



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL AUMENTO EN PRODUCCIÓN DE AZÚCAR REFINO,
APLICANDO METODOLOGÍA DE SEMILLAMIENTO EN UN TACHO TIPO *BATCH***

Luis José González Piedrasanta

Asesorado por el MA. Ing. Héctor Francisco Galeros Juárez

Guatemala, febrero de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL AUMENTO EN PRODUCCIÓN DE AZÚCAR REFINO,
APLICANDO METODOLOGÍA DE SEMILLAMIENTO EN UN TACHO TIPO *BATCH***

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS JOSÉ GONZÁLEZ PIEDRASANTA
ASESORADO POR EL MA. ING. HÉCTOR FRANCISCO GALEROS JUÁREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos.
EXAMINADOR	Ing. José Aníbal Silva de los Ángeles.
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández.
EXAMINADORA	Inga. María Magdalena Puente Romero.
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL AUMENTO EN PRODUCCIÓN DE AZÚCAR REFINO,
APLICANDO METODOLOGÍA DE SEMILLAMIENTO EN UN TACHO TIPO *BATCH***

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudio de Posgrado, con fecha 16 de noviembre de 2012.

Luis José González Piedrasanta

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142

AGS-MGIPP-0011-2013

Guatemala, 22 de enero de 2013.

Director:
Guillermo Puente
Escuela de Ingeniería Electrónica
Presente.

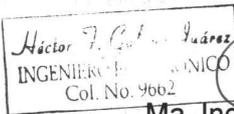
Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Luis José González Piedrasanta** con carné número **2004-13480**, quien opto la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

"Id y enseñad a todos"



Ma. Ing. Héctor Francisco Galeros J.
Asesor (a)

Msc. Ing. César Augusto Akú Castillo
Coordinador de Área
Gestión y Servicios

César Akú Castillo MSc.
INGENIERO INDUSTRIAL
COL. No. 4,073

Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado

Cc: archivo
/la



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 41.2013.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación en la modalidad Estudios de Postgrado Titulado: DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL AUMENTO EN PRODUCCIÓN DE AZÚCAR REFINO, APLICANDO METODOLOGÍA DE SEMILLAMIENTO EN UN TACHO TIPO BATCH, presentado por el estudiante universitario LUIS JOSÉ GONZÁLEZ PIEDRASANTA, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica



Guatemala, 8 de febrero 2013.

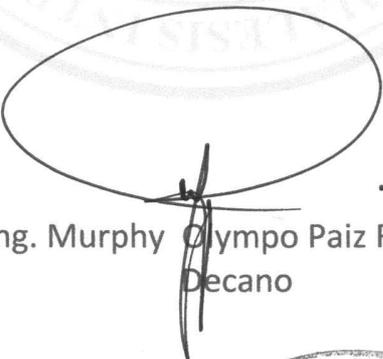
/sro



DTG. 069 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL AUMENTO EN PRODUCCIÓN DE AZÚCAR REFINO, APLICANDO METODOLOGÍA DE SEMILLAMIENTO EN UN TACHO TIPO BATCH**, presentado por el estudiante universitario: **Luis José González Piedrasanta**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 29 de enero de 2013

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser la luz que me acompaña en mi caminar diario y darme la sabiduría para ver concluida y una de las muchas metas trazadas.
Mis padres	José Antonio Piedrasanta Alonso y Dominga Castañeda Posadas, por ser mis ángeles guardianes que me enseñaron a ser fuerte delante cualquier problema.
Mi madre	Blanca Emperatriz Piedrasanta Castañeda, por demostrarme la valentía y la forma de como se puede salir adelante con la ayuda de Dios.
Mis hermanos	José Carlos y Jaime Aurelio. Por ser la inspiración que me ayudo a salir adelante.
Mis tíos	Por ser parte importante en mi vida, en especial Gloria Judith y Lidia Piedrasanta, María Antonieta González.
Mis sobrinas	Sharon y Marjorie González. Por ser mis pedacitos de amor.
Mis primos y familia	Por su comprensión y compañía en los momentos difíciles.

Mis amigos

Por entender y ayudarme en el logro de esta meta, en especial Héctor Galeros.

Público en general

Por permitirme conocerlos y aprender las distintas formas de vivir.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por prestarme la vida, la sabiduría y la compañía en los momentos solitarios de mi vida.
Mis padres	José Antonio Piedrasanta Alonso y Dominga Castañeda Posadas. Por aguantarme todos estos años.
Mi madre	Blanca Emperatriz Piedrasanta Castañeda. Por ser mi ejemplo a seguir y la luchadora valiente que se atrevió a tenerme.
Mis hermanos	José Carlos y Jaime Aurelio. Por entenderme y soportarme.
Mi familia	Por estar presente en mi vida.
Mis amigos	Por la ayuda que me brindaron.
Personas en general	Por enseñarme la diferencia en nuestra forma de vida y conocer las distintas maneras de solucionar tus problemas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. OBJETIVOS	7
4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	9
5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	11
6. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	13
7. HIPÓTESIS.....	41
8. CONTENIDO QUE TENDRÁ EL INFORME.....	43
9. MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	47
10. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	53

11.	RECURSOS NECESARIOS	55
12.	BIBLIOGRAFÍA	57
13.	APÉNDICE.....	61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Molienda de caña de azúcar en comparación con la producción de azúcar.....	17
2.	Productividad.....	17
3.	Proceso de fabricación de azúcar	19
4.	Proceso de refinado de azúcar.....	20
5.	Tacho <i>batch</i>	24
6.	Crecimiento de cristal.....	25
7.	Región de operación	27
8.	Curvas de cristalización.....	35
9.	Líneas comunes de sobresaturación.....	36
10.	Variación de cristales en tamaño	37
11.	Granos conglomerados	38
12.	Curva de coeficiente de saturación vrs. cantidad de no azucares.....	40
13.	Plan de acción.....	49

TABLAS

I.	Características técnicas del azúcar.....	14
II.	Posicionamiento del Azúcar de Guatemala en Centroamérica ..	16
III.	Productividad de caña de azúcar	16
IV.	Características de la sacarosa	21

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm³	Centímetro cúbico
SO₂	Dióxido de azufre
US\$	Dólares estadounidenses
Bx	Grados brix
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
K	Grados Kelvin
g	Gramos
ha	Hectárea
Kcal	Kilocalorías
Kg	Kilogramo
lb	Libras

m³	Metro cúbico
ml	Mililitros
vrs	Versus
ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
TM	Toneladas métricas
mol	Unidad de cantidad de sustancia
atm	Unidad de presión atmosférica
UI	Unidad Icumsa (unidad para medición de color)

GLOSARIO

Azúcar refino	Azúcar de mayor calidad, con colores más blancos, sedimentos bajos y un cristal de calidad.
Batch	Se refiere a que es una descarga discontinua.
Concentración	Proceso en el cual crece la densidad del licor.
Conglomerado	Se refiere a la acumulación de cristales de en un cristal de azúcar.
Cristalización	Proceso a través del vapor el jugo de caña de azúcar se convierte en una red de cristales.
Granulometría	Medición de tamaño de cristal, desviación estándar y cantidad de granos finos en una muestra de azúcar.
Licor	Azúcar diluida en agua.
Meta estable	Zona en la cual mantiene el equilibrio de cristales creados.
Moscabado	Es la azúcar de menor calidad que sirve de materia prima para la creación de azúcar refino.
Nucleación	Cambio de estado de líquido a cristal.

PIB	Producto interno bruto.
<i>Ranking</i>	Rango en el que se encuentra posicionado un país.
Sedimentos	Cantidad de partículas extrañas dentro de la azúcar.
Semilla	Azúcar pulverizada a cierto tamaño diluida en alcohol en cierto porcentaje.
Semillamiento	Acto de aplicar la semilla en un punto indicado.
Sobresaturación	Cálculo basado en la temperatura en relación con el contenido de gramos de sacarosa por gramos de agua del jugo de caña de azúcar que define la región para crear cristales de azúcar.
Tacho	Aparato encargado de convertir mieles puras en cristales.
Templa	El resultado final que se obtiene de un tacho, miel y cristales de azúcar.

RESUMEN

El proceso de creación de azúcar refino se diluye azúcar de menor calidad, luego se clarifica, pasa por un proceso de filtrado, hasta llegar a tachos donde se convierte la azúcar diluida (conocida como licor) en cristales, por último esta masa pasa por centrifugas que se encargan de separar los cristales de la miel, luego por un proceso de secado y enfriado hasta obtener una azúcar de mayor calidad con cristales mejor formados, sedimentos bajos y colores bajos.

Uno de los mayores problemas se encuentra en la cristalización, donde influyen varias variables para el proceso de creación de granos, entre las que se puede mencionar las características del material que se está recibiendo, como su densidad, el color y los sedimentos, estos a su vez en la etapa de tachos es cocido al vacío hasta llegar a un punto de sobresaturación en el cual se crean granos, por diferentes técnicas de semillamiento luego de este punto el tacho se llena manteniendo la temperatura y el vacío adecuado para ir creciendo los granos con el material adecuado para mantener una estructura y un color adecuado, aprovechando la miel obtenida en centrifugas.

En esta investigación se estudiará solo el proceso de semillado para obtener un grano bien estructurado y el punto adecuado para realizarlo, ya que se ha observado que no hay un método exacto que diga en qué momento realizarlo, en Guatemala la mayoría de las veces depende de la experiencia del operador, el decide empíricamente cual es el punto idóneo, en lo cual influye mucho el factor humano, por lo que infiere en una reducción de producción de cristales y un aumento de mieles, lo cual genera una reducción en la eficiencia

de la producción de cristales. Por lo cual se desarrollara un método teórico - empírico para aumentar la producción de cristales y con esto aumentar la producción de azúcar.

Además se desarrollaran técnicas de imágenes para medir la granulometría del azúcar y con ello ver la cantidad de cristales producidos, reduciendo un menor tiempo en la toma de la muestra y con esto actuar en un tiempo más corto para corregir los errores de producir cristales irregulares, comparado con la técnica actual utilizada.

Luego se analizará un método estadístico para poder medir la producción y comprobar el aumento en esta, siempre manteniendo un punto estable de control en el semillamiento, para lograr ver cuál es el punto óptimo para realizarlo.

Por último se realizará la filosofía final de semillamiento, para que se aplique en cualquier momento con las mismas condiciones recomendadas y a esto se le aplicara la calidad para mejorar el proceso y así demostrar el aumento en la productividad del azúcar refinado.

1. INTRODUCCIÓN

Guatemala cuenta con una industria de producción azucarera, que se ha convertido en una de las más importantes para el país, se pretende en esta investigación tratar el tema de cristalización, para mejora del tipo de cristal en la azúcar y así poder aumentar la producción de cristales.

Teniendo como planteamiento en el problema, el proceso de semillamiento, actualmente se realiza de manera empírica. Proponiendo una solución teórica - práctica en la metodología de semillamiento.

En ésta proponen como objetivo general aumentar la producción, con base a la creación de más cristales, a través de semillar en el momento idóneo, para lo que se pretende alcanzar como objetivos específicos:

- Definir el método
- Medir los cristales creados, a través de la granulometría.
- Medir la producción de azúcar, por medio de las descargas de tachos, consumo de agua y descargas de centrifugas.

Delimitando el tema en la región suroccidente, municipio de la Democracia, departamento Escuintla.

Formulando la hipótesis que semillar en el punto indicado aumenta la producción de cristales en un tacho tipo *batch*.

Para desarrollar la presente investigación se propone el siguiente marco teórico:

En el capítulo uno: descripción de conceptos. Explica cada uno de los conceptos y definiciones importantes en la investigación.

En el capítulo dos: funcionamiento de un tacho tipo *batch*. Desarrolla el concepto de trabajo de un tacho tipo *batch* y con ello el sistema de control automatizado de este.

En el capítulo tres: procesos de cristalización de azúcar. Estudia los diferentes procesos y pasos para cristalizar masa en los tachos.

En el capítulo cuatro: granulometría en la azúcar refina. Detalla los dos métodos para medir el tamaño del grano, coeficiente de variación y granos finos de la azúcar, para que se utilice el adecuado, reconociendo las ventajas comparativas entre ambos métodos.

En el capítulo cinco: definición de método teórico-práctico de semillamiento. Describe los métodos teóricos y prácticos, llegando a crear una filosofía de trabajo entre la fusión de estos.

En capítulo seis: resultados de producción de azúcar refino. Se muestran y analizan todos los resultados de la aplicación de la presente investigación.

En el capítulo siete: aplicación de calidad a metodología de semillamiento. Se aplican algunos temas de calidad a la metodología creada.

2. ANTECEDENTES

Aparicio y Cano (1999), refieren que para obtener cristales homogéneos en los tachos, hay que verificar que la población de cristales sembrados sea la correcta, verificar la cantidad de tipos de granos, formados después de la siembra; por último verificar la presencia de maclas durante el cocido.

Durante la siembra se pueden reproducir cristales falsos y parásitos, por eso existen procesos de lavado de masas, lo que influye en un mayor consumo de agua, pérdidas energéticas y cristales pequeños.

Chen (2000), explica que en el proceso de nucleación hay que tomar en cuenta valores de temperatura y la determinación de puntos críticos, en el semillamiento cuando éste se encuentre en la zona meta estable. Después de que se haya obtenido el grano se debe mantener la masa cocida dentro de dicha zona, hasta el final de la templa. Para lograr semillar en el punto idóneo hay que medir temperatura y densidad (brix) en el momento apropiado.

La medición de temperatura y densidad en un tacho es primordial, ya que sin estas no se lograría saturar y cristalizar el licor en un tacho.

Rozsa (2007), en el manual del instrumento Seedmaster 2, de refractómetros, refiere que existen 2 métodos de semillamiento. Por choque: se produce un choque térmico dentro del tacho, desencadenando una cadena de series para la creación de cristales. Por semilla o evaporación: se coloca cierta clase de semilla, diluida con alcohol para la reproducción en el punto exacto de sobresaturación.

En este estudio se va a utilizar el método de semilla, utilizando como medición el refractómetro para calcular el punto de sobresaturación idóneo, que actualmente es el más utilizado debido a la simpleza y riesgo.

Langhans (2009), en el Manual Nahmat control de cristalización, sobre el sistema de control en tachos, define que con el avance de la tecnología y la instrumentación se han empleado métodos para el cálculo de la sobresaturación, en el que se ha demostrado que el proceso de semillar depende de la solubilidad de gramos de sacarosa, por gramos de agua o medida de brix versus la temperatura. Para obtener un área meta estable en la formación de cristales, debería estar entre 1,0 a 1,2. Entre 1,2 a 1,3 aparecen cristales en un área intermedia. Por debajo de 1,0 los cristales son disueltos en un área de baja saturación y por arriba de 1,3 nuevos cristales emergen en un área inestable. Lo que conlleva a hallar el área meta estable para lograr el semillamiento idóneo.

Actualmente no se cuenta con este cálculo y el semillamiento se realiza solo en base a la densidad de licor.

Cifuentes (2011), en la exposición de un seminario sobre: producción de azúcar de ingenios azucareros en Guatemala, detalla que el método de modelado es el más sencillo para medir la sobresaturación en línea. Y que el molino horizontal de bolas es el apropiado, para producir una semilla adecuada, en la nucleación correcta del tacho. Entonces para semillar se debe crear una semilla adecuada y encontrar el método que se adecue al cálculo de sobresaturación.

Es muy importante tener en cuenta el tipo y calidad de semilla, ya que esto puede ocasionar la aparición de cristales no deseados. Esta se realiza con un molino de bolas horizontal. Y la sobresaturación se obtiene con base a la medición de gramos de sacarosa contra temperatura.

3. OBJETIVOS

General

Aumentar la producción de azúcar refino, con base a la aplicación de una metodología de semillamiento adecuada.

Específicos

1. Definir el método en el cálculo de sobresaturación de cristales.
2. Obtener una mayor productividad en la creación de cristales, a través de mediciones en la granulometría de azúcar refino.
3. Establecer el punto para sembrar, en el cual se optimiza la producción de azúcar refino.
4. Cuantificar la producción de azúcar refino a través de indicadores de productividad.

4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación es importante, porque los semillamientos en tachos de refinería de azúcar de Guatemala, dependen mucho de la experiencia del operador, generando errores humanos y a la vez pérdidas, dichos errores provocan no establecer un punto homogéneo idóneo en la cristalización, ya que ellos son los encargados de encontrar el punto de semillamiento en base a la práctica que tienen con la densidad del licor, calculándola de manera empírica.

Es necesario obtener un método más sistematizado en los semillamientos, encontrando el punto de sobresaturación apropiado, para lograr un semillamiento adecuado, en el que no se reproduzcan cristales falsos o parásitos que afecten en el rendimiento, optimización de la materia prima y material reprocesado. Esto se logra implementando un control automatizado con los instrumentos indicados, realizando los cálculos necesarios e implementaciones de nuevas ideas, a partir de experiencias adquiridas, para calcular en cualquier momento el punto ideal de la cristalización, en la mejora del rendimiento en producción de azúcar refino.

El interés de realizar la presente investigación es para tener una proyección en el semillamiento de un tacho, esperando lograr un bajo consumo de agua, en la etapa de la nucleación del tacho, consumo bajo de materia prima, aprovechar material reprocesado, disminución en los tiempos de cada templa en los tachos; lo que se vería reflejado en un aumento de producción de azúcar refino.

Además que el proceso de semillamiento sea totalmente automático, con ello el operador no tendría el control de este, y así evitar posibles quemaduras provocadas por el número de muestras que sacan en cada tacho.

El beneficio de semillar en el punto exacto, se proyecta en un ahorro de energía calorífica, en bajo consumo de agua y de vapor, manifestándose directamente en la producción. Es muy importante este estudio en el país, ya que uno de sus principales productos de exportaciones la azúcar. Los beneficiarios serán los ingenios azucareros de Guatemala produciendo un cristal de mayor calidad en la azúcar del país y aumentando la producción de la misma.

5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En el proceso de semillado, la mayoría de las veces depende de la experiencia del operador, él decide empíricamente cual es el punto idóneo, por lo que infiere en una reducción de producción de cristales y un aumento de mieles, generando una reducción en la eficiencia de la producción de azúcar refino.

Se plantea el estudio de un método teórico-práctico, que permita aumentar la producción de azúcar refino. Porque se ha observado, que no existe ninguna metodología que indique en que punto de contenido de sacarosa realizar el semillamiento.

Formulando las siguientes interrogantes:

¿Qué método se utilizará para calcular la sobresaturación de cristales en el tacho?

¿Cuál es el punto óptimo de semillamiento para el aumento de la producción de cristales en la refinería de azúcar?

¿Cómo medir la granulometría para observar el tipo de grano creado, para obtener la mayor productividad de este?

¿En qué ayuda a la producción de azúcar refino la obtención de un punto exacto en el proceso de semillado?

¿Cómo cuantificar la producción de azúcar refinado, en base a índices de productividad?

Delimitando el problema al proceso de creación de azúcar refinado en la región suroccidente en el municipio de la Democracia, del departamento Escuintla, de fecha 21 de enero de 2013 al 17 de agosto de 2013.

Los alcances de esta investigación se encuentran enfocados específicamente a nivel nacional en las diferentes áreas:

- Ingenios azucareros, con producción de azúcar refinado.
- Laboratorios de azúcar.
- La Escuela de Estudio de Posgrado en la Maestría de Gestión Industrial de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Ingenieros industriales, electrónicos y personas especializadas en automatización.

Y teniendo como límite solo el estudio de azúcar refinado.

6. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

EL CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DE CONCEPTOS

Producción: tarea de transformar los materiales brutos de la naturaleza, en productos utilizables para cubrir las necesidades de los individuos (Estela, 2007).

Eficiencia: es la razón entre la producción real obtenida y la producción estándar esperada (Estela, 2007).

Efectividad: es el grado en el que se logran los objetivos. La forma en que se obtienen un conjunto de resultados que refleja la efectividad, mientras que la forma en que se utilizan los recursos para lograrlos se refiere a la eficiencia (Estela, 2007).

La productividad es una combinación de ambas, ya que la efectividad está relacionada con el desempeño y la eficiencia con la utilización de recursos (Estela, 2007).

$$Productividad = \frac{Efectividad}{Eficiencia}(1)$$

Calidad: conformidad con las especificaciones recibidas. Corresponde a un número menor de desechos y reprocesos, con lo que el coste del proceso productivo y del producto, se reducirá. Esto puede significar un mayor margen comercial o un menor precio de venta, con el consiguiente aumento de la competitividad en el mercado (Estela, 2007).

De ahí la importancia de aplicar control de calidad, como un método para asegurar el ajuste a las especificaciones de los productos y dispositivos. Pero no se puede obviar al cliente, como razón primordial de nuestro proceso, por ello Juran describe calidad como:

“Calidad es el conjunto de características de un producto que satisfacen las necesidades de los clientes y, en consecuencia, hacen satisfactorio al producto” (Estela, 2007).

Producción de azúcar en Guatemala: el azúcar ha mostrado una creciente demanda, la cual ha llevado a extender las plantaciones considerablemente. Como efectos positivos se ha generado oportunidad de empleo y mercado entre otros.

Tabla I. **Características técnicas del azúcar**

Características técnicas

Especificación		TIPO DE AZÚCARES		
		Estándar	Superior	Refino
Fisioquímicos	Apariencia	crisales blancos sin materia extraña	crisales blancos sin materia extraña	crisales blancos sin materia extraña
	Pureza	Min. 99.5%	Min. 99.6%	Min. 99.9%
	Color	Máx. 300 UI	Máx. 200 UI	Máx. 40 UI
	Humedad	Máx. 0.06%	Máx. 0.06%	Máx. 0.04%
	Vitamina A*	15 +/- 5 ppm	15 +/- 5 ppm	15 +/- 5 ppm
Nutrientes	Carbohidratos	99.90%	99.90%	99.90%
	Energía	400 Kcal/100 g	400 Kcal/100 g	400 Kcal/100 g

* De acuerdo a requerimiento del cliente.

Fuente: [Imagen Características Técnicas]. Recuperado de <http://iasmag.imsa.com.gt/inow/web/guest/azucar>. Consulta: 10 de septiembre de 2012.

El sector azucarero en números representa el 23,82 % del valor total de la producción agrícola guatemalteca y 13,65 % de las exportaciones totales del país, siendo el segundo sector económico que más divisas genera (Asazgua, 2008).

Durante el 2008, el azúcar y la melaza produjeron un ingreso de US\$ 406,7 millones, representando alrededor del 3 % del PIB nacional (Asazgua, 2008).

Guatemala en el *ranking* de producción y exportación de azúcar. En América Latina y El Caribe, Guatemala se encuentra como:

- Segundo exportador
- Cuarto productor

A nivel mundial:

- Guatemala es el quinto exportador
- Segundo en productividad por hectárea cultivada (Asazgua, 2008).

Tabla II. **Posicionamiento del azúcar de Guatemala en Centroamérica**

Posicionamiento de Guatemala en Centroamérica
Zafra 2007-2008
(En toneladas métricas)

País	Ingenios Operando	Producción	
		TM	%
Panamá	4	148,783	3.65 %
Costa Rica	16	361,972	8.89 %
Nicaragua	4	495,207	12.16 %
Honduras	7	385,554	9.47 %
El Salvador	9	561,141	13.78%
Guatemala	14	2,119,357	52.05 %
Totales	54	4,072,014	100 %

Fuente: [Imagen Posicionamiento de Guatemala en Centroamérica Zafra 2007-2008].
Recuperado de <http://iasmag.imsa.com.gt/inow/web/guest/azucardeguatemala2>. Consulta: 10 de septiembre de 2012.

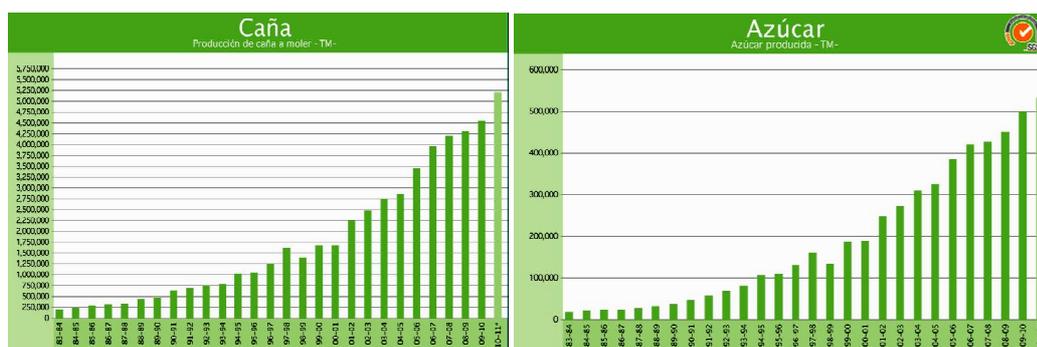
Tabla III. **Productividad de caña de azúcar**

b. Características de Caña en pie

Características	Variable
Descripción	Caña de azúcar cultivada en suelos de la costa sur de Guatemala, manejo agronómico que garantiza la productividad desde la siembra hasta un período antes del corte.
Presentación	Debido a los diferentes tipos de suelo y altitudes del área su producción varía en un rango promedio de 90 a 99 TM/ha.
Rendimiento	De acuerdo al contenido de sacarosa en el tallo puede alcanzar un rango de 150 a 170 Kg. por tonelada métrica.
Productividad	La relación entre producción y rendimiento es de 13,500 a 16,830 kg.

Fuente: [Imagen Características de caña en pie]. Recuperado de <http://iasmag.imsa.com.gt/inow/web/guest/cana>. Consulta: 10 de septiembre de 2012.

Figura 1. Molienda de caña de azúcar en comparación con producción de azúcar



Fuente: [Imágenes Caña y Azúcar]. Recuperado de <http://iasmag.imsa.com.gt/inow/web/guest/indicadores>. Consulta: 10 de septiembre de 2012.

Productividad: la productividad se define como la cantidad de producción de una unidad de producto o servicio por insumo de cada factor utilizado por unidad de tiempo (Moro, 2008). Mide la eficiencia de producción por factor utilizado (Moro, 2008).

Figura 2. Productividad



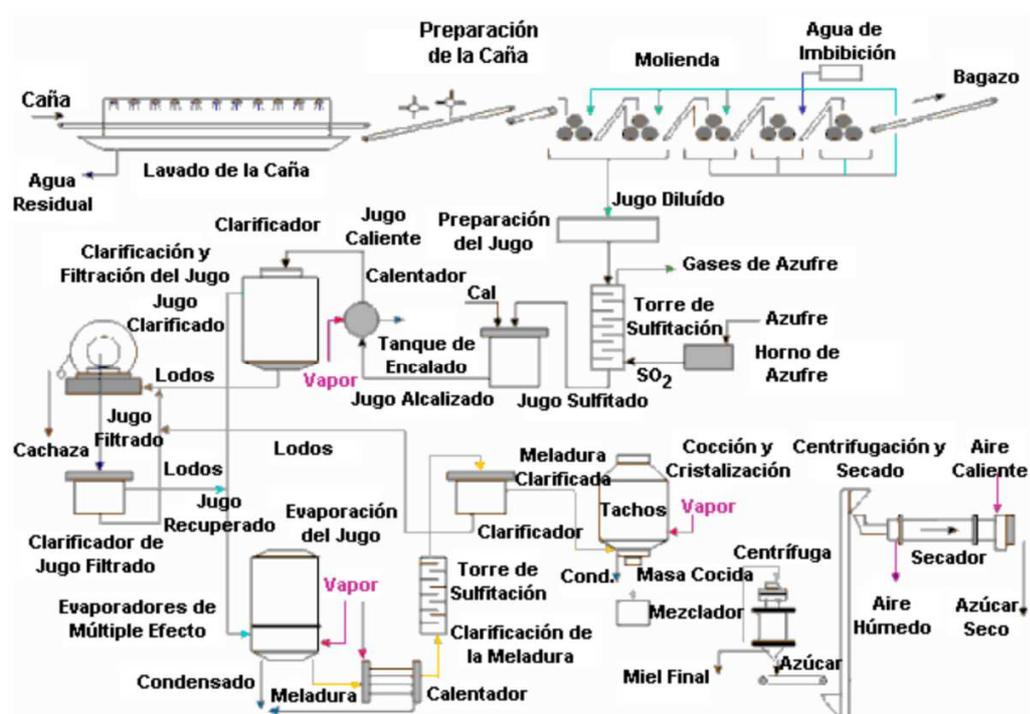
Fuente: Alvarez, M. (2008) Conceptos de Economía [Imagen]. Recuperado de <http://www.elblogsalmon.com/conceptos-de-economia/que-es-la-productividad>. Consulta: 10 de septiembre de 2012.

La productividad se determina y se impactado por muchos factores, incluyendo los siguientes:

- La calidad y disponibilidad de los recursos naturales, que impacta la producción de productos y servicios que necesita de estos recursos.
- La estructura de la industria y los cambios de los sectores, incluyendo si permite entradas de nuevos competidores o no, ampliando la competitividad e incentivando la mejora de la forma de trabajar.
- El nivel de capital total y su incremento, que impacta su nivel y su coste y que facilita o no el nivel de inversión futuro.
- El ritmo de progreso tecnológico, más y mejor tecnología mejora el nivel y la calidad de tecnología utilizada en la producción.
- La calidad de los recursos humanos (la educación), que impacta los resultados de la aportación humana.
- El entorno macroeconómico, que puede facilitar o entorpecer la participación en la economía de los distintos actores, que son los empresarios y los trabajadores.
- El entorno microeconómico, que puede facilitar o entorpecer la forma de trabajar diaria los distintos actores, por ejemplo, que el gobierno imponga muchas regulaciones al funcionamiento de la economía impacta la productividad negativamente (Moro, 2008).

Proceso de fabricación de azúcar: el proceso de creación de azúcar, se basa desde la siembra de caña de azúcar, corte, transporte, después se desarrolla el proceso industrial, en el que la caña pasa por molinos para la extracción del jugo, éste se traslada a los calentadores, para su clarificación, en la cual se quitan residuos mejorando la calidad del jugo, se conduce por evapores, en estos se extrae el agua del jugo para concentrarlo, a esto se le llama meladura, a la meladura se lleva a tachos, la que se cose al vacío y se crean los cristales de azúcar, a la masa donde hay cristales y mieles pasa por centrifugas, para la separación de los cristales, después de la centrifugación viene el secado y enfriado de la azúcar, para su posterior envasado.

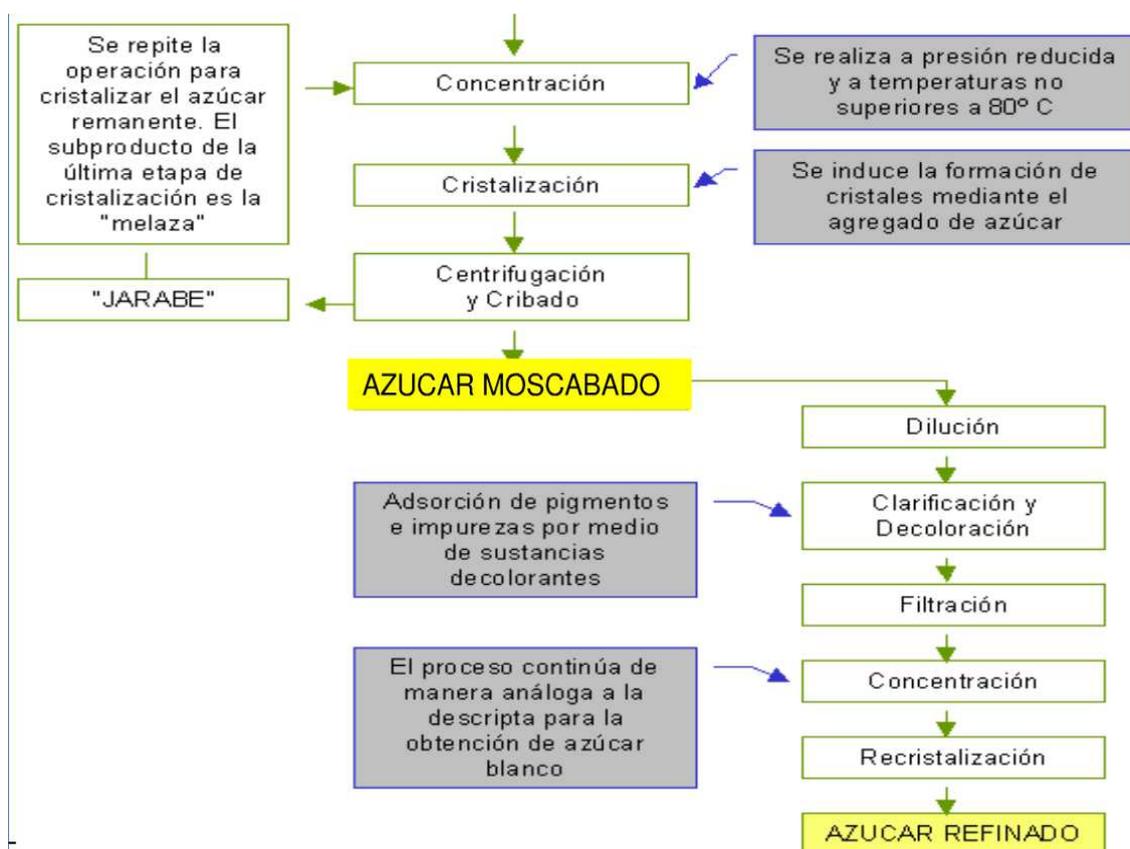
Figura 3. **Proceso de fabricación de azúcar**



Fuente: [ETAPAS Y EQUIPOS DEL PROCESO]. Recuperado de http://www.tecnologiaslimpias.org/html/central/311801/311801_ee.htm. Consulta: 10 de septiembre de 2012.

Proceso de refinado de azúcar: en el proceso de creación de azúcar refino se diluye azúcar de menor calidad, luego se clarifica, pasa por un proceso de filtrado, hasta llegar a tachos donde se convierte la azúcar diluida (conocida como licor) en cristales; por último esta masa pasa por centrifugas, las que se encargan de separar los cristales de la miel, luego por un proceso de secado y enfriado, hasta obtener una azúcar de mayor calidad con cristales mejor formados, sedimentos y colores bajos.

Figura 4. **Proceso de refinado de azúcar**

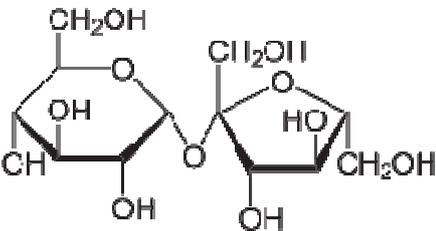


Fuente: [Imagen 1]. Recuperado de

<http://www.revistavirtualpro.com/revista/index.php?ed=2010-11-01&pag=6>. Consulta: 10 de septiembre de 2012.

Sacarosa: “La sacarosa o azúcar común es un disacárido formado por alfa-glucopiranososa y beta-fructofuranosa” (Sánchez y Bárcena, 2007). La sacarosa es la cantidad de azúcares cristalizables en el licor y jugo de caña de azúcar.

Tabla IV. **Características de la sacarosa**

Sacarosa	
	
Nombre (IUPAC) sistemático	
n/d	
General	
<u>Fórmula semidesarrollada</u>	β -D-fructofuranosil-(2 \leftrightarrow 1)- α -D-glucopiranosido
<u>Fórmula molecular</u>	$C_{12}H_{22}O_{11}$
Identificadores	
<u>Número CAS</u>	57-50-1
Propiedades físicas	
<u>Estado de agregación</u>	sólido
<u>Apariencia</u>	cristales blancos
<u>Densidad</u>	1587 kg/m ³ ; 1.587 g/cm ³
<u>Masa molar</u>	342,29648 g/mol <u>g/mol</u>
<u>Punto de fusión</u>	459 K (185,85 °C)
<u>Punto de descomposición</u>	459 K (°C)
Propiedades químicas	
<u>Acidez (pK_a)</u>	12,62
<u>Solubilidad en agua</u>	203,9 g/100 ml (293K)
Valores en el <u>SI</u> y en condiciones normales (0 °C y 1 atm), salvo que se indique lo contrario.	

Fuente: [Imagen de características de la sacarosa]. Recuperado de <http://es.wikipedia.org/wiki/Sacarosa>. Consulta: 10 de septiembre de 2012.

Brix: "Es el porcentaje en peso del contenido de sólidos solubles totales en una solución sacarosa o en el jugo extraído de la caña de azúcar (azúcares totales = sacarosa + reductores) o de la panela y se expresa en porcentaje" (Burbano, 2010).

Es una unidad de medición de densidad, que nos dice, el porcentaje de sólidos se encuentran disueltos en agua, se utiliza en todo el proceso de creación del refinado de azúcar, ya que ayuda informando la cantidad de azúcar disuelta en proceso y en tachos para realizar la cristalización.

Pureza del licor: mediante el análisis de una gran cantidad de datos sobre la solubilidad del azúcar en la melaza de azúcar beat recogidos por distintos investigadores, Wiklund y Vavrinecz desarrollaron una ecuación (función de saturación) para el cálculo de la solubilidad (o saturación) coeficiente (Rozsa, 2007).

El ingenio azucarero no cuenta con un cálculo de purezas actualmente, por lo cual se pretende obtener a partir de los coeficientes de Wiklund.

EL CAPÍTULO 2: FUNCIONAMIENTO DE UN TACHO TIPO *BATCH*

TACHO TIPO *BATCH*

Factores más importantes para lograr una correcta operación:

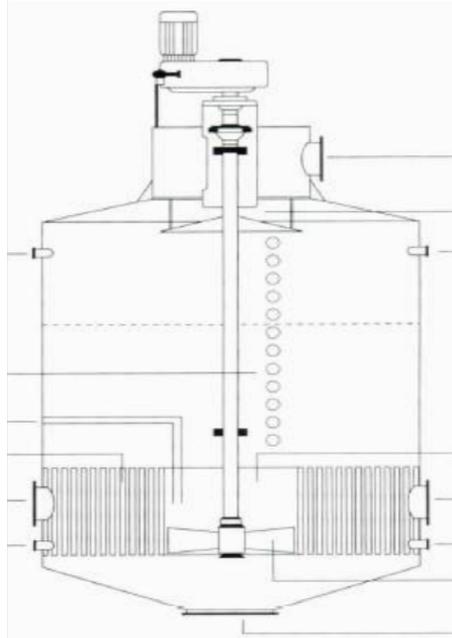
- Buena agitación
- Alta transferencia de masa y calor
- Condiciones uniformes en el licor y masa cocida (Ramiro, 2011).

Actividades que se realizaron: levantar vacío, concentrar, semillar, levantar a nivel de operación y apretar. Cristalización, dos pasos:

- Nucleación
- Crecimiento del cristal. Pasos que sirven para concentrar la solución. Fuerza motriz de la cristalización es la Sobresaturación. Rango de Sobresaturación: 1.30-1.40 (Ramiro, 2011).

Básicamente un tacho es una olla de presión, en el que se cose el licor para lograr la cristalización, solo que en lugar de utilizar presión, utiliza vacío para optimizar la temperatura en todo momento, aquí es donde se logra cambiar de líquido a sólido la azúcar, mediante el proceso de cristalización.

Figura 5. **Tacho *batch***



Fuente: Cifuentes, R. (2011). Estudio estrategia metodológica basado en sobresaturación y producción de cristales para encontrar el punto óptimo de nucleación en el área de tachos.

Principio Químico Nucleación en el tacho Nucleación

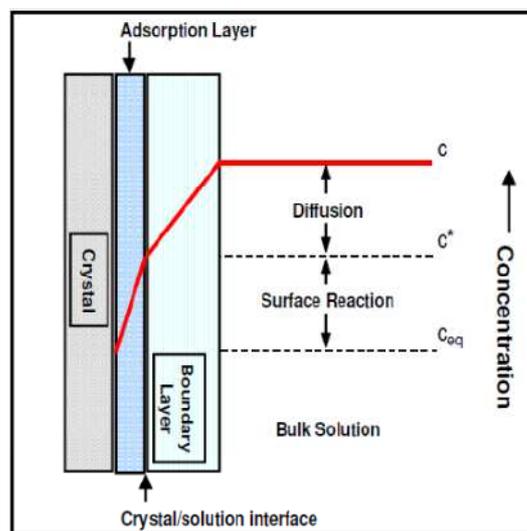
- Formación de grupos

Crecimiento Cristal:

- Temperatura,
- Superficie del cristal
- Condiciones dinámicas del fluido y
- La concentración de las impurezas (Ramiro, 2011).

El principio de nucleación se realiza con base a la densidad del licor, en el cual a cierta densidad se le aplica una semilla, la cual provoca que suceda una reacción en cadena de cristales con las condiciones adecuadas.

Figura 6. **Crecimiento de cristal**



Fuente: Cifuentes, R. (2011). Estudio estrategia metodológica basado en sobresaturación y producción de cristales para encontrar el punto óptimo de nucleación en el área de tachos.

Flujo de Programa Nahmat (descripción del proceso automático de un tacho tipo *Batch*)

General

El programa consiste en una parte de control, una parte de interlock y una parte analógica (Bernd, 2008).

Secuencia de control

La interface para el operador es un módulo que muestra las siguientes transiciones y los resultados e impactos asociados (Bernd, 2008).

Interlock: en este modo el programa mantiene la densidad actual por medio del control de la válvula de agua y manteniendo cerrada la válvula de licor o jarabe (Bernd, 2008).

Función de lazos de control: en la función de lazos de control se controla el vapor, vacío, licor y agua. (Bernd, 2008).

- Regulación de densidad y nivel

El set *point* que corresponde al valor de la sobresaturación es calculado a partir de la medición de la densidad en relación al nivel. Este valor dirige la concentración durante la fase del primer rompimiento (Bernd, 2008).

- Calentamiento con vapor

En cada paso de la operación del tacho y en el modo “mantener el estado (*Strike Hold*)” hay un setpoint de vapor diferente. La activación de estos set points es hecha por una función de rampa que permite cambios suaves entre los mismos (Bernd, 2008).

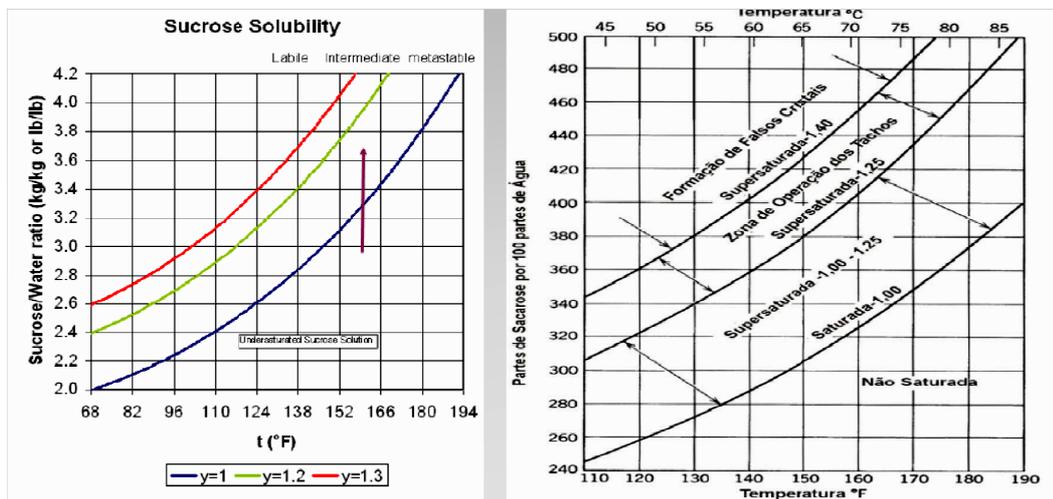
- Vacío

La regulación del vacío es llevada a cabo por set *points* ajustables. Al inicio, el vacío se alcanza lentamente por medio de la válvula. Cuando se

alcanza un límite determinado, la válvula de control de vacío entra en operación (Bernd, 2008).

Nahmat es una filosofía en la que se basa, por medio del sistema de control PCS7 de Siemens, en el control de un tacho tipo *batch*, la cual se define para el ahorro de energía y pérdidas.

Figura 7. Región de operación



Fuente: Cifuentes, R. (2011). Estudio Estrategia metodológica basado en sobresaturación y producción de cristales para encontrar el punto óptimo de nucleación en el área de tachos.

Funciones de la secuencia de control

Arranque: revisa si las válvulas del tacho están cerradas (Bernd, 2008).

El operador selecciona manualmente que tipo de semillado utilizará (Bernd, 2008).

El operador selecciona el tipo de producto (Bernd, 2008).

El operador arranca la operación. (Bernd, 2008).

El arranque empieza si hay suficiente licor en el tanque (por ejemplo 30 %) (Bernd, 2008).

Llenado: la válvula de pre vacío se abre (si el vacío preliminar no es alcanzado todavía). Cuando el pre vacío es alcanzado la válvula de control de vacío se abre y empieza a regularlo (Bernd, 2008).

Si la etapa preliminar alcanza el vacío, la válvula de pre vacío se cierra y la válvula de regulación de licor se abre en un 100 % (Bernd, 2008).

Se abre la válvula de bypass de licor (Bernd, 2008).

Los agitadores se encienden tan pronto como se alcanza el nivel predeterminado de “Empezar agitador” (Start stirrer) (Bernd, 2008).

El control de vapor es activado, tan pronto como se alcanza el nivel predeterminado de “Abrir calentamiento de vapor” (*Open Heating steam*). (Con función de rampa hasta el valor nominal) (Bernd, 2008).

Cuando se alcanza el nivel predeterminado “Calandria cubierta”, la válvula de regulación de licor y la válvula de bypass de licor se cierran (Bernd, 2008).

Concentración: el nivel del tacho es controlado por la válvula de regulación de licor o jarabe (Bernd, 2008).

Si la densidad o el valor de sobresaturación “Preparación de semilla (*Prepare seed*)” es alcanzado, será indicada en pantalla la señal de “Preparación de semilla” (*Prepare seed*) (Bernd, 2008).

El mensaje "Preparación de semilla (*Prepare seed*)" debe ser reconocido por el operador, de otra forma el tacho se cambia automáticamente a "Mantener el estado (Strike Hold)". (Bernd, 2008).

Un corto tiempo antes del punto de semillado (*set point* – delta brix), el *set point* de vapor será reducido. (Bernd, 2008).

Semillado: para cristalización con semilla, la válvula de semilla se abre con una duración predeterminada. (Bernd, 2008).

Desarrollo de grano: la válvula de control de licor se cierra; el *set point* de presión de vapor se coloca en un punto mínimo (Bernd, 2008).

El tiempo de la formación de grano ocurre durante la cristalización con semilla (Bernd, 2008).

El tiempo de mezclado de magma ocurre durante la cristalización con magma (Bernd, 2008).

Primer rompimiento: guardando los valores iniciales y de nivel y Brix como punto de arranque para la curva del primer rompimiento (Bernd, 2008).

El *set point* es calculado en base a la función de nivel/densidad, desde los valores iniciales de nivel y Brix hasta los valores finales de nivel y Brix (Bernd, 2008).

Al principio, se aplica lentamente el vapor con una función de rampa (Bernd, 2008).

Al final del primer rompimiento se alcanza el nivel máximo (Bernd, 2008)

Segundo rompimiento

Se cierra la válvula de control de licor o jarabe (Bernd, 2008).

Se coloca el *set point* de vapor para el segundo rompimiento (Bernd, 2008).

Al final del segundo rompimiento, se alcanza el valor final de Brix o el valor máximo de corriente del agitador (con una velocidad o con dos velocidades) (Bernd, 2008).

La secuencia cambia al estado de descarga, tan pronto como uno de los dos valores (Brix o corriente) alcancen el valor predeterminado (Bernd, 2008).

Descarga: se cierra la válvula de control de vacío, el agitador se apaga. El rompimiento de vacío puede llevarse a cabo en dos diferentes formas: vía vapor (válvula de soplete o de vapor) o vía aire (válvula rompe vacío). De acuerdo con la selección configurada previamente, una de las dos válvulas abrirá (Bernd, 2008).

Tan pronto como la presión se excede a un valor límite predeterminado, la válvula de descarga se abre (Bernd, 2008).

En el caso de rompimiento del vacío por medio vapor, la válvula de sopleteo de vapor trabajará con dos puntos de control, para evitar que el tacho se presurice o alcance mucho vacío (Bernd, 2008).

La válvula de descarga se cierra si el valor de nivel máximo en el receptor de masa es excedido (Bernd, 2008).

Tan pronto como el nivel está por debajo del límite “Nivel Tacho vacío” y el tiempo para “Tiempo Tacho vacío” ha sido alcanzado, la secuencia se cambia al siguiente paso (Bernd, 2008).

Sopleteo con vapor: la válvula de sopleteo de vapor se abre, la válvula de descarga está abierta e inicia el tiempo de salida de vapor. Si el tiempo transcurre y la temperatura final es alcanzada todas las válvulas se cierra y el programa regresa a la etapa de arranque (Bernd, 2008).

Las funciones de la secuencia de control en el ingenio se pueden describir en 9 pasos:

- Arranque en este el operador le da la orden al tacho de trabajar.
- Llenado el tacho empieza a llenarse con licor hasta que detecta un 40 % de su nivel.
- Concentración en la cual el tacho, calienta el licor llevándola a una densidad deseada de 78 grados brix.
- Semillado, vierte la semilla previamente preparada.
- Desarrollo de grano, realiza un tiempo de espera para que los cristales se empiecen a formar a cierta densidad, lavando la masa con agua.
- Primer rompimiento, realiza una rampa en la cual va subiendo el nivel del tacho proporcionalmente conjunto su densidad, luego al 60 % de su nivel realiza el cambio de licor a jarabe.
- Segundo rompimiento, se realiza al 100 % del nivel del tacho en este se lleva la masa al nivel de densidad deseado para descargarlo alrededor de 89 grados brix.
- Descarga, si ningún tacho está descargando y el nivel del receptor de masas es adecuado, permite descargar el tacho.

- Sopleteo con vapor, se realiza una limpieza con aplicación de vapor dentro del tacho para mantenerlo limpio y dispuesto para su arranque posterior.

EL CAPÍTULO 3: PROCESO DE CRISTALIZACIÓN DE AZÚCAR

Proceso de cristalización de azúcar:

En la producción de azúcar, la cristalización es una de las operaciones fundamentales del sistema de control distribuido (SCD). Como una regla general, los cristales pueden crecer solamente en una solución sobresaturada. El coeficiente de sobresaturación de las soluciones de azúcar está definido como la relación entre el contenido de sacarosa de una solución sobresaturada y una solución saturada de alta o bajo pureza (Bernd, 2008).

El proceso de cristalización comienza desde la concentración del tacho y termina hasta el desarrollo del grano, en este se ve el proceso de creación de cristales a través de la técnica de semillamiento, en este se deben mantener las condiciones necesarias del tacho como cierta temperatura, vapor y densidad, para que no se reproduzcan cristales parásitos y falsos cristales.

Métodos de cristalización: dependiendo del método de semillado y el producto final deseado existen tres diferentes principios de cristalización:

- Cristalización normal con semilla (“semillado en choque”) con el desarrollo del grano al máximo nivel y el apriete final a la máxima densidad (Bernd, 2008).
- Cristalización normal con el uso de cristales de pie de masa hechos previamente (Bernd, 2008).
- Producción de cristales de pie de masa. Este principio de cristalización trabaja como la cristalización de semilla, aunque a diferencia de la cristalización normal, entre más cristales son producidos, el desarrollo del grano es completado a un límite predefinido en la primera fase de del

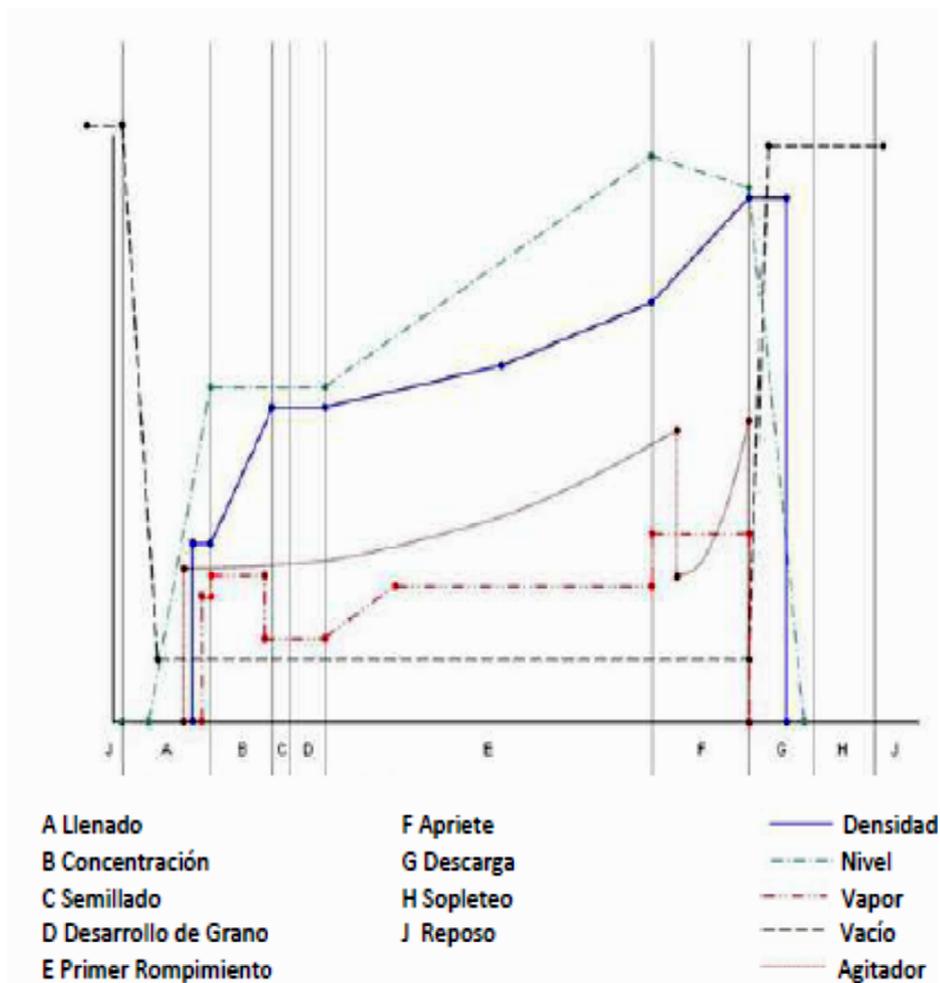
desarrollo del grano. Los cristales de pie de masa son entonces vaciados dentro de un receptor de masa o receptor de de cristales de pie de masa, para uso futuro. (Bernd, 2008).

El utilizado en esta investigación es la cristalización a través de semilla, la cual consiste en preparar una solución de azúcar disuelta por molinos de bolas con cierta cantidad de alcohol, la cual se vierte en un punto indicado y provoca una reacción en cadena de formación de cristales.

Formación de cristales: existen precondiciones antes de jalar la semilla, las condiciones de la miel dentro del tacho tienen que ser ajustadas correctamente para asegurar que los cristales de la semilla no sean disueltos inmediatamente (Bernd, 2008).

Las condiciones para formar un cristal se basa en la densidad del licor y la temperatura la cuales deben mantenerse constantes, para que permitan la creación del cristal deseado.

Figura 8. Curvas de cristalización

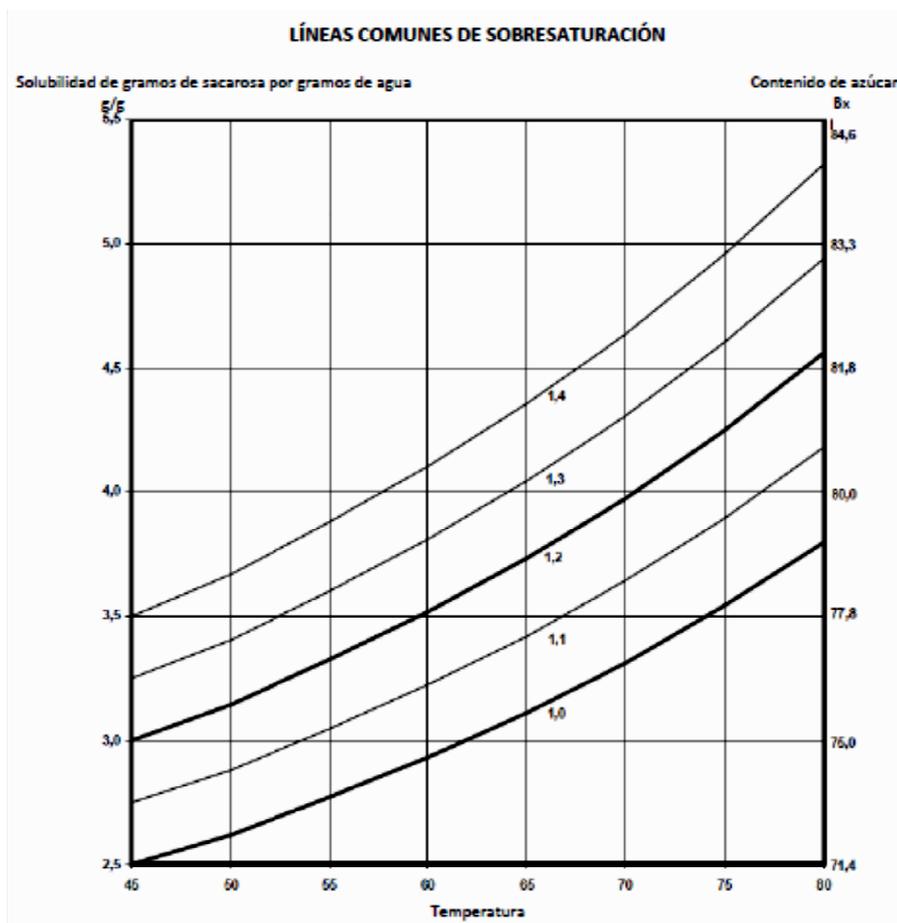


Fuente: Langhans, B. (2008). *Nahmat Control de Cristalización*.

Sobresaturación: esta es una curva de gramos de sacarosa versus temperatura, relacionan estas dos variables los cuales muestran un coeficiente que define diferentes regiones:

- Mayor a 1,3 es un área de muy alta saturación en donde se producen nuevos cristales que emergen en un área inestable (sobre 1,3) aún sin influencia externa.
- Entre 1,2 a 1,3 es un área intermedia se producen nuevos cristales.
- Entre 1,0 a 1,2 es un área meta estable donde la producción es idónea.
- Menor de 1,0 es un área de baja saturación en la que los cristales son disueltos.

Figura 9. Líneas comunes de sobresaturación.

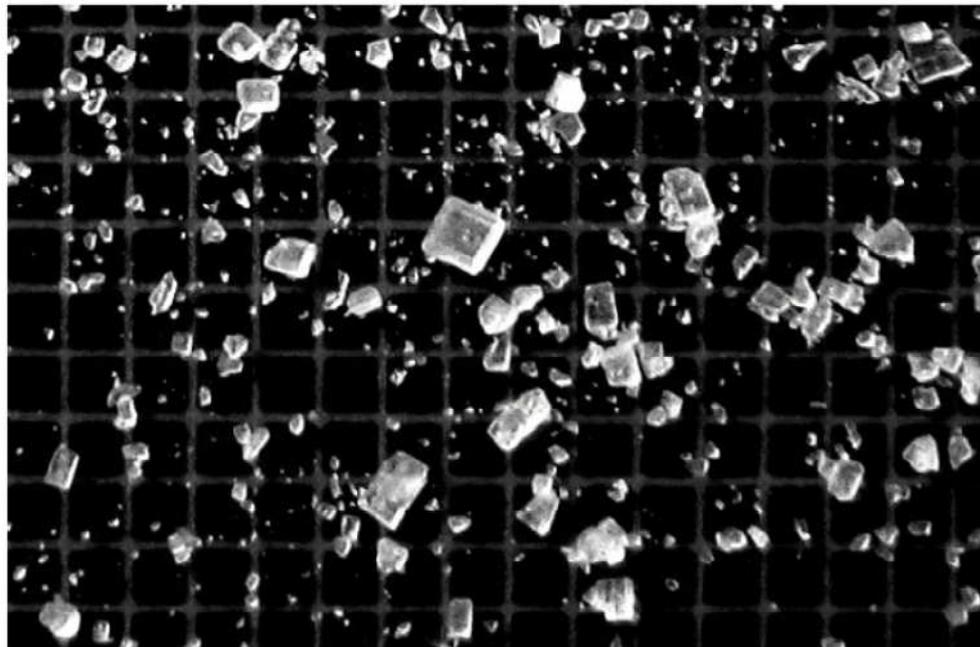


Fuente: Langhans, B. (2008). *Nahmat Control de Cristalización*.

EL CAPÍTULO 4: GRANULOMETRÍA EN AZÚCAR REFINO

El cristal (de 1 milímetro a quizás 0,05 milímetros) de distribución puede ser observada. Lo más probable es que eran muchos cristales más pequeños de tamaño, también, pero que habían escapado a través de la pantalla de la centrífuga sólo para aumentar la cantidad de azúcar cristalizado. Es evidente que los cristales más pequeños (los "Joven generación") se deben a la nucleación espontánea en las fases posteriores de la cristalización. Estos cristales, por lo tanto, no tiene tiempo suficiente para crecer a un tamaño más grande hasta el final de la cristalización (se supone que el tamaño de los cristales de siembra (los "viejos") fue bastante igual) (Rozsa, 2007).

Figura 10. **Variación de cristales en tamaño**



Fuente: Rozsa, L. (2007). *SeedMaster2 Transmisor de Cristalización y semillamiento*.

En cristales bastante desarrollados se puede observar un grano mutante que creció en el grano de diferentes tamaños a lo que se denomina conglomerados (Rozsa, 2007).

Figura 11. **Granos conglomerados**



Fuente: Rozsa, L. (2007). *SeedMaster2 Transmisor de Cristalización y semillamiento*.

En la presente investigación se busca obtener un cristal con tamaño entre 640 a 680 micrómetros, con desviación estándar de 30 y una cantidad de granos finos de 0,2%.

EL CAPÍTULO 5: DEFINICIÓN DE MÉTODO TEÓRICO - PRÁCTICO DE SEMILLAMIENTO

El coeficiente de solubilidad se define por la relación:

$$c = \frac{z'}{z} \quad (2)$$

Donde:

Z': azúcar en solución en la solución de azúcar impuro en la saturación, g/100 g de agua.

Z: azúcar en solución a la saturación en la solución de azúcar pura a la misma temperatura, g/100 g agua (Rozsa, 2007).

El coeficiente de solubilidad se puede calcular por la función de saturación como:

$$F_{sat} = m \cdot \frac{NS}{W} + b + (1 - b) \cdot EXP\left(c \cdot \frac{NS}{W}\right) \quad (3)$$

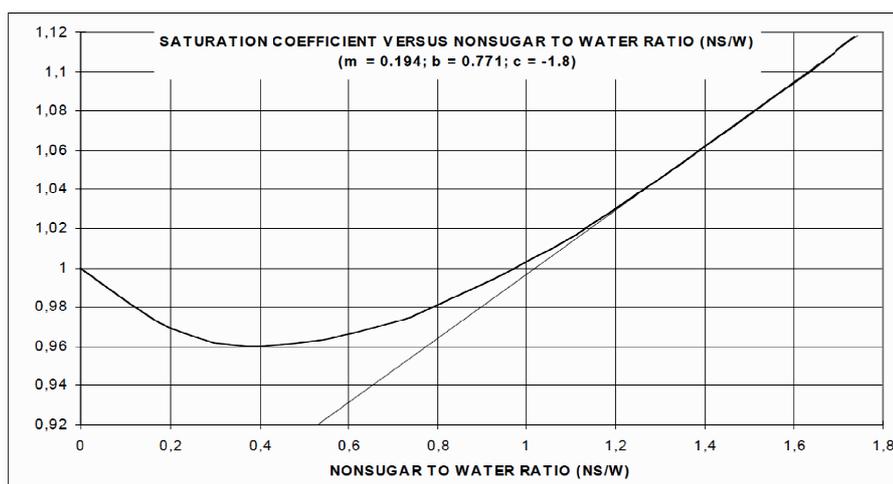
Donde:

NS / W: es la relación de no azúcares en el agua.

m, b, c: parámetros de jarabe de calidad que se determinen por el laboratorio local.

Nota: los parámetros de calidad de jarabe depende sólo de la composición de los no azúcares. Ellos no dependen de la temperatura o de la cantidad de no azúcares (Rozsa, 2007).

Figura 12. Curva de coeficiente de saturación vrs cantidad de no azúcares



Fuente: Rozsa, L. (2007). *SeedMaster2 Transmisor de Cristalización y semillamiento*.

7. HIPÓTESIS

Hi:

Semillar en el punto idóneo de contenido de sacarosa en el licor, aumenta la producción de azúcar refinado.

Variable Independiente: contenido de sacarosa en el licor (unidad de medida grados brix).

Variable Dependiente: producción de azúcar (unidad de medida en kilogramos).

Ho:

No semillar en el punto idóneo de contenido de sacarosa en el licor, disminuye la producción de azúcar refinado.

8. CONTENIDO QUE TENDRÁ EL INFORME

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS	IV
GLOSARIO	V
RESUMEN.....	VI
OBJETIVOS / HIPÓTESIS.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	VIII

1. DESCRIPCIÓN DE CONCEPTOS

- 1.1. Fundamentos de producción
 - 1.1.1. Producción
 - 1.1.2. Productividad
 - 1.1.3. Eficiencia
 - 1.1.4. Efectividad
 - 1.1.5. Calidad
- 1.2. Producción de azúcar en Guatemala
- 1.3. Proceso de fabricación de azúcar
 - 1.3.1. Proceso de refinado de azúcar
- 1.4. Sacarosa
 - 1.4.1. Brix
- 1.5. Creación de cristales con tamaño adecuado y coeficiente de varianza mínimo
 - 1.5.1. Pureza de licor
- 1.6. Temperatura en un tacho *batch*
 - 1.6.1. Medición de temperatura

2. FUNCIONAMIENTO DE UN TACHO TIPO *BATCH*
 - 2.1. Principio químico de nucleación en el tachó
 - 2.2. Región de operación del tachó
 - 2.3. Flujo de Programa Nahmat (descripción del proceso automático de un tachó tipo *batch*)
 - 2.3.1. General
 - 2.3.2. Secuencia de control
 - 2.3.3. *Interlock*
 - 2.3.4. Función de lazos de control
 - 2.3.4.1. Regulación de densidad y nivel
 - 2.3.4.2. Calentamiento con vapor
 - 2.3.4.3. Vacío
 - 2.4. Funciones de la secuencia de control
 - 2.4.1. Arranque
 - 2.4.2. Llenado
 - 2.4.3. Concentración
 - 2.4.4. Semillado
 - 2.4.5. Desarrollo de grano
 - 2.4.6. Primer rompimiento
 - 2.4.7. Segundo rompimiento
 - 2.4.8. Descarga
 - 2.4.9. Sopleteo con vapor
3. PROCESO DE CRISTALIZACIÓN DE AZÚCAR
 - 3.1. Métodos de cristalización
 - 3.2. Formación de cristales
 - 3.3. Sobresaturación
 - 3.3.1. Curvas de cristalización
 - 3.4. Definición del método en el cálculo de sobresaturación

4. GRANULOMETRÍA EN AZÚCAR REFINO
 - 4.1. Datos obtenidos por método tamizado
 - 4.2. Datos obtenidos por método por análisis de imágenes digitales
 - 4.3. Comparación entre métodos y recomendación del método a utilizar
 - 4.4. Obtención de la granulometría para incrementar la productividad de cristales

5. MÉTODO TEÓRICO - PRÁCTICO DE SEMILLAMIENTO
 - 5.1. Evaluación de un método práctico de semillamiento
 - 5.2. Evaluación de un método teórico de semillamiento
 - 5.3. Creación de filosofía de control entre teórico y práctico a utilizar en el semillamiento
 - 5.4. Recomendación del punto óptimo para semillar

6. RESULTADOS DE PRODUCCIÓN DE AZÚCAR REFINO
 - 6.1. Recopilación de datos de la cuantificación de la Producción
 - 6.2. Análisis estadístico de la cuantificación de la producción
 - 6.3. Indicadores de productividad
 - 6.4. Presentación y análisis de resultados

7. APLICACIÓN DE CALIDAD A METODOLOGÍA DE SEMILLAMIENTO
 - 7.1. Herramientas de calidad y principios de Juran
 - 7.2. Calidad total
 - 7.3. Deming y Crosby
 - 7.4. Seis *Sigma*
 - 7.5. *Kaizen*
 - 7.6. *Kanba*

CONCLUSIONES
RECOMENDACIONES
REFERENCIAS
BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS

9. MÉTODOS Y TÉCNICAS

La siguiente es una investigación cuantitativa - deductiva, experimental, porque no hay ninguna base en el semillamiento que diga en qué momento realizarla, y cuantitativa - deductiva, porque se quiere cuantificar la producción de azúcar además de deducir en qué momento sembrar.

Esta investigación es con el enfoque cuantitativo - deductivo, ya que el objetivo, es: aumentar la producción de azúcar refino, con base a la aplicación de una metodología de semillamiento adecuada y con esto obtener una azúcar refino de mejor calidad y productiva en el desarrollo de cristales, bajo la pregunta ¿Cuál es el punto óptimo de semillamiento para el aumento de la producción de cristales en la refinería de azúcar?

Revisando estudios realizado en la cristalización y sobresaturación. Precizando como problema de investigación que no existe ningún método de cómo realizar el semillamiento, a través de la teoría del cálculo de sobresaturación en la producción de cristales de azúcar. Estableciendo como hipótesis: sembrar en el punto idóneo de contenido de sacarosa en el licor, aumenta la producción de azúcar refino.

Recopilando resultados en el sistema de control, como consumo de agua en tachos, tiempos de temple y descargas de centrifugas. Además de analizar los datos, para obtener la comprobación de la hipótesis, a partir de históricos.

Teniendo como interés la producción de un cristal más desarrollado y así poder aumentar la producción de éste.

Con ello lograr deducir el punto idóneo en el cual semillar.

Realizándolo a través de un alcance exploratorio, ya que no hay ningún método que describa como realizar un semillamiento en la región, por lo cual se pretende definir un método en base a la experiencia adquirida y cálculos teóricos en la cristalización. Además, se pretenden utilizar nuevas técnicas en la medición de granulometría, a través de análisis de imágenes digitales, para que este proceso sea más simple, lo que generaría nuevos estudios para estandarizar el proceso de cristalización y así obtener un cristal de buena calidad y producción excelente en el país.

La hipótesis es descriptiva, ya que se quiere pronosticar un valor idóneo en donde semillar, para una producción más amplia de cristales en la azúcar refino.

La investigación utilizará un diseño experimental. Los datos se obtendrán a partir de reportes generados en el sistema de control, en el cual se registrarán tiempos y descargas de templas por día, al igual que se medirá el consumo de agua diario en los 12 tachos existentes, se promediará para obtener el de 1 tacho, el operador de centrifugas registrará las descargas que realizarán éstas, por cada templa de tacho, se seleccionará 1 tacho de los 12 existentes para realizar estas pruebas, a partir siguiente procedimiento:

Figura 13. Plan de acción



Fuente: elaboración propia.

Para llegar a probar nuestra hipótesis.

Para el objetivo específico 1 se realizará:

- Para la evaluación de contenido de sacarosa en el licor (brix) se realizará una medición en línea en el tacho utilizando 2 equipos:
- Un transmisor de microondas marca Promtec el cual medirá el proceso de densidad continua del tacho.
- Un refractómetro marca K-Patents el cual servirá para medir la densidad del tacho desde el llenado del tacho hasta el semillamiento.

- Se compararán con laboratorio 5 muestras para generar el valor esperado. Con esto se sabrá si se encuentran los instrumentos calibrados.
- Se utilizarán dos mediciones en línea de temperatura con RTD marca Endress+Hauser. Una para medir la temperatura de la masa y la otra para medir la temperatura de vapor en calandria instalada en el tacho.
- Se compararán con laboratorio 5 muestras para ver la calibración de la RTD, contra termómetros certificados de laboratorio.
- Se hará conjuntamente con laboratorio un cálculo de purezas del licor. Utilizando los coeficientes de Wicklund.

Para el objetivo específico 2 se realizará:

- Laboratorio analizará las muestras por medio de tamizado determinando los resultados. Una vez por turno de 8 horas se tomará una muestra analizando por medio de coladores para obtener la granulometría (tamaño del grano, coeficiente de varianza y granos finos).
- Se utilizará una cámara fotográfica digital normal en conjunto con un software de procesamiento de imágenes por computadora llamado *Image J* para determinar los resultados deseados de granulometría. Tomando una muestra por descarga y se procesará para la granulometría.
- Se compararán un total de 5 muestras obtenidas al mismo tiempo que laboratorio para validar la medición más exacta.

Para el objetivo específico 3 se realizará:

Un registro de tiempo total en la descarga de un tacho por medio del sistema de control PCS7. Se llevará un conteo en el sistema de control desde que inicia una templa hasta que finalice realizando un registro el cual nos indicará cuántas

descargas de templa realizó el tacho y cuanto fue el tiempo en cada una de ellas.

Se medirá el consumo de agua por templa de cada tacho. Colocando una placa de orificio con un transmisor de presión diferencial marca Siemens en cada tacho para obtener el valor de agua que pasa en la tubería en cualquier momento registrándolo en el sistema de control y llevando la sumatoria por templa en el tacho.

Se realizará un registro de número de descargas de centrifugas por tacho. El operador de centrifugas registrará el valor. Se multiplicara por el valor nominal de la descarga para obtener el valor de azúcar producida por tacho.

- Se compararán los datos actuales con la base histórica, y así se comprobará o rechazará la hipótesis.

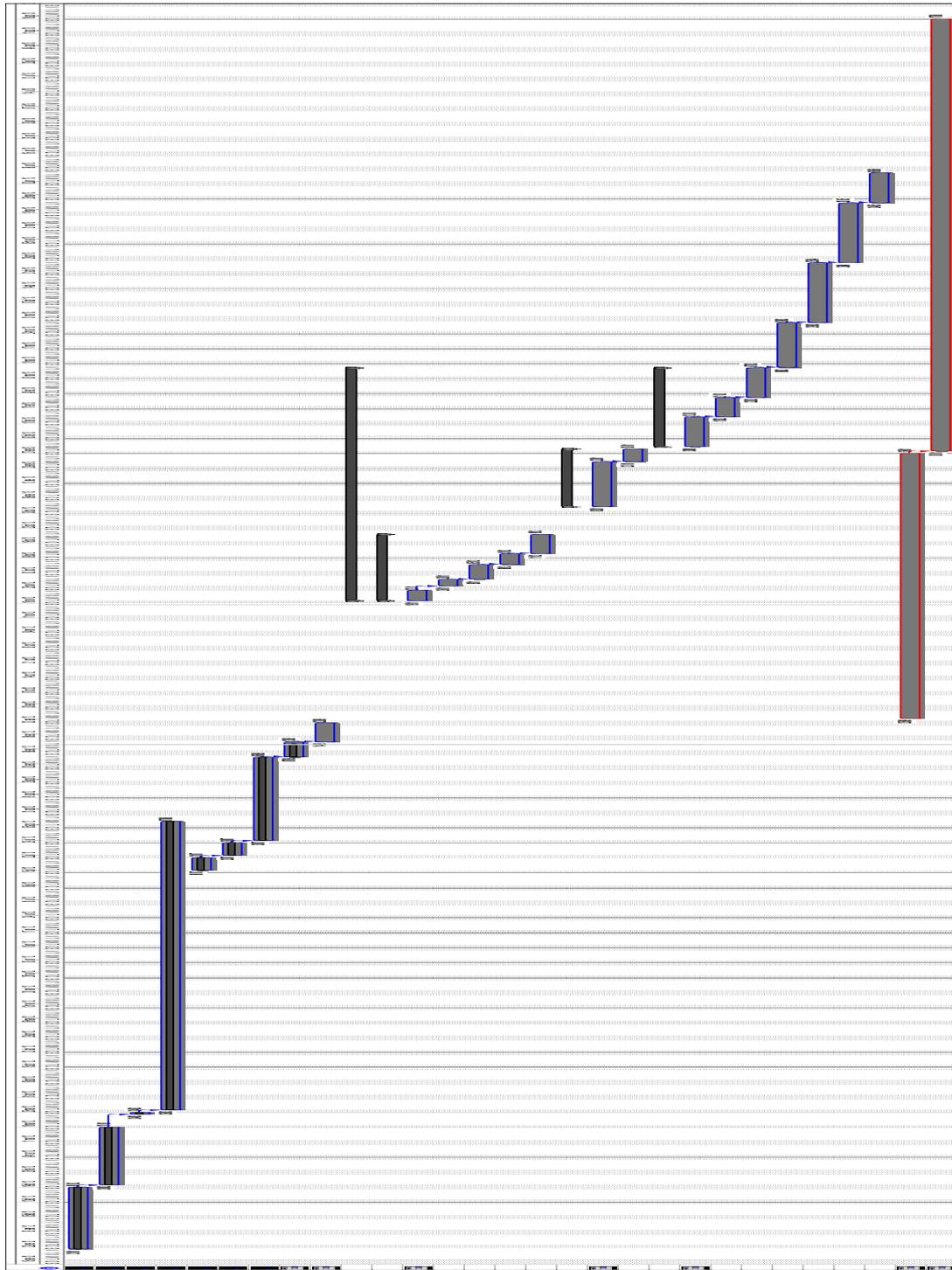
Para el objetivo específico 4 se realizará:

- Determinación de tamaño de la muestra para datos de producción de azúcar refino.
- Tabulación de datos de producción de azúcar refino, con base al tamaño de la muestra.
- Análisis gráfico - estadístico de producción de azúcar refino.
- Determinación de índices de productividad.
- Análisis de índices de productividad para determinar aumento en producción de azúcar refino.

10. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

		Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	% completado
1		Definición del tema a trabajar	21 días	sáb 21/01/12	sáb 18/02/12	100%
2		Elaboración del anteproyecto de investigación	21 días	lun 20/02/12	sáb 17/03/12	100%
3		Entrega de anteproyecto de investigación	1 día	sáb 24/03/12	sáb 24/03/12	100%
4		Aceptación del tema del anteproyecto de investigación	5 mss	lun 26/03/12	mar 07/08/12	100%
5		Elaboración Marco logico	6 días	lun 16/07/12	sáb 21/07/12	100%
6		Elaboración Marco Teórico	6 días	lun 23/07/12	sáb 28/07/12	100%
7		1ra. Revisión completa de protocolo	29 días	lun 30/07/12	jue 06/09/12	100%
8		2da. Revisión completa de protocolo	5 días	vie 07/09/12	jue 13/09/12	80%
9		Entrega final de protocolo	6 días	vie 14/09/12	sáb 22/09/12	0%
10		<input type="checkbox"/> Trabajo de Campo	80 días	lun 19/11/12	jue 07/03/13	0%
11		<input type="checkbox"/> Creación Método Teórico Práctico	23 días	lun 19/11/12	mié 19/12/12	0%
12		-Medición de contenido de sacarosa.	5 días	lun 19/11/12	vie 23/11/12	0%
13		-Comparación de medición con laboratorio	3 días	lun 26/11/12	mié 28/11/12	0%
14		-Medición de Temperatura.	5 días	jue 29/11/12	mié 05/12/12	0%
15		-Comparación de medición con laboratorio.	3 días	jue 06/12/12	lun 10/12/12	0%
16		-Cálculo de purezas de licor.	7 días	mar 11/12/12	mié 19/12/12	0%
17		<input type="checkbox"/> Observación	20 días	mié 02/01/13	lun 28/01/13	0%
18		-Medición de granulometría con software.	15 días	mié 02/01/13	mar 22/01/13	0%
19		-Comparación de medición con laboratorio.	5 días	mié 23/01/13	lun 28/01/13	0%
20		<input type="checkbox"/> Medición	27 días	mié 30/01/13	jue 07/03/13	0%
21		Promedios descargas de tachos	10 días	mié 30/01/13	mar 12/02/13	0%
22		Consumo de agua tachos	7 días	mié 13/02/13	jue 21/02/13	0%
23		Descargas de centrifugas	10 días	vie 22/02/13	jue 07/03/13	0%
24		Recopilación de datos y Tabulación	15 días	vie 08/03/13	jue 28/03/13	0%
25		Comparación y análisis de datos	20 días	vie 29/03/13	jue 25/04/13	0%
26		Análisis de resultados	20 días	vie 26/04/13	jue 23/05/13	0%
27		Verificación de hipótesis	10 días	vie 24/05/13	jue 06/06/13	0%
28		Aceptación de Protocolo	90 días	mar 25/09/12	sáb 26/01/13	0%
29		Entrega Informe Final	146 días	lun 28/01/13	sáb 17/08/13	0%

Continuación del cronograma.



11. RECURSOS NECESARIOS

Humanos

- Un investigador
- Un operador que controlara el tacho desde el sistema de control
- Un técnico laboratorista para la toma de muestras
- Un asesor

Físicos

- Sistema de control PCS7.
- Instrumentos, válvulas y señales de un tacho tipo Batch. (Ver anexo).
- Transmisor de densidad por medio de Microondas marca Promtec, 4-20 mA en línea.
- Dos Transmisores de temperatura con RTD pt100 marca Endress+Hauser, con profibus PA en línea.
- Sistema de tamizado.
- Cámara fotográfica digital marca Sony de 14.1 mega pixeles.
- Software de análisis de imágenes *Image J*.
- Transmisor de densidad tipo refractómetro marca K-Patents, 4-20 mA en línea.
- Transmisor de caudal por medio de placa de orificio con transmisor de presión diferencial marca Siemens, con profibus PA en línea.

Financieros

12. BIBLIOGRAFÍA

1. Alvarez, M. (2008). recuperado 21 de diciembre de 2012, a las 10:00 AM.
<http://www.elblogsalmon.com/conceptos-de-economia/que-es-la-productividad>.
2. Aparicio, M. y Cano, T. (1999). *Aplicaciones de las Redes de Neuronas en Supervisión, Diagnóstico y Control de Procesos*. Venezuela: Equinoccio.
3. BMA (2005). Programa Técnico. Instalación de Cristalización. Alemania: Braunschweigische.
4. Burbano, O. (2010). *Variedades de Caña de Azúcar para la Producción de Panela*. España: CORPOICA - E.E. Y UNIPAMPLONA.
5. Chen, J. (2000). *Manual del Azúcar de Caña*. México: Limusa, S.A.
6. Cifuentes, R. (2011). Estudio Estrategia metodológica basado en sobresaturación y producción de cristales para encontrar el punto óptimo de nucleación en el área de tachos. XII Congreso de Técnicos Azucareros de Guatemala. Retalhuleu: ATAGUA.
7. Díez, O., Digonzelli, P., Scandaliaris, J. y Romero, E. (2012). Control de Calidad de la Materia. Argentina: Manual del Cañero, Capítulo 17.

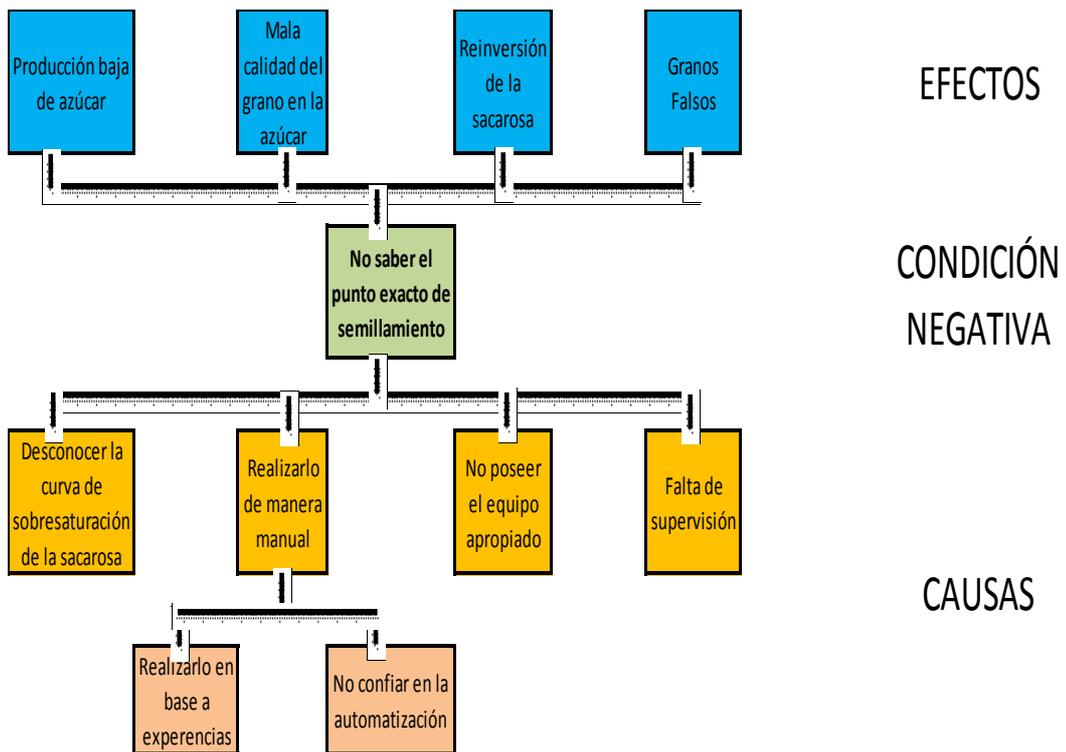
8. Domínguez, J., Sánchez, J. y Sosa J. (2002). Análisis de las Instalaciones de las Áreas de Purificación y Cristalización en una Fábrica de Azúcar de Caña. Santiago de Cuba: Tecnología Química Vol. XXII, No. 1.
9. Endress+Hauser. (2009). *Law of Temperature*. Suiza: Instruments International AG.
10. Endress+Hauser. (2011). *Medición de Caudal*. Suiza: Instruments International AG.
11. Ferreira, T. y Rasband, W. (2011). *ImageJ User Guide*. USA: National Institutes of Health.
12. Gálvez, E. (2007). Gestión de los Controles de Productividad a través del análisis de la Eficiencia de la Línea de Flexitubo de la Empresa Empaques Globales, S.A. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela de Postgrado.
13. Georgieva, P. y Feyo, S. (2012). Neural Network - Based Control Strategies Applied to a Fed - Batch Crystallization Process. USA: International Journal of Computational Intelligence Vol. 3, No. 3.
14. Kamp, W. (2008). *Teoría y Práctica de Medición de niveles*. Países Bajos: Endress+Hauser S.L. 23a edición.
15. K-PATENS. (2011). *Instruction Manual for Inline Refractometer PR-23(-...-AX/FM/CS/IA/IF)*. Finland: Vantaa.

16. Langhans, B. (2008). *Nahmat Control de Cristalización*, 13. Alemania: Siemens AG.
17. Lozano, M. y Serra, L. (2007). Design of Evaporation System and Heaters Networks in Sugar Cane Factories Using a Thermoeconomic Optimization Procedure. España: Int. J. Thermodynamics Vol. 10, No. 3.
18. Quintana, P., Uribe, B., Rico, V. y Bolaños, E. (2008). Análisis Comparativo de Ecuaciones Cinéticas Tipo Ley de Potencia y Difusión - Integración en la Cristalización por Enfriamiento de Azúcar de Caña. México: Revista Mexicana de Ingeniería Química, Vol. 7, No. 2, pp. 171-182.
19. Ribeaux, G., Ares, O., Falcón, F. y Fernández, A. (2008). Influencia del Campo Magnético Estático en la Nucleación y Cristalización de la Sacarosa. México: Bol. Sociedad Química de México, No. 2, pp. 60-62.
20. Rozsa, L. (2007). *SeedMaster2 Transmisor de Cristalización y semillamiento*, 102. Hungría: SeedMaster 2 Rev. 1/02.
21. Sánchez, A. y Bárcena, A. (2007). El azúcar en la enseñanza secundaria. España: Real Sociedad Española de Química.
22. Siemens AG. (2007). *PCS 7 on Tour - Basic*. Germany: Siemens A&D AS CS2 PA Edition V1.0.

23. Tewari, P., Kumar, D., Kajal, S. y Khanduja, R. (2008). Decision Support System for the Crystallization Unit of a Sugar Plant. India: The Icfai University.
24. Website E+H, recuperado 21 de septiembre de 2012, a las 11:43 AM.
<http://www.endress.com/intro>
25. Website Nahmat, recuperado 21 de septiembre de 2012, a las 11:43 AM.
<http://www.industry.siemens.com/verticals/global/en/food-beverage/sugar-industry/nahmat/pages/default.aspx>

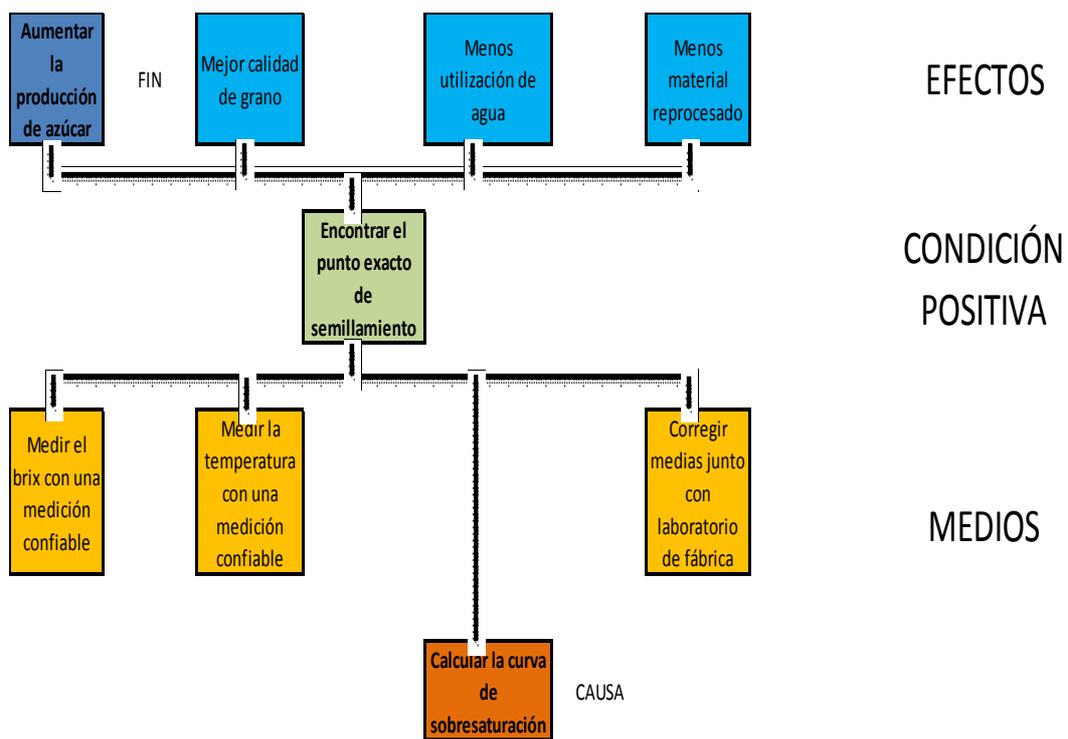
APÉNDICE

ÁRBOL DE PROBLEMA



Fuente: elaboración propia.

ÁRBOL DE OBJETIVOS



Fuente: elaboración propia.

MATRIZ DE MARCO LÓGICO

DESCRIPCION	INDICADORES	VERIFICADORES	SUPUESTOS
<p>Objetivo Superior: Determinar el punto óptimo para semillar en el cual se genera el mayor número de cristales con Coeficiente de Varianza mínimo, tamaño de cristal idóneo y menos granos finos.</p>	<p>1. Mejor calidad de grano.</p> <p>2. Mayor cantidad de azúcar.</p>	<p>1.1 Ver la granulometría por cada turno.</p> <p>2.1 Ver las descargas que realizan las centrifugas y medir la cantidad de azúcar con una báscula en línea</p>	<p>Se producirá un grano de mejor calidad, con un aumento en la producción, mejorando la eficiencia de la fábrica y así obteniendo mejores rendimientos.</p>
<p>Objetivo del proyecto: Obtener el método más exacto en el cálculo de sobresaturación de granos en base a experiencias de operadores y métodos teóricos ya predefinidos.</p>	<p>1. Contenido de Sacarosa en el licor (brix).</p> <p>2. Temperatura de Licor.</p> <p>3. Purezas del licor.</p>	<p>1.1. Se utilizaran mediciones en línea uno por microondas y uno refractómetro métrico. En cada etapa del tacho.</p> <p>1.2. Se compararan con laboratorio, una corrida de muestras para generar el valor esperado.</p>	<p>Obtener una mezcla del método teórico con el práctico para la creación del método esperado.</p>

Continuación de la matriz de marco lógico

		<p>1.3. Se utilizaran 2 mediciones en línea de temperatura con RTD. Para medir la temperatura del cuerpo y la temperatura de calandria.</p> <p>2.1. Se compararan con laboratorio, una corrida de muestras para ver la calibración de la RTD.</p> <p>3.1. Se hará conjuntamente con laboratorio un cálculo de purezas del licor. Una vez al inicio de zafra.</p>	
<p>Resultados: Aumentar la eficiencia y rendimiento de producción de azúcar.</p>	<p>1. Medir tiempos de templas realizadas en tachos.</p> <p>2. Medir el consumo de agua en cada templa.</p>	<p>1.1 Se realizara un registro de tiempo total en la descarga de un tacho en una hoja de papel bond.</p>	<p>Obtener el más alto rendimiento y eficacia por tacho, contando todas las variables para la cristalización de un tacho.</p>

Continuación de la matriz de marco lógico

	<p>3. Sacar el promedio de producción de azúcar de descarga por tacho.</p>	<p>2.1. Se medirá el consumo de agua por templa de cada tacho. Con una placa de orificio para calcular el caudal.</p> <p>3.1. Se realizará un registro de numero de descargas de centrifugas por tacho.</p> <p>3.2. El operador de centrifugas registrará el valor.</p> <p>3.3. Se multiplicara por el valor nominal de la descarga para obtener el valor de azúcar producida por tacho.</p>	
<p>Actividades: Obtener el mejor tamaño de grano, con coeficientes de variación bajos y cantidad de granos finos bajos.</p>	<p>1. Acordar con laboratorio corridas en las descargas de tachos y en cada apriete del tacho.</p>	<p>1.1. Laboratorio analizara las muestras por medio de microscopios determinando los resultados. Una vez al turno.</p>	<p>Definir la mejor opción, la más factible y económica para la realización de la granulometría.</p>

Continuación de la matriz de marco lógico

	2. Utilizar fotografías y por medio de software digital obtener los resultados.	2.1. Se utilizara una cámara normal con un software por computadora para determinar los resultados que se quieran.	
--	---	--	--

Fuente: elaboración propia.

Instrumentos, válvulas y señales de un tacho tipo Batch:

SEÑALES VALVULAS ON/OFF													
CANAL	TIPO	SEÑAL	RANGO	TAG	DESCRIPCION	Dirección	IPP	OB	Ciclo	NODO DP	RACK	VALVULA	ACTUADOR
00	DI	+24 Vdc	0/1	ZSH-92585	F.C.A. Válvula de Aspiración Bomba de Vacío Tacho 10	I64.0	PP5	34	400	35	1		
01	DI	+24 Vdc	0/1	ZSL-92585	F.C.C. Válvula de Aspiración Bomba de Vacío Tacho 10	I64.1	PP5	34	400	35	1		
04	DI	+24 Vdc	0/1	ZSH-92583	F.C.A. Válvula de Vapor de Escoba Tacho 10	I64.4	PP5	34	400	35	1		
05	DI	+24 Vdc	0/1	ZSL-92583	F.C.C. Válvula de Vapor de Escoba Tacho 10	I64.5	PP5	34	400	35	1		
06	DI	+24 Vdc	0/1	ZSH-92584	F.C.A. Válvula de Rompe Vacío Tacho 10	I64.6	PP5	34	400	35	1		
07	DI	+24 Vdc	0/1	ZSL-92584	F.C.C. Válvula de Rompe Vacío Tacho 10	I64.7	PP5	34	400	35	1		
08	DI	+24 Vdc	0/1	ZSH-92593	F.C.A. Válvula de Entrada de Licor Tacho 10	I65.0	PP5	34	400	35	1		
09	DI	+24 Vdc	0/1	ZSL-92593	F.C.C. Válvula de Entrada de Licor Tacho 10	I65.1	PP5	34	400	35	1		
10	DI	+24 Vdc	0/1	ZSH-92592	F.C.A. Válvula de Entrada de Jarabe Tacho 10	I65.2	PP5	34	400	35	1		
11	DI	+24 Vdc	0/1	ZSL-92592	F.C.C. Válvula de Entrada de Jarabe Tacho 10	I65.3	PP5	34	400	35	1		
12	DI	+24 Vdc	0/1	ZSH-92596	F.C.A. Válvula de Descarga Tacho 10	I65.4	PP5	34	400	35	1		
13	DI	+24 Vdc	0/1	ZSL-92596	F.C.C. Válvula de Descarga Tacho 10	I65.5	PP5	34	400	35	1		
14	DI	+24 Vdc	0/1	ZSH-92595	F.C.A. Válvula de Liquidación Tacho 10	I65.6	PP5	34	400	35	1		
15	DI	+24 Vdc	0/1	ZSL-92595	F.C.C. Válvula de Liquidación Tacho 10	I65.7	PP5	34	400	35	1		
00	DI	+24 Vdc	0/1	ZSH-92581	F.C.A. Válvula de Condensados a Tanque Tacho 10	I66.0	PP5	34	400	35	2		
01	DI	+24 Vdc	0/1	ZSL-92581	F.C.C. Válvula de Condensados a Tanque Tacho 10	I66.1	PP5	34	400	35	2		
02	DI	+24 Vdc	0/1	ZSH-92582	F.C.A. Válvula de Condensados a Zanja Tacho 10	I66.2	PP5	34	400	35	2		
03	DI	+24 Vdc	0/1	ZSL-92582	F.C.C. Válvula de Condensados a Zanja Tacho 10	I66.3	PP5	34	400	35	2		
06	DI	+24 Vdc	0/1	ZSH-92588	F.C.A. Válvula de semillamiento Tacho 10 de Azúcar Refino de Azúcar Refino	I66.6	PP5	34	400	35	2		
07	DI	+24 Vdc	0/1	ZSL-92588	F.C.C. Válvula de semillamiento Tacho 10 de Azúcar Refino de Azúcar Refino	I66.7	PP5	34	400	35	2		
00	DO	+24 Vdc	0/1	KV-92585	Válvula de Aspiración Bomba de Vacío Tacho 10	Q 64.0	PP5	34	400	35	3	brays.30 6	bray 920
02	DO	+24 Vdc	0/1	KV-92583	Válvula de Vapor de Escoba a Tacho 10	Q 64.2	PP5	34	400	35	3	brays.40 6	bray 1270
03	DO	+24 Vdc	0/1	KV-92584	Válvula Rompe Vacío Tacho 10	Q 64.3	PP5	34	400	35	3	grinell 4	bray 920
04	DO	+24 Vdc	0/1	KV-92593	Válvula de Entrada de Licor Tacho 10	Q 64.4	PP5	34	400	35	3	grinell 4	bray 920
05	DO	+24 Vdc	0/1	KV-92592	Válvula de Entrada de Jarabe Tacho 10	Q 64.5	PP5	34	400	35	3	grinell 6	bray 1270
06	DO	+24 Vdc	0/1	KV-92596	Válvula de Descarga Tacho 10	Q 64.6	PP5	34	400	35	3	brays.40 18	cilindro quadram
07	DO	+24 Vdc	0/1	KV-92595	Válvula de Liquidación Tacho 10	Q 64.7	PP5	34	400	35	3	grinell 10	bray 1600
08	DO	+24 Vdc	0/1	KV-92581	Válvula de Condensados a Tanque Tacho 10	Q 66.0	PP5	34	400	35	3	brays.40 4	bray 830
09	DO	+24 Vdc	0/1	KV-92582	Válvula de Condensados a Zanja Tacho 10	Q 66.1	PP5	34	400	35	3	brays.40 4	bray 830
11	DO	+24 Vdc	0/1	KV-92588	Válvula de semillamiento Tacho 10 de Azúcar Refino de Azúcar Refino	Q 66.3	PP5	34	400	35	3	f-15.2	bray 830

SEÑALES VALVULAS REGULADORAS														
NODO PA	TIPO	MARCA	MODELO	RANGO	UNIDAD	TAG	DESCRIPCION	Dirección	IPP	OB	Ciclo	NODO DP	VALVULA	ACTUADOR
22	AO	Siemens	SIPART PS2	0-100	%	DCV-92591X	Válvula de alimentación de agua para control de Bx tacho 10 de azúcar refino	QD 1190	FP8	37	100	77	brays.40 3	bray 830
21	AO	Siemens	SIPART PS2	0-100	%	DCV-92591	Válvula de alimentación de mieles para control de Bx tacho 10 de azúcar refino	QD 1185	FP8	37	100	77	grinell 6	bray 1270
19	AO	Siemens	SIPART PS2	0-100	%	PCV-92580	Válvula 1 de control de presión tacho 10 de azúcar refino	QD 1175	FP7	36	200	77	brays.40 12	bray 1600
20	AO	Siemens	SIPART PS2	0-100	%	PCV-92580X	Válvula 2 de control de presión tacho 10 de azúcar refino	QD 1180	FP7	36	200	77	brays.40 12	bray 1600
26	AO	Siemens	SIPART PS2	0-100	%	PCV-92587	Válvula control presión condensador barométrico tacho No. 10 de Azúcar Refino	QD 1200	FP7	36	200	77	brays.30 12	bray 1600

SEÑALES INSTRUMENTOS												
NODO PA	TIPO	MARCA	MODELO	RANGO	UNIDAD	TAG	DESCRIPCION	Dirección	IPP	OB	Ciclo	NODO DP
18	AI	SMAR	IF303	50-100	Brix	DT-92591	Densidad masa tacho No. 10 de Azúcar Refino	ID 1820	IFR8	37	100	78
11	AI	Siemens	SITRANS DSIII PA	0-2	bar	FT-92580	Presión calandria tacho No. 10 Refinería de Azúcar	ID 1650	IFP7	36	200	77
15	AI	Siemens	SITRANS DSIII PA	0-168	inH2O	LT-92589	Nivel tacho No. 10 Refinería de Azúcar	ID 1670	IFR8	37	100	77
12	AI	Siemens	SITRANS DSIII PA	0-1.3	bar	PT-92587	Presión del cuerpo tacho No. 10 Refinería de Azúcar	ID 1655	IFP7	36	200	77
13	AI	ABB	TF12	0-200	°C	TT-92588	Temperatura masa tacho No. 10 Refinería de Azúcar	ID 1660	IFP1	30	800	77
13	AI	ABB	TF12	0-200	°C	TT-92580	Temperatura vapor calandria tacho No. 10 Refinería de Azúcar	ID 1665	IFP1	30	800	77

SEÑALES MOTORES												
NODO DEVICENTE	TIPO	ACCION	RANGO	TAG	DESCRIPCION	Dirección	IPP	OB	Ciclo	NODO DP		
2	DI	IPD (DISPARO)	0/1	IPD92598	AGITADOR TACHO 10	I150.0	IFP4	33	500	44		
2	DI	C1D (CONFIRMACION DE MARCHA)	0/1	C1D92598	AGITADOR TACHO 10	I151.0	IFP4	33	500	44		
2	DI	LRD (LOCAL-REMOTO)	0/1	LRD92598	AGITADOR TACHO 10	I150.6	IFP4	33	500	44		
2	DO	PARO/ARRANQUE	0/1	MD92598	AGITADOR TACHO 10	Q142.0	IFP4	33	500	44		
2	DO	RESET	0/1	RS92598	AGITADOR TACHO 10	Q142.2	IFP4	33	500	44		
2	AI	0-100 A	0-32767	IT92598	INTENSIDAD AGITADOR TACHO 10	IW148	IFP4	33	500	44		
10	DI	IPD (DISPARO)	0/1	IPD92585	BOMBA VACIO TACHO 10	I185.0	IFP4	33	500	44		
10	DI	C1D (CONFIRMACION DE MARCHA)	0/1	C1D92585	BOMBA VACIO TACHO 10	I183.0	IFP4	33	500	44		
10	DI	LRD (LOCAL-REMOTO)	0/1	LRD92585	BOMBA VACIO TACHO 10	I182.6	IFP4	33	500	44		
10	DO	PARO/ARRANQUE	0/1	MD92585	BOMBA VACIO TACHO 10	Q150.0	IFP4	33	500	44		
10	DO	RESET	0/1	RS92585	BOMBA VACIO TACHO 10	Q150.2	IFP4	33	500	44		
10	AI	0-100 A	0-32767	IT92585	INTENSIDAD BOMBA VACIO TACHO 10	IW180	IFP4	33	500	44		

Fuente: elaboración propia.