y son generalmente más eficientes. Los condensadores concurrentes tienen las entradas de vapor y de agua en la parte superior del condensador; estos requieren de mayor cantidad de agua y además la remoción de mayor cantidad de aire a mayor temperatura.

El tercer tipo es el condensador jet, en el que el agua de inyección se introduce a través de boquillas que producen chorros, jet de alta velocidad. Esto tiene el efecto de atrapar y arrastrar los gases incondensables con el agua a medida que esta desciende por la columna barométrica, eliminando la necesidad de usar equipos de vacío, pero se requiere el uso de una cantidad significativamente mayor de agua de inyección, particularmente cuando la tasa de evaporación es baja, (Rein, 2012, pág. 375).

7.6 Muestreador modelo Munters

Las muestras de vapor se colectan con el fin de detectar y medir la cantidad de azúcar presente en los vapores que salen del último efecto y que entran al condensador barométrico. El muestreo de los vapores del último efecto para detectar el arrastre es más aplicable que el muestreo del agua de descarga en las colas de los condensadores (Chen, 1991, pág. 830).

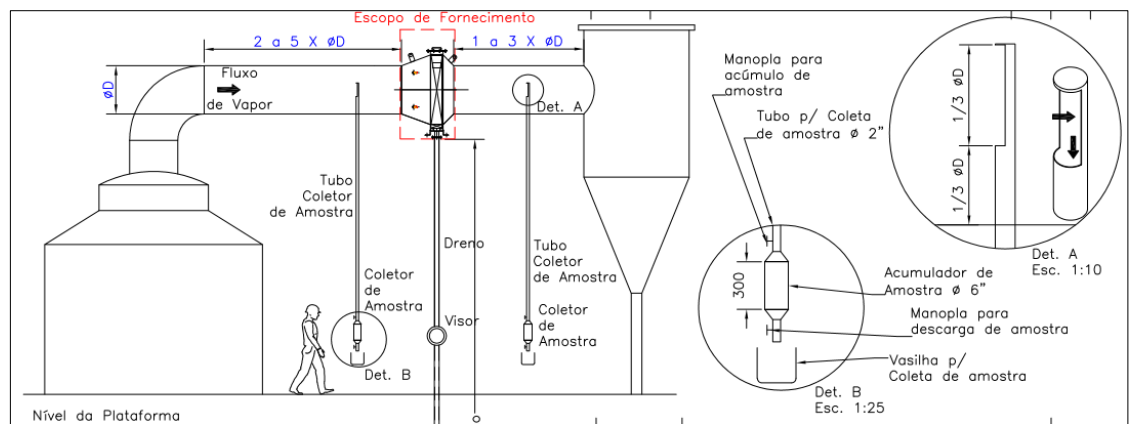
El muestreador directo que se instala en la tubería de vapor, modelo Munters, se utiliza para determinar y cuantificar las pérdidas de sacarosa por arrastre en el vapor vegetal hacia los condensadores barométricos, por unidad de tiempo, ver figura No. 1 (López, 2015, pág. 399).

Consta de un tubo de 2" de diámetro con una abertura acanalada de longitud aproximada de 1/3 del diámetro de la tubería de vapor, el cual se instala perpendicularmente y centrado al flujo de vapor, el material azucarado recolectado es depositado en un recolector (acumulador) de muestra en el otro extremo del tubo de 2" el cual, esta provista con dos válvulas, una para recolectar la muestra y la otra para romper el vacío.

Es decir que la válvula superior queda abierta y la inferior cerrada mientras se acumula la muestra en el recolector, una vez lleno, se cierra la válvula superior y se abre la válvula inferior para extraer la muestra del recolector.

Se deben realizar pruebas para determinar el tiempo en que se llena el recolector (acumulador) de muestra para determinar la frecuencia del muestreo del laboratorio, para luego poder anotar el peso de la muestra en la unidad de tiempo y proceder a realizar los análisis pertinentes para obtener la concentración del material azucarado, (López, 2015, pág. 400).

Figura No. 1: Diseño de toma muestras Munters



Fuente: Munters Company Brazil.

7.6.1 Cálculos para determinar las pérdidas

Para obtener la pérdida total en la tubería de vapor en una unidad de tiempo se procede de la siguiente manera:

- Primero se obtiene la relación de áreas, como sigue (López, 2015, pág. 400).

$$\text{Relación de áreas} = \frac{A_1}{A_2} \quad \text{ec. 1}$$

Dónde:

A_1 = área transversal de la tubería de vapor hacia el condensador

A_2 = área de la abertura de la toma muestras que recibe el vapor con el arrastre

- Segundo, se emplea la siguiente fórmula para determinar el arrastre total, como se expresa a continuación (López, 2015, pág. 400).

$$Kg \text{ arrastre total} = \frac{Kg \text{ muestra}}{\text{tiempo}} \times (\text{Relación de áreas}) \quad ec. 2$$

Cabe mencionar que el arrastre de material azucarado transita por toda la superficie de la tubería de vapor que va hacia el condensador barométrico, por lo que hace válida la afirmación de la relación de áreas para encontrar el arrastre total en la tubería de vapor por unidad de tiempo.

- Tercero para obtener la cantidad de azúcar aparente (Pol) por unidad de tiempo, se procede de la siguiente manera: (López, 2015, pág. 341)

$$kg \text{ azúcar total} = kg \text{ arrastre total} \times \frac{X \text{ kg pol}}{100 \text{ kg muestra}} \quad ec. 3$$

Dónde:

X kg Pol = es el resultado polarimétrico en 100 Kg de muestra analizada.

7.7 Tamaño de muestra

Si la población es finita, es decir conocemos el total de la población y deseásemos saber cuántos del total tendremos que estudiar la fórmula será: (Herrera C, 2010, pág. 1)

$$n = \frac{NZ_{\alpha}^2 p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad ec. 4$$

Dónde:

n = tamaño muestra

N = total de la población

Z α = valor correspondiente a la distribución de gauss

p = prevalencia esperada del parámetro a evaluar, en caso de desconocerse (p = 0.5) que corresponde al 50%

q = es igual a (1- p)

d = error que se prevé cometer

Para diferentes seguridades el coeficiente de Z α varía, así:

- Seguridad Z α fuese del 90% el coeficiente sería 1.645
- Seguridad Z α fuese del 95% el coeficiente sería 1.96
- Seguridad Z α fuese del 97.5% el coeficiente sería 2.24
- Seguridad Z α fuese del 99% el coeficiente sería 2.576

7.8 Medidas de posición o localización

Las medidas de posición facilitan información sobre la serie de datos que se está analizando. Estas medidas permiten conocer diversas características de la serie de datos.

7.8.1 Media aritmética

Es quizá la medida de ubicación más importante para una variable, pues proporciona una medida de la ubicación central de los datos.

Se utiliza para calcular el promedio de las observaciones de cada variable (Hernández S, Fernández C, & Baptista L, 2014, pág. 287).

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad \text{ec. 5}$$

Dónde:

$\bar{X}$ = media

$\sum X_i$ = es la sumatoria de todos los datos

n = es el total de los datos

7.9 Coeficiente de correlación de Pearson

Es una prueba estadística para analizar la relación entre dos variables medidas en un nivel por intervalos o de razón. Se le conoce también como “coeficiente producto-momento”. Se simboliza con la letra r .

Hipótesis a probar: correlacional, del tipo de “a mayor X, mayor Y”, “a mayor X, menor Y”, “altos valores en X están asociados con altos valores en Y”, “altos valores en X se asocian con bajos valores de Y”. La hipótesis de investigación señala que la correlación es significativa. Variables: dos. La prueba en sí no considera a una como independiente y a otra como dependiente, ya que no evalúa la causalidad. La noción de causa-efecto (independiente-dependiente) es posible establecerla teóricamente, pero la prueba no asume dicha causalidad, (Hernández S, Fernández C, & Baptista L, 2014, pág. 304).

El coeficiente de correlación de Pearson se calcula a partir de las puntuaciones obtenidas en una muestra en dos variables. Se relacionan las puntuaciones recolectadas de una variable con las puntuaciones obtenidas de la otra, con los mismos participantes o casos.

Nivel de medición de las variables: intervalos o razón. Interpretación: el coeficiente r de Pearson puede variar de -1.00 a $+1.00$, donde: -1.00 = correlación negativa perfecta. (“A mayor X, menor Y”, de manera proporcional. Es decir, cada vez que X aumenta una unidad, Y disminuye siempre una cantidad constante). Esto también se aplica “a menor X, mayor Y”.

-0.90 = Correlación negativa muy fuerte.
 -0.75 = Correlación negativa considerable.
 -0.50 = Correlación negativa media.
 -0.25 = Correlación negativa débil.
 -0.10 = Correlación negativa muy débil.
 0.00 = No existe correlación alguna entre las variables.
 $+0.10$ = Correlación positiva muy débil.
 $+0.25$ = Correlación positiva débil.
 $+0.50$ = Correlación positiva media.
 $+0.75$ = Correlación positiva considerable.
 $+0.90$ = Correlación positiva muy fuerte.
 $+1.00$ = Correlación positiva perfecta (“A mayor X, mayor Y” o “a menor X, menor Y”, de manera proporcional. Cada vez que X aumenta, Y aumenta siempre una cantidad constante).

El signo indica la dirección de la correlación (positiva o negativa); y el valor numérico, la magnitud de la correlación.

Consideraciones: cuando el coeficiente r de Pearson se eleva al cuadrado (r^2), se obtiene el coeficiente de determinación y el resultado indica la varianza de factores comunes. Esto es, el porcentaje de la variación de una variable debido a la variación de la otra variable y viceversa (o cuánto explica o determina una variable la variación de la otra).

Un coeficiente de determinación (r^2) entre 0.66 y 0.85 ofrece una buena predicción de una variable respecto de la otra variable; y por encima de 0.85 implica que ambas variables miden casi el mismo concepto subyacente, son “cercanamente” un constructo semejante, (Hernández S, Fernández C, & Baptista L, 2014, pág. 306).

7.10 Gráficos estadísticos

Esta representación revela patrones de comportamiento de la variable en estudio. El tipo de gráfico que se utilice dependerá del tipo de datos y el concepto a representar (Manual de estadística descriptiva, 2011, pág. 10).

7.10.1 Gráficas de barras

Las gráficas de barras muestran la cantidad de datos que pertenecen a cada categoría como áreas rectangulares de tamaño proporcional. Cada barra sólida, ya sea vertical u horizontal representa un tipo de dato

7.10.2 Gráficas lineales

Consiste en una serie de puntos trazados en las intersecciones de las marcas de clase y las frecuencias de cada una, uniéndose consecutivamente con líneas, (Manual de estadística descriptiva, 2011, pág. 11).

8. METODOLOGÍA

Para llegar a alcanzar los objetivos propuestos se llevó a cabo la siguiente metodología.

8.1 Variables

Dentro de las variables a evaluar están, la variable dependiente y las independientes con sus respectivas unidades de medidas como se describe a continuación.

8.1.1 Variable dependiente

- Arrastre de sacarosa (lb Pol/día)

8.1.2 Variable independiente

- Molienda diaria (TCD)
- Efecto o cuerpo en limpieza (Adimensional)

8.2 Delimitación del campo de estudio

La investigación se llevó a cabo en el área de evaporadores del Ingenio Tululá S.A. ubicado en el kilómetro 4,5 carretera a La Máquina, municipio de San Andrés Villa Seca, del departamento de Retalhuleu.

8.3 Recursos humanos

- Investigador
- Asesores
- Soldador
- Analistas de laboratorio
- Operadores de evaporadores
- Pantallistas de evaporadores

8.4 Recursos materiales

8.4.1 Cristalería, materiales y equipo

- Papel filtro Watman 91
- Refractómetro
- Polarímetro o sacarímetro
- Balanza analítica

8.4.2 Reactivos

- Octapol
- Agua desmineralizada

8.4.3 Muestras

- Muestra de arrastre del acumulador línea A de evaporadores
- Muestra de arrastre del acumulador línea B de evaporadores

8.5 Análisis fisicoquímicos

8.5.1 Determinación del °brix refractométrico de la muestra

Procedimiento

- Colocar en la unidad óptica del refractómetro la cantidad de muestra necesaria tratando de cubrir todo el lente, para poder tomar la lectura.
- Tomar nota del °Brix indicado en la pantalla del refractómetro.

Resultado

- $\% \text{ } ^\circ\text{Brix Refractométrico} = \% \text{ } ^\circ\text{Brix observado}.$

8.5.2 Determinación del Pol (sacarosa aparente) de la muestra

Procedimiento

- Pesar 26 g de muestra en un balón de 100 ml.
- Adicionar una pequeña cantidad de octapol para una buena clarificación, aforar y agitar bien, hasta obtener una buena mezcla.
- Filtrar la mezcla anterior desechando los primeros 25 ml de filtrado.
- Realizar un lavado del tubo de polarizar con la muestra del filtrado y descartar.
- Llenar el tubo de polarizar de 200 mm con el filtrado, colocarlo en el polarímetro y realizar la lectura.

Resultado

- Tomar la lectura directa del polarímetro

8.5.3 Determinación de la pureza de la muestra

Cálculo

$$\text{Pureza (P)} = \left(\frac{\text{Pol(sacarosa aparente)}}{\text{Brix}} \right) * 100 \quad \text{ec. 6}$$

8.6 Recolección y ordenamiento de los datos

Para la recolección y ordenamiento de los datos se utilizaron tablas, las cuales se llenaron conforme avanzó la investigación, donde, se anotaron datos puntuales de los análisis de las muestras analizadas, así como también datos de molienda diaria y datos de pérdidas indeterminadas total del proceso de azúcar crudo, los cuales se utilizaron para relacionar las pérdidas con los parámetros mencionados, logrando así ordenar los datos. Dichas tablas se presentan en los apéndices No. 13.2 y No. 13.3.

8.7 Tabulación y procesamiento de los datos

Para realizar la investigación se procedió a realizar los cálculos pertinentes para obtener la información, los cuales se detallan a continuación.

8.7.1 Cálculo de la constante de relación de áreas

Para determinar la relación de áreas en cada condensador se empleó la ecuación No. 1.

- **Condensador línea A:**

Diámetro interior del tubo de vapor = 1,5243 m

1/3 del diámetro del tubo de vapor = 0,5081 m

Diámetro del tubo recolector de muestra = 2" (0,05081301 m)

$$Relación\ de\ áreas = \frac{\pi \left(\frac{1,5243}{2} \right)^2}{0,05081301 * 0,5081} = 70,686$$

- **Condensador línea B:**

Diámetro interior del tubo de vapor = 1,6514 m

1/3 del diámetro del tubo de vapor = 0,55047 m

Diámetro del tubo recolector de muestra = 2" (0,05081301 m)

$$Relación\ de\ áreas = \frac{\pi \left(\frac{1,6514}{2} \right)^2}{0,05081301 * 0,55047} = 76,58$$

8.7.2 Cálculo para obtener masa de arrastre total en el tubo de vapor hacia el condensador para cada línea de evaporación

Para determinar el arrastre total en el tubo de vapor hacia el condensador en Kg/minuto se empleó la ecuación No. 2 y para ello se utilizaron los datos recopilados en la tabla No. 05 del apéndice No. 13.2 de reportes de arrastres en condensadores barométricos de evaporadores, el cual se multiplicó por la constante de área

dependiendo de qué línea de evaporadores se estaba calculando, quedando de la siguiente manera.

- Datos:

Masa de la muestra en Kg

Tiempo en que se acumuló la muestra en minutos

$$\text{Kg arrastre total} = \frac{\text{Kg muestra}}{\text{tiempo}} \times (\text{Relación de áreas}) \quad \text{ec. 2}$$

8.7.3 Cálculo para determinar la masa de azúcar total arrastrado en cada línea de evaporación

Para determinar los Kg Pol (azúcar aparente) /minuto total se empleó la ecuación No. 3 y se tomó de la tabla No. 5 del apéndice No. 13.2 el valor Pol (azúcar aparente) de la muestra. El resultado se empleó para proyectar las pérdidas a libras Pol/día. Este cálculo se realizó para cada línea de evaporación.

- Datos:

Masa de arrastre total en kg/minuto

Valor Pol de la muestra

$$\text{kg de azúcar total} = \text{kg arrastre total} \times \frac{\text{X kg pol}}{100 \text{ kg muestra}} \quad \text{ec. 3}$$

Con estos datos se calculó el promedio diario en cada línea de evaporación y al final se sumarán las pérdidas de ambas líneas para determinar las lb Pol/día promedio total en la estación de evaporadores.

8.7.4 Hojas de cálculos para cada línea de evaporación

Para facilitar los cálculos se empleó hojas de cálculo de Excel 2010 para introducir los valores de cada muestra a analizar aproximadamente cada dos horas, es decir, 12 análisis por día para

cada línea de evaporación, por lo tanto, fueron 24 análisis por día de ambas líneas de evaporación.

A cada línea de evaporación se le calculó el promedio de los datos del día para obtener las libras Pol (azúcar aparente) /día promedio.

8.7.5 Determinación de la relación entre la molienda diaria y el arrastre de azúcar aparente total en evaporadores y la obtención del arrastre en lb Pol/toneladas de caña molida

Para ello se realizó una tabla a partir de las hojas de cálculo para determinar la relación entre la molienda y las pérdidas por arrastre total en evaporadores, dicha tabla se presenta en el apéndice No. 13.3.

En la tabla también se incluyó el cálculo de arrastre en lb Pol/tonelada de caña molida, por lo tanto, se empleó la siguiente ecuación.

$$\text{Arrastre} \left[\frac{\text{lb Pol}}{\text{Ton caña}} \right] = \frac{\text{Arrastre promedio total} \left[\frac{\text{lb Pol}}{\text{Día}} \right]}{\text{Molienda diaria (Ton/Día)}} \quad \text{ec. 7}$$

Dónde:

Molienda diaria = toneladas de caña molida/día

Arrastre promedio total = lb Pol/día promedio total

8.7.6 Determinación de los efectos o cuerpos evaporadores que induzca a mayor pérdida de sacarosa en condensadores barométricos, cuando está fuera de línea por limpieza de incrustación en calandrias.

Se emplearon filtros avanzados en Excel 2010, con el propósito de dar respuesta al objetivo específico No. 5.5 de la investigación, para ello se seleccionaron los datos de pérdidas de sacarosa en base al efecto o cuerpo evaporador que estaba fuera de línea, se calcularon las medias y se realizaron las gráficas para su posterior interpretación.

Para ello se le denominó una clave para cada efecto, quedando así:

Pre-evaporador = PRE
Efecto 1 de línea A y B = 1A y 1B
Efecto 2 de Línea A y B = 2A y 2B
Efecto 3 de línea A y B = 3A y 3B
Efecto 4 de Línea A y B = 4A y 4B
Efecto 5 de Línea A y B = 5A y 5B
Ningún efecto en limpieza = Ninguno

De ésta forma se anotó en la tabla No. 05 del apéndice No. 13.2.

8.8 Análisis estadístico

Para la investigación se determinó el tamaño de la muestra para una población finita, mientras que para el análisis y presentación de los datos obtenidos se recurrió a las siguientes medidas estadísticas con el fin de presentar un estudio estadísticamente confiable. A continuación, se presentan dichas medidas.

8.8.1 Determinación del tamaño de la muestra

Para éste estudio los datos a utilizados fueron los siguientes:

- n = tamaño muestra (días a tomar muestras)
- N = total de la población (días de zafra)
- Total de la población = 180 días de zafra
- Seguridad $Z\alpha$ será 95%, el coeficiente sería de 1,96.
- Prevalencia esperada del parámetro será del 50%
- El error será del 10%.

Por lo tanto, el tamaño de muestra fue como sigue:

$$n = \frac{180 * 1,96^2 * 0,5 * (1 - 0,5)}{0,10^2 * (180 - 1) + 1,96^2 * 0,5 * (1 - 0,5)} = 62,85 \quad \text{ec. 4}$$

Por lo tanto, se emplearon aproximadamente 63 días de zafra para el estudio, del cual se realizaron 12 análisis por día de cada acumulador de muestra de las dos líneas de evaporadores, lo que representó

tomar las muestras cada dos horas aproximadamente para obtener más representatividad del muestreo.

8.8.2 Diseño estadístico

Para dar respuesta a la primera hipótesis de la investigación se emplearon los valores de porcentaje de las medias de las pérdidas de sacarosa por arrastre en los condensadores barométricos y las pérdidas indeterminadas del proceso de azúcar crudo para determinar si superaba el 5% propuesto.

Para ello se empleó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ pérdida} = \left[\frac{\text{pérdida por arrastre lb Pol/Ton}}{\text{pérdida indeterminada lb Pol/Ton}} \right] * 100 \quad \text{ec. 08}$$

Se procedió a calcular el promedio de los datos obtenidos de los porcentajes calculados con la ecuación No. 08 (Hernández S, Fernández C, & Baptista L, 2014).

Se empleó el coeficiente de correlación de Pearson como prueba estadística para analizar la relación entre las variables de proceso, molienda diaria, con respecto a las pérdidas de sacarosa, con el fin de dar respuesta a la segunda hipótesis de la investigación, para ello se utilizó el programa de Excel 2010, para desarrollar los cálculos y gráficas para su posterior interpretación. A continuación, se presenta la variable independiente evaluada respecto a la variable dependiente Y1 = pérdida sacarosa.

- X1 = Molienda diaria (Ton/Día)

9. RESULTADOS

La investigación se llevó a cabo en la estación de evaporadores del Ingenio Tululá durante el periodo de zafra 2015-2016, del cual, se tomaron los días de zafra No. 17 al 79, siendo un total de 63 días de zafra evaluados del proceso de azúcar crudo, omitiendo los días del proceso de miel virgen, con el fin de mantener las condiciones de un solo proceso.

Se instalaron los toma muestras tipo Munters, según la figura No. 1 del marco teórico de este documento, al realizar las pruebas durante los primeros días de zafra, se determinó que eran muy pequeñas, se llenaban en poco tiempo, por tal razón se cambió el diámetro del toma muestras, pasando de 4" a 8" de diámetro, aparte de ello, se instalaron válvulas guarda nivel con su respectivo tubo Pyrex, para ir visualizando el nivel dentro del mismo, ver figuras No. 8 y 9 del apéndice No. 13.6.

Una vez modificadas las dimensiones del toma muestra, se determinó que se lograba acumular la muestra durante aproximadamente dos horas y aún quedaba espacio por si se prolongaba el tiempo.

El tiempo empleado para la acumulación de la muestra en cada línea de evaporación fue de aproximadamente dos horas, es decir, doce muestras durante el día, por cada toma muestras, siendo un total de 24 análisis diarios (ver figuras No. 10-15 de apéndice No. 13.6), los cuales se reportaron en un formato según se observa en la tabla No. 5 del apéndice No. 13. 2.

El cálculo de la pureza de cada muestra solo se utilizó para garantizar que la marcha analítica del análisis de Pol se haya realizado bien, es decir, no mayor al 100 %, este cálculo también incluye el °Brix de cada muestra.

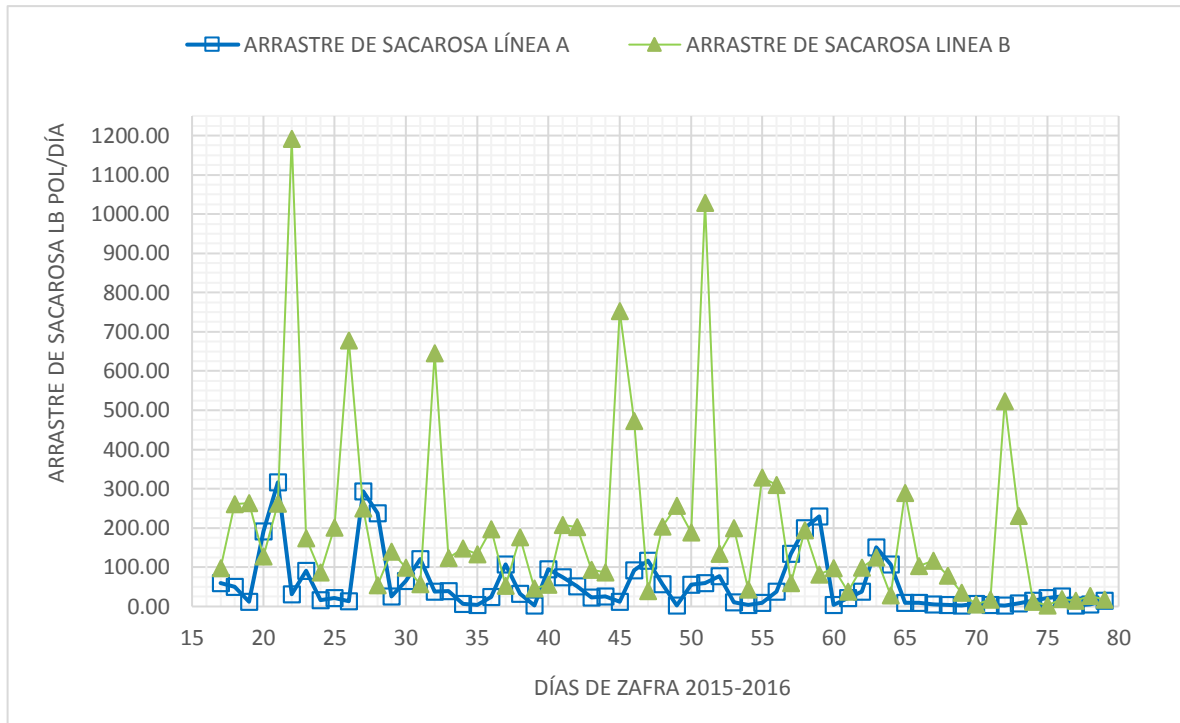
Pérdida por arrastre de sacarosa en las líneas A y B de la estación de evaporadores:

Para determinar las pérdidas por arrastre de sacarosa en las líneas A y B de la estación de evaporadores se realizaron los cálculos descritos en el apéndice No. 13.1 utilizando los datos obtenidos de las muestras analizadas reportadas en la tabla No. 5 del apéndice No. 13.2, para facilitar los cálculos se realizó una hoja de cálculo en Excel 2010 detallados en la tabla No. 6 del apéndice No. 13.3.

Los datos obtenidos en los cálculos se anotaron en la tabla No. 7 del apéndice No. 13.4 con el fin de resumir y concentrar los datos, para realizar los gráficos y tablas correspondientes para presentar los resultados.

En la figura No. 2 se presenta el comportamiento de las pérdidas por arrastre de sacarosa en los condensadores barométricos de las líneas A y B de la estación de evaporadores durante los días de zafra evaluados.

Figura No. 2: Pérdida por arrastre de sacarosa en las líneas A y B de la estación de evaporadores



Fuente: Elaboración propia, zafra 2015-2016

Se puede apreciar la línea B presentando mayores pérdidas que la línea A, aunque cabe mencionar que la línea B presenta pérdidas muy elevadas en diferentes días de zafra, del cual, solamente el día de zafra 26 registra una molienda de 6875 ton/día, los otros días que registran pérdidas altas (picos en la figura No. 2) corresponden a moliendas inferiores al día 26, ver tabla No. 07 del apéndice No. 13.4.

De la tabla No. 01 tenemos que la pérdida media en la línea A fue de 57,56 libras Pol/día, con una pérdida mínima de 2,22 y una pérdida máxima de 316,18 del cual, se deduce que más del 50 % de los datos están debajo de la media tal como lo indica la mediana.

Se observa igualmente la pérdida media en la línea B siendo de 195,05 libras Pol/día, con una pérdida mínima de 3,18 y una máxima de 1 191,90, a pesar

de los datos altos (picos en la figura No. 2) aún se aprecia que más del 50 % de los datos están debajo de la media.

Se aprecia también que las pérdidas mínimas en ambas líneas son casi similares, siendo aproximadamente una libra de diferencia, en cuanto a las pérdidas máximas en ambas líneas corresponden a pérdidas significativamente diferentes.

Tabla No. 01: Resumen de las pérdidas por arrastre de sacarosa en las líneas A y B de la estación de evaporadores

	LÍNEA A	LÍNEA B
Media	57,56	195,05
Error típico	9,19	29,20
Mediana	25,33	125,54
Desviación estándar	72,98	231,75
Pérdida mínima	2,22	3,18
Pérdida máxima	316,18	1 191,90
Días de zafra evaluados	63	63

Fuente: Elaboración propia, zafra 2015-2016

De la tabla No. 1 podemos observar que la desviación estándar en ambas líneas de la estación de evaporadores sobrepasa la media, indicándonos que las pérdidas reportadas son muy variables y esto puede estar relacionado con la capacidad de áreas para la transferencia de calor en la operación de cada línea, es decir, que la línea A es mayor en área de transferencia de calor que la línea B, aun así, a las dos líneas de evaporadores les llega la misma presión de vapor de escape, por lo tanto el mismo flujo de vapor.

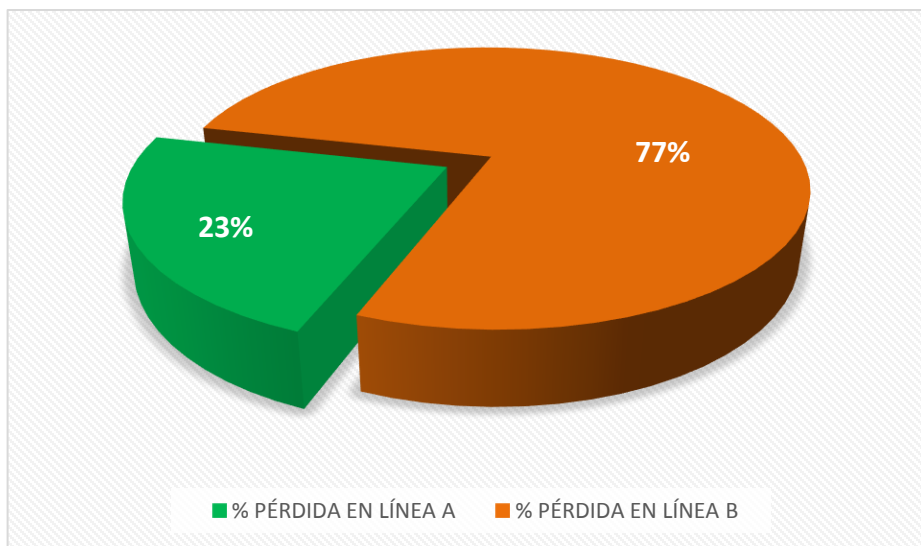
Además, el vapor vegetal producto de la evaporación es distribuido entre los efectos o cuerpos evaporadores (ver glosario) 2 al 5 de cada línea de evaporación, la estación de tachos y los calentadores primarios, secundarios y tercera etapa, siendo la estación de tachos la que provoca un mayor desbalance en el flujo del vapor vegetal, debido a que los tachos trabajan en forma discontinua, cargando y descargando a cada cierto tiempo, por lo tanto, aumenta o disminuye su consumo de vapor, provocando en los últimos vasos de la estación de evaporadores, aumento o disminución del flujo de vapor vegetal, aunque cabe mencionar que esto no altera la operación de evaporar el jugo, porque la meladura se mantiene dentro de los parámetros establecidos, de igual manera con los niveles de jugo, pero sí interfiere en el arrastre de sacarosa en los condensadores barométricos de cada línea de la estación de evaporadores tal como lo demuestran los datos analizados.

Aunado a esto, los condensadores barométricos de cada línea de evaporación carecen de una válvula reguladora (automática) que controle el flujo de agua inyectado al mismo, haciéndose de forma manual con una válvula de compuerta, el cual, el operador abre o cierra según lo requiera el proceso o temperatura del agua de cola del condensador, afectando también el vacío dentro del sistema (melador y condensador).

Según la prueba t de estudent aplicada a los datos de las líneas A y B de la estación de evaporadores nos indica que t_c fue de 4,5 y t_t es de 1,6688 según tablas, es decir, $t_c > t_t$ por lo tanto, existe diferencia estadística significativa en cuanto a pérdidas por arrastre de sacarosa en las líneas A y B de la estación de evaporadores, ver cálculos del apéndice No. 13.1.

En la figura No. 3 apreciamos que, de la pérdida total de la estación de evaporadores, el 23% son provocados por la línea A y el 77% son provocados por la línea B, por lo tanto, ésta última es la que mayor pérdida aporta a la estación de evaporadores tal como se describe en las medias reportadas en la tabla No. 1.

Figura No. 3: Porcentaje de pérdidas por arrastre de sacarosa de las líneas A y B de la estación de evaporadores respecto a la pérdida media total



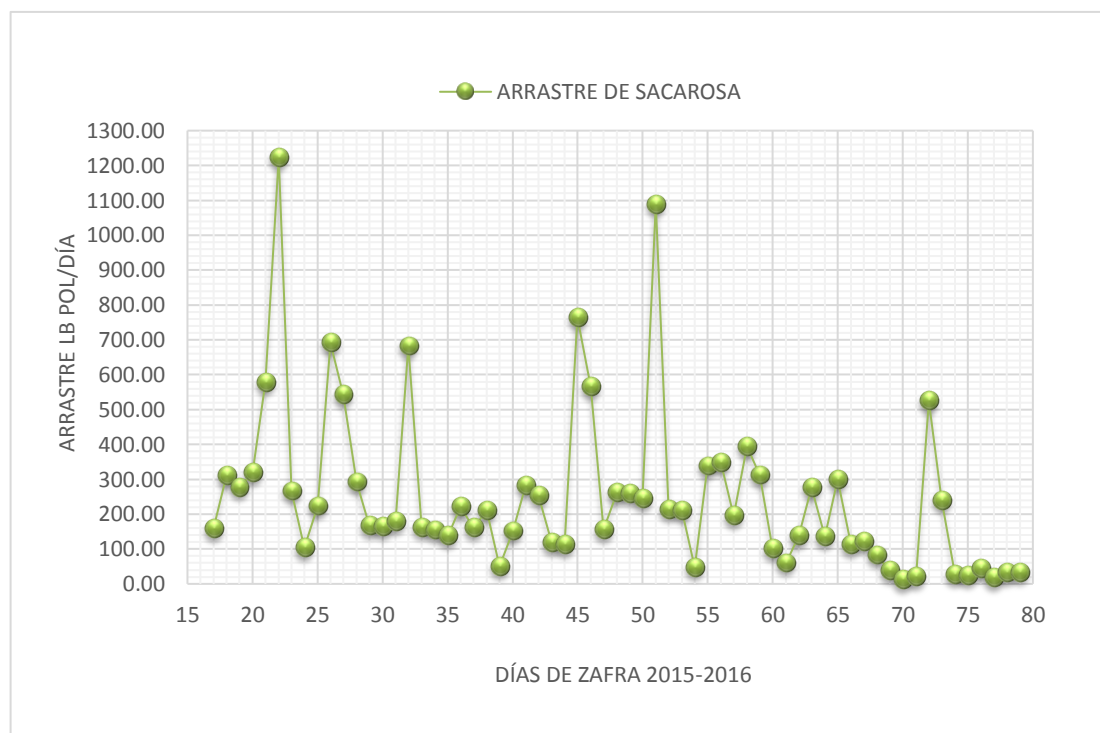
Fuente: Elaboración propia, zafra 2015-2016

Pérdida por arrastre de sacarosa en la estación de evaporadores:

Para encontrar la pérdida total en la estación de evaporadores se procedió a sumar las pérdidas de las líneas A y B de cada día de zafra evaluado, luego se calculó la media, ver tabla No. 7 del apéndice No. 13.4.

En la figura No. 4 podemos apreciar el comportamiento de las pérdidas en cada día de zafra evaluado para la estación de evaporadores, siendo en los días de zafra No. 22, 45 y 51 en el cual, mayores pérdidas por arrastre de sacarosa en condensadores barométricos se reportaron (ver picos en la figura No. 4), verificando los datos de molienda reportados en esos días de zafra corresponden a 6 500, 6 671 y 6 878 ton/día, en el cual, fueron unos de los días en el que mayor molienda se reportaron, contrario a esto, podemos observar el día de zafra No. 52 donde se reportó una pérdida de 212.88 libras Pol/día y la mayor molienda de la zafra reportado siendo de 7 175 ton/día, ver tabla No. 7 del apéndice No. 13.4.

Figura No. 4: Pérdidas por arrastre de sacarosa en condensadores barométricos de la estación de evaporadores



Fuente: Elaboración propia, zafra 2015-2016

La pérdida media de la estación de evaporadores fue de 252,61 libras Pol/día, ver tabla No. 2, también podemos apreciar que la pérdida mínima reportada fue de 12,02 y la máxima de 1 222,71 además, la mediana nos indica que más del 50% de los datos reportados están debajo de la media.

En el caso de la pérdida de la estación de evaporadores, la desviación estándar es menor a la media, según tabla No. 2, pero aun así es un valor muy elevado indicándonos que existen valores muy variables, esto debido a las condiciones de operación de la estación de evaporadores antes mencionados.

Tabla No. 02: Resumen de las pérdidas por arrastre de sacarosa en condensadores barométricos de la estación de evaporadores

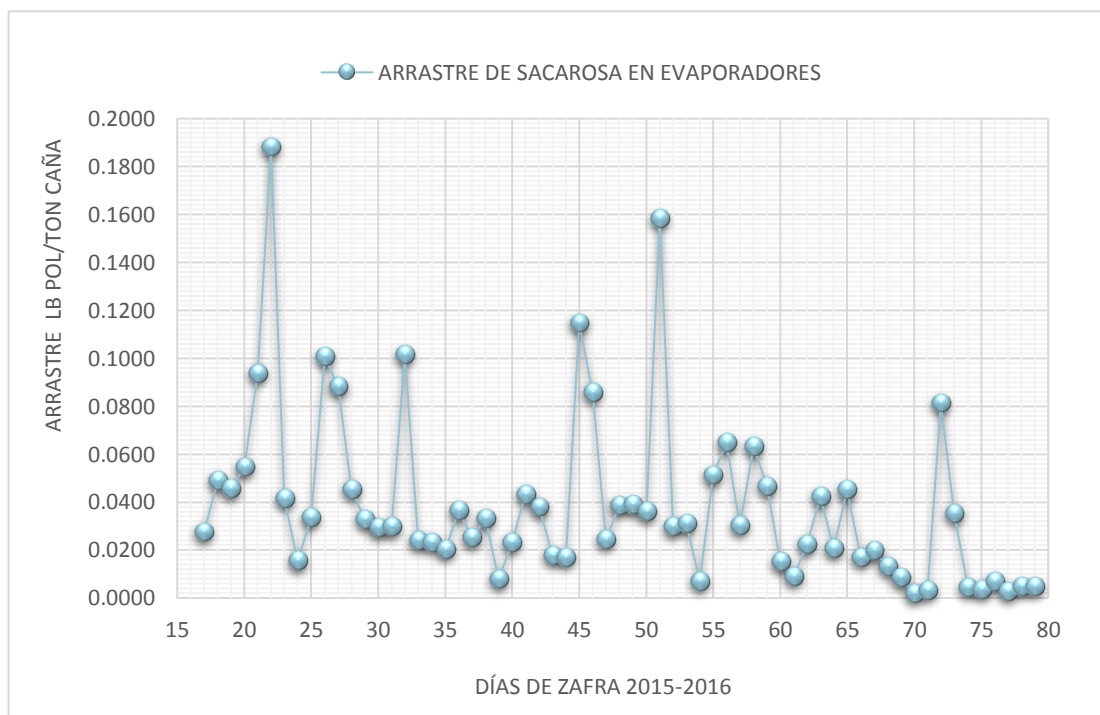
Media	252,61
Mediana	194,84
Desviación estándar	239,27
Pérdida mínima	12.02
Pérdida máxima	1 222,71
Días de zafra evaluados	63

Fuente: Elaboración propia, zafra 2015-2016

Pérdida debido al arrastre de sacarosa por tonelada de caña:

Para poder determinar esta pérdida se relacionó la pérdida por arrastre de sacarosa en condensadores barométricos de la estación de evaporadores entre las toneladas molidas en cada día de zafra evaluado, ver cálculo en apéndice No. 13.1, obteniendo así, las pérdidas por arrastre de sacarosa por cada tonelada de caña molida, ver tabla No. 7 del apéndice No. 13.4.

Figura No. 5: Pérdida por arrastre de sacarosa en la estación de evaporadores por cada tonelada de caña molida



Fuente: Elaboración propia, zafra 2015-2016

La pérdida de sacarosa por tonelada de caña se calculó con el fin de poder presentar a la gerencia del Ingenio Tululá, un dato puntual y su impacto en el proceso, así mismo, que puedan compararlo con las pérdidas determinadas del proceso de azúcar crudo pues utilizan la misma dimensional.

En la figura No. 5 se puede apreciar el comportamiento de las pérdidas por arrastre de sacarosa en la estación de evaporadores con respecto a cada tonelada de caña molida durante los días de zafra evaluados.

Según la tabla No. 3 el promedio de la pérdida por arrastre de sacarosa/tonelada de caña molida fue de 0,04 con una pérdida mínima de 0,002 y una máxima de 0,188 por lo tanto, la pérdida no presenta una cifra significativa que afecte el rendimiento de azúcar del Ingenio Tululá, pues no supera una libra de pérdida por tonelada de caña molida.

En la tabla No. 3 también se encuentra la media de la pérdida indeterminada del proceso de azúcar crudo el cual, fue de 13,04 libras Pol/tonelada de caña molida, cabe mencionar que este dato solo representa los días de zafra evaluados para el proceso de azúcar crudo, el periodo de zafra general cerró con una pérdida menor.

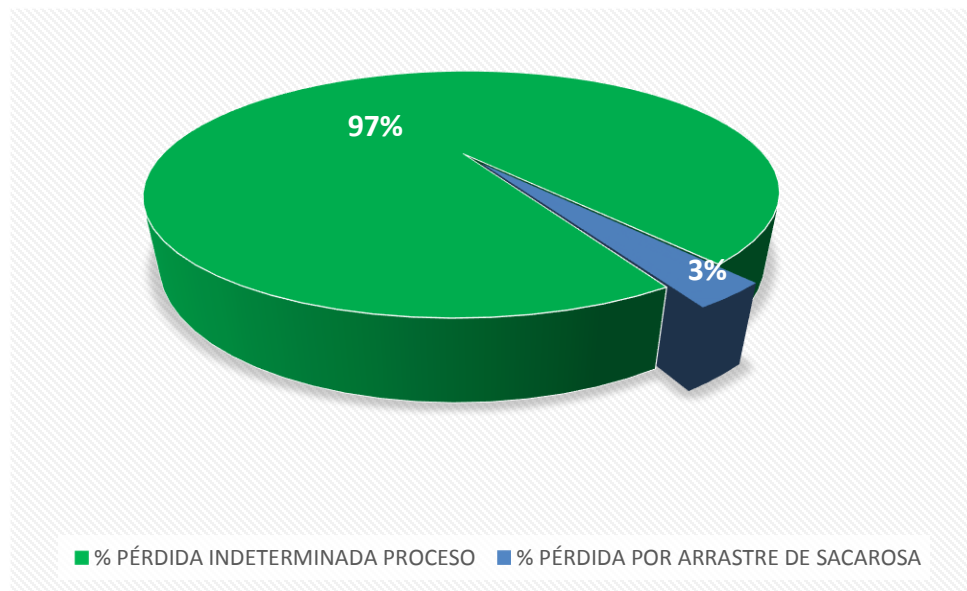
Tabla No. 03: Resumen de las pérdidas por arrastre de sacarosa en la estación de evaporadores por tonelada de caña molida

	ARRASTRE SACAROSA	INDETERMINADA PROCESO
Media	0,039	13,04
Desviación estándar	0,036	9,39
Pérdida mínima	0,002	-5,94
Pérdida máxima	0,188	38,75
Días de zafra evaluados	63	63

Fuente: Elaboración propia, zafra 2015-2016

En la tabla No. 8 del apéndice 13.5 se relaciona las pérdidas por arrastre de sacarosa/tonelada de caña y las pérdidas indeterminadas para poder calcular el % de pérdida por arrastre de sacarosa que representa en la pérdida indeterminada de cada día de zafra evaluados, ver cálculo en el apéndice No. 13.1, por lo tanto, el promedio calculado solo representa el 3% de pérdida por arrastre de la pérdida indeterminada del proceso de azúcar, tal como se aprecia en la figura No. 6, con el cual se le da respuesta a la primera hipótesis de la investigación.

Figura No. 6: Porcentaje de pérdidas por arrastre de sacarosa respecto a las pérdidas indeterminadas del proceso de azúcar crudo



Fuente: Elaboración propia, zafra 2015-201

Es decir, que de las 13,04 libras pol/tonelada de caña, el cual, es la pérdida indeterminada solamente el 3% se debe a la pérdida por arrastre de sacarosa en los condensadores barométricos de la estación de evaporadores.

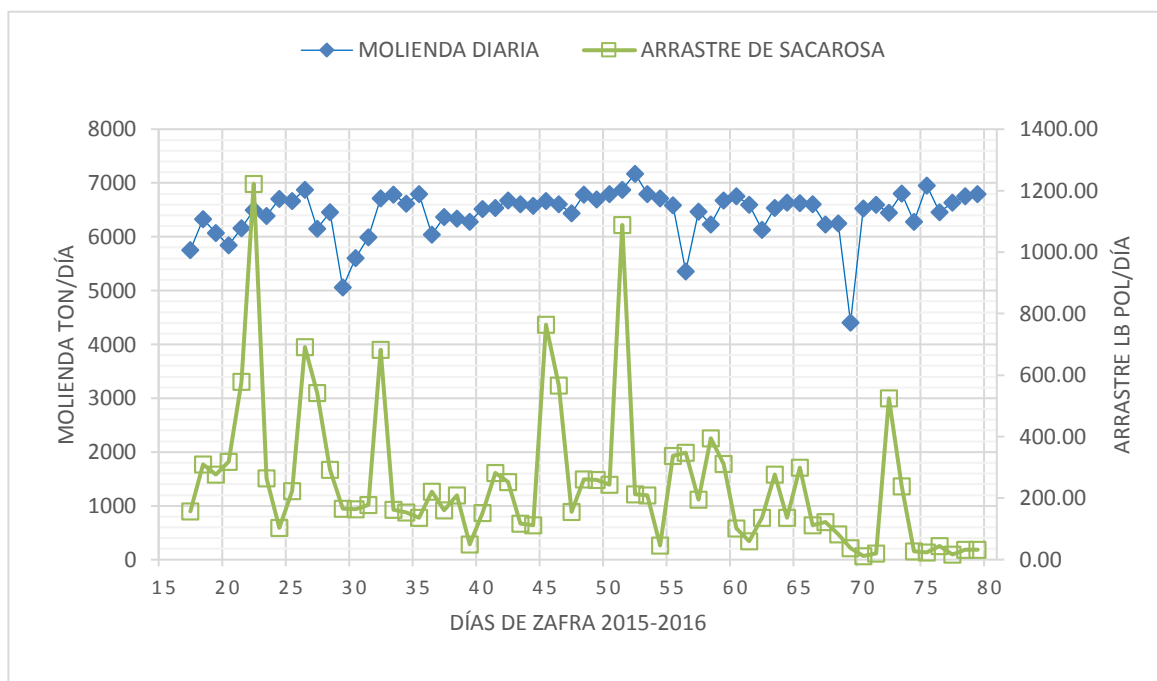
Aunque es importante mencionar que en los días de zafra No. 22, 23 y 27 se reportaron pérdidas indeterminadas del proceso de azúcar crudo, muy insignificantes (muy bajas), lo que provocó que el cálculo del % de pérdida fueran bastante altos de 29, 10 y 147% afectando directamente el promedio final del % de pérdida, los demás días evaluados dieron datos menores al 1%, ver tabla No. 8 del apéndice No. 13.5.

Relación entre molienda diaria y pérdida por arrastre de sacarosa:

Para determinar la relación entre molienda diaria y pérdida por arrastre de sacarosa en la estación de evaporadores, se procedió a registrar los datos en cada día de zafra evaluados, ver tabla No. 7 del apéndice No. 13.4.

En la figura No. 7 se pueden evaluar, tanto el comportamiento de molienda como el de pérdidas por arrastre de sacarosa, aunque es importante resaltar que en la figura mencionada no se logra observar una relación existente entre ambas partes.

Figura No. 7: Molienda diaria y arrastre de sacarosa en condensadores barométricos de la estación de evaporadores



Fuente: Elaboración propia, zafra 2015-2016

Por tal razón, fue necesario analizar los datos por medio de la correlación de Pearson con el fin de dar respuesta a la segunda hipótesis de la investigación, dicho cálculo se realizó en Excel 2010 empleando el análisis de datos del programa.

En la tabla No. 4 se presenta el resultado del análisis de los datos, el cual, nos presenta una correlación de 0,11 es decir, que existe una correlación positiva muy débil entre la molienda diaria y las pérdidas por arrastre de sacarosa en condensadores barométricos de la estación de evaporadores.

Tabla No. 04: Coeficiente de correlación de Pearson existente entre molienda diaria y pérdida por arrastre de sacarosa en condensadores barométricos de la estación de evaporadores

	Molienda (Ton/día)	Arrastre Lb Pol/día promedio total
Molienda (Ton/día)	1	
Arrastre Lb Pol/día promedio total	0,11	1

Fuente: Elaboración propia, zafra 2015-2016

Relación entre pérdidas por arrastre de sacarosa y vasos en limpieza:

Durante el periodo de zafra es común que en la estación de evaporadores se realicen a diario limpieza de alguno de los cuerpos o efectos evaporadores, por tal razón, se anotaron en un formato los vasos que estaban en limpieza mientras se acumulaban las muestras, ver tabla No. 5 del apéndice No. 13.2 para luego asociarse a las pérdidas por arrastre de sacarosa en los condensadores barométricos descritos en la tabla No. 6 del apéndice No. 13.3.

Para ordenar los datos de pérdidas por arrastre de sacarosa en relación con cada efecto en limpieza, se utilizaron filtros avanzados en Excel 2010 para cada vaso o efecto evaporador de cada línea incluyendo los datos cuando no existía algún vaso en limpieza.

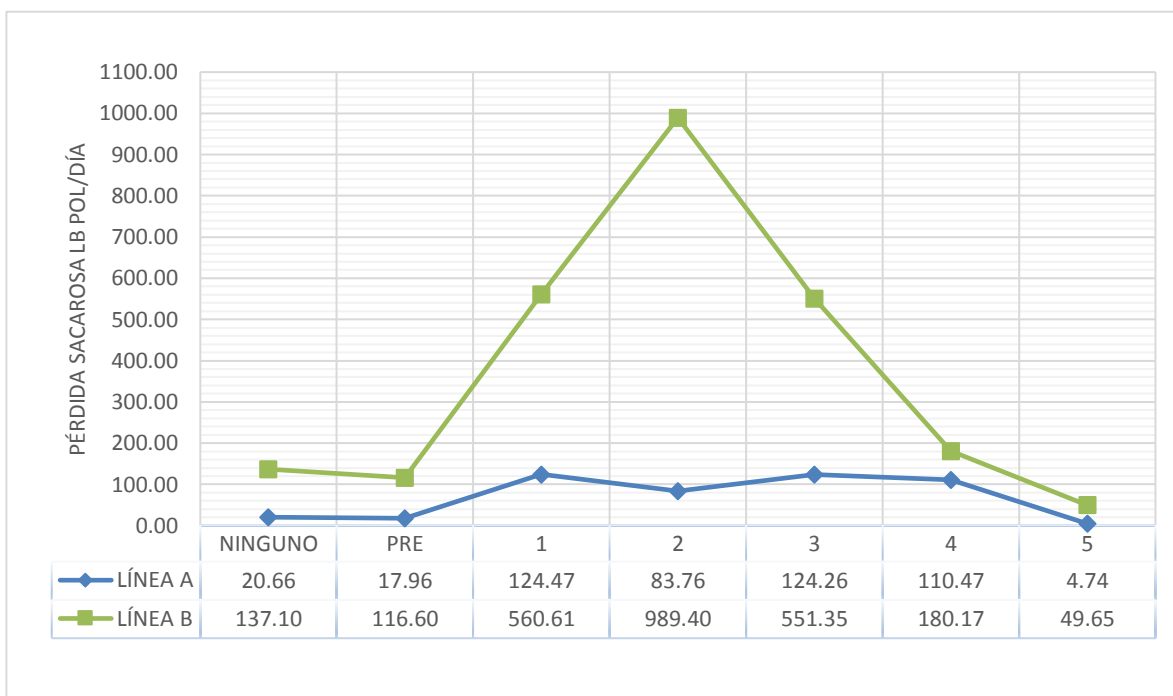
En la figura No. 9 se pueden apreciar las medias de los datos filtrados, según corresponde a cada uno, de donde podemos apreciar que la línea B es superior en pérdidas que la línea A, tal como lo demuestran los datos de la tabla No. 1 y la figura No. 3.

Además, podemos indicar que cuando el vaso 2B está fuera de línea o en limpieza, ocurre mayor pérdida por arrastre de sacarosa en el condensador de la línea B de la estación de evaporadores provocando una pérdida media de 989,40 libras Pol/día, también están los vasos 1B y 3B que presentan valores significativos en las pérdidas cuando están en limpieza o fuera de línea.

Aunado a ello, podemos indicar que los vasos 2A y 3A son los que mayor pérdida provocan cuando están en limpieza o fuera de línea, induciendo a una pérdida media de 124 libras Pol/día para ambos casos.

Es importante mencionar que los efectos o vasos evaporadores 5A y 5B son los que menores pérdidas presentaron al estar fuera de línea o en limpieza, se obtuvieron datos aun menores que cuando la línea trabajaba completamente sin tener ningún efecto en limpieza tal como se aprecia en la figura No. 9.

Figura No. 9: Pérdida por arrastre de sacarosa en evaporadores provocados por limpieza de vasos



Fuente: Elaboración propia, zafra 2015-2016

10. CONCLUSIONES

1. Las pérdidas por arrastre de sacarosa en los condensadores barométricos de la estación de evaporadores, representan el 3% del total de las pérdidas indeterminadas del proceso de azúcar crudo.
2. Los datos calculados promedio de las pérdidas por arrastre de sacarosa en condensadores barométricos para la línea A fue de 57,56 libras Pol/día, mientras que para la línea B fue de 195,05 libras Pol/día.
3. La cuantificación total de las pérdidas por arrastre de sacarosa en los condensadores barométricos de la estación de evaporadores fue de 252,61 libras Pol/día promedio, del cual, el 23% lo aporta la línea A y el 77% lo aporta la línea B.
4. Los cálculos de las pérdidas por arrastre de sacarosa en los condensadores barométricos de la estación de evaporadores obtenidas por cada tonelada de caña molida fue de 0,039 libras Pol/ton promedio.
5. Según el cálculo de la correlación de Pearson fue de 0,11 el cual indica que existe una relación muy débil entre la molienda diaria y las pérdidas por arrastre de sacarosa en los condensadores barométricos de la estación de evaporadores.
6. El efecto o cuerpo evaporador que mayor pérdida provoca cuando está fuera de línea o en limpieza es el vaso 1A y 3A de la línea A, los vasos 1B, 2B y 3B de la línea B, siendo el vaso 2B el que mayor pérdida provoca.

11. RECOMENDACIONES

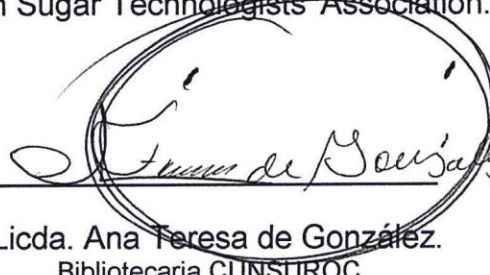
1. Colocar separadores externos de placas chevron en las tuberías de vapor vegetal hacia los condensadores barométricos de los efectos meladores de cada línea de evaporación (últimos vasos), con el fin de reducir a trazas, las pérdidas por arrastre de sacarosa en el vapor vegetal.
2. Disminuir el tiempo de acumulación de muestra en los toma muestras de los condensadores barométricos con el fin de evitar desdoblamiento de sacarosa inducidos por bacterias.
3. Hacer uso de válvulas automáticas que regulen el agua de inyección entrando a los condensadores barométricos de cada línea de evaporación, para regular automáticamente la temperatura del agua de las colas de los condensadores.
4. Instalar medidores de flujo de vapor de escape a la entrada de las líneas A y B, medidores de flujo de vapor vegetal entrando a la estación de tachos provenientes de la estación de evaporadores, para relacionar las pérdidas con estos flujos de vapor en otros estudios posteriores.
5. Instalar medidores de flujos de jugo entrando en cada línea de la estación de evaporadores para relacionar las pérdidas con estos flujos de jugo procesados por cada línea en estudios posteriores.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Chen, J. C. (1991). *Manual del azúcar de caña*. México: Limusa.
2. Esquite L., B. R. (2011). *Cuantificación de pérdidas de azúcar en los efluentes del proceso industrial de un ingenio azucarero*. (Escuela de Ingeniería Química) USAC. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Guatemala, GT.
3. Govender, K. & Williamson, A. (1996). *An investigation into undetermined loss at Komati Mill*. Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association. South Africa.
4. Hernández S., R., Fernández C., R. C. & Baptista L., M. del P. (2014). *Metodología de la investigación*. (6ta. ed.). México, DF: Mc-Graw Hill/Interamericana Editores S.A de C.V.
5. Herrera C., M. (2010). *Fórmula para cálculo de la muestra poblaciones finitas*. Recuperado el 5 de Enero de 2016, de http://www.bioestadistico.com/index.php?option=com_content&view=article&id=153:calculodel-tamano-de-la-muestra-para-estimar-parametros-categoricos-en-poblacionesfinitas&catid=46:calculo-del-tamano-de-la-muestra&Itemid=213
6. Huletts Sugar Limited. (1975). *Research and Development, Sugar Machinery*. South Africa.
7. Huletts Sugar Limited. (1975). *Research and Development, Sugar Technology*. South Africa.

8. López, B. (2015). *Determinación directa de pérdidas de sacarosa por arrastres hacia condensadores barométricos*. MEMORIA: Presentación de resultados de investigación, Zafra 2014-2015. Guatemala, GT.: CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar).
9. Love, D. J. (2001). *"Undetermined loss" as a tool for minimising sucrose loss: a south African perspective*. Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association. South Africa.
10. Love, D., Peacock, S. & Bindoff, A. (2010). *Analysis of factory performance figures as an aid to identifying sources of undetermined loss*. Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association. South Africa.
11. *Manual de estadística descriptiva*. (14 de noviembre de 2011). Área de estadística. (Escuela de Ingeniería Química) USAC. Facultad de Ingeniería. Recuperado el Lunes de Diciembre de 2015, de http://estadistica.ingenieria.usac.edu.gt/file.php/1/Manual_E1_PDF.pdf
12. Ramos R., A. A. (2009). *Procesos de elaboración de azúcar y etanol de la caña*. Colombia: Universidad del Valle. Unidad de Artes Gráficas.
13. Rein, P. W. (2012). *Ingeniería de la caña de azúcar*. Alemania: Verlag Dr. Albert Bartens.
14. Rivalland, R. (2001). *Physical losses in cane sugar manufacture*. Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association. South Africa.

Vo.Bo.


Licda. Ana Teresa de González.
Bibliotecaria CUNSUROC.



13. APÉNDICE

APÉNDICE No. 13.1

Cálculos para la determinación de las pérdidas por arrastre de sacarosa.

- **Pureza de la muestra**

Datos:

Brix muestra A = 3,11

Pol muestra A = 1,05

$$\text{Pureza (P)} = \left(\frac{1,05}{3,11} \right) * 100 = 33,76 \% \quad \text{ec. 6}$$

Los datos se anotaron en la tabla No. 05 del apéndice No. 12.2.

- **Constante de relación de áreas**

Para determinar la relación de áreas en cada condensador se empleó la ecuación No. 1.

Condensador línea A:

Diámetro interior del tubo de vapor = 1,5243 m

1/3 del diámetro del tubo de vapor = 0,5081 m

Diámetro del tubo recolector de muestra = 2" (0,05081301 m)

$$\text{Relación de áreas} = \frac{\pi \left(\frac{1,5243}{2} \right)^2}{0,05081301 * 0,5081} = 70,686$$

Condensador línea B:

Diámetro interior del tubo de vapor = 1,6514 m

1/3 del diámetro del tubo de vapor = 0,55047 m

Diámetro del tubo recolector de muestra = 2" (0,05081301 m)

$$\text{Relación de áreas} = \frac{\pi \left(\frac{1,6514}{2} \right)^2}{0,05081301 * 0,55047} = 76,58$$

- **Cálculo para obtener masa de arrastre total en el tubo de vapor hacia el condensador para cada línea de evaporación**

Para determinar el arrastre total en el tubo de vapor hacia el condensador en Kg/minuto se empleó la ecuación No. 2 y para ello se utilizó los datos recopilados en la tabla No. 05 de reportes de arrastres en condensadores barométricos de evaporadores.

Datos:

Masa de la muestra A = 0,6122 Kg

Tiempo en que se acumuló la muestra A = 117 minutos

Constante de área línea A = 70,686

$$\text{Kg arrastre total} = \frac{0,6122}{117} \times (70,686) = \mathbf{0,3698} \text{ Kg arrastre/min} \quad \text{ec. 2}$$

- **Cálculo para determinar la masa de azúcar total arrastrado en cada línea de evaporación**

Para determinar los Kg Pol (azúcar aparente) /minuto total se empleó la ecuación No. 3 y se tomó de la tabla No. 05 el valor Pol (azúcar aparente) de la muestra. El resultado se proyectó a libras Pol/día. Este cálculo se realizó para cada línea de evaporación.

Datos:

Masa de arrastre total = 0,3698 kg/min

Valor Pol de la muestra = 1,05

$$\text{Azúcar total} = 0,3698 \times \frac{1,05}{100 \text{ kg muestra}} = \mathbf{0,003882} \text{ Kg Pol/min} \quad \text{ec. 3}$$

$$\text{Azúcar total} = \mathbf{12,303} \frac{\text{lb Pol}}{\text{Día}} \text{ línea A}$$

Con estos datos se calculó el promedio diario en cada línea de evaporación y al final se sumaron las pérdidas de ambas líneas para determinar las lb Pol/día promedio total en la estación de evaporadores, para facilitar el análisis de los datos se utilizó una hoja de cálculo de Excel 2010 (ver tabla No. 06).

- **Determinación del arrastre en lb Pol/tonelada de caña molida**

Para realizar los cálculos se emplearon los datos de la tabla No. 07.

Dónde:

Molienda diaria = 5 752,04 ton/día

Arrastre promedio total = 158,0 lb Pol/día promedio total

$$\text{Arrastre} = \frac{158,00 \left[\frac{\text{lb Pol}}{\text{Día}} \right]}{5\,752,04 \text{ (Ton/Día)}} = 0,0275 \left[\frac{\text{lb Pol}}{\text{Ton caña}} \right] \quad \text{ec. 7}$$

Todos los datos calculados se incluyeron en la tabla No. 07.

- **Determinación del porcentaje de pérdida por arrastre:**

Datos:

Pérdida por arrastre lb Pol/Ton = 0,0275

Pérdida indeterminada de proceso = 38,75

$$\% \text{ pérdida} = \left[\frac{0,0275 \text{ lb Pol/Ton}}{38,75 \text{ lb Pol/Ton}} \right] * 100 = 0,071 \% \quad \text{ec. 08}$$

Los datos obtenidos de los cálculos se incluyeron en la tabla No. 08 del apéndice No. 12.5

- **Prueba t de student para las pérdidas por arrastre de sacarosa de las líneas A y B de la estación de evaporadores**

Datos obtenidos de la tabla No. 1 de resultados:

Media línea A = 57,56

Media línea B = 195,05

Desviación estándar línea A = 72,98

Desviación estándar línea B = 231,75

Error estándar línea A = 9,19

Error estándar línea B = 29,20

Calculo del error estándar de la diferencia:

$$\sigma_{\text{dif}} = \sqrt{9,19^2 + 29,20^2} = 30,61$$

Encontrar t_c :

$$t_c = \frac{57,56 - 195,05}{30,61} = -4,50$$

Buscar t_t en las tablas de t de student para 62 grados de libertad

$t_t = 1,6698$ por lo tanto: $t_c > t_t$

Nota: Existe diferencia estadística significativa entre los grupos, es decir, existe diferencia en cuanto a pérdidas por arrastre de sacarosa en las líneas A y B de la estación de evaporadores.

APÉNDICE No. 13.2

Tabla No. 05:

Reporte de arrastres en condensadores barométricos de evaporadores.

Fecha: 17/12/2015				Día de zafra: 17			
No.	Condensador	Tiempo acumulación muestra (Min)	Peso muestra Kg	°Brix	Pol	Pureza	Efecto en limpieza
1	Melador A	117	0.6122	3.11	1.05	33.76	3A
2		119	3.0471	3.8	1.66	43.68	3A
3		123	3.7892	4.86	1.98	40.74	3A
4		118	1.96	3.7	2.25	60.81	3A
5		114	0.7888	3.8	2.8	73.68	1A
6		130	7.56	0.45	0.39	86.67	1A
7		122	7.6028	2.4	1.21	50.42	1A
8		124	6.1062	0.25	0.19	76.00	1A
9		120	3.0018	0.2	0.1	50.00	1A
10		120	2.5038	0.3	0.29	96.67	1A
11		120	2.8635	0.25	0.19	76.00	1A
12		120	1.5427	6.7	2.79	41.64	1A
1	Melador B	117	0.2523	1.06	1.02	96.23	3A
2		119	2.5742	1.05	1	95.24	3A
3		122	0.413	29.86	25.43	85.16	3A
4		118	1.0889	9.5	7.87	82.84	3A
5		114	0.9398	7.15	6.11	85.45	1A
6		130	1.9737	3.8	3.24	85.26	1A
7		118	2.1681	5.25	4.47	85.14	1A
8		80	1.7222	3.35	3.06	91.34	1A
9		101	2.2978	2.1	1.73	82.38	1A
10		126	1.4362	0.45	0.36	80.00	1A
11		121	1.6305	0.5	0.41	82.00	1A
12		120	1.5210	0.95	0.4	42.11	1A

Fecha: 18/12/2015				Día de zafra: 18			
No.	Condensador	Tiempo acumulación muestra (Min)	Peso muestra Kg	°Brix	Pol	Pureza	Efecto en limpieza
1	Melador A	104	2.5503	4.44	2.16	48.65	1A
2		122	0.8832	6.75	5.84	86.52	1A
3		120	3.6324	2.7	1.6	59.26	4A
4		120	3.774	1.3	0.68	52.31	4A
5		120	3.9283	0.8	0.46	57.50	4A
6		120	1.3424	1.9	1.56	82.11	4A
7		115	3.9605	0.85	0.52	61.18	4A
8		120	1.6614	3.75	1.78	47.47	4B
9		120	2.9759	0.9	0.23	25.56	4B
10		120	2.9905	0.3	0.25	83.33	4B
11		120	3.1493	0.6	0.45	75.00	4B
12		120	2.9095	0.3	0.21	70.00	4B
1	Melador B	118	1.5762	1.42	1.25	88.03	1A
2		122	0.7833	3.9	3.3	84.62	1A
3		119	1.9313	3.95	3.48	88.10	4A
4		120	1.9422	0.95	0.9	94.74	4A
5		51	1.196	0.3	0.25	83.33	4A
6		120	3.9649	1.05	0.45	42.86	4A
7		115	0.6666	69.06	60.91	88.20	4A
8		120	1.3355	21.95	18.88	86.01	4B
9		120	2.2154	9.9	8.64	87.27	4B
10		120	0.2726	5.2	4.52	86.92	4B
11		120	2.6303	16.2	14	86.42	4B
12		120	2.6963	5.95	5.28	88.74	4B

Fuente: Laboratorio Ingenio Tululá, zafra 2015-2016

APENDICE No. 13.3

Tabla No. 06:

Datos de pérdidas de sacarosa obtenidos de la hoja de cálculo

Fecha: 17/12/2015					Día de zafra: 17		
Minutos	Peso muestra Kg	Pol	Kg/Min muestra	Constante área	Arrastre total Kg/Min	Kg Pol/Min	lb Pol/día
117	0.6122	1.05	0.0052	70.686	0.3699	0.0039	12.303
119	3.0471	1.66	0.0256	70.686	1.8100	0.0300	95.185
123	3.7892	1.98	0.0308	70.686	2.1776	0.0431	136.592
118	1.96	2.25	0.0166	70.686	1.1741	0.0264	83.690
114	0.7888	2.8	0.0069	70.686	0.4891	0.0137	43.385
130	7.56	0.39	0.0582	70.686	4.1107	0.0160	50.788
122	7.6028	1.21	0.0623	70.686	4.4050	0.0533	168.856
124	6.1062	0.19	0.0492	70.686	3.4808	0.0066	20.952
120	3.0018	0.1	0.0250	70.686	1.7682	0.0018	5.602
120	2.5038	0.29	0.0209	70.686	1.4749	0.0043	13.550
120	2.8635	0.19	0.0239	70.686	1.6867	0.0032	10.153
120	1.5427	2.79	0.0129	70.686	0.9087	0.0254	80.320
Promedio línea A							60.115
117	0.2523	1.02	0.0022	76.58	0.1651	0.0017	5.336
119	2.5742	1	0.0216	76.58	1.6566	0.0166	52.480
122	0.413	25.43	0.0034	76.58	0.2592	0.0659	208.851
118	1.0889	7.87	0.0092	76.58	0.7067	0.0556	176.190
114	0.9398	6.11	0.0082	76.58	0.6313	0.0386	122.200
130	1.9737	3.24	0.0152	76.58	1.1627	0.0377	119.339
118	2.1681	4.47	0.0184	76.58	1.4071	0.0629	199.253
80	1.7222	3.06	0.0215	76.58	1.6486	0.0504	159.814
101	2.2978	1.73	0.0228	76.58	1.7422	0.0301	95.486
126	1.4362	0.36	0.0114	76.58	0.8729	0.0031	9.955
121	1.6305	0.41	0.0135	76.58	1.0319	0.0042	13.404
120	1.5210	0.4	0.0127	76.58	0.9707	0.0039	12.300
Promedio línea B							97.884
Promedio total							158.00

Fecha: 18/12/2015					Día zafra: 18		
Minutos	Peso muestra Kg	Pol	Kg/Min muestra	Constante área	Arrastre total Kg/Min	Kg Pol/Min	lb Pol/día
104	2.5503	2.16	0.0245	70.686	1.7334	0.0374	118.612
122	0.8832	5.84	0.0072	70.686	0.5117	0.0299	94.674
120	3.6324	1.6	0.0303	70.686	2.1397	0.0342	108.455
120	3.774	0.68	0.0315	70.686	2.2231	0.0151	47.890
120	3.9283	0.46	0.0327	70.686	2.3140	0.0106	33.721
120	1.3424	1.56	0.0112	70.686	0.7907	0.0123	39.079
115	3.9605	0.52	0.0344	70.686	2.4344	0.0127	40.103
120	1.6614	1.78	0.0138	70.686	0.9786	0.0174	55.186
120	2.9759	0.23	0.0248	70.686	1.7530	0.0040	12.773
120	2.9905	0.25	0.0249	70.686	1.7616	0.0044	13.952
120	3.1493	0.45	0.0262	70.686	1.8551	0.0083	26.446
120	2.9095	0.21	0.0242	70.686	1.7138	0.0036	11.402
					Promedio línea A		50.191
118	1.5762	1.25	0.0134	76.58	1.0229	0.0128	40.508
122	0.7833	3.3	0.0064	76.58	0.4917	0.0162	51.402
119	1.9313	3.48	0.0162	76.58	1.2428	0.0433	137.020
120	1.9422	0.9	0.0162	76.58	1.2394	0.0112	35.339
51	1.196	0.25	0.0235	76.58	1.7959	0.0045	14.223
120	3.9649	0.45	0.0330	76.58	2.5303	0.0114	36.071
115	0.6666	60.91	0.0058	76.58	0.4439	0.2704	856.558
120	1.3355	18.88	0.0111	76.58	0.8523	0.1609	509.759
120	2.2154	8.64	0.0185	76.58	1.4138	0.1222	386.977
120	0.2726	4.52	0.0023	76.58	0.1740	0.0079	24.911
120	2.6303	14	0.0219	76.58	1.6786	0.2350	744.479
120	2.6963	5.28	0.0225	76.58	1.7207	0.0909	287.820
					Promedio línea B		260.422
					Promedio total		310.61

Fuente: Elaboración propia, zafra 2015-2016

APENDICE No. 13.4

Tabla No. 07:

Resumen de los datos de molienda y arrastre de sacarosa de la estación de evaporadores del proceso de azúcar crudo

Fecha	Día de zafra	Molienda diaria (Ton/día)	Arrastre lb Pol/día línea A	Arrastre lb Pol/día línea B	Arrastre total lb Pol/día	Arrastre lb Pol/ton caña
17/12/2015	17	5752.04	60.11	97.88	158.00	0.0275
18/12/2015	18	6329.94	50.19	260.42	310.61	0.0491
19/12/2015	19	6067.11	12.69	263.65	276.34	0.0455
20/12/2015	20	5846.1	191.46	127.40	318.86	0.0545
21/12/2015	21	6165.24	316.18	261.64	577.82	0.0937
22/12/2015	22	6500.96	30.81	1191.90	1222.71	0.1881
23/12/2015	23	6387.86	91.53	173.60	265.13	0.0415
24/12/2015	24	6709.83	16.75	87.07	103.82	0.0155
25/12/2015	25	6670.76	21.75	201.59	223.34	0.0335
26/12/2015	26	6875.11	13.11	678.40	691.51	0.1006
27/12/2015	27	6153.28	293.09	249.66	542.75	0.0882
28/12/2015	28	6457.23	237.75	54.54	292.29	0.0453
29/12/2015	29	5060.7	26.23	139.53	165.75	0.0328
30/12/2015	30	5610.75	64.95	98.86	163.81	0.0292
31/12/2015	31	5989.73	120.81	56.91	177.71	0.0297
01/01/2016	32	6718.74	37.32	645.03	682.35	0.1016
02/01/2016	33	6789.97	39.23	123.01	162.24	0.0239
03/01/2016	34	6621.95	6.14	147.88	154.02	0.0233
04/01/2016	35	6791.19	3.62	132.89	136.51	0.0201
05/01/2016	36	6043.47	24.08	196.93	221.01	0.0366
06/01/2016	37	6371.38	107.54	52.36	159.90	0.0251
07/01/2016	38	6338.34	33.00	176.90	209.90	0.0331
08/01/2016	39	6282.23	2.99	46.66	49.65	0.0079
09/01/2016	40	6520.1	95.40	56.11	151.51	0.0232
10/01/2016	41	6533.9	74.68	207.83	282.51	0.0432
11/01/2016	42	6677.48	51.14	202.22	253.36	0.0379
12/01/2016	43	6604.5	22.67	94.02	116.69	0.0177
13/01/2016	44	6579.33	25.33	86.74	112.07	0.0170
14/01/2016	45	6671.18	11.42	753.46	764.88	0.1147
15/01/2016	46	6609.29	92.81	473.37	566.18	0.0857
16/01/2016	47	6442.49	117.25	38.90	156.15	0.0242

17/01/2016	48	6782.28	57.00	203.85	260.85	0.0385
18/01/2016	49	6692.94	2.70	256.39	259.09	0.0387
19/01/2016	50	6799.91	55.08	188.89	243.97	0.0359
20/01/2016	51	6878.48	59.39	1029.18	1088.56	0.1583
21/01/2016	52	7175.83	77.97	134.91	212.88	0.0297
22/01/2016	53	6791.67	10.19	199.71	209.91	0.0309
23/01/2016	54	6719.44	3.25	42.97	46.22	0.0069
24/01/2016	55	6590.83	9.17	328.53	337.70	0.0512
25/01/2016	56	5359.89	37.55	309.98	347.53	0.0648
26/01/2016	57	6467.06	135.07	59.77	194.84	0.0301
27/01/2016	58	6228.44	199.94	194.64	394.58	0.0634
28/01/2016	59	6681.04	229.80	81.28	311.08	0.0466
29/01/2016	60	6754.71	3.41	97.75	101.16	0.0150
30/01/2016	61	6594.83	21.24	38.22	59.46	0.0090
31/01/2016	62	6127.34	37.69	98.79	136.48	0.0223
01/02/2016	63	6533.06	151.11	125.54	276.65	0.0423
02/02/2016	64	6633.2	107.38	28.71	136.09	0.0205
03/02/2016	65	6624.63	9.18	289.49	298.67	0.0451
04/02/2016	66	6608.32	9.62	103.17	112.79	0.0171
05/02/2016	67	6226.37	5.26	117.25	122.51	0.0197
06/02/2016	68	6255.15	4.37	78.01	82.38	0.0132
07/02/2016	69	4410.11	2.43	34.55	36.98	0.0084
08/02/2016	70	6528.6	6.14	5.87	12.02	0.0018
09/02/2016	71	6592.56	4.10	16.84	20.95	0.0032
10/02/2016	72	6449.95	2.22	522.63	524.84	0.0814
11/02/2016	73	6809.3	8.64	230.57	239.21	0.0351
12/02/2016	74	6276.35	14.89	11.52	26.41	0.0042
13/02/2016	75	6954.61	20.95	3.18	24.13	0.0035
14/02/2016	76	6457.07	25.24	19.27	44.51	0.0069
15/02/2016	77	6637.31	2.54	14.94	17.49	0.0026
16/02/2016	78	6755.7	5.84	26.51	32.35	0.0048
17/02/2016	79	6794.71	14.98	17.63	32.62	0.0048
Promedio		6434.35	57.56	195.05	252.61	0.039
Porcentaje			22.8	77.2	100	

Fuente: Laboratorio Ingenio Tululá y elaboración propia, zafra 2015-2016

APENDICE No. 13.5

Tabla No. 08:

Determinación del % de pérdida por arrastre respecto de la pérdida indeterminada del proceso de azúcar crudo

Fecha	Día zafra	Arrastre lb Pol/ton caña	Indeterminada de proceso lb Pol/ton caña	% Pérdida por arrastre
17/12/2015	17	0.0275	38.75	0.071
18/12/2015	18	0.0491	13.16	0.373
19/12/2015	19	0.0455	11.79	0.386
20/12/2015	20	0.0545	-2.28	-2.392
21/12/2015	21	0.0937	10.39	0.902
22/12/2015	22	0.1881	0.63	29.854
23/12/2015	23	0.0415	0.40	10.376
24/12/2015	24	0.0155	11.22	0.138
25/12/2015	25	0.0335	7.89	0.424
26/12/2015	26	0.1006	6.81	1.477
27/12/2015	27	0.0882	0.06	147.009
28/12/2015	28	0.0453	16.60	0.273
29/12/2015	29	0.0328	1.22	2.685
30/12/2015	30	0.0292	12.69	0.230
31/12/2015	31	0.0297	7.75	0.383
01/01/2016	32	0.1016	14.66	0.693
02/01/2016	33	0.0239	28.61	0.084
03/01/2016	34	0.0233	3.86	0.603
04/01/2016	35	0.0201	-5.94	-0.338
05/01/2016	36	0.0366	6.27	0.583
06/01/2016	37	0.0251	4.47	0.561
07/01/2016	38	0.0331	16.16	0.205
08/01/2016	39	0.0079	-0.08	-9.880
09/01/2016	40	0.0232	12.02	0.193
10/01/2016	41	0.0432	13.79	0.314
11/01/2016	42	0.0379	26.38	0.144
12/01/2016	43	0.0177	8.85	0.200
13/01/2016	44	0.0170	14.18	0.120
14/01/2016	45	0.1147	17.65	0.650
15/01/2016	46	0.0857	9.50	0.902
16/01/2016	47	0.0242	25.14	0.096
17/01/2016	48	0.0385	9.79	0.393
18/01/2016	49	0.0387	9.40	0.412
19/01/2016	50	0.0359	21.40	0.168
20/01/2016	51	0.1583	19.53	0.810
21/01/2016	52	0.0297	15.98	0.186

22/01/2016	53	0.0309	11.23	0.275
23/01/2016	54	0.0069	9.72	0.071
24/01/2016	55	0.0512	38.05	0.135
25/01/2016	56	0.0648	8.22	0.789
26/01/2016	57	0.0301	9.45	0.319
27/01/2016	58	0.0634	10.85	0.584
28/01/2016	59	0.0466	8.70	0.535
29/01/2016	60	0.0150	6.91	0.217
30/01/2016	61	0.0090	14.81	0.061
31/01/2016	62	0.0223	16.40	0.136
01/02/2016	63	0.0423	7.50	0.565
02/02/2016	64	0.0205	6.17	0.333
03/02/2016	65	0.0451	4.10	1.100
04/02/2016	66	0.0171	19.20	0.089
05/02/2016	67	0.0197	17.28	0.114
06/02/2016	68	0.0132	14.25	0.092
07/02/2016	69	0.0084	33.48	0.025
08/02/2016	70	0.0018	29.10	0.006
09/02/2016	71	0.0032	13.95	0.023
10/02/2016	72	0.0814	21.35	0.381
11/02/2016	73	0.0351	14.53	0.242
12/02/2016	74	0.0042	9.52	0.044
13/02/2016	75	0.0035	16.58	0.021
14/02/2016	76	0.0069	35.71	0.019
15/02/2016	77	0.0026	5.76	0.046
16/02/2016	78	0.0048	14.70	0.033
17/02/2016	79	0.0048	15.57	0.031
Promedio		0.039	13.0	3.1

Fuente: Laboratorio Ingenio Tululá y datos calculados, zafra 2015-2016

APENDICE No. 13.6

Imágenes obtenidas durante la investigación, Ingenio Tululá zafra 2015-2016



Figura No. 08: Toma muestras línea A



Figura No. 09: Toma muestras línea B



Figura No. 10: Obtención muestra A



Figura No. 11: Obtención muestra B



Figura No. 12: Muestras A y B



Figura No. 13: Tarado de balón 100 ml

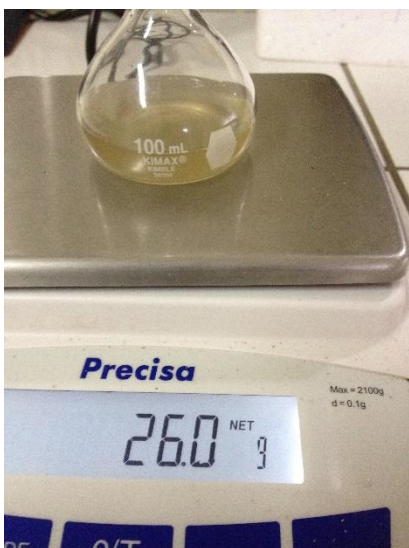


Figura No. 14: Pesaje de muestra



Figura No. 15: Filtrado de muestras A y B

14. GLOSARIO

Arrastre	Se refiere al jugo que es arrastrado por la corriente de vapor que sale de los cuerpos evaporadores, en forma de pequeñas gotas.
Azúcar crudo	Azúcar moreno producido en las fábricas de azúcar, generalmente destinado a procesos posteriores en refinerías para obtener azúcar blanco
Bagazo	Subproducto fibroso de la caña de azúcar como resultado de la molienda de la misma.
Brix	Medida de los sólidos disueltos en azúcar, jugo, licor o jarabe utilizando un refractómetro, también conocidos como sólidos secos refractométricos.
Cachaza	Se le llama así a los lodos de fondo obtenidos en el proceso de clarificación, constituidos principalmente por sales de fosfato de calcio y magnesio, gomas, cera, cenizas y agua.
Calandria	Intercambiador de calor de tubos o placas encontrado en los evaporadores y tachos.
Condensador barométrico	Es un equipo que se utiliza para condensar el vapor proveniente de los efectos o cuerpos evaporadores (meladores), su función es condensar el vapor y extraer los gases incondensables por medio de una bomba de vacío, el agua se descarga a una piscina a la atmosfera conducida por una tubería vertical o columna barométrica.

Efecto o cuerpo evaporador	Uno de los evaporadores que funcionan en serie como sistema de múltiple efecto (ejemplo: primer efecto, segundo efecto).
Melador	Es el último efecto o cuerpo evaporador instalado en la línea de la estación de evaporadores, trabaja con vacío y condensador barométrico, concentra la meladura mayor a los 60 grados brix.
Miel final o melaza	Licor madre que se separa de los cristales mediante centrifugación. Las mieles A, B o C se obtienen de las masas cocidas correspondientes. La miel C es también conocida como miel final.
Molienda diaria	Es la cantidad de caña molida en 24 horas, es decir, en un día sin tomar en cuenta el tiempo perdido en la operación, se mide en toneladas cortas por día.
Nivel de confianza	Es la probabilidad de que la media verdadera se ubique en un intervalo dado. Suele expresarse como porcentaje.
Partes por millón	Es el término que especifica el número de partes (ppm) de un componente en un millón de partes de la mezcla a la que pertenece.
Pérdidas determinadas	Son las pérdidas que se derivan del control normal determinado de un ingenio azucarero y que tienen lugar en el bagazo, la cachaza y la miel final.

Pérdidas indeterminadas

Son las pérdidas indicadas por la diferencia entre la cantidad de sacarosa que llega en el jugo, con la cantidad de ella que es cristalizada para ser convertida en azúcar y con la cantidad de sacarosa calculada en las determinadas.

Pérdida sacarosa

Las pérdidas de sacarosa en un ingenio azucarero se tienen de dos tipos, las pérdidas determinadas son las que tienen lugar en el bagazo, la cachaza y en la miel final o melaza. Ahora bien, las pérdidas indeterminadas son calculadas por un balance de masa.

Polarización (Pol)

Contenido de sacarosa aparente expresado como porcentaje de masa, medido a partir de la rotación óptica de luz polarizada al pasar por una solución azucarada.

Pureza

La pureza aparente se expresa como la polarización dividida por los grados brix refractométricos, multiplicada por 100. La pureza real representa el contenido de sacarosa expresado como porcentaje de la sustancia seca o el contenido de sólidos disueltos. Los sólidos comprenden el azúcar y no-sacarosas tales como invertidos, cenizas y elementos colorantes.

Sacarosa

Compuesto químico orgánico de fórmula $C_{12}H_{22}O_{11}$, también denominado comúnmente como azúcar. Es un disacárido constituido por glucosa y fructosa.

Separador de arrastre

Aparato para remover jugo, jarabe o masa cocida que sean arrastrados con el vapor.

Trazas	Sustancia presente en pequeñas cantidades en una solución.
Vapor de escape	Es el vapor sobrecalentado que ha sido reducido a vapor saturado en una turbina de vapor, es decir a la salida de la turbina o escape de la misma, se emplea para calefacción de los Pre-evaporadores y primeros efectos.
Vapor vegetal	Es vapor saturado producto de la evaporación del agua en estado líquido contenido en el jugo de caña, el cual sirve para calefacción de los efectos o cuerpos evaporadores siguientes.
Zafra	Período de cosecha de la caña de azúcar y recuperación del azúcar como producto.

Mazatenango, 25 de octubre de 2016.



Señores Miembros de Comisión de Trabajo de Graduación
Carrera de Ingeniería en Alimentos
Centro Universitario del Suroccidente

Estimados señores:

La presente es portadora de un cordial saludo, con muestras de respeto y estima.

El objeto de la presente es para indicarles que hemos tenido a bien orientar como asesores del punto de trabajo de graduación titulado **"EVALUACION DE PÉRDIDAS DE SACAROSA POR ARRASTRES EN EL VAPOR VEGETAL, EN LOS CONDENSADORES BAROMÉTRICOS DE LA ESTACIÓN DE EVAPORADORES DE UN INGENIO AZUCARERO DURANTE LA ZAFRA 2015-2016"**. El cual consideramos llena todos los requisitos del reglamento de trabajo de graduación, para ser sometido a evaluación de seminario II.

Agradeciendo la atención prestada a la presente, nos despedimos de ustedes.

Atentamente:

MSc. Astrid Desiree Argueta Del Valle
Asesor Principal

MSc. Aldo Antonio De León Fernández
Asesor Adjunto

Mazatenango Such. 23/02/17.



Señores Miembros de Comisión de Trabajo de Graduación
Carrera de Ingeniería en Alimentos
Centro Universitario del Suroccidente

Reciban un cordial saludo, con muestras de respeto y estima.

El objeto de la presente es para hacer constar que hemos revisado las correcciones al trabajo de graduación titulado **"EVALUACION DE PÉRDIDAS DE SACAROSA POR ARRASTRES EN EL VAPOR VEGETAL, EN LOS CONDENSADORES BAROMÉTRICOS DE LA ESTACIÓN DE EVAPORADORES DE UN INGENIO AZUCARERO DURANTE LA ZAFRA 2015-2016"** del estudiante de la carrera de Ingeniería en Alimentos, Manuel De Jesús Ambrocio López quién se identifica con No. de carnet 200340916. El cual consideramos llena todos los requisitos del reglamento de trabajo de graduación.

Agradeciendo la atención prestada a la presente, nos despedimos de ustedes.

Atentamente:

Inga. Silvia Guzmán T.
Presidente terna evaluadora

Ing. Carlos Hernández O.
Vocal I terna evaluadora

Ing. Víctor M. Nájera T.
Secretario terna evaluadora



Mazatenango, 27 de marzo de 2019.

M. Sc. Ing. Victor Manuel Nájera Toledo
Coordinador carrera de Ingeniería en Alimentos.
CUNSUROC -USAC-.
Presente.

Le escribo cordialmente, deseándole éxitos en sus labores diarias.

El motivo de la presente, es para informarle que la comisión de trabajo de graduación ha recibido el informe revisado de los asesores nombrados y las correcciones correspondientes de la terna evaluadora de la evaluación de seminario II, del Trabajo de Graduación titulado: **Evaluación de pérdidas de sacarosa por arrastre en el vapor vegetal, en los condensadores barométricos de la estación de evaporadores de un ingenio azucarero durante la zafra 2015-2016, del (la) estudiante: Manuel de Jesús Ambrocio López** identificado (a) con número de carné: 200340916.

El documento antes mencionado presenta los requisitos establecidos de redacción y corrección, para que proceda con los trámites correspondientes.

Deferentemente.

Ing. Marvin Manolo Sánchez López.
Secretario de comisión de trabajo de graduación.





Mazatenango, 27 de marzo de 2019.

Dr. Guillermo Vinicio Tello Cano.
Director del Centro Universitario del sur Occidente.
CUNSUROC -USAC-.
Presente.

Le escribo cordialmente, deseándole éxitos en sus labores diarias.

De conformidad con el cumplimiento de mis funciones, como Coordinador de la Carrera de Ingeniería en Alimentos del Centro Universitario del Suroccidente – CUNSUROC-, de la Universidad de San Carlos de Guatemala –USAC-, he tenido a bien revisar el informe de trabajo de gradación titulado: **Evaluación de pérdidas de sacarosa por arrastres en el vapor vegetal, en los condensadores barométricos de la estación de evaporadores de un Ingenio Azucarero durante la zafra 2015-2016**. El cual, ha sido presentado por el (la) estudiante: **Manuel de Jesús Ambrocio López**, quien se identifica con número de carné: **200340916**.

El documento antes mencionado llena los requisitos necesarios para optar al título de Ingeniero en Alimentos. En el grado académico de licenciado, por lo que solicito la autorización del imprimase.

Deferentemente,



M. Sc. Víctor Manuel Nájera Toledo

Coordinador

Carrera de Ingeniería en Alimentos.



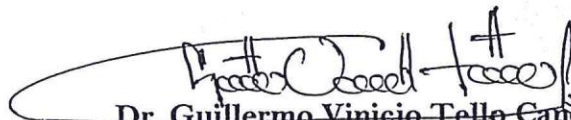
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE
MAZATENANGO, SUCHITEPEQUEZ
DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO

CUNSUROC/USAC-I-04-2019

DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE,
Mazatenango, Suchitepéquez, once de abril de dos mil diecinueve_____

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes de la Comisión de Tesis y del Secretario del comité de Tesis, "EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE SACAROSA POR ARRASTRES EN EL VAPOR VEGETAL, EN LOS CONDENSADORES BAROMETRICOS DE LA ESTACIÓN DE EVAPORADORES DE UN INGENIO AZUCARERO DURANTE LA ZAFRA 2015-2016" del estudiante Manuel de Jesús Ambrocio López, carné No. 200340916. CUI: 1623 46468 1002 de la carrera Ingeniería en Alimentos.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Dr. Guillermo Vinicio Tello
Director - CUNSUROC - USAC

A circular stamp of the Centro Universitario del Sur Occidente, U.S.A.C. Mazatenango. The stamp contains the text "CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE", "U.S.A.C. Mazatenango", and "DIRECCION".

/gris