

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Análisis comparativo de caídas de perezas en masa segunda cristal y crudo en los dos distintos tipos de tachos continuos en un ingenio azucarero.

Trabajo de graduación presentado por:

Yasselim Noemí Campos Pérez

para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en Tecnología Industrial

Guatemala,

2016

Análisis comparativo de caídas de purezas en masa segunda cristal y crudo en los dos distintos tipos de tachos continuos en un ingenio azucarero.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



**Análisis comparativo de caídas de perezas en masa segunda cristal y crudo en
los dos distintos tipos de tachos continuos en un ingenio azucarero.**

Trabajo de graduación presentado por:

Yasselim Noemí Campos Pérez

para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en Tecnología

Industrial

Guatemala,

2016

Vo. Bo.:

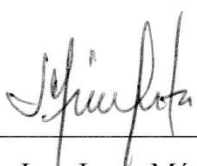
(f) 

Ing. Edgar Renato Madrid Pérez

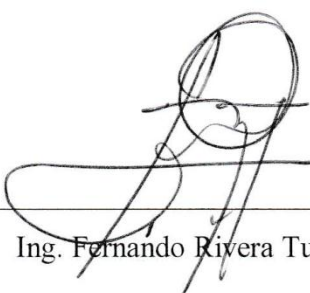
Tribunal Examinador:

(f) 

Ing. Edgar Renato Madrid Pérez

(f) 

Ing. Jorge Méndez Costa

(f) 

Ing. Fernando Rivera Turcios

Fecha de aprobación: Guatemala 27 Enero de 2016

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE TABLAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE SÍMBOLOS.....	vii
GLOSARIO	viii
RESUMEN	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo general:	2
2.2. Objetivos específicos:	2
3. ANTECEDENTE	3
4. MARCO TEÓRICO.....	4
4.1. El proceso de la fabricación de azúcar	4
4.2. Clarificación	4
4.2.1. Sulfitación.	5
4.2.2. Fosfatación..	5
4.2.3. Carbonatación.....	6
4.2.4. Objetivos de la clarificación de jugo:	6

4.2.5.	Análisis del jugo	7
4.2.6.	Efectos del calentamiento de jugo y la adición de cal	7
4.4.	Cristalización	13
4.4.1.	Solubilidad y sobresaturación.....	13
4.4.2.	Crecimiento de cristales.	13
4.4.3.	Tamaño y forma de los cristales.....	13
4.4.4.	Contenido de cristales en masas cocidas.....	14
4.4.5.	El proceso de cristalización.	14
4.4.6.	Objetivo de la masa de cocimientos..	15
4.4.7.	Descripción de los esquemas de cocimientos.....	16
4.4.8.	Sistema de alimentación de tachos.....	18
4.4.9.	Semillamiento.....	18
4.4.10.	Técnicas para un buen semillamiento.....	18
4.5.	Operación de tachos:	19
4.5.2.	Cómo trabaja un tacho.....	21
4.5.3.	Definición meladura.....	21
4.5.4.	Definición de miel A.....	21
4.5.5.	Definición de miel B.	22
4.5.6.	Definición miel final.	22
4.5.7.	Definición masa A o masa de primera.....	22

4.5.8.	Definición masa B o masa de segunda.....	23
4.5.9.	Definición de masa C o masa de tercera.....	23
4.6.	Evapo- cristalizadores discontinuos:.....	24
4.7.	Cristalizadores por enfriamiento:	25
4.7.1.	Tiempos de residencia y temperatura.	26
4.8.	Equipo:	26
4.8.1.	Cristalizadores tipo batch y continuos.....	26
4.9.	Separación o centrifugado	28
4.9.1.	Centrífugas continuas y discontinuas.	29
4.9.2.	Eficiencia del lavado..	30
4.9.3.	Rompimiento de cristales.	30
5.	Marco metodológico.....	32
5.1.	Variables.....	32
5.2.	Delimitación del campo de estudio	33
5.3.	Recursos Humanos.....	33
5.4.	Recursos materiales disponibles	34
5.5.	Materiales y equipo.....	34
5.6.	Recolección y ordenamiento de la información	35
5.7.	Plan de análisis de datos	35
5.8.	Tabulación de datos	36

5.10.2. Media, desviación estándar de ambos tachos continuos.....	38
6. Resultados	41
6.1. Comparación de purezas en los tachos continuos de segunda.	42
7. Interpretación de resultados.....	43
8. Conclusiones	45
9. Recomendaciones	46
10. Referencias bibliográficas.....	47
11. Apéndices	48

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Definición operacional de variables	33
Tabla 2 Material y equipo	35
Tabla 3 Datos para determinar la pureza de segunda cristal	37
Tabla 4. Datos para determinar la pureza de masa de segunda crudo.....	37
Tabla 5. Comparación de tachos Langreney vrs tacho continuo.....	41

LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1.Descripción de los procesos esquemas de cocimiento	17
Ilustración 2. Tacho continuo.....	20
Ilustración 3. Comparación de pureza en los tachos continuos de segunda.....	42

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	centímetros
gpm	galones por minuto
°Brix	grados Brix
°C	grados centígrado
G	gramos
Kg	kilogramos
Lb	libra
M	metro
ml	mililitro
N	concentración normal
%	porcentaje
Rpm	Revoluciones por minuto

GLOSARIO

Azúcar: Se le conoce como sacarosa.

Brix : Una forma de expresar la concentración de una solución, definida en este caso como el porcentaje de materias sólidas disueltas indicadas por un hidrómetro brix u otro dispositivo densimétrico. En el sentido estricto de la definición, se expresa como sólidos disueltos en una solución de sacarosa pura.

Caña: Materas prima que se extrae al ingenio normalmente en la definición del término se incluye la caña limpia, más las materias extrañas y el agua que la acompañan.

Clarificación: Procedimiento de eliminación de determinadas partículas que existen en el jugo de caña, tanto en solución como en suspensión y que lo afecta en la transparencia como en la limpidez.

Centrifugado: Es una máquina que pone en rotación por una fuerza centrífuga según su densidad.

Meladura: Jugo concentrado en los evaporadores antes de ser usado en el área de tacho.

Pol: Se refiere al porcentaje de la sacarosa del jugo de la cantidad de azúcar real en el jugo

Pureza: Se refiere al porcentaje de sacarosa respecto al contenido total de sólidos solubles del jugo.

Solubilidad: Es la cualidad de soluble es decir que se puede disolver.

Sobresaturación: Se refiere a una solución que ha pasado el límite de soluto que el solvente puede admitir, por lo que este exceso de soluto aparece como un precipitado.

RESUMEN

En este trabajo de graduación se realiza un estudio comparativo de dos tachos continuos en el área de masa de segunda cristal y crudo en un ingenio azucarero.

El objetivo principal es evaluar comparativamente los dos tachos y determinar las caídas de pureza y los tiempos de retención en los tachos continuos determinando quien posee mejores ventajas.

Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente en la zafra 2014-2015 se tomaron muestras en los dos tachos continuos. Dicha información se ordenó, analizo y grafico obteniendo resultados que muestran las ventajas de tacho continuo, utilizando herramientas de estadística de dos muestras comparativas y estadística descriptiva.

Al evaluarlos dichos resultados en el proceso de la cristalización que se realizó en el estudio comparativo se muestra la tecnología industrial es decir los tachos continuos fueron una innovación e implementación para reducir la pérdida de pureza de la miel en la masa de segunda. No mejora en la industrial sino se basa en una comparación de masa en la reducción de las purezas en masa de segunda cristal y crudo.

1. INTRODUCCIÓN

En esta investigación se describe cual será la función y las variables de cada equipo en los tachos continuos de masa segunda en el ingenio azucarero. Para realizar un muestreo de las diferentes masas cristal/ crudo con respecto a la pureza, haciendo un estudio estadístico comparativo de cada tacho continuo que son los siguientes: El primer tacho continuo se compone de diez celdas separadas, cada una con su respectiva sonda (Monotrac) que verifica el flujo de masa cocida. El equipo que utiliza para su funcionamiento son bombas de vacío, entradas de vapor, bombas de agua condensada, bombas de semillas. También cuenta con línea de liquidación para su respectivo mantenimiento y tiempo de retención que son conocidos como verticales. Mientras el otro tacho continuo se compone de tres recamaras que son alimentadas individualmente de vapor y miel. Iniciando su proceso en la recámara uno y sucesivamente hasta llegar a la tercera recámara donde se le da el punto de descarga. El equipo cuenta con bombas de vacío, entradas de vapor en cada recámara, bombas de agua condesadas, agitador de masa, bombas de semillas y tiene una línea de liquidación cuando se le hace el mantenimiento.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general:

- Determinar las caídas de purezas en masa segunda cristal y crudo mediante los dos distintos tipos de tachos continuos en el área de fabricación en un ingenio azucarero.

2.2. Objetivos específicos:

- Analizar pureza en las masas de los diferentes tipos de tachos continuos.
- Optimizar los tiempos de retención en los distintos tachos continuos.
- Efectuar un análisis estadístico en comparación de las variables que se mencionaron anteriormente en los diferentes tachos continuos.

3. ANTECEDENTE

Se considera que la caña de azúcar se origina en archipiélago de Melanesia en Nueva Guinea, aproximadamente 1500 A.C. Se expandió en las islas vecinas China e India. Pertenece a la familia de las gramíneas y al género *saccharum*. Se considera que existen seis especies. Entre las domesticadas está la especie *saccharum officinarum* que está incluida entre los programas de mejoramiento de variedades. La caña de azúcar por su morfología y fisiología almacena energía por periodos largos por lo que se considera como uno de los cultivos más eficientes en el aprovechamiento solar (fotosíntesis). En Guatemala el cultivo de la caña de azúcar es uno de los antiguos. Ya que se introducción el uso de tecnologías en aquellos siglos que precisan de instalaciones para el procesamiento de la caña. Donde actualmente la agroindustria azucarera se convierte una de las principales fuentes para el país que genera empleos en la economía guatemalteca. El área de tachos toma una función en el proceso de la fabricación de azúcar que fue implementado nuevos sistemas, es decir proceso continuo esto hace la mención de la cristalización.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. El proceso de la fabricación de azúcar

El proceso industrial para la fabricación de azúcar implica la aplicación de varios procesos para convertir el jugo de caña en cristales y depurarlos de manera natural de impurezas que pudieran resultar dañinas para el organismo.

En el proceso de fabricación se tomarán en cuenta solo los siguientes subprocesos:

- Clarificación
- Evaporación
- Cristalización
- Separación o centrifugado (*Ingenio Magdalena S.A*)

4.2. Clarificación

El jugo proveniente de los molinos pasa por calentadores, que llegan a temperaturas entre 140 y 155 °F. Luego pasa por la torre de sulfatación, bajando el PH para producir azúcar cristal únicamente. En esta etapa se utiliza azufre como agente decolorante; luego mediante la edición de la batchada de cal entre 6 y 10 baume se neutraliza el jugo. El calentamiento del jugo se realiza en tres etapas; la primera por vapor vegetal de 5.0 psi alcanzando temperaturas entre 175 y 185 °F; la segunda por vapor de 5.0 psi alcanzando temperaturas entre 205 y 215 °F y la última con vapor de 10 psi para rectificación del jugo

en forma automática. Con el proceso anterior se logra que el jugo, al ser liberado a presión atmosférica, sufra una pequeña evaporación en el tanque flash evitando que los flóculos floten o decanten con lentitud por la presencia de burbujas atrapadas en el interior. El siguiente paso es alimentar el jugo a los clarificadores a baja velocidad para permitir la concentración de lodos y que pueden ser extraídos por gravedad en un clarificador SRI y con bombas. En la etapa final de este proceso se utilizan coladores vibratorios con malla 110 mesh para la eliminación de bagacillo y evitar que llegue al producto final. Los filtros de cabeza son parte indispensable del proceso, pues sin ellos, la pérdida de sacarosa en la cachaza sería significativa.

El tratamiento utilizando cal en solución con agua o con jugo/meladura (sacarato) continúa el método básico de clarificación, normalmente denominado defecación. La cal ha sido una sustancia química usada universalmente para neutralizar la acidez del jugo, mientras que el proceso varía en el método y la temperatura de adición. La variación con respecto al proceso de defecación simple ha buscado reducir el color y la turbiedad del jugo clarificado, entre ellos incluyen.

4.2.1. Sulfitación. Esta combina el tratamiento con ácido sulfuro/a partir del gas SO_2) y con soluciones de cal. La Sulfitación puede ser realizada sobre el jugo frío o caliente, así como también sobre la meladura de los evaporadores (doble Sulfitación).

4.2.2. Fosfatación. Pequeñas cantidades de fosfato soluble pueden añadir a los jugos para mejorar la defecación simple. La adición de grandes cantidades se conoce con los

distintos de fosfatación. La técnica de fosfatación se utiliza principalmente para la clarificación de jarabes en fábricas de crudo y refinerías.

4.2.3. Carbonatación. El tratamiento del jugo enalado con dióxido de carbono, seguido de una aplicación adicional neutralizar, se conoce como “carbonatación”.

En la clarificación industrial del jugo se pueden combinar varios o todos estos tratamientos. Para la implementación de tratamientos se pueden utilizar varios métodos para separar las impurezas precipitadas (sedimentación, flotación y filtración) y así también existe un amplio rango de tecnología y diseños de los equipos de proceso.

4.2.4. Objetivos de la clarificación de jugo: Los principales objetivos de la clarificación de jugo son:

- Formar flocs que atrapan toda la materia suspendida que se pueden sedimentar a una velocidad satisfactoria.
- Proporcionar a condiciones de temperatura, pH y concentración de iones que maximizan la precipitación de impurezas sólidas del jugo.
- Producir jugo de clarificado de buena calidad, con mínima turbiedad, mínimo color y bajo contenido de calcio. (Ca)
- Producir un lodo sedimentado que sea apto para su posterior procesamiento(comúnmente filtración)

- Efectuar todo lo anterior al menor costo posible, con mínimo tiempo de residencia, mínima pérdida de la sacarosa (por inversión y otro mecanismo) y mínima formación de color en el jugo.
- Obtener jugo clarificado con un pH que minimice la inversión en la subsecuente operación de evaporación.

4.2.5. Análisis del jugo. Los principales componentes del jugo de caña que influencia la clarificación:

- Sacarosa, azúcares reductores, monosacáridos
- Polisacáridos (dextranas, gomas, almidón) y trisacáridos
- Proteínas, compuestos de amino-nitrógeno
- Ácidos orgánicos (aconítico, málico, crítico), sales de ácidos orgánicos.
- Sales de ácidos inorgánicos. ejemplo KCl, CaSO₄, fosfato.
- Material insolubles tales como ceras, grasas, bagacillo, suelo, arena y partículas de arcilla.

El tamaño de estas partículas está en un rango de 0.5 a 2mm. La naturaleza y propiedades superficiales de las partículas determinan su comportamiento fisquímico durante la coagulación y floculación.

4.2.6. Efectos del calentamiento de jugo y la adición de cal: La clarificación por defecación usualmente se realiza mediante la combinación de:

- Adición de hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para elevar el valor del pH desde 5.3 hasta 7.2-8.0. El $\text{Ca}(\text{OH})_2$ puede estar en forma de lechada de cal o como sacarato mezclando cal-jugo o cal-meladura.
- Calentamiento, por etapas, hasta el punto de ebullición y uso de un tanque flash de despresurización y purga rápida que permite remover el aire atrapado o disuelto en el jugo. El principal agente de precipitación es el fosfato de calcio que forma la base de los floculante que absorben la mayoría de los otros materiales precipitantes. Los métodos de clarificación mediante defecación simple son económicos y aun así muy efectivos excepto en cuanto a la remoción de impurezas solubles. En este proceso muchos de los ácidos orgánicos son eliminados, dado que las sales de calcio son insolubles y cualquier material albuminoide es coagulado. Parte del contenido de pectina y materia colorante se torna insoluble, mientras otras componentes (almidón y polisacáridos) pueden hacerse solubles. (REIN, Peter., 2007)

4.3. Evaporación

La operación del sistema de evaporación en la planta es de quintuple efecto, tanto para la línea de Cristal como para la línea de crudo. La operación se debe a las condiciones de entrada, salida, nivel de cada evaporador y extracción de vapores vegetales hacia el exterior. La evaporación se realiza en evaporadores los cuales el vapor y el jugo se encuentran en cámaras separadas que fluyen en el mismo sentido. El jugo pasa de un

evaporador a otro con bombas denominadas “de transferencia”. El control global de un evaporador se ejecuta a través de la estabilización de cinco factores muy importantes:

- La concentración del producto final
- La presión absoluta en el último cuerpo
- La alimentación de vapor y jugo al primer evaporador
- Remoción de condensados y gases incondensables
- El control de incrustación en cada evaporador

Esta operación incrementa la concentración de jugo clarificado hasta contenido de sólidos disueltos alrededor de 65 a 68 %, lo cual la convierte en el principal consumidor de vapor. La configuración de la estación de evaporación determinan la cantidad de vapor que la fábrica requiere, y por lo tanto el arreglo de los evaporadores es de gran importancia. El uso de múltiples efectos de evaporación en serie hace posible reducir la demanda de vapor, por lo cual la mayor parte del agua es evaporada mediante este proceso. El máximo límite de concentración de la meladura se encuentra en las condiciones de saturación donde comienza la cristalización. En teoría esto limitaría el RDS hasta aproximadamente 72%, pero en la práctica se prefiere operar con un margen de seguridad de por lo menos dos unidades, dejando un margen al control y permitiendo cierto enfriamiento en caso de almacenamiento de meladura sin que ocurra cristalización. Este capítulo presenta inicialmente los fundamentos de transferencia de calor durante el proceso de evaporación o ebullición. Posteriormente se presenta en detalle los cálculos requeridos para evaporadores en detalle de cálculo requeridos para evaporadores de múltiple efecto, para luego discutir los

tipos de evaporadores disponibles y el diseño de evaporadores. La operación de evaporadores, incrustaciones y limpieza se presenta al final.

4.3.1. Transferencia de calor con ebullición:

4.3.1.1. Rango de temperatura y presiones: El vapor que se suministra a los evaporadores usualmente es vapor de escape, que generalmente se encuentra a presiones entre 180 a 250kpa. Las temperaturas de saturación del vapor correspondiente son 117°C y 127°C. En este capítulo todas las presiones se presentan en unidades kPa absoluta. Se recuerda que 100 kPa son equivalentes a 1 bar o 14.5 lb/in².

El último efecto del tren de evaporadores normalmente opera en un rango de presiones entre 12 y 17 kPa, correspondiente a temperaturas de vapor saturado entre 49°C y 57°C. Este rango de presión corresponde aproximadamente a un vacío entre 26.5" y 25" de mercurio en la mayoría de fábricas de azúcar, que tiende a localizarse cerca del nivel del mar. El mismo valor varía a otras elevaciones y presiones atmosféricas; esta representa las presiones absolutas y temperaturas de saturación distintas.

Esta es una buena razón para preferir siempre el uso de presiones absolutas en lugar de vacío. La presión absoluta óptima en el efecto final.

La evaporación a presión positiva, donde la mayoría o todos los cuerpos operan por encima el nivel de presión atmosférica, tal como se efectúa en la industria azucarera de remolacha, se evita en las fábricas de azúcar de caña por múltiples razones:

- No existe igual necesidad de reducir la demanda de vapor, dado que el bagazo usualmente proporciona suficiente combustible y no se requiere medidas extremas para el ahorro de energía.
- El contenido de azúcares invertidos en los jugos de caña de azúcar es mucho mayor, por lo que la formación de color que resulta de la reacción de estos a altas temperaturas representa a un problema mayor.
- La pérdida de azúcar y la formación de color son minimizadas al reducir el perfil de temperatura a lo largo del tren de evaporación.
- Los menores perfiles de temperaturas hacen posible el uso de evaporadores simples con mayores tiempos de residencia, sin que presenten pérdidas por inversión excesivas.

4.3.2. Elevación del punto de ebullición. A medida que la concentración de sólidos disueltos se incrementa, la temperatura de ebullición del líquido aumenta por encima de la correspondiente temperatura de vapor saturado a igual presión. La elevación del punto de ebullición es una consecuencia de los cambios de la propiedad del líquido. El grado de elevación del punto de ebullición está determinado por la concentración. (REIN, Peter., 2007)

Las extracciones en evaporadores que parcialmente están en el subsistema reductor, escapan a la atmósfera. Balance entre disponibilidad y demanda de vapor o de condensados. Se calcula la diferencia del contenido másico de dos corrientes y este valor se transfiere a una de las dos corrientes de información que salen. Una de estas toma valor cero, dependiendo de la relación existente entre los contenidos másicos de las corrientes que entran. Las temperaturas y presiones de las corrientes de salida se fijan en los datos del módulo, en caso de no precisarlo. Se asume que las mismas que las de la corriente de entrada del flujo esté disponible. Escape de la atmósfera es una de las corrientes de la cantidad de vapor que hay que pasar o no por reductora y si hay escape en la atmósfera. Del vapor de escape se alimentan al pre-evaporador, cuádruple efecto y los calentadores de jugo clarificado y rectificado; el vapor y los tachos se alimentan del vapor vegetal producido en el pre-evaporador. (Licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial- Sin Obra Derivada 3.0 Unported). Comentar los beneficios y distribuciones del sistema; Uno de los beneficios que tiene la fábrica de azúcar, es que utilizan la energía de vapor y la transforman en energía mecánica eléctrica para el proceso. El consumo de energía primaria para la planta no debe exceder la energía potencial del bagazo, que los equipos consumidores de vapor como los evaporadores, tachos y calentadores utilizan, estos dependen de la baja pureza de los jugos, problemas de incrustaciones, alta viscosidad de las masas cocidas y mieles. Mientras la distribución se produce por un desbalance de la operación, una por inestabilidad de la caña; dependiendo de la capacidad de almacenamiento de meladuras y masas cocidas. (Licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial- Sin Obra Derivada 3.0 Unported).

4.4. Cristalización

4.4.1. Solubilidad y sobresaturación. La sacarosa tiene una elevada solubilidad en agua. Una solución saturada de sacarosa, se encuentra en equilibrio termodinámico con la fase sólida de sacarosa y contiene alrededor de dos partes de sacarosa por cada parte de agua a temperatura ambiente, y casi cinco partes de sacarosa por cada parte de agua a 100 °C. Para cristalizar la sacarosa se requiere elevar su concentración por encima de aquella correspondiente a una solución saturada, y llevarla en forma regulada y con precisión a la concentración de sacarosa en solución saturada bajo condiciones de operación.

4.4.2. Crecimiento de cristales. El crecimiento de los cristales es un proceso en el que las moléculas de sacarosa en solución tienen que esparcirse o difundir hacia el cristal y luego ser incorporadas en la estructura reticular del cristal. Por lo tanto la proporción de cristalización depende de estos dos procesos.

4.4.3. Tamaño y forma de los cristales. El tamaño de cristal del azúcar producido es importante porque usualmente tiene que cumplir con determinada especificación de calidad del consumidor. El azúcar para consumo directo tiene un tamaño promedio de 0.2 mm y 2 mm, dependiendo de los requerimientos del mercado, siendo producidos en la India los granos de mayores tamaños. El azúcar crudo para refinería normalmente tiene que cumplir especificaciones de tamaño que faciliten una afinación eficiente en la refinería.

Los cristales de tamaño más grande tiene menos área superficial por unidad de masa y son más fáciles de procesar durante la centrifugación debido a que la cantidad de

película de miel sobre la superficie es menos. Sin embargo, con los cristales más pequeños se tiene una mayor área superficial, lo cual mejora la tasa de cristalización. Esto es particularmente importante para los cocimientos de baja pureza, donde el tamaño de los cristales se mantienen pequeños, típicamente alrededor de 0.2 mm para masas cocidas C. El tamaño de apertura de las mallas de las centrifugas se selecciona de acuerdo con el tamaño de cristal a ser separado. La distribución del tamaño de los cristales es también importante. La separación en las centrífugas se facilita a medida que la distribución del tamaño de cristal es más uniforme. Los granos duros en masa cocidas tienden a llenar espacios presentes entre cristales en las máquinas centrífugas que no se puedan filtrar o purgar fácilmente. Adicionalmente, los cristales pequeños pueden pasar a través de las aperturas de la malla, resultando en un menor agotamiento de las mieles. La distribución del tamaño de cristales generalmente se caracteriza utilizando el coeficiente de variación.

4.4.4. Contenido de cristales en masas cocidas. El contenido de cristal puede alcanzar valores tan elevados que la masa cocida se torna prácticamente en un sólido, por lo cual la cristalización debe interrumpirse antes de que la viscosidad de la masa cocida se torne excesivamente elevada. El límite del contenido de cristales pueden ser calculado, asumiendo que los cristales se encuentran en un contacto entre si y que los espacios vacíos están rellenos únicamente por licor madre.

4.4.5. El proceso de cristalización. La cristalización en las fábricas se produce bajo vacío e involucra procesos simultáneos de transferencia de masa y evaporación. El vacío es necesario para mantener la temperatura a un nivel suficientemente bajo que permita minimizar la formación de color y la inversión o degradación de sacarosa en el proceso. Al

iniciar un cocimiento discontinuo o batch, el licor se concentra hasta alcanzar la zona metaestable. La cristalización se inicia adicionando semillas muy finas en forma de suspensión o slurry, las cuales proporcionan sitios de nucleación para comenzar la cristalización. A partir de entonces, la concentración del licor madre se controla de manera que la cristalización ocurra sin disolver ningún cristal y sin formación de nuevos núcleos (falsos grano). Para esto se requiere establecer suficiente área superficial de cristales y regular la alimentación del tacho para controlar la concentración del licor madre. Tradicionalmente este proceso se ha efectuado empleando tachos discontinuos, pero recientemente se han introducido sistemas continuos. Sin embargo, la etapa inicial de cristalización se realiza aun de manera discontinua. En algunas ocasiones el proceso comienza partiendo de un magma o pie de templa, es decir una mezcla de licor y cristales de un cocimiento previo, evitando así el proceso de semillamiento.

4.4.6. Objetivo de la masa de cocimientos. El proceso de cristalización es una fábrica de azúcar crudo debe cristalizar tanto azúcar como sea posible de la meladura proveniente de los evaporadores. El azúcar tiene que ser producido con la calidad requerida y el contenido de azúcar en la miel final debe ser tan baja como sea posible, dado que cualquier azúcar remanente en estas mieles es una pérdida operacional. La cristalización se debe realizar en varias etapas para lograr reducir aceptablemente el contenido de sacarosa en miel final. Distintos esquemas de cristalización pueden ser utilizados para lograr estos objetivos.

Las operaciones necesitan también ser conducidas de manera que se cumplan las metas de producción. Esto requiere alcanzar ciertas metas de eficiencia de cristalización, de

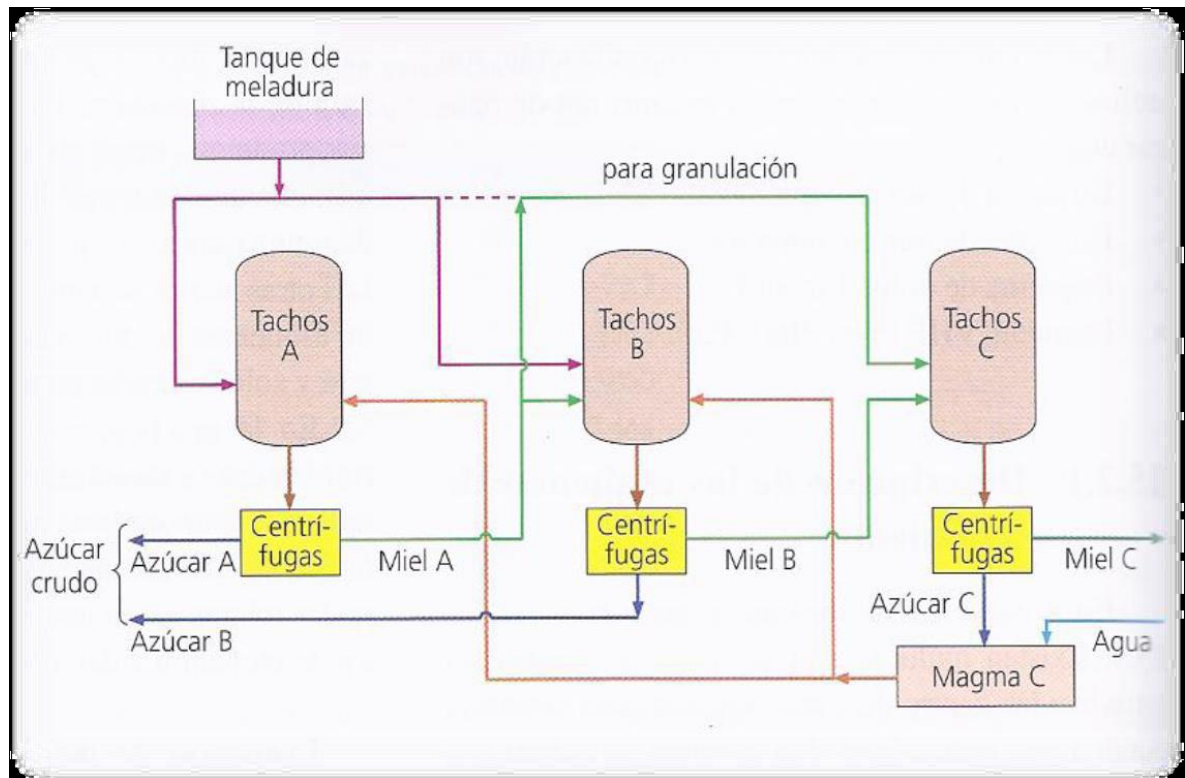
manera que los equipos instalados no constituyan cuellos de botella. Al mismo tiempo se debe tener cuidado para asegurar la cantidad de vapor utilizado en el proceso no resulte excesiva. Generalmente una cristalización eficiente minimiza el consumo de vapor.

La calidad de azúcar se ve afectada por la calidad de meladura a procesar, específicamente por su pureza, color y turbiedad. El esquema de cristalización se debe seleccionar para alcanzar la calidad requerida a partir de la meladura para ser procesada. El esquema óptimo es aquel que permite satisfacer la calidad deseada con una mínima capacidad de equipos instalada. Un agotamiento elevado en cada etapa minimiza la cantidad de masa cocida a ser procesada, lo cual a su vez minimiza el uso del vapor y la capacidad requerida en tachos y centrifugas.

4.4.7. Descripción de los esquemas de cocimientos. Existen múltiples variaciones que pueden ser introducidas dentro de cada esquema para satisfacer las condiciones particulares. Por ejemplo: la centrifuga doble (afinación) de azúcares B y C pueden ser requeridas para producir de bajo color y cenizas cuando la pureza de la meladura es baja; mientras que la recirculación de retornos de jarabe puede ser utilizada para reducir la pureza de la masa cocida cuando las purezas de la meladura son elevadas. La elección del esquema de cocimiento afecta la cantidad total de masas cocidas y la demanda de energía para la cristalización. Cada sistema ofrece diferentes ventajas y desventajas, pudiendo ser comprados únicamente bajo un rango de condiciones claramente definido. Una comparación de las cantidades de masa cocida y la demanda de energía con diferentes esquemas de cocimiento.

El número de etapas requerido para lograr el agotamiento de la meladura hasta obtener la pureza de miel final depende, en primer lugar, de la pureza de la meladura. Las etapas de cristalización y sus productos luego de ser separados se identifican usualmente con letras. La etapa de mayor pureza se denomina etapa A, que produce miel A y azúcar A. Las otras etapas se denominan B y C, pero en el caso de esquema de dos cocimientos la secuencia se altera solo se producen azúcares A y C. Las estaciones de cristalización son diseñadas con cierta flexibilidad para tolerar variaciones de la calidad del suministro de meladura y el azúcar producido.

Ilustración 1. Descripción de los procesos esquemas de cocimiento



Fuente: REIN, Peter. Cane Sugar Engineering

4.4.8. Sistema de alimentación de tachos. Debe ser diseñado para mezclar la alimentación con el volumen de masa cocida tan rápido como sea posible. Un mezclado bueno y rápido en la alimentación con la masa cocida es importante para evitar la existencia prolongada de áreas bajo condiciones de subsaturación, lo cual puede conducir a una disolución parcial de cristales.

4.4.9. Semillamiento. La nucleación usualmente se induce en los tachos mediante la adición de suspensión o que contiene partículas de azúcar molidas y finamente. Varios métodos para preparación de la suspensión son utilizados, pero normalmente involucran el uso de molinos de olas para preparar una suspensión de alcohol y azúcar refinada durante el cierto periodo.

4.4.10. Técnicas para un buen semillamiento. La sacarosa tiene una elevada solubilidad en agua. Una solución saturada de sacarosa, se encuentra en equilibrio termodinámico con la fase sólida de sacarosa y contiene alrededor de dos partes de sacarosa por cada parte de agua a temperatura ambiente, y casi cinco partes de sacarosa por cada parte de agua a 100°C. Para cristalizar la sacarosa se requiere elevar su concentración por encima de aquella correspondiente a una solución saturada y llevarla en forma regulada y con precisión a la concentración requerida para lograr la cristalización deseada. Por lo tanto es importante establecer la concentración de sacarosa en solución saturada bajo las siguientes condiciones de operación.

- Alimentar el tacho con miel de pureza de 70 a 75%

- El volumen alimentado debe ser suficiente para cubrir la calandria
- Mantener el vacío constante
- Adicionar la cantidad de suspensión alcohólica requerida dependiendo de su tamaño promedio de cristal y cantidad de masa a elaborar
- Controlar la alimentación de la miel para llevar recogido el cristal y garantizar que crezca uniformemente.

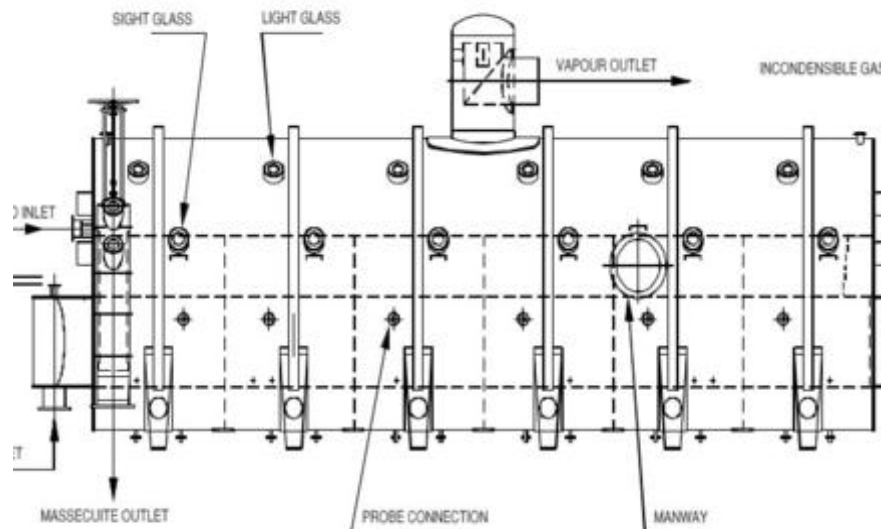
4.5. Operación de tachos:

Tachos, es el nombre que en un ingenio azucarero se le da a un evaporador de simple efecto, y se dice que es simple efecto porque los vapores entra a calentar la calandria, son utilizados una sola vez. El tacho es un evaporador formado principalmente por un cuerpo, una calandria con tubos de cobre un tubo central que es aproximadamente 1/3 del diámetro, del aparato un tubo de salida de vapores que va a un condensador, que sirve para hacer vacío cuando se está operando. Además el tacho tiene válvulas de vapor, válvulas de alimentación de meladura y mieles, válvulas de alimentación de agua, distribuidores internos para que la alimentación de las meladuras y mieles sea homogéneas y para que cuando se limpia internamente con vapor sea distribuido perfectamente el vapor y hagan una buena limpieza dentro de él.

Para operar un tacho es necesario tener claramente los conceptos:

4.5.1. Utilización del tacho. El tacho se utiliza en un ingenio azucarero para cristalizar la sacarosa que está contenida en una solución azucarada con altas purezas. Sirven también para mejorar un grano fino, es decir hacer crecer un grano fino, es decir hacer crecer un grano virgen no comercial alimentándose de meladura con pureza de 80-86 para obtener un grano comercial. Sirve para agotar una miel, que puede ser miel de una masa de primera con pureza de 65-70 o una miel de una masa de segunda con pureza de 45-50. Disolver un magma. Fabricar masas cocidas de primera, segunda y tercera. Hacer granos para pies de templa de tercera y segundas.

Ilustración 2. Tacho continuo



(MANUAL DE OPERACIÓN DE TACHO CONTINUO, [Fecha De consulta: 02 de septiembre del 2015] < <http://es.slideshare.net>>)

4.5.2. Cómo trabaja un tacho. Un tacho trabaja con vapor procedente de los vapores vegetales que viene de los pre-evaporadores. La presión de vapor de operación está entre 5-10 psi, manométrica. Esta presión debe estar constante para que los tachos trabajen eficientemente, para eso se cuenta con unas líneas auxiliares de vapor escape, procedente del escape de las turbinas de bombas, molinos, ventiladores y turbogeneradores cuyo su setpoin a 10psi. Su fórmula de producir vacío es con un condensador multi-jet con inyección de agua a una presión aproximadamente de 7 a 10 psi. Los vacíos de trabajo en los tachos son de 26 a 27 pulgadas de mercurio.

4.5.3. Definición meladura. Meladura es una miel virgen procedente del ultimo de un múltiple efecto de evaporadores o sea es el jugo de la caña concentrada a 65 grados brix. La pureza de la meladura varía entre 79 a 85. Y sirve para cristalizar para producción.

4.5.4. Definición de miel A. Miel A es la que sale de la purga de las masas de primera, es una miel rica que tiene purezas que oscila entre 65 a 70 esta miel se alimenta a un pie sencillo de segunda para fabricar una más de segunda, y cuando se cristaliza para fabricar granos o pies de segunda o tercera si la pureza está baja entre 69-70 se puede cristalizar con miel A directamente, si la pureza baja a 65-68 es necesario agregarle unos pies cúbicos de meladura para mejorar la pureza de la mezcla.

4.5.5. Definición de miel B. Miel B es la que sale de la purga de una masa de segunda, esta masa es purgada en centrífugas continuas y su pureza varía entre los 44-50. Con esta miel B, se alimenta a los pies que sirven para fabricar masa de terceras o masa C.

4.5.6. Definición miel final. Miel final es el resultado de la purga de las masa de tercera o masa C. Esta miel tiene una pureza que varía entre los 29-33 y su brix es aproximadamente 77-83. La miel final es subproducto de la caña de azúcar y se utiliza para la fabricación de rones (alcoholes) y también mezcla con bagacillo para darle como alimento al ganado lechero o de engorde.

4.5.7. Definición masa A o masa de primera. La masa A o masa primera es la que se fabrica en los tachos con el fin de sacar producción de azúcar que puede ser azúcar cruda o azúcar blanca. La masa A se fabrica a partir de pies de magma. Y para elaborar una masa de primera lo siguiente: Se jala un pie de magma, se lava esta magma para que no tenga granos falsos, luego se alimenta esta magma ya limpia con meladura virgen, cuando ya se ha llegado a nivel de operación del tacho, se hace un corte a otro tacho (se pasa la mitad del contenido del tacho a otro) y se sigue alimentando con meladura. El tachero, de esta forma, va mejorando de tamaño el grano hasta obtener un grano comercial, exigido por el jefe de fabricación. Cuando se está haciendo azúcar blanca, de un magma se obtienen de 2 a 3 templeas. Cuando se está haciendo azúcar cruda de un pie de magma se obtiene 4 templeas. La masa se le da un punto de brix de 92 a 93 y su pureza está de acuerdo a la pureza con que llega la meladura que puede ser entre 80 a 84.

4.5.8. Definición masa B o masa de segunda. La masa B o masa de segunda es el asa que se fabrica con el fin de agotar las mieles de primera o mieles A. Además de la purga de la masa B que se hace en centrifuga continua de segunda se obtiene una azúcar de 90 a 91 de pureza que con agua o guarapo se hace una magma que servirá para la fabricación de azúcares de primera. La miel B se bombea a los tanques de alimentación de tachos y servirá para fabricar masas C. La miel B tiene una pureza de que varían entre 45-50. Para fabricar masas de segunda se procede de la siguiente manera: Se hace una cristalización con una mezcla de miel A y de meladura para que llegue a 70 pureza; se corta a la mitad a un granero y se deja la otra mitad que se le da el nombre de doble de segunda en el tacho. Este doble de segunda se alimenta de nuevo con miel A hasta la operación. Este doble ya completo da la pureza de 66-69. Se baja la mitad de este doble a un granero nuevamente y la mitad que quedó en el tacho, servirá para fabricar una primera masa de segunda que se alimenta con miel A. Esta masa B cae al recibidor de segunda que a su vez hace función de enfriador, pues su agitador pasa agua caliente o fría según se necesite. La masa luego es purgada en centrifugas continuas, el producto de esta purgas el azúcar de segunda que se hace magma y la miel B que se bombea la tanquería de tachos, para fabricar masa C. Los brix para la masa de segunda deberán estar entre 95-96, la pureza entre 68-69.

4.5.9. Definición de masa C o masa de tercera. La masa C se fábrica con el fin de agotar las mieles de segunda y el producto de la purga de la masa de tercera es hacer azúcar con una polarización de 83-84 que es refundida para enriquecer los jugos claros y la meladura. En otros sistemas esta azúcar C también se hace una magma que servirá como base de pie para pie de azúcar segunda. La miel que sale de la purga de tercera es la melaza

o miel fina que tiene pureza aproximadamente de 29-33 y un brix de 83-84. Para fabricar la masa C es necesario cristalizar con una mezcla de miel A más meladura o simplemente cristalizar con miel A cuando la pureza de esta alta. Con una pureza de 68-70 de miel A se puede cristalizar sin necesidad de aumentar la pureza. Cuando la pureza de la miel A es baja aproximadamente 64-66 se deberá hacer una mezcla proporcional.

4.6. Evapo- cristalizadores discontinuos:

4.6.1. Tipos de evapo-cristalizadores: A través del tiempo se han empleado muchos tipos de evapo-cristalizadores discontinuos. Estos han evolucionado con el tiempo gracias a una combinación de experiencias, sentido común y ciencia hasta llegar a una geometría básica relativamente estándar, con forma cilíndrica vertical, que utiliza calandrias de tubos verticales, donde el vapor de escape se condensa sobre la superficie externa de los tubos. Los tachos que utilizan en la actualizada se caracterizan de acuerdo a su forma. La característica más distintiva de los evapo-cristalizadores es la calandria. El diseño más común incorpora una calandria con placas de tubos horizontales. Normalmente se utiliza un único conducto de descenso o tubo central rodeado por tubos verticales, lo que constituye un diseño efectivo de construcciones simple y baja demanda de mantenimiento. Los tachos de calandria flotante cuentan con el conducto de descenso localizado sobre la región anular externa. A pesar de que estos se desarrollaron con la intención de mejorar las características de circulación, mediciones basadas en el uso de radioisótopos trazadores demostraron que el tubo de descenso central convencional se desempeña mejor. La forma del fondo del tacho debe promover una distribución uniforme de la masa cocida por debajo de la calandria, sin restringir la circulación o generar áreas de estancamiento, además de permitir

la descarga de la templa en un tiempo aceptable. El diseño con fondo de forma de W se ha hecho muy popular, particularmente para los tachos más grandes. Este fondo permite mantener un bajo volumen del pie de templa, mientras que es posible lograr una buena circulación y tiempos de cocimiento razonable.

4.7. Cristalizadores por enfriamiento:

La cristalización en un tacho al vacío continuo hasta alcanzar un punto en el posterior cristalización llevaría a que la masa cocida dejara de circular o no pueda ser descargada del tacho. La masa cocida que abandona el tacho está súper saturada y caliente, en el rango de 63 a 70°C. El contenido de cristales es alto, pero aún es posible lograr un agotamiento adicionalmente al enfriar la masa cocida antes de la centrifugación. Mientras la masa cocida se enfría, la velocidad de cristalización se reduce, pero un tiempo suficiente de retención en los cristalizadores por enfriamiento logrará la cristalización adicional deseada. El diseño del cristalizador se toma en cuenta el grado de la masa cocida encontrada en una ubicación particular. Las consistencias promedio son considerables por las condiciones locales que influencia por encima de los valores promedio que depende de los factores tales como la calidad de la caña.

4.7.1. Tiempos de residencia y temperatura. Cómo lograr un alto agotamiento de la masa cocida A, algo de la capacidad del cristalizador de la masa cocida A es dedicada asegurar un buen agotamiento aumentando el trabajo realizado en los tachos. La capacidad de los cristalizadores por enfriamiento casi siempre se proporciona para las masas cocidas C con el fin de reducir las purezas de las mieles finales a un mínimo y así mantener la pérdida de azúcar en las mieles en un mínimo. Usualmente la situación que requiere la instalación de cristalizadores de masa cocida B es el caso de purezas muy altas de miel B para lograr la pureza requerida de la masa cocida C. Esto puede elevarse si las purezas del jarabe son anormalmente altas como resultados de una calidad muy buena de caña, o si el agotamiento de la masa cocida A es demasiado bajo.

4.8. Equipo:

El equipo para que una cristalización y masa tenga mejor rendimiento, debe manejar varias propiedades como por ejemplo: totalmente hermético, que maneje el vacío, un sistema de condensados y los equipos utilizados en formación de las masas y donde sucede la cristalización son llamadas tachos y existen diferentes tipos.

4.8.1. Cristalizadores tipo batch y continuo. Los cristalizadores tipo batch han sido gradualmente reemplazados por sistemas continuos. En los sistemas batch descargan masa cocida hacia cristalizadores donde la masa esta cocida permanecerá y será enfriada durante un periodo de tiempo, dependiendo del número de cristalizadores. La desventaja de este diseño es que alguna porción de los cristalizadores permanecerá vacía o no

completamente utilizada. Otra desventaja es el costo, ya sea de mano de obra adicional o automatización para abrir y cerrar válvulas de acuerdo a los niveles del cristalizador.

Con el uso de tachos y centrífugas continuos, tiene más sentido operar los cristalizadores como un sistema continuo, de manera que la capacidad completa de los cristalizadores sea utilizada en todo momento. En muchos casos los cristalizadores continuos han sido implantados simplemente mediante la interconexión de todos los cristalizadores tipo batch entre sí.

Esta conversión no siempre ha sido exitosa, debido a que si no se ha realizado con cuidado, ni con la diligencia requerida para el patrón de flujo a través de los cristalizadores, la capacidad efectiva puede ser seriamente reducida debido a los desvíos y zonas estancadas en el sistema de flujo. Al igual que otros sistemas continuos son más propensos al control automático y requieren menos supervisión. (REIN, Peter., 2007)

Entradas de miel tiene un 88% de brix. Empieza de la celda 1 a la 6 con lleva un brix de 88-90%, y la celda 6-10 con lleva un brix de 93-94%, las mieles que utilizan el tacho continuo es miel primera crudo y miel segunda cristal. Dependiendo al porcentaje aumenta mientras el brix disminuye alrededor de las celdas del tacho continuo. La medición de las mieles que entran es 400g/min.

4.9. Separación o centrifugado

Luego de la cristalización, los cristales de azúcar son separados de la masa cocida mediante centrifugación. Debido a las características del licor madre, particularmente el elevado contenido de sólidos disueltos y elevada consistencia, es necesario aplicar fuerzas centrífugas elevadas, que requiriendo máquinas de alta velocidad que usualmente se denominan como máquinas centrífugas. Existen esencialmente dos tipos de centrífugas utilizadas, las máquinas discontinuas (o batch) y las continuas. Las máquinas continuas son de menos precio, más fácil de operar y tiene menor costo de mantenimiento. Sin embargo producen rompimiento de cristales a la descarga y en consecuencia normalmente no son utilizadas para la producción de azúcares que requieren tamaños de grano específicos. Algunos desarrollos recientes han dado como resultado centrífugas continuas aptas para azúcares de alto grado o pureza, pero las cuales aún tiene algunas ventajas asociadas a ellas.

El proceso de separación mediante centrifugas debe ser antecedido por una etapa donde la masa cocida se acondiciona para poder lograr una separación óptima. Con masa cocida de alta pureza esto puede consistir simplemente en asegurar que la masa se encuentre en temperatura adecuada. Debido a la consistencia extremadamente elevada del licor de madre en las masas cocidas C, es normal instalar algún tipo de calentador de masa precediendo a las centrifugas de C. A la descarga de los cristalizadores de enfriamiento, la súper saturación del licor madre es alta por lo que es posible efectuar cierto recalentamiento de la masa cocida sin que se presente disolución de cristales. Luego de centrifugar a las masas cocidas, el azúcar obtenido generalmente se envía a las secadoras de azúcar,

mientras que los azúcares de baja pureza se funde o se convierte en magma para retornar a los tachos como semilla o pie de templa. Fundido es el término utilizado para referirse a la disolución del azúcar en agua o jugo clarificado.

4.9.1. Centrifugas continuas y discontinuas. Debido al hecho de que las densidades de los cristales y el licor madre son similares, y a la elevada viscosidad o consistencia del licor madre, la única opción de separación práctica es por centrifugado. El tamaño de los cristales a ser removidos se encuentra en promedio en el rango de 0.1 a 1 mm, para lo cual se utiliza una malla metálica que retiene los cristales y permite el paso del licor madre. Las máquinas discontinuas forman una torta sobre la canasta, a través de la cual el licor madre es drenado bajo acción de una elevada fuerza centrífuga. Sin embargo una fina capa de licor madre permanece retenida alrededor de los cristales, particularmente en los intersticios entre cristales. Debido a esto incluye siempre una etapa de lavado, donde agua y/o vapor se aplica sobre la canasta de las centrifugas para lavar los cristales removiendo la capa de licor madre. Esta operación tiene que controlarse minuciosamente para lograr el lavado de cristales requeridos sin que ocurra disolución significativa. En las máquinas continuas los cristales se desplazan continuamente, ascendiendo sobre una malla inclinada gracias a la acción de la fuerza centrífuga. La capa de cristales formada es delgada, del orden de 3 a 6 mm, y con el movimiento de los cristales el drenaje de licor madre es de cierta manera más fácil. Sin embargo, los cristales permanecen sobre las mallas por periodos muy cortos, del orden de unos pocos segundos y consecuencia el tiempo de drenaje es limitado. Generalmente se adiciona agua y vapor a la entrada de la masa cocida, y con menor frecuencia se aplican sobre los cristales dentro de la canasta.

4.9.2. Eficiencia del lavado. El lavado del azúcar sobre las mallas de las máquinas centrífugas inevitablemente involucra cierto compromiso. El objetivo es aplicar suficiente agua para lograr la pureza de azúcar requerida, pero no tanta que disuelva una cantidad excesiva de cristales. Esto es más fácil de lograr utilizando agua caliente aplicada uniformemente sobre la canasta. Un lavado no uniforme puede sobre lavar parte de la canasta mientras que otras secciones pueden quedar sin lavar, haciendo difícil lograr el objetivo de la operación. El grado de disolución se pueden evaluar midiendo el incremento de pureza entre el licor madre de la masa cocida antes del centrifugado y en las mieles luego del centrifugado, el cual usualmente no debe exceder valores de una a tres unidades de pureza.

4.9.3. Rompimiento de cristales. En las máquinas centrífugas discontinuas no ocurre un rompimiento de cristales significativo. El raspado del azúcar de la canasta es suficientemente delicado como para no causar daño a los cristales. Por el contrario, la situación es muy diferente en las máquinas continuas, donde los cristales son proyectos al salir de la canasta e impactan contra una sección recolectora de la carcasa. Los trabajos efectuados muestran que los cristales grandes se rompen fácilmente que los pequeños, y que la velocidad con la cual los cristales impactan una superficie solida debe estar por debajo de 10 m/s para prevenir su rompimiento. Dado que la velocidad tangencial en la parte superior de las canastas es del orden de 100 m/s en centrifugas continuas, no es sorprendente que se presente rompimiento de cristales al impactar sobre el recolector en la carcasa. Los esfuerzos efectuados para eliminar el problema de rompimiento han incluido las siguientes aproximaciones:

- Presurización del espacio de aire en la máquina, esperando que una mayor densidad del aire ayude a desacelerar los cristales más rápidamente.
- Utilizar corrientes de aire orientadas de manera que permitan deflactar la trayectoria de los cristales proyectados y reducir su velocidad.
- Utilizar un anillo rotatorio con aspas verticales, girando a velocidades ligeramente inferior que las canastas para reducir la velocidad del azúcar y desviarla.
- Incrementar el tamaño del recolector de la carcasa buscando brindar a los cristales suficiente tiempo para su desaceleración hasta velocidades por debajo de 10 m/s, antes de su impacto.
- Adaptar la forma de la placa sobre la cual impactan los cristales, de manera que sufran solo un ligero impacto inicial y luego continúe viajando descendentemente sobre una placa continua inclinada, evitando así el impacto directo. Solo las dos últimas aproximaciones han resultado exitosas. La última aproximación es la que se utiliza para las centrífugas continuas de azúcares de alta pureza, con la cual se ha logrado reducir sustancialmente el rompimiento de cristales. (REIN, Peter., 2007)

5. Marco metodológico

5.1. Variables

Se realizó una recolección e interpretación de datos en el área de tachos continuos de masa de segunda. Se hizo una investigación bibliográfica, con la se obtuvo información acerca del proceso de masa B en el área de tachos; cómo representar las condiciones de operación en el proceso del cocimiento de las masas en los tachos continuos. Unas de las características que se quieren comprobar es la pureza que contiene cada masa en los tachos continuos, para lo cual se llevó a cabo un análisis individual para determinar la comparación en la operación en los dos distintos tipos de tachos continuos. Se hizo un estudio de las técnicas de comparación que enfocan los estudios observaciones o estudios experimentales de diferentes condiciones como la pureza, con respecto a las masa cristal/crudo.

Tabla 1. Definición operacional de variables

VARIEDAD	UNIDAD	FACTOR PERTUBADOR		TIPO DE VARIABLE	
		Controlable	No controlable	Dependiente	Independiente
Pureza en masa de segunda crudo zafra 2014-2015	%	x		X	x
Pureza en masa de segunda Cristal zafra 2014-2015	%	x		X	x

Fuente: Elaboración propia

5.2. Delimitación del campo de estudio

En el área de tachos de masa de segunda en un ingenio azucarero. Por ejemplo muestras de masa de segunda crudo y cristal en los tachos continuos, teniendo distintas purezas en el área de fábrica.

5.3. Recursos Humanos

Se dispone el recurso humano para la investigación: En determinación de caídas de purezas Cristal y Crudo en masa de segunda en la evaluación comparativa en el ingenio azucarero:

- Investigador: Yasselim Campos Pérez
- Asesor de Investigación: Ing. Renato Edgar Madrid Pérez
- Personal Operativo en el área de tachos de masa de segunda

5.4. Recursos materiales disponibles

Se enumera los materiales y equipos que son necesarios para la recopilación, ordenamiento y proceso de los datos que conforma esta investigación, los datos fueron tomados en los días que estuvo estable el proceso del azúcar.

5.5. Materiales y equipo

Los materiales y equipos fueron necesarios en la recopilación, ordenamiento y procesamiento de datos que son los siguiente:

Tabla 2 Material y equipo

No.	Descripción
1	Bolígrafos
2	Casco
3	Computadora portátil
4	Cuaderno de apuntes
5	Cámara fotográfica
6	Zapatos industriales
7	Guantes látex

Fuente: Elaboración propia

5.6. Recolección y ordenamiento de la información

Para determinar las caídas de las purezas en la masa de segunda de los tachos continuos se tomó muestras de pureza realizando un plan de muestras en un determinado tiempo haciendo un cálculo y graficándolo. Estos datos fueron tomados por parte del laboratorio de ese mismo ingenio.

5.7. Plan de análisis de datos:

El análisis de datos se tomó durante la zafra del día 1 a 51 de las purezas lo cual se agrupo las variables y se utiliza el siguiente análisis en comparación de dos muestras, el análisis descriptivo.

5.7.1. Análisis descriptivos. Se observa el comportamiento de las muestras en una tabla de gráficos. Mediante los resultados da una matriz de datos X y Y, en la que X es el número de unidades utilizadas y Y el número de las unidades que tienen información.

- Coeficiente de pureza: Se refiere al porcentaje de sacarosa respecto al contenido total de sólidos solubles del jugo. Una mayor pureza indica que existe un contenido mayor de sacarosa que de sólidos solubles en el jugo. El porcentaje de pureza junto con el porcentaje de sacarosa ayudan en la determinación de la época de madurez.
- Porcentaje de pureza = $(\% \text{ Sacarosa} / \text{HR Brix}) * 10$ Un cultivo de caña de azúcar está apto para la cosecha cuando ha alcanzado un mínimo de 16% de sacarosa y 85% de pureza.

5.8. Tabulación de datos:

Estas tablas se plantearon en la hoja de cálculo mediante las muestras de los días, el número de muestras y la media, desviación estándar y pureza en los tachos continuos de masa de segunda.

Tabla 3 Datos para determinar la pureza de segunda cristal

Día	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media de pureza

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Datos para determinar la pureza de masa de segunda crudo

Día	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media de pureza

Fuente: Elaboración propia.

5.9. Análisis estadístico

Para la muestra de masa de segunda cristal y crudo se analizaron 4 muestras diarias cada 6 horas. Cuando se obtuvieron los distintos resultados se inició la comparación dando resultado de las medias, desviación estándar.

5.10. Métodos y modelos de los datos según tipos de variables:

Los métodos o pruebas que se realizaron se toman como resultados sobre los cálculos hechos por los programas o métodos estadísticos. Se utilizará la estadística descriptiva y una comparación de dos muestras.

5.10.1. Programa para el análisis estadístico

- Microsoft Excel
- Microsoft Word

5.10.2. Media, desviación estándar de ambos tachos continuos. En la siguiente tabla se muestra las medias, diferencias de medias, diferencia de las desviaciones estándar, la t calculada y la t crítica y con base en estos datos se determinaron los resultados.

- Media:

La media o promedio es una medida de posición que proporciona una descripción compacta de cómo están centrados los datos y una visualización más clara del nivel que alcanza la variable, puede servir de base para medir o evaluar valores extremos y brinda mayor facilidad para efectuar comparaciones. La notación de promedio lleva implícita la idea de variación y este número promedio debe cumplir con la condición de ser representativo del conjunto de datos. El promedio como punto típico de los datos es el valor alrededor del cual se agrupan los demás valores de la variable.

- Varianza:

Medidas del cuadrado de la distancia promedio entre la media y cada observación de la población.

- Coeficiente de correlación:

Para poder contar con un indicador que nos permita, por un lado establecer la covariación conjunta de dos variables, y por otro, que tenga la universalidad suficiente para poder establecer comparaciones entre distintos casos, se utiliza el coeficiente de correlación (lineal, de Pearson). La correlación es, pues una medida de covariación conjunta que nos informa del sentido de esta y de su relevancia, que está acotada y permite la comparación entre distintos casos.

(Base descriptiva, [Fecha De consulta: 05 de octubre del 2015] < [http:// www.uv.es](http://www.uv.es) >

- Desviación estándar:

Se calcula obteniendo la raíz cuadrada positiva de la varianza. Esta medida de dispersión tiene las mismas unidades que los datos originales, a diferencia de la varianza en la que las unidades están expresadas por los cuadrados de las unidades.

- Nivel de confianza

Es la probabilidad de que el parámetro a estimar se encuentre en el intervalo de confianza.

(Manual de estadística_PDF_ [Fecha De consulta: 03 de octubre del 2015]< <http://estadistica.ingenieria.usac.edu.gt> >)

6. Resultados

Tabla 5. Comparación de tachos Langreny vrs tacho continuo

Tacho Langreny	Tacho continuo
Operan con alto nivel de masa sobre la fase tubular	Operan con bajo nivel de masa sobre la fase tubular
El volumen de pie depende de la relación de S/V	El volumen de pie no depende de la relación S/v
Son fáciles de operar de modo manual	Es difícil de operar en modo manual

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Comparación de purezas en los tachos continuos de segunda

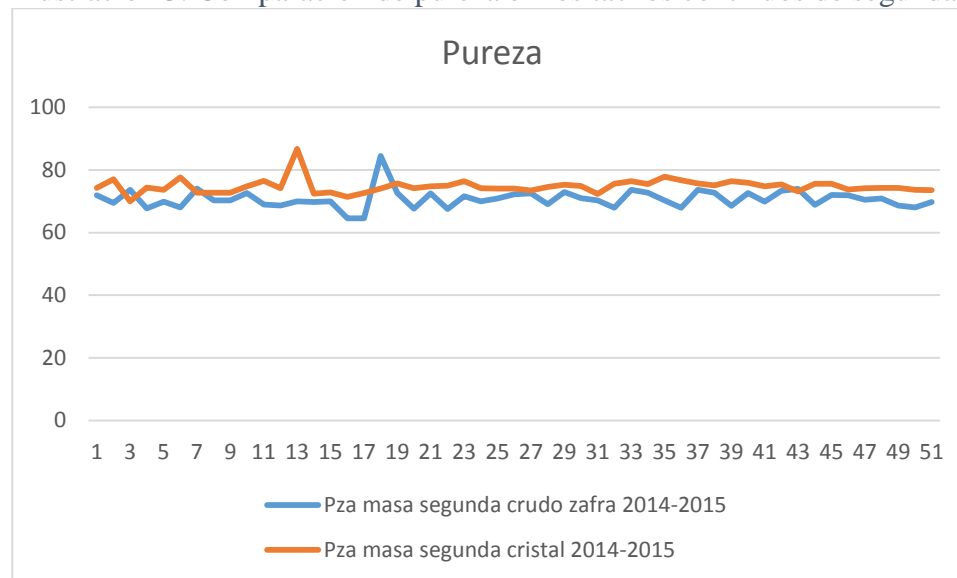
Prueba t para medias de dos muestras emparejadas		
	<i>Pza masa segunda crudo zafra 2014-2015</i>	<i>Pza masa segunda cristal 2014-2015</i>
Media	70.74	74.76
Varianza	8.90	5.34
Observaciones	51	51
Coefficiente de correlación de Pearson	-0.02	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	50	
Estadístico t	-7.52	
P(T<=t) una cola	4.56E-10	
Valor crítico de t (una cola)	1.675905025	
P(T<=t) dos colas	9.1198E-10	
Valor crítico de t (dos colas)	2.01	
Desviación estándar	2.98	2.31
Nivel de confianza (95.0%)	0.84	0.65

Fuente: Elaboración propia

6.1. Comparación de purezas en los tachos continuos de segunda.

Se muestra en la figura – los resultados de purezas en masa de segunda.

Ilustración 3. Comparación de pureza en los tachos continuos de segunda.



Fuente: Elaboración propia

7. Interpretación de resultados

En el análisis estadístico descriptivo y comparativo de los tachos continuos se muestra que la media de la pureza da un resultado de la masa de segundo crudo zafra 2014-2015 da un 70.74% mientras que la pureza de la masa de segunda cristal 2014-2015 da un 74.76 lo que tiene un diferencia de 3.96% es decir que la pureza masa segundo crudo zafra 2014-2015 es menor en el proceso.

La varianza de masa de segunda crudo zafra 2014-2015 es de 8.90% mientras que la varianza de la pureza de la masa segunda cristal 2014-2015 es de 5.34 es el valor es mayor de 8.90 en la pureza de masa segunda crudo 2014-2015. A diferencia de 5.34 de la pureza de la masa de segunda cristal 2014-2015 es menor.

Se sabe que el tamaño de muestras se tomó 51 veces en el periodo de zafra 2014-2015 en los días que estuvo estable la producción de azúcar.

La desviación estándar es de 2.98 de la pureza masa segunda crudo zafra 2014-2015, mientras 2.31 fue la pureza de masa segunda crudo zafra 2014-2015 es menor lo que refleja a la desviación estándar mayor era la concentración de datos de media.

En la Ilustración 2 se observa la comparación de las purezas en la masa de segunda en los dos tipos de tachos continuos cristal/crudo la masa cocida representa la diferencia de purezas que conlleva mieles por eso es importante la cristalización porque depende del tamaño del grano cristales que facilita la descarga, el lavado el filtrado y centrifugado para

que las caídas de purezas fueran menores por diferencia de operación en las impurezas de los jugos que se procesan. La función del tacho continuo de masa crudo cae a un cristalizador donde después va a los verticales hace que su tiempo de retención sea mayor y alta tasa de crecimiento de cristales. A diferencia del tacho continuo Langraney que son mayores las purezas.

8. Conclusiones

- Se efectuó un análisis estadístico en comparación de las variables de pureza en los diferentes tipos de tachos continuos.
- La pureza que entra al momento de los tacho es menor a la que sale al momento de descargar en los diferentes tachos continuos.
- Lo que existe una pequeña variación en la caída de pureza en el tacho fletcher continuo al momento de la descarga en las centrifugas. Los tachos continuos operan bajo nivel de masa tubular, el volumen de pie no depende de la S/V, su automatización es completa.
- Al optimizar los tiempos de retención su función son los verticales, hacen que se reproduzca el grano, en un lapso de tiempo de 16 hrs.

9. Recomendaciones

- Tener en cuenta que los cristales depende del crecimiento del magma que se forma en el área de masa de segunda.
- Automatización en el área de tachos de masa de segunda.
- Analizar las diferentes purezas en el área de tachos en el momento que entra y cuando cae al receptor o verticales.

10. Referencias bibliográficas

1. Arca, Manuel P. y Raúl Esparza. “Clarificación de jugo” *Haciendo azúcar* vol. 4, Miami Florida USA Arca Corporation 1983. 119pp. en España 1967.
2. Chen, James C. *Manual del azúcar de caña*. 11^a edición, México: Editorial Limusa, S.A. de C.V. 1991.
3. ESPARZA, Raúl. *Haciendo azúcar, cristalización del azúcar*. Volumen 4
4. Hugot, Emilie. *Manual para Ingenieros Azucareros*. Traducido por Carlos Ruiz Coutiño, Compañía Editorial Continental. México 1982
5. REIN, Peter. *Cane Sugar Engineering*. Berlin: Bartens, 2007. 768 p. ISBN 978387041108
6. Spencer, Meade. *Manual de la Caña de Azúcar*. 9^a. Edición, Montaner y Simón, S.A. Impreso
7. (MANUAL DE OPERACIÓN DE TACHO CONTINUO, [Fecha De consulta: 02 de septiembre del 2015]< <http://es.slideshare.net>>

11. Apéndices

Apéndice 1. Pureza de la masa de segunda en los dos tipos de tachos continuos

Cristal/Crudo

Día	Pza masa segunda crudo zafra 2014-2015	Pza masa segunda cristal 2014- 2015
1	71.93	74.27
2	69.46	77.01
3	73.62	69.94
4	67.68	74.39
5	69.86	73.61
6	68.05	77.66
7	74.08	72.7
8	70.29	72.78
9	70.29	72.78
10	72.64	74.73
11	68.96	76.51
12	68.65	74.12
13	69.96	86.76
14	69.74	72.43
15	69.95	72.87
16	64.57	71.4
17	64.59	72.64

Día	Pza masa segunda crudo zafra 2014-2015	Pza masa segunda cristal 2014- 2015
18	84.44	74.05
19	72.67	75.74
20	67.64	74.18
21	72.54	74.74
22	67.5	74.99
23	71.64	76.41
24	69.96	74.21
25	70.85	74.06
26	72.22	74.09
27	72.5	73.49
28	69.06	74.54
29	72.95	75.24
30	70.98	74.89
31	70.29	72.32
32	67.96	75.55
33	73.64	76.4
34	72.78	75.52
35	70.29	77.79
36	67.96	76.71
37	73.64	75.69
38	72.78	75.11

Día	Pza masa segunda crudo zafra 2014-2015	Pza masa segunda cristal 2014- 2015
39	68.52	76.36
40	72.64	75.88
41	69.85	74.73
42	73.3	75.41
43	73.97	73.12
44	68.9	75.57
45	71.99	75.57
46	71.89	73.73
47	70.44	74.12
48	70.91	74.31
49	68.67	74.31
50	68.07	73.63
51	69.78	73.53
media	70.29	74.39
Desviación Estándar	2.98	2.31