

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Implementación de mejoras de calidad: Instalación de filtro automático y agua de condensados. Implementación de mejoras en eficiencia energética: Instalación de protección térmica en el área de tratamiento de jugo.

Trabajo de graduación presentado por
Susán Angelina Loyo López
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en Tecnología
Industrial

Guatemala

2014

Implementación de mejoras de calidad: Instalación de filtro automático y agua de condensados. Implementación de mejoras en eficiencia energética: Instalación de protección térmica en el área de tratamiento de jugo.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Implementación de mejoras de calidad: Instalación de filtro automático y agua de condensados. Implementación de mejoras en eficiencia energética: Instalación de protección térmica en el área de tratamiento de jugo.

Trabajo de graduación presentado por
Susán Angelina Loyo López
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en Tecnología
Industrial

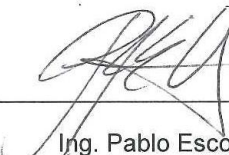
Guatemala

2014

Vo.Bo.:

(f) 
Ing. Pablo Escobar

Tribunal examinador:

(f) 
Ing. Pablo Escobar

(f) 
Ing. Francisco Barillas

(f) 
Inga. Alejandra Bonilla

Fecha de aprobación: Guatemala 18 de Septiembre de 2014

PREFACIO

El presente trabajo, Proyecto de Graduación titulado: *Implementación de mejoras de calidad: Instalación de filtro automático y agua de condensados. Implementación de mejoras en eficiencia energética: Instalación de protección térmica en el área de tratamiento de jugo.*

Este proyecto de graduación consta de diez capítulos, los tres primeros son introductorios, del capítulo cuatro al ocho se desarrolla el proyecto.

El proyecto se desarrolla dentro del ingenio azucarero *Pantaleón*, específicamente en el proceso de tratamiento de jugo.

En un ingenio azucarero los principales productos a comercializar son el azúcar, energía y etanol. Dado que son productos del tipo consumo básico (commodity), la eficiencia de cada ingenio en la producción de sus productos afecta directamente el costo unitario de cada uno de ellos.

Este proyecto plantea algunas soluciones para aumentar eficiencias, unidades de producción y como consecuencia, la disminución en el costo unitario por unidad de producción.

En el desarrollo de este proyecto de graduación, encontrará que se inicia con el planteamiento de la mejora para eficiencia en el uso de energía térmica, posteriormente, luego se aborda el tema de mejora de calidad en el producto intermedio, meladura, con la instalación de un sistema de filtración y la implementación de usar agua condensada para mejorar la clarificación del jugo proveniente de la caña de azúcar.

ÍNDICE

	Página
Prefacio	iii
Lista de cuadros	v
Lista de figuras	vi
Resumen	viii
I. Introducción	1
II. Objetivos	2
III. Justificación	3
IV. Marco teórico	4
A. Historia de la agroindustria en Guatemala	4
B. Proceso industrial de <i>Ingenio Pantaleón</i>	5
C. Pasos del tratamiento de jugo	7
D. Azúcar: Producción, oferta total, consumo y distribución mundial	10
E. Sector azucarero	12
F. Contexto internacional del sector y del mercado	14
G. Contexto nacional del sector y del mercado	15
H. Mejora no.1: Aislamiento térmico en tuberías de vapor y tanque de jugo claro	15
I. Cálculo de costos de la instalación de aislamiento térmico	19
J. Cálculo de la pérdida de eficiencia energética de las unidades a aislar	20
K. Mejora no.2: Filtros de meladura	21
L. Cálculo de costos de la instalación de los filtros de meladura	24
M. Mejora no.3: Instalación de tanque de agua de condensados	27
N. Cálculo de costos de la instalación del tanque de agua de condensados	28
V. Metodología	29
VI. Resultados	30
VII. Análisis de resultados	32
VIII. Conclusiones	34
IX. Recomendaciones	35
X. Bibliografía	36
XI. Anexos	38
XII. Glosario	49

LISTA DE CUADROS

	Página
1. Evolución de la industria azucarera de Guatemala MY2001-MY2012 ^(P)	13
2. Tipos de vapor	19
3. Costo en dólares del aislamiento térmico	19
4. Costo en quetzales del aislamiento térmico	19
5. Cálculo de la pérdida de energía en las unidades a instalar el aislamiento térmico	20
6. Total de energía perdida en el lapso de una hora, día, mes y durante una zafra	20
7. Partes del filtro Mahle	22
8. Costo en dólares de los filtros de meladura	24
9. Costo en quetzales de los filtros de meladura	24
10. Ganancia en dólares sin filtros de meladura	25
11. Ganancia en quetzales sin filtros de meladura	25
12. Ganancia en dólares con filtros de meladura (corto plazo)	25
13. Ganancia en quetzales con filtros de meladura(corto plazo)	25
14. Ganancia en dólares con filtros de meladura (largo plazo)	26
15. Ganancia en quetzales con filtros de meladura (largo plazo)	26
16. Costo en dólares instalación tanque de condensados	28
17. Costo en quetzales instalación tanque de condensados	28
18. Energía disponible para la venta	30
19. Retribución económica por la energía disponible	30

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Diagrama general del proceso industrial de <i>Ingenio Pantaleón</i>	6
2. Diagrama representativo del proceso de tratamiento de jugo	9
3. Oferta y distribución de azúcar mundial	10
4. Producción de azúcar mundial	10
5. Consumo interno de azúcar a nivel mundial	11
6. Importación de azúcar a nivel mundial	11
7. Exportación de azúcar a nivel mundial	12
8. Evolución de la producción de caña de azúcar en Guatemala MY2001/MY2012	13
9. Participación en producción mundial de azúcar	14
10. Poliestireno expandido	16
11. Lana de vidrio	16
12. Tela de fibra cerámica	16
13. Tanque de jugo claro en el proceso de tratamiento de jugo	18
14. Representación de los cinco efectos de los vasos evaporadores y tipo de vapor utilizado	19
15. Partes del filtro Mahle señalizadas	22
16. Flujograma instalación de los tres filtros Mahle	23
17. Flujograma instalación a tanque agua de condensados	27
18. Lazo de control tanque de agua de condensados	28
19. Comparación de materia insoluble presente en el azúcar moreno	31
20. Comparación de materia insoluble presente en el azúcar crudo	31
21. Sedimento de la meladura antes y después de la instalación de los filtros de meladura	32
22. Instalación de aislamiento en tubería de vapor a calentadores de placas	40
23. Instalación de aislamiento en tubería de jugo claro a calentadores de placas, antes y después	40
24. Tuberías de vapor entre los vasos evaporadores y tuberías propias de los vasos evaporadores con aislamiento térmico	41
25. Aislamiento térmico de una tubería de vapor de un vaso evaporador	41

26.	Aislamiento térmico en tuberías de vapor entre vasos evaporadores y hacia calentadores de placas	45
27.	Vista lateral del tanque de jugo claro con aislamiento térmico, antes y después	45
28.	Vista frontal tanque de jugo claro con aislamiento térmico	46
29.	Proceso de instalación de los filtros de meladura	47
30.	Instalación final de filtros de meladura	47
31.	Vista lateral filtros de meladura	48
32.	Vista frontal y lateral del tanque para agua de condensados	49
33.	Calentador de placas parte del sistema del nuevo tanque para agua de condensados	49
34.	Flujo de efectivo de la instalación de aislamiento térmico	50
35.	Flujo de efectivo de la instalación de los filtros de meladura y tanque de condensados.	51

RESUMEN

El presente proyecto trata de un estudio para averiguar los posibles factores que pueden influenciar potencialmente la eficiencia térmica y la calidad del azúcar del *Ingenio Pantaleón*, la realización del análisis económico para dictaminar la rentabilidad y por consiguiente la instalación de la mejora, con el objetivo de mejorar la eficiencia térmica y la producción, de esta manera aumentar los ingresos de la empresa y disminuir el costo unitario de producción.

Se determinó que para mejorar la eficiencia térmica es recomendable la instalación de aislamiento térmico en unidades de proceso donde se utiliza energía térmica, para el mejor aprovechamiento de la misma. En esta mejora se procedió a aislar unidades del proceso de tratamiento de jugo, entre las que están las tuberías de vapor y el tanque de jugo claro.

- A. Las tuberías de vapor son utilizadas para la introducción de vapor dentro de los vasos evaporadores, el cual es la base del funcionamiento de un vaso evaporador, donde el agua que contiene el jugo se evapora quedando solamente la meladura, que es la materia prima para la producción de azúcar.
- B. El tanque de jugo claro es utilizado para recolectar el jugo que ya ha pasado por la clarificación, antes de ser ingresado a la fase de evaporación.

También se determinó que uno de los factores más influyentes en la calidad del azúcar es la clarificación del jugo y de la meladura, debido a que el azúcar puede ser reclasificada como azúcar crudo por la presencia de materia insoluble, lo que representa menos ingresos para la empresa por ser menos retribuida en el mercado del azúcar. Por lo que se instaló un tanque para agua de condensados y tres filtros en la meladura evaporada.

El tanque almacena agua de condensados, la cual contiene el PH indicado para la preparación y eficacia que el floculante necesita para la clarificación del jugo extraído de la caña. El agua de condensados contiene la característica del PH indicado para el eficaz funcionamiento del floculante.

Los filtros de meladura disminuyen la cantidad de materia extraña que puede llegar al producto final del azúcar, afectando la calidad de la misma.

Se realiza la instalación de aislamiento térmico, obteniendo beneficios que no son fácilmente cuantificables, tales como la mejora en eficiencia térmica y mejora del entorno laboral. El costo de la instalación del aislamiento térmico es muy alto con una rentabilidad muy baja.

Se realiza la instalación de los filtros de meladura y del tanque de agua de condensados, entre los beneficios obtenidos están, disminución de presencia de materia insoluble en el azúcar. El costo total de los filtros de meladura y del tanque es alto, con una rentabilidad muy alta.

I. INTRODUCCIÓN

El *Ingenio Pantaleón* tiene como misión principal procesar la caña de azúcar con el fin de producir azúcar de distintas especificaciones y generar energía eléctrica.

Su operación está dividida en varios procesos productivos, los cuales son los siguientes:

- A. Pesado y determinación de la calidad de la materia prima
- B. Limpieza y preparación de la caña
- C. Extracción del jugo
- D. Tratamiento del jugo
- E. Cristalización
- F. Refinación de azúcar
- G. Manejo de azúcar
- H. Generación de energía

La competitividad del ingenio Pantaleón se está viendo comprometida respecto a sus competidores en el mercado regional, debido principalmente a la disminución de eficiencias en producción de azúcar y energía y un aumento sostenido en los últimos años del costo por unidad de producción.

Con base al anterior problema se tomó la iniciativa de investigar y analizar los factores que intervienen, para poder implementar mejoras dentro del Proceso de Tratamiento de Jugo, con el objetivo de producir azúcar y energía de mejor calidad y cantidad.

Los beneficios esperados son: aumento de eficiencia del proceso, aumento de la calidad del azúcar, mayores ingresos y mejora del entorno laboral.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo General:

1. Mejorar la eficiencia del proceso de tratamiento de jugo para mejorar la calidad y el costo unitario.

B. Objetivos Específicos:

1. Mejorar la eficiencia energética del proceso mediante el aislamiento térmico de los vasos evaporadores y las tuberías de conducción entre los vasos para mejorar el consumo de vapor del proceso.
2. Mejorar la calidad del azúcar tipo moreno por medio de la implementación de filtros en la meladura evaporada y la instalación de un tanque de agua para la preparación de floculantes, para evitar que partículas de sedimento lleguen al producto final.
3. Determinar la rentabilidad de las mejoras instaladas para el proceso de tratamiento de jugo.

III. JUSTIFICACIÓN

Es necesario aumentar la eficiencia en producción de azúcar y energía, para evitar perder competitividad ante las fuertes exigencias de los clientes potenciales y lograr mantener un ingreso sostenible a pesar de la variación del costo unitario de producción.

Para aumentar la eficiencia en producción de azúcar es necesario filtrar la meladura evaporada. Para aumentar la eficiencia en producción de energía es esencial evitar la pérdida de temperatura del vapor durante su uso durante el proceso de tratamiento de jugo.

Es de vital importancia mejorar la eficiencia del proceso de evaporación para:

- A. Mantener y mejorar la calidad del azúcar producido. Debido a la competencia de industrias azucareras ingenio Pantaleón tiene el propósito de mantener las certificaciones de calidad ISO 9000 y de inocuidad ISO 22000.
- B. Reducir los costos unitarios por producción de tonelada de azúcar y así aumentar las utilidades, debido a que el precio del azúcar se rige por la ley de oferta y demanda del mercado internacional.
- C. Mejorar las condiciones físicas laborales y así retardar la aparición de enfermedades profesionales y la temprana fatiga del trabajador.

IV. MARCO TEÓRICO

A. HISTORIA DE LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA EN GUATEMALA

La agroindustria azucarera de Guatemala está conformada por un grupo de empresas dedicadas al cultivo, cosecha y procesamiento de la caña de azúcar y sus derivados, contribuyendo con el 7% del producto interno bruto (Pantaleon Sugar Holding, 2013).

La agroindustria azucarera guatemalteca es reconocida a nivel mundial por los esfuerzos en investigación y por el interés en el aspecto ambiental (Pantaleon *et al.*, 2013).

1. Historia de *Pantaleón*. A base de grandes esfuerzos y una gran visión, *Pantaleón* se diversificó, transformándose de una hacienda ganadera, a una finca de caña y productora de panela y finalmente convirtiéndose en un ingenio azucarero (Pantaleon *et al.*, 2013).

El ingenio *Pantaleón* alcanzó el liderazgo de la industria azucarera de Guatemala en 1976, convirtiéndose en el ingenio de mayor volumen de producción del área centroamericana. En 1984 asumió la administración y el control de las operaciones del Ingenio Concepción, ocupando un importante lugar en cuanto al volumen de producción en el país. En el mes de junio de 1998, continuando con la estrategia de crecimiento y diversificación geográfica, la organización adquirió el Ingenio Monte Rosa, localizado en la zona occidental de la República de Nicaragua (Pantaleon *et al.*, 2013).

A finales del año 2000 se integran los tres ingenios y deciden participar como subsidiarias de la organización conocida como "*Pantaleón*". En el año 2006 se asume otro gran reto en la estrategia de crecimiento al incursionar en Brasil, en una alianza estratégica con el grupo brasileño UNIALCO y el grupo MANUELITA de Colombia, para la construcción y operación del ingenio sucro-alcoholero Vale do Paraná (Pantaleon *et al.*, 2013).

En el mes de agosto de 2008, *Pantaleón* obtiene la administración del Ingenio La Grecia, ubicado en Choluteca, Honduras. En los últimos 36 años, *Pantaleón* ha mantenido un desarrollo acelerado, construyendo modernas plantas y realizando inversiones productivas en el agro y la industria, con tecnología de punta y procesos innovadores que le han permitido ser reconocido como uno de los principales productores eficientes de bajo costo en el mundo (Pantaleon *et al.*, 2013).

B. PROCESO INDUSTRIAL DE INGENIO PANTALEÓN

El *Ingenio Pantaleón S.A.* se divide en dos procesos que son: industrial y agrícola. Tiene como misión principal procesar la caña de azúcar con el fin de producir azúcar de distintas especificaciones y energía eléctrica. Esta operación está dividida en varios procesos productivos: pesado y determinación de la calidad de la materia prima, limpieza y preparación de la caña, extracción del jugo, purificación del jugo, evaporación, cristalización, refinación de azúcar, manejo de azúcar, generación de energía y mantenimiento (Pantaleon Sugar Holding, 2013).

Pesado y determinación de la calidad de la materia prima: tiene como objetivo fundamental medir la cantidad y calidad del jugo y de la sacarosa presente. Se realiza en básculas y equipos de muestreo situados antes del ingreso al ingenio (Pantaleon *et al.*, 2013).

Limpieza y preparación de la caña: consiste en remover piedras y partículas del suelo mediante el lavado con agua antes de picar la caña hasta reducirla a astillas de menos de 2" de largo sin extraer jugo (Pantaleon *et al.*, 2013).

Extracción del jugo: se lleva a cabo mediante expresión repetida en molinos de cuatro mazas al mismo que se agrega agua para disminuir el azúcar presente en el bagazo que se produce, como sólido al final del proceso. Este bagazo servirá como combustible para producir vapor y el jugo separado seguirá el proceso de tratamiento (Pantaleon *et al.*, 2013).

Clarificación del jugo: llevada a cabo mediante el agregado de dióxido de azufre, cal hidratada y calor, para remover impurezas, limpiar el jugo y evitar el crecimiento de microbios. Esta etapa produce jugo claro como producto principal que se traslada a evaporación y a cachaza como subproducto, que se usa como abono en campos de caña (Pantaleon *et al.*, 2013).

Evaporación: el objetivo es remover el agua del jugo claro, evaporándola utilizando un sistema de alto aprovechamiento de energía para producir meladura como producto principal y vapores para suministrar energía a todo el proceso de fabricación (Pantaleon *et al.*, 2013).

Cristalización: es llevado a cabo por concentración de la meladura y mieles intermedias en tres etapas llamadas cocimientos, usando equipos conocidos con el nombre de tachos. El producto más importante son las masas cocidas que pasan a centrifugación (Pantaleon *et al.*, 2013).

Refinación de azúcar: se logra después que se tiene el azúcar cristalizada (cruda o blanco estándar), se convierte en jarabe disolviéndola con agua destilada (azúcar derretida) para darle un tratamiento de decoloración al mezclar con carbón activado y luego filtrarla para eliminar este carbón en filtros a presión con ayuda de infusorios. Ya clarificado el jarabe se procede

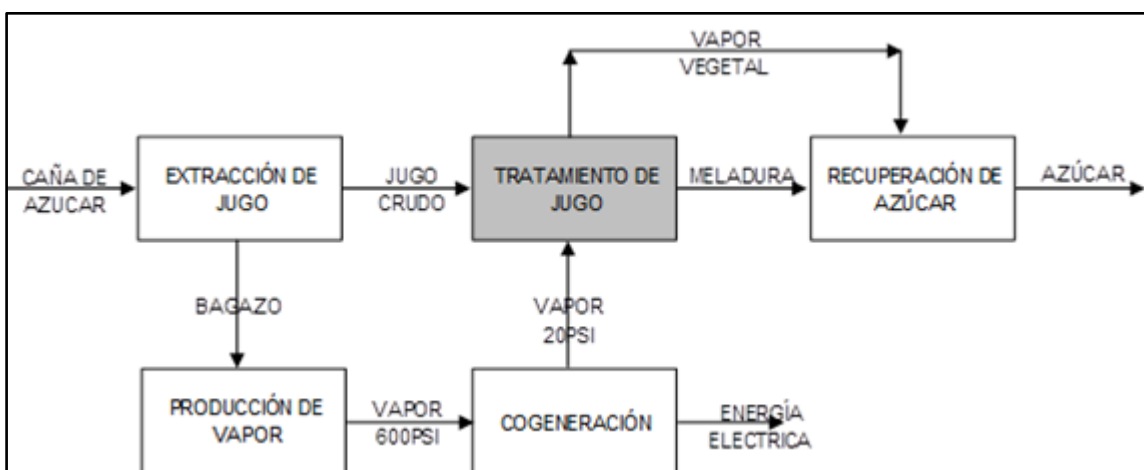
nuevamente al proceso de cristalización, logrando un color del azúcar mucho mejor y una pureza más alta (Pantaleon *et al.*, 2013).

Manejo de azúcar: se inicia separando mediante fuerza centrífuga la miel de los cristales y pasando esta azúcar a las etapas de secado y envase en las condiciones de higiene normales de un producto alimenticio (Pantaleon *et al.*, 2013).

Generación de energía: proceso enfocado a la generación de vapor de alta presión en calderas para mover las turbinas de los generadores de energía eléctrica y algunos equipos auxiliares (Pantaleon *et al.*, 2013).

Electricidad en turbogeneradores para suministrar energía para alumbrado, operación de motores, equipos eléctrico (consumo interno) y el excedente para venta al sistema eléctrico nacional (Pantaleon *et al.*, 2013).

Figura 1: Diagrama general del proceso industrial de *Ingenio Pantaleón*.



C. PASOS DEL TRATAMIENTO DE JUGO

1. SULFITACIÓN Y ALCALIZACIÓN: El jugo crudo proveniente de los molinos contiene lodo, impurezas y agentes colorantes. La primera etapa del tratamiento de jugo consiste en pasar el jugo en contracorriente con dióxido de azufre gaseoso para eliminar impurezas de la caña y reducir químicamente agentes colorantes, a esto se llama "sulfitación" y se lleva a cabo en las "torres de sulfitación". Un factor de mucha importancia a controlar es el pH del jugo, una medición de la acidez, debido a que bajo pH o jugo ácido provoca partición de la molécula de sacarosa en azúcares simples que no son cristalizables. Por este motivo, luego que el jugo es sulfitado, se agrega una solución de jugo y cal para neutralizar la acidez, procedimiento conocido como "alcalización". A un mayor pH se ocasiona incrustación en equipos de transferencia de calor y en el jugo se observa mayor turbidez de jugo y alto color de jugo (Peter, 2012).

2. CLARIFICACIÓN DE JUGO: Luego que se alcalizó el jugo, las reacciones envueltas a partir de este punto, son de mucha importancia porque de ellas dependerá la buena calidad del jugo y del azúcar. El jugo se calienta en calentadores de placas en cinco etapas de calentamiento, el vapor proviene de los evaporadores. El sacarato de calcio en conjunto con los fosfatos naturales y aplicados en el jugo, forman fosfatos de calcio, que al combinarlos con el floculante con las condiciones de temperatura y pH permiten la floculación, que es la aglomeración de partículas finas llamadas "flóculo", que son partículas de lodo que sedimentan en los "clarificadores de jugo". En estos equipos se separan el jugo limpio sobrenadante llamado "jugo claro" y los lodos con impurezas que se envían a los filtros de cachaza. El jugo claro es colado en coladores rotatorios y vibratorios en telas de 100 micrómetros para eliminar bagacillo e impedir que afecte la calidad del azúcar (Crees, Whayman & Willersdorf, 1977).

La tercera pérdida de azúcar en la fábrica es debida principalmente al efecto de la acidez, temperatura y tiempos de residencia del producto en proceso, debido a la "inversión" de la sacarosa en azúcares simples. Desde que la caña es cortada en el campo, empieza la degradación de la misma y la molécula de sacarosa se parte, en extracción de jugo el bajo pH alrededor de 5.4, permite que esta pérdida sea acelerada, luego en la sulfitación de jugo y posterior calentamiento y retención en los clarificadores de jugo provocan mayor inversión. Este proceso de degradación de la sacarosa se lleva a cabo en todo el proceso. Se pierde alrededor de 3 a 4.5 kg de azúcar por tonelada de caña (Crees, 1977).

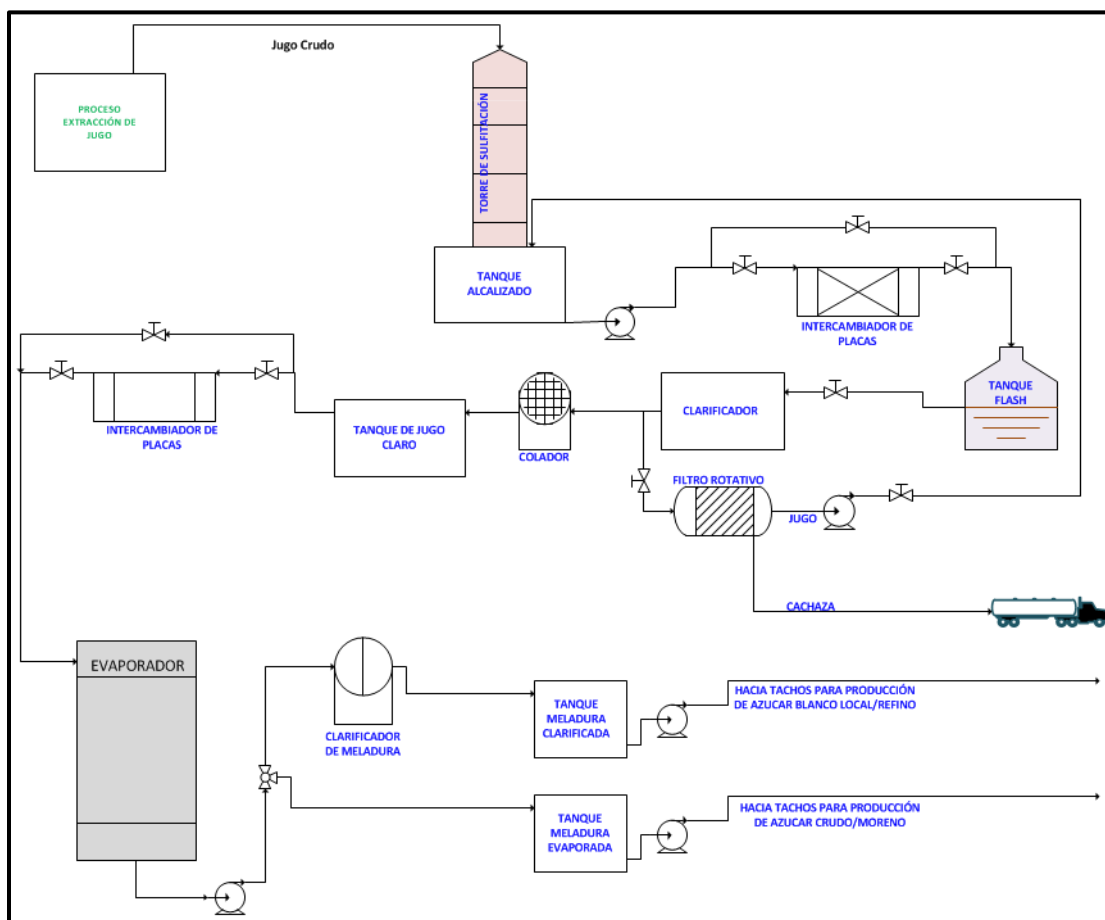
3. FILTRACIÓN DE CACHAZA: El lodo sedimentado en los cinco clarificadores se envía a "filtros rotativos" y "filtros prensa" de cachaza. El objetivo de este proceso es extraer el azúcar que aún tiene el lodo y filtrarlo. Para hacer esto se recurre al principio de "lixiviación" en el que se agrega agua como disolvente a una torta de cachaza para que absorba el azúcar presente y

luego con vacío se extrae el “jugo filtrado” con alrededor de 6 a 11 % de sólidos solubles, este se recircula nuevamente hacia la alcalización. El lodo agotado se conoce como cachaza, que tiene alto contenido de nutrientes que se envía nuevamente a los campos de caña para que funcione como fertilizante. Alrededor de 4 a 5 % de la caña ingresando al ingenio, sale en forma de cachaza. Aunque se pasó por los filtros, aún se pierde azúcar en esta etapa. Entre 1.3 y 1.6 % de la cachaza es azúcar, y es la cuarta pérdida más grande en la fábrica (Hugot,1986).

4. EVAPORACIÓN: Posterior a obtener el jugo claro, este se concentra en los evaporadores. En el cuarto de control de evaporadores, se observa y opera de manera remota desde la sulfitación de jugo hasta la entrega de meladura a tachos. El jugo claro obtenido de los clarificadores de jugo tiene alrededor de 15° brix, una medida de concentración, esto es igual a decir que el jugo tiene 15% de sólidos solubles. El objeto de la evaporación es elevar la concentración hasta 65° a 70° brix. Esto se realiza en evaporadores de múltiple efecto. Un evaporador es un recipiente que contiene jugo que es calentado en una “calandria”, un intercambiador de calor de tubos de cobre o acero inoxidable dispuestos verticalmente de manera que el jugo circula dentro de los tubos y el vapor proveniente de los turbogeneradores es condensado en la pared externa de los tubos. Se cuentan con 27 evaporadores y 45,500 m^2 (ó 490,000 pie^2) de área de transferencia distribuidos en 5 efectos. El funcionamiento básico de la evaporación consiste que el vapor generado en una serie de evaporadores, es recolectado en un cabezal que lo distribuye al siguiente efecto o serie de evaporadores. El jugo pasa en serie en todos los evaporadores y se lleva gradualmente en cada efecto desde 15° a 65° brix. El vapor producido en cada efecto se utiliza para calentar el siguiente efecto y se hacen extracciones para usar en los calentadores en la clarificación de jugo, para cristalización y producción de masas en la refinería y en los tachos. A los evaporadores ingresan alrededor de 5,000 a 5,300 galones por minuto y salen entre 1,000 a 1,200 galones por minuto de jugo concentrado llamado “meladura” con 65 °brix y una pureza alrededor de 85% a 90% (Peter, 2012).

5. CLARIFICACIÓN DE MELADURA: Debido a las diferentes calidades de azúcar que se producen, alrededor del 50 % de la meladura proveniente de los evaporadores se envía a los tachos para producir azúcar crudo y/o moreno. El restante 50% pasa por un proceso de clarificación en donde un agente floculante, microburbujas de aire, fosfatos en condición de pH y temperatura adecuados permiten la flotación de impurezas, las que son nuevamente recirculadas hacia la alcalización. Al salir de los clarificadores se obtiene “meladura clarificada” que se envía a los tachos que producen azúcar blanco (Doherty, 1999).

Figura 2: Diagrama representativo del proceso de tratamiento de jugo.



D. AZÚCAR: PRODUCCIÓN, OFERTA TOTAL, CONSUMO Y DISTRIBUCIÓN MUNDIAL

1. Producción, oferta y distribución mundial del azúcar

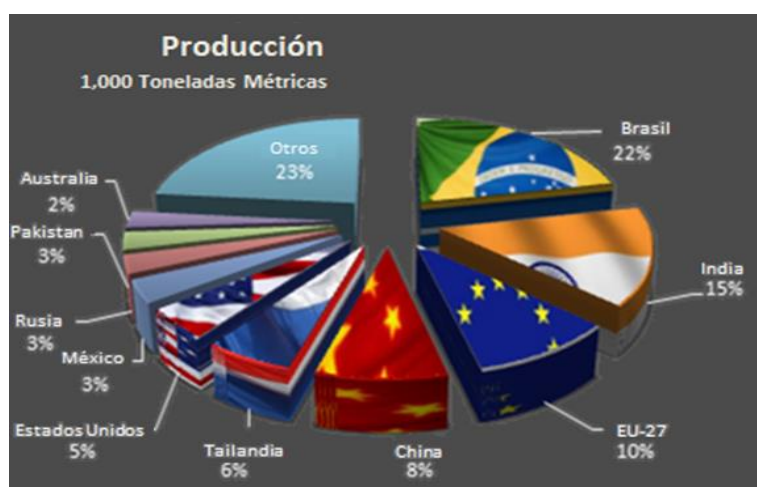
Figura 3: Oferta y distribución de azúcar mundial.



La producción mundial alcanzó hacia el mes de noviembre 2012 la cantidad de 172.31 millones de toneladas métricas, una oferta total de 257.05 millones con el manejo de final de inventario anuales y un uso total de 163.61 millones de toneladas (Uso total de Guatemala 750,000 Tm o 0.46%) (Stephanie, 2012).

2. Distribución de la producción mundial de azúcar

Figura 4: Producción de azúcar mundial.

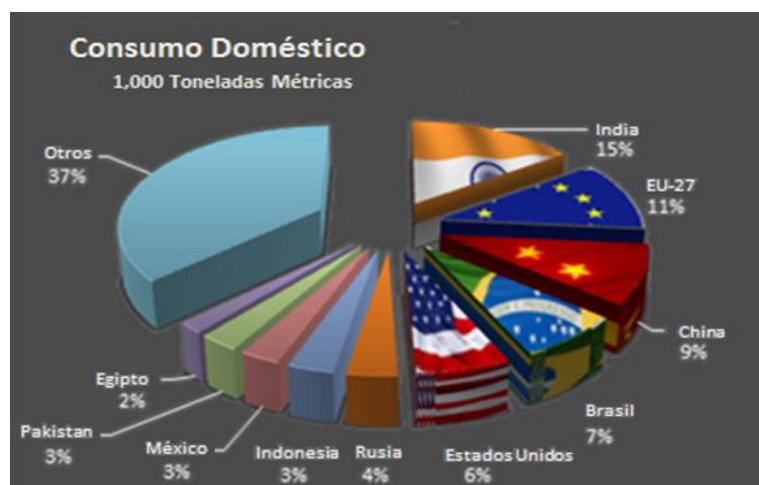


Con base en la distribución mundial, el mayor productor a Noviembre 2012 fue Brasil con 37.50 millones de toneladas métricas [*Tm*] (22.00% de la producción mundial), seguido por la India con 25.63 millones de *Tm* (15.00%), la Unión Europea, 16.39 millones de *Tm* (10.00%), China, 14.58 millones de *Tm* (8.00%), Tailandia un 6.00% o 9.93 millones de *Tm*, Estados

Unidos, 8.00 millones de *Tm* (5.00%), México, 6.00 millones de *Tm* (3.00%) y el resto de países, 54.26 millones de toneladas métricas (31.49%), entre los cuales se ubica Guatemala con un 1.44% o 2.47 millones de *Tm* (Stephanie, 2012).

3. Distribución del consumo humano doméstico mundial de azúcar

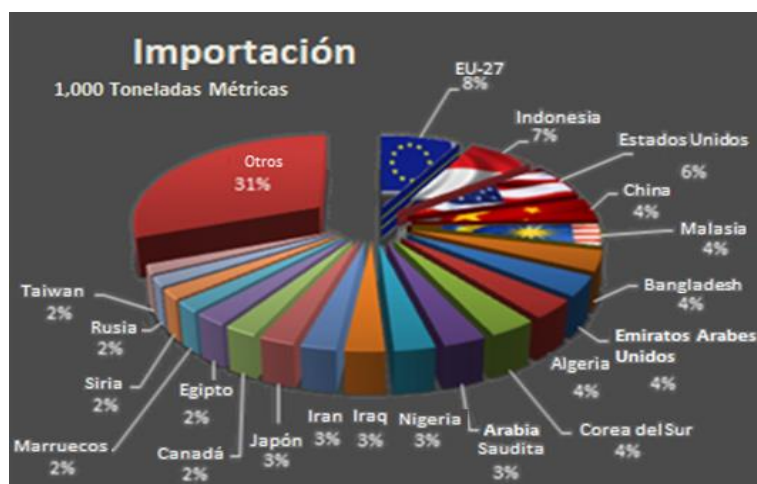
Figura 5: Consumo interno de azúcar a nivel mundial.



El consumo doméstico mundial de azúcar a la misma fecha indicada (Noviembre 2012), alcanzó las 162.80 millones de toneladas métricas, encabezado por la India (15.00%), Unión Europea (11.00%), China (9.00%), Brasil (7.00%), Estados Unidos (6.00%) y el resto de países 50.66% (Stephanie, 2012).

4. Distribución de la importación mundial de azúcar

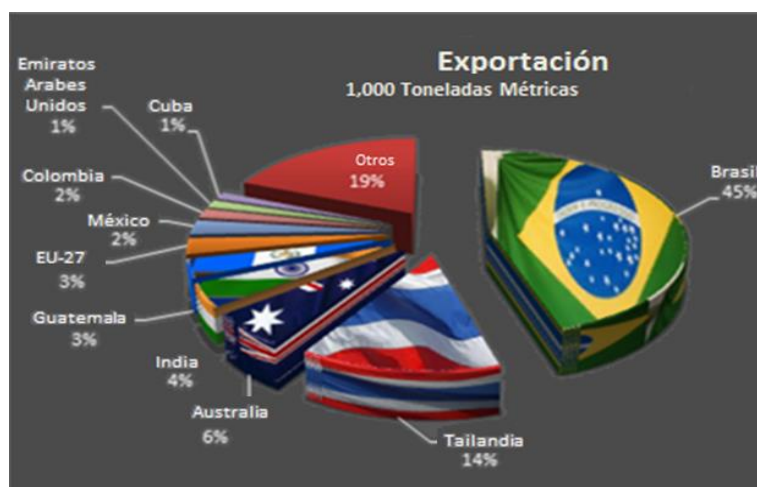
Figura 6: Importación de azúcar a nivel mundial.



La importaciones mundiales rondaron las 48.53 millones de *Tm* encabezadas por la Unión Europea (8.00%), Indonesia (7.00%), Estados Unidos (6.00%), China (4.00%), Malasia (4.00%) y el resto de países 71.43% (Stephanie, 2012).

5. Distribución de la exportación mundial de azúcar

Figura 7: Exportación de azúcar a nivel mundial.



Por último, de un total de 55.14 millones de *Tm* exportadas a nivel mundial, Brasil abarcó un 45.00% de ellas con 25.00 millones de *Tm*, Tailandia 7.50 millones de *Tm* (14.00%), Australia 3.10 millones (6.00%), India 2.20 millones (4.00%), y Guatemala, en quinta posición, 1.72 millones de toneladas métricas de azúcar, un 3.12% de las exportaciones mundiales hacia noviembre del 2012 (Stephanie, 2012).

E.SECTOR AZUCARERO

El sector azucarero tiene gran importancia en la producción agroindustrial guatemalteca y una fuerza determinante en la economía de la costa del pacífico (Asociación Bancaria de Guatemala, 2012).

1. **Caracterización del sector.** Bajo el contrato no. 11 se negocia azúcar cruda de caña a granel, a precio FOB, proveniente de los principales países exportadores dentro del que se encuentra Guatemala. La Bolsa de Nueva York encargada de operar los precios de azúcar centrifugado con un promedio de polarización de 96 grados. La cotización se realiza en centavos americanos por libra inglesa. Cada contrato tiene un volumen de 112,000.00 libras (50.80 toneladas métricas) y los meses de contrato cotizados son enero, marzo, mayo, julio y octubre. Al igual que el café el azúcar es considerada como una de las materias primas más importantes a las que se les da seguimiento mundial (Asociación Bancaria de Guatemala, 2012).

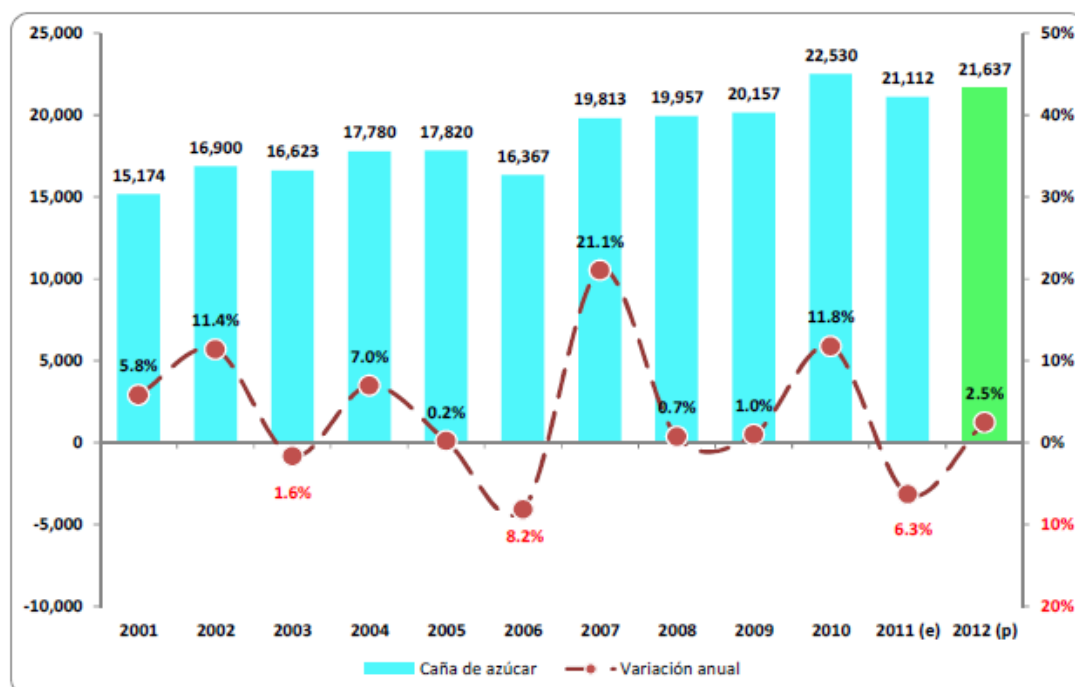
El período de cosecha y comercialización del azúcar, comprende 12 meses, que generalmente inicia en el mes de octubre y finaliza en septiembre del año siguiente, conocido también por sus siglas en inglés Marketing Year (MY) (Superintendencia de Guatemala, 2011).

Cuadro 1: Evolución de la industria azucarera de Guatemala MY2001-MY2012^(P)

Período	Área de cultivo	Variación anual	Caña de azúcar	Variación anual	Rendimiento de la caña de azúcar	Variación anual	Producción de Azúcar	Variación anual	Rendimiento	Variación anual
MY	(1000 ha)	%	(1000 TM)	%	(TM/ha)	%	TM	%	Kg/TM	%
2000/01	185	2.8%	15,174	5.8%	82.0	3.0%	1,711,832	3.4%	113	1.9%
2001/02	187	1.1%	16,900	11.4%	90.4	10.2%	1,911,418	11.7%	113	0.3%
2002/03	194	3.7%	16,623	1.6%	85.7	5.2%	1,882,115	1.5%	113	0.1%
2003/04	200	3.1%	17,780	7.0%	88.9	3.8%	2,005,740	6.6%	113	0.4%
2004/05	197	1.5%	17,820	0.2%	90.5	1.8%	2,037,130	1.6%	114	1.3%
2005/06	194	1.5%	16,367	8.2%	84.4	6.7%	1,847,402	9.3%	113	1.3%
2006/07	210	8.2%	19,813	21.1%	94.3	11.8%	2,169,886	17.5%	110	3.0%
2007/08	216	2.9%	19,957	0.7%	92.4	2.1%	2,119,357	2.3%	106	3.0%
2008/09	230	6.5%	20,157	1.0%	87.6	5.1%	2,217,345	4.6%	111	4.5%
2009/10	235	2.2%	22,530	11.8%	95.9	9.4%	2,340,852	5.6%	103	7.2%
2010/11 (e)	241	2.6%	21,112	6.3%	87.6	8.6%	2,259,412	3.5%	101	1.9%
2011/12 (p)	247	2.5%	21,637	2.5%	87.6	0.0%	2,474,412	9.5%	111	9.9%

(e)= estimado, (p)= proyectado

Figura 8: Evolución de la producción de caña de azúcar en Guatemala MY2001-MY2012.



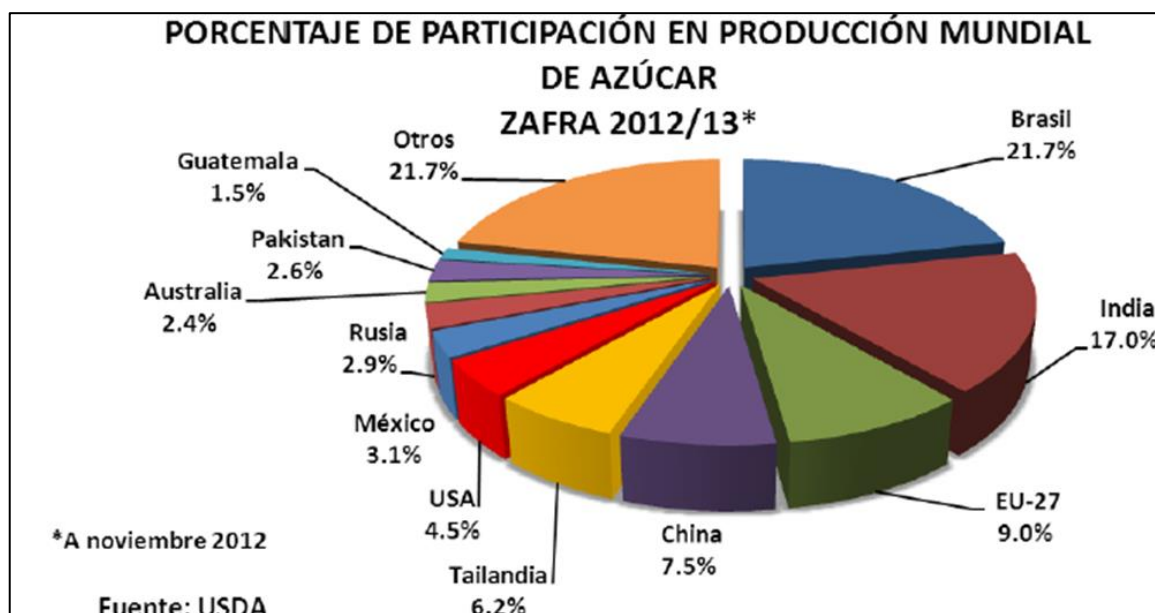
(e)= estimado, (p)= proyectado.

F. CONTEXTO INTERNACIONAL DEL SECTOR Y DEL MERCADO

El departamento de Agricultura de Estados Unidos de Norteamérica USDA, el cual cuenta con un departamento de Agricultura para el Extranjero, tiene dentro de sus responsabilidades las estadísticas de varias materias primas entre las que se encuentra el azúcar (Asociación Bancaria de Guatemala, 2012).

De acuerdo a estas estadísticas y a los datos de la zafra 2012/2013 (a noviembre), se espera dentro de los principales productores a Brasil primer productor de azúcar en el mundo con 37.80 millones de toneladas métricas, le sigue India con 29.80 millones toneladas métricas, en tercera posición se encuentra China con 13.20 millones toneladas métricas y por último Tailandia con 9.90 *Tm*; estos 4 países concentran aproximadamente el 50.00% de la producción mundial. Por su parte, Guatemala se posiciona en el décimo lugar con 2.60 millones de toneladas métricas, que representa el 1.50% de la producción mundial (Asociación Bancaria de Guatemala, 2012).

Figura 9: Participación en producción mundial de azúcar.



G. CONTEXTO NACIONAL DEL SECTOR Y DEL MERCADO

De acuerdo información de la Asociación Azucarera Guatemalteca ASAZGUA, en Guatemala operan actualmente 12 ingenios, ubicados en 4 departamentos de la costa del pacífico (Asociación Bancaria de Guatemala, 2012).

En la zafra 2011-2012, estas fábricas se encuentran cultivando alrededor de un área de 235,000 hectáreas, un 2.20% del área cultivada en Guatemala, en las que se producen 20.80 millones de toneladas de caña molida, lo cual posiciona a Guatemala entre los primeros lugares como productor de azúcar a nivel mundial (Asociación Bancaria de Guatemala, 2012).

Adicionalmente, los 12 ingenios generan alrededor de 350,000 empleos directos e indirectos en época de zafra. De esa suma, 35,000 empleos corresponden a cortadores de caña.

La industria del azúcar en Guatemala, es reconocida por su competitividad dentro de la región, así como a nivel mundial. Durante el período 2011/12, Guatemala se está posicionando como el décimo mayor productor, cuarto mayor exportador, tercero más competitivo y tomando en cuenta la capacidad de carga en puerto, uno de los más eficientes. Esta última situación derivada de que el 82.00% de ingenios se encuentran muy cerca de Puerto Quetzal, puesto que la distancia promedio es de 65.00 km al mismo, que representa una ventaja competitiva en términos de capacidad de carga para la exportación (Asociación Bancaria de Guatemala, 2012).

H. Mejora No.1: Aislamiento térmico en tuberías de vapor y tanque de jugo claro.

1. Aislamiento térmico: Consiste en la instalación de una capa de material aislante térmico, que se coloca sobre objetos en los cuales se quiere evitar la pérdida de calor (Tromp,1936).

Existen varios tipos de aisladores térmicos de acuerdo al material utilizado como aislante, entre los más utilizados dentro de las industrias están:

2. Poliestireno expandido: El poliestireno expandido (EPS): material plástico espumado, derivado del poliestireno, conocido comúnmente como duroport. Debido a sus excelentes cualidades, propiedades, por su versatilidad y facilidad de conformado presenta un amplio rango de aplicaciones (Tromp, 1936).

Figura 10: Poliestireno expandido.



3. Lana de vidrio: Es un producto de origen natural, mineral, inorgánico, compuesto por un entrelazado de filamentos de vidrio aglutinados mediante una resina ignífuga. Los paneles de lana de vidrio están compuestos principalmente por arena de sílice y carbonato de calcio y de magnesio que le confiere resistencia a la humedad (Tromp, 1936).

Figura 11: Lana de vidrio.



4. Tela de fibra cerámica: Fibra hecha especialmente para resistir altas temperaturas (hasta 1260° C según el material de refuerzo), las fibras cerámicas presentan propiedades excelentes de peso ligero, conductividad termal baja y estabilidad química, resistiendo el ataque de la mayoría de agentes corrosivos. Generalmente se usan en la industria de insulación termal como aislador (Tromp, 1936).

Figura 12: Tela de fibra cerámica.



Aplicaciones de los aisladores térmicos más utilizados dentro de la industria:

- Revestimiento de hornos industriales.
- Aislamiento de calderas.
- Enfriamiento controlado.
- Calefacción de hornos de vidrio.
- Aislamiento de los conductos de gases en tuberías.
- Pantallas térmicas en la industria del automóvil.
- Protección contra incendios.
- Filtración a alta temperatura.
- Aislamiento de las turbinas de gas o a vapor.

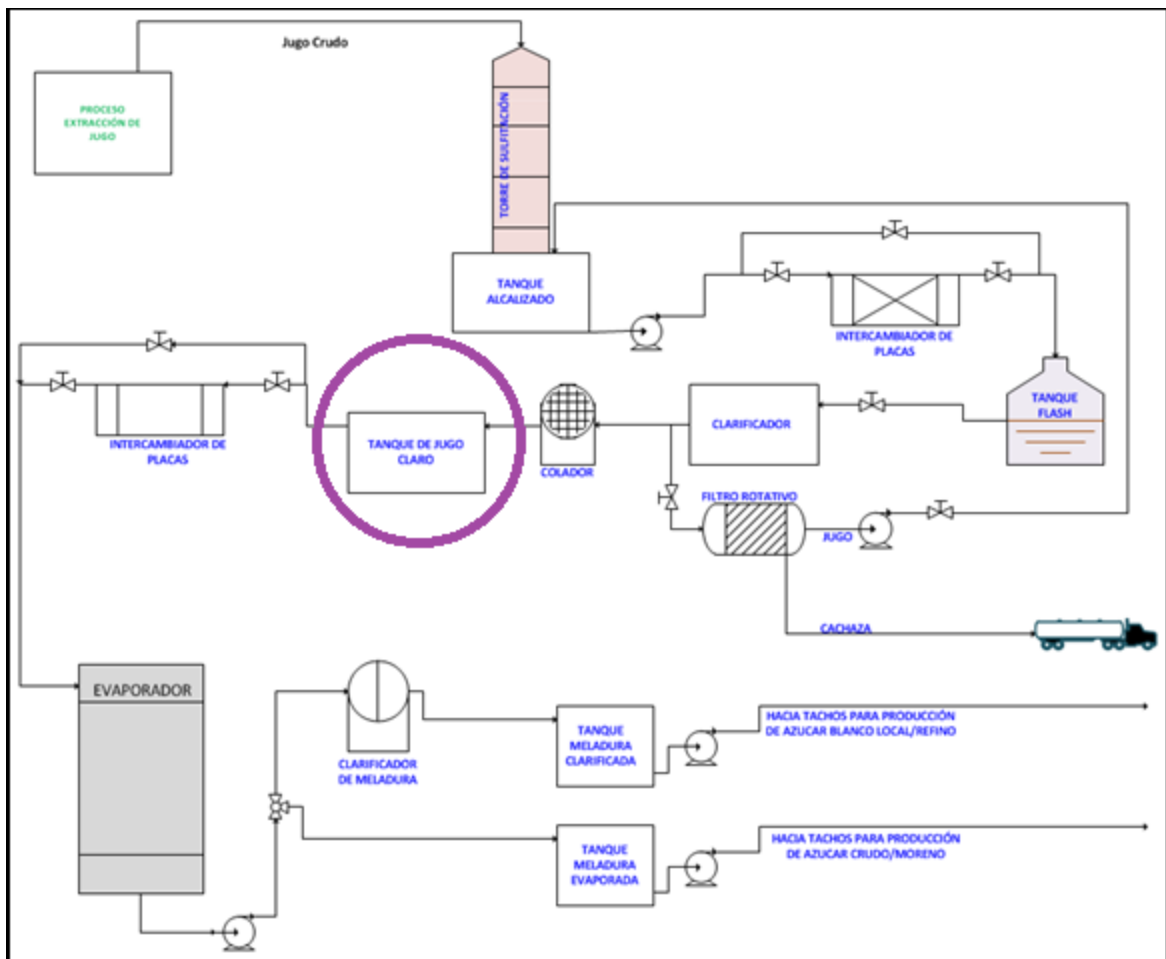
En el caso de este estudio, el aislamiento térmico a instalar será el de fibra de vidrio y se aplicará en las siguientes unidades: tanque de jugo claro, tubería de vapor de escape y tubería de vapor vegetal (vapor vegetal 1 y 2).

El objetivo de la instalación del aislamiento térmico es mejorar el consumo de vapor y mejorar la eficiencia energética como consecuencia de disminuir las pérdidas de energía térmica al ambiente.

a. **Tanque de jugo claro.** El jugo después de ser sulfitado y alcalizado pasa a ser clarificado y posteriormente se almacena en el tanque de jugo claro (ver Figura 13), para luego ser enviado a los vasos evaporadores. El objetivo de evitar las pérdidas de temperatura en la superficie del tanque, es por la razón de que si el jugo que se traslada del tanque a los vasos evaporadores, entra con una temperatura baja a la requerida, la productividad en el proceso disminuye, ya que se utiliza una mayor cantidad de vapor para evaporar la misma cantidad de agua contenida en el jugo.

La temperatura del jugo dentro del tanque tiene que estar dentro del rango de 205°F a 210°F, la temperatura requerida en los vasos evaporadores es de 240°F, para elevar la temperatura hasta su nivel requerido, se envía antes de su ingreso a los calentadores de placas que son los que se encargan de elevar la temperatura hasta el nivel requerido (ver Figura 13).

Figura 13: Tanque de jugo claro en el proceso de tratamiento de jugo.



b. Tubería de vapor de escape. Este vapor se origina del turbogenerador de escape

después de ser utilizado para generar energía eléctrica y se utiliza para diferentes aplicaciones en los diversos procesos de producción del ingenio.

c. Tubería de vapor vegetal. Recibe el nombre de vapor vegetal debido a que anteriormente era vapor de escape con una temperatura de 260°F y ha descendido a una temperatura de 235°F por lo que casi se considera muerto. Se divide en cuatro tipos: vapor vegetal I, vapor vegetal II, vapor vegetal III y vapor vegetal IV.

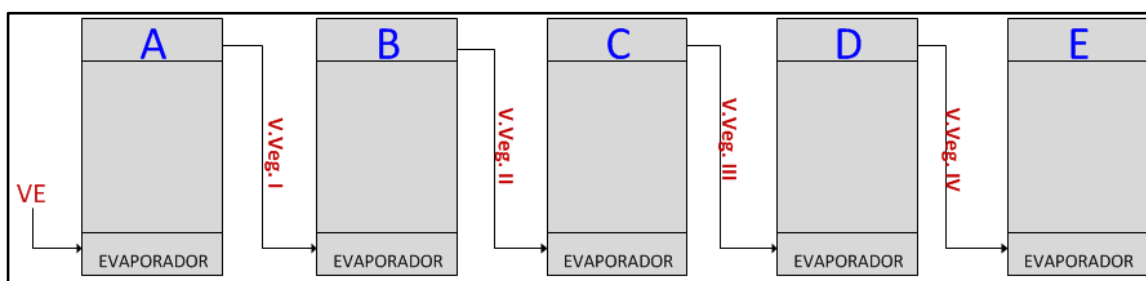
Sus temperaturas y presiones son las siguientes:

Cuadro 2: Tipos de vapor.

TIPO DE VAPOR	PREISION (psi)	TEMPERATURA (°F)
Vapor de Escape	24	260
Vapor Vegetal I	12	235
Vapor Vegetal II	5	218
Vapor Vegetal III	1	200
Vapor Vegetal IV	-5	140

Los vasos evaporadores trabajan en base a cinco efectos y dependiendo del efecto se define qué tipo de vapor utilizar. (Ver Figura 14).

Figura 14: Representación de los cinco efectos de los vasos evaporadores y tipo de vapor utilizado.



Al evitar la radiación de energía térmica al ambiente, la energía es mejor aprovechada para el proceso de evaporación, disminuyendo el consumo de vapor necesario por unidad de materia procesada, quedando más vapor disponible para la generación y venta de energía.

I. Cálculo de costos de la instalación de aislamiento térmico

Cuadro 3: Costo en dólares del aislamiento térmico.

COSTOS DE AISLAMIENTO TERMICO EN TUBERIAS DE VAPOR Y TANQUE DE JUGO CLARO	COSTOS PARCIALES	COSTOS TOTALES
MATERIALES	\$ 27,234.96	\$ 27,234.96
MANO DE OBRA	\$ 33,647.22	\$ 33,647.22
TOTAL		\$ 60,882.17

Cuadro 4: Costo en quetzales del aislamiento térmico.

COSTOS DE AISLAMIENTO TERMICO EN TUBERIAS DE VAPOR Y TANQUE DE JUGO CLARO	COSTOS PARCIALES	COSTOS TOTALES
MATERIALES	\$ 212,432.66	Q 212,432.66
MANO DE OBRA	\$ 262,448.30	Q 262,448.30
TOTAL		Q 474,880.96

J. Cálculo de la pérdida de la eficiencia energética de las unidades a aislar.

Para el cálculo de la pérdida de la eficiencia energética se utilizó la fórmula Stefan Boltzmann:

$$q = \epsilon \sigma (T_h^4 - T_c^4) A_c$$

La cual establece que la cantidad total de energía radiada por un cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. (Zhadanovsky, 2010).

donde:

- T_h = temperatura absoluta del cuerpo caliente
- T_c = temperatura absoluta del ambiente frío
- A_c = área del objeto
- ϵ = emisividad
- $\sigma = 5.6703 \times 10^{-8} (W/m^2k^4)$ (constante Stefan-Boltzmann)

Cuadro 5: Cálculo de la pérdida de energía en las unidades a instalar el aislamiento térmico.

NOMBRE	ϵ	σ	T_h^4	T_c^4	A_c (m^2)	$\epsilon \sigma$	$(T_h^4 - T_c^4) A_c$ (m^2)	q (W)	ENERGIA PERDIDA (Kw/h)
Tanque de Jugo Claro	0.93	5.6703E-08	99	25	304	0.000000053	29083368704	1533.68	1.53367626
Dos Tuberías de Tanque Jugo Claro a intercambiadores de calor	0.93	5.6703E-08	99	25	89	0.000000053	8514538864	449.00	0.44900390
Tubería de Vapor meladores E1, E3 y E4 y area cercana al pasillo	0.93	5.6703E-08	60	25	313	0.000000053	3934214375	207.47	0.20746603
Tubo Vapor de Escape	0.93	5.6703E-08	126	25	46.43	0.000000053	11684439789	616.16	0.61616479
Tubo Vapor Vegetal 1	0.93	5.6703E-08	112	25	268.26	0.000000053	42106850778	2220.45	2.22045383
Tubo Vapor Vegetal 2	0.93	5.6703E-08	103	25	122.23	0.000000053	13709547142	722.96	0.72295638
TOTAL DE ENERGIA PERDIDA EN UNA HORA									5.74972120

Se utilizó el aislante de fibra cerámica mineral con aglutinante de fibra de vidrio, debido a la capacidad de resistencia térmica y a los costos del mismo, este posee una R_t de 1,038 °C; asimismo los espesores utilizados de acuerdo a la temperatura emitida de los elementos aislados, fueron de 1 1/2" y de 2".

Cuadro 6: Total de energía perdida en el lapso de una hora, día, mes y durante una zafra.

Energía perdida en una hora Mw/h	Energía perdida en un día Mw/h	Energía perdida en un mes Mw/h	Energía perdida en una zafra Mw/h
0.0057	0.1380	4.20	25.1865

K. Mejora No. 2: Filtros de meladura

Filtro de Meladura: el filtro es una máquina que se encarga de separar los sedimentos dentro de un flujo, en este caso meladura evaporada proveniente de los vasos evaporadores (Tromp, 1936).

Filtros a instalar: FILTRO MAHLE

El ingenio produce diferentes tipos de azúcar según calidad de la meladura, el 50% de la meladura se envía a tachos directamente sin ser clarificada para la producción de azúcar moreno o crudo; y el otro 50% se envía a los clarificadores de meladura para producir azúcar blanco y refino.

Se instalarán tres filtros del lado de la meladura que es enviada directamente a tachos, el objetivo es mejorar la calidad de la meladura evaporada y consecuentemente la calidad del azúcar moreno.

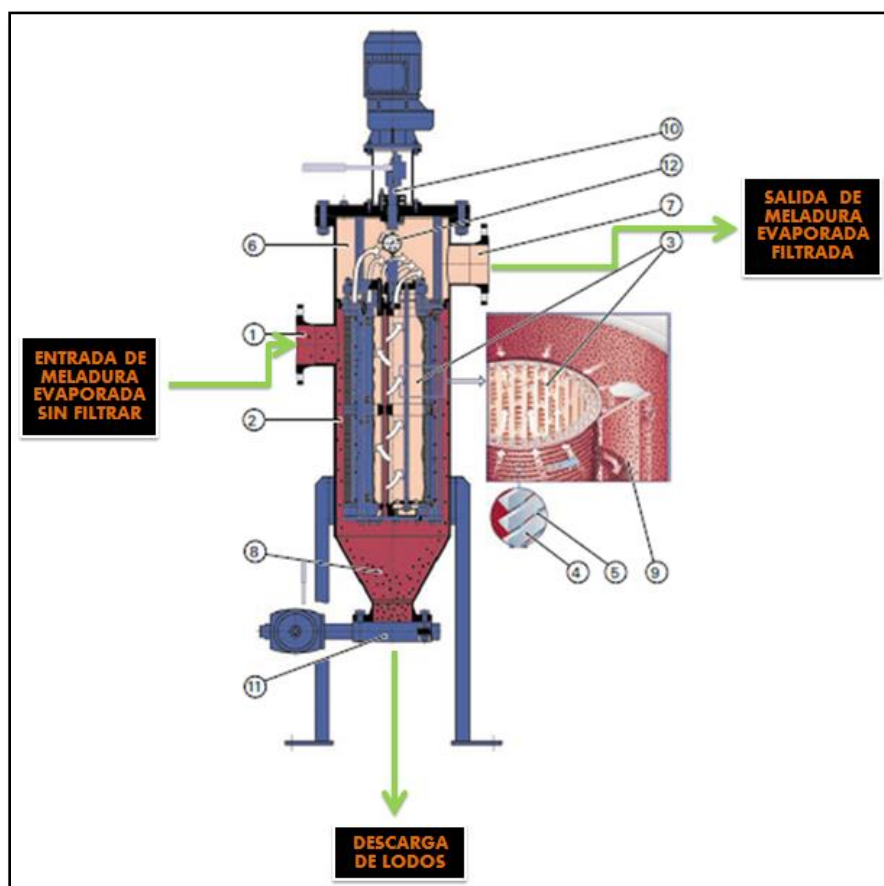
1. **Funcionamiento del filtro.** El filtro Mahle utiliza el principio de filtración centrífuga y puede ser utilizado en un amplio rango de líquidos. Este no necesita mantenimiento ni pre-filtros, ya que puede limpiarse automática o semiautomáticamente sin tener que parar la operación del mismo.

El flujo del líquido (meladura evaporada) fluye de afuera hacia adentro del cartucho del filtro MAHLE (1. Conexión de entrada del flujo). El líquido filtrado es descargado en la parte superior, opuesta al punto de conexión de entrada del líquido (7. Conexión de descarga). La materia sólida es descargada en la parte inferior al saturarse el filtro (11. Válvula de drenaje automática o manual).

El cartucho del filtro Mahle se filtra girando una cuchilla raspadora. El sistema patentado AKF previene altas fuerzas axiales, asegurándose que el proceso de limpieza se realice fácilmente.

El residuo depositado en el cono colector puede ser vaciado por la válvula de drenaje cuando el sistema está apagado o mientras está en operación.

Figura 15: Partes del filtro Mahle señalizadas.



Cuadro 7: Partes del filtro Mahle.

PARTES DEL FILTRO	
1	CONEXIÓN DE ENTRADA DE FLUJO
2	CAMARA DE ENTRADA
3	CARTUCHO DE FILTRO
4	PERFIL TRANFULAR DEL FILTRO
5	ABERTURA DEL FILTRO
6	CAMARA DEL MATERIAL FILTRADO
7	CONEXIÓN DE DESCARGA
8	CONO COLECTOR DE RESIDUOS
9	SALIDA DE DESECHOS
10	ACCIONAMIENTO DE LIMPIEZA, CON MOTOR O LLAVE MANUAL
11	VALVULA DE DRENAJE AUTOMATICA O MANUAL
12	SENSORES DE PRESION DIFERENCIAL

Operación completamente automática: La limpieza del motor se puede hacer por presión diferencial del filtro, o por tiempo o por demanda (es recomendado limpiarlo a aproximadamente 4 veces la presión inicial). En los ciclos cortos del filtro el motor está encendido permanentemente. El eje gira en sentido de las agujas del reloj, el tiempo para limpiar el filtro es de 10 segundos (3 vueltas). Posteriormente los sedimentos se eliminan al abrir la válvula de descarga. Dependiendo de la concentración del lodo la apertura de la válvula es simultánea al tiempo de limpieza. La operación en el lado de la succión es posible usando un amortiguador de fluido o interrumpiéndolo.

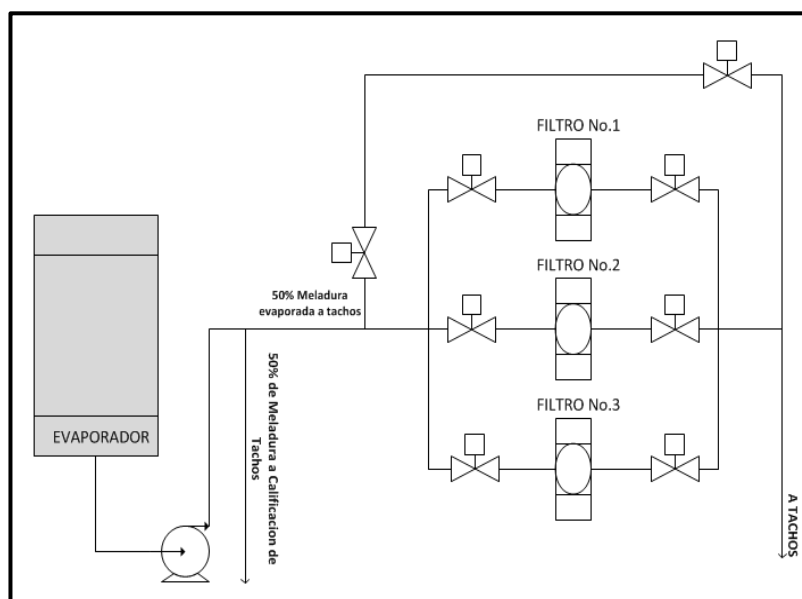
Operación semi automática: La limpieza se hará como se explicó anteriormente. La descarga por operación manual de la válvula de descarga se hará al final de la carga, durante el tiempo de apagado o durante el tiempo de encendido.

Operación manual: La limpieza manual es usada para el ciclo del filtro corto o para una baja concentración de sólidos. Se hace cuando el eje gire 2 o 3 veces en el sentido de las agujas del reloj. La descarga es como se describió en el paso semi automática.

Datos técnicos:

1. Mesh= 80 μ (micrones)
2. Flujo= 1000 gal/min
3. Brix= 60970

Figura 16: Flujograma instalación de los tres filtros Mahle.



L. Cálculo de costos de la instalación de los filtros de meladura

Cuadro 8: Costo en dólares de los filtros de meladura.

COSTOS INSTALACIÓN FILTRO DE MELADURA	COSTOS TOTALES
MATERIALES	\$303,469.46
MANO DE OBRA	\$8,961.54
TOTAL	\$312,431.00

Cuadro 9: Costo en quetzales de los filtros de meladura.

COSTOS INSTALACIÓN FILTRO DE MELADURA	COSTOS TOTALES
MATERIALES	Q2,367,061.77
MANO DE OBRA	Q69,900.00
TOTAL	Q2,436,961.77

1. **Beneficios esperados.** Hoy en día el ingenio tiene una producción promedio de azúcar crudo de 1,100ton/día y de 310ton/día de azúcar moreno, siendo la producción de azúcar crudo más del triple de producción que la de azúcar moreno.

En el mercado del azúcar el precio del azúcar crudo es valorizada en \$400/t, mientras que el del azúcar moreno es valorizada en \$650/ t.

Los factores que afectan los precios mundiales del azúcar son:

Producción global, a mayor oferta y menor demanda, precios bajos.

Consumo global, a mayor demanda y menor oferta, precios altos.

a. **A corto plazo.** A corto plazo el beneficio que se espera obtener con la instalación de los filtros es: mejora de la calidad de meladura evaporada. Como resultado de esta mejora, aumento de producción de azúcar moreno, por la no reclasificación a crudo debido a presencia de materia insoluble.

b. **A largo plazo.** A largo plazo el beneficio que se espera obtener con la instalación de los filtros es: cero reclasificaciones de azúcar moreno a crudo.

El beneficio económico actual es el siguiente:

Cuadro 10: Ganancia en dólares sin filtros de meladura.

	Producción diaria. (t).	Precio (\$/t)	Costo de producción (\$/t)	Ingreso Diario
Azúcar crudo	1100	400	350	\$ 55,000.00
Azúcar moreno	310	650	370	\$ 86,800.00
Ganancia total diaria				\$ 141,800.00

Cuadro 11: Ganancia en quetzales sin filtros de meladura.

	Producción diaria. (t).	Precio (Q/t)	Costo de producción (\$/t)	Ingreso Diario
Azúcar crudo	1100	3120	350	Q 3,047,000.00
Azúcar moreno	310	5070	370	Q 1,457,000.00
Ganancia total diaria				Q4,504,000.00

El beneficio económico proyectado es el siguiente:

CORTO PLAZO

Cuadro 12: Ganancia en dólares con filtros de meladura.

	Producción diaria. (t).	Precio (\$/t)	Costo de producción (\$/t)	Ingreso Diario
Azúcar crudo	550	400	350	\$ 27,500.00
Azúcar moreno	860	650	370	\$ 240,800.00
Ganancia total diaria				\$ 268,300.00

Cuadro 13: Ganancia en quetzales con filtros de meladura.

	Producción diaria. (t).	Precio (Q/t)	Costo de producción (\$/t)	Ingreso Diario
Azúcar crudo	550	3120	350	Q 1,523,500.00
Azúcar moreno	860	5070	370	Q 4,042,000.00
Ganancia total diaria				Q5,565,500.00

LARGO PLAZO

Cuadro 14: Ganancia en dólares con filtros de meladura.

	Producción diaria. (t).	Precio (\$/t)	Costo de producción (\$/t)	Ingreso Diario
Azúcar crudo	0	400	350	\$ -
Azúcar moreno	1410	650	370	\$ 394,800.00
Ganancia total diaria				\$ 394,800.00

Cuadro 15: Ganancia en quetzales con filtros de meladura.

	Producción diaria. (t).	Precio (Q/t)	Costo de producción (\$/t)	Ingreso Diario
Azúcar crudo	0	3120	350	Q -
Azúcar moreno	1410	5070	370	Q 6,627,000.00
Ganancia total diaria				Q6,627,000.00

M. Mejora No.3: Instalación de tanque de agua de condensados

Tanque de agua de condensados: El tanque de agua de condensados albergará agua proveniente del tanque de agua de imbibición la cual es agua condensada que viene de los vasos evaporadores.

El agua del tanque será utilizada para la preparación de floculante utilizado en la clarificación de jugo claro, actualmente se utiliza agua que viene de la toma de agua general de fábrica. Las desventajas de utilizar agua directa de la toma son:

- El agua viene demasiado turbia (arena, tierra, lodo) y el floculante empieza a actuar antes de tiempo reduciendo su eficacia.
- El PH está entre 6 y 7 (entre ácido y neutro) y el que necesita el floculante para su preparación es un PH 8.

El objetivo principal de la instalación del tanque de agua de condensados es mejorar la clarificación del jugo por medio de la optimización del efecto del floculante.

Para optimizar el efecto del floculante se necesita:

- Agua limpia
- Temperatura de aproximadamente 50°C

Estas características favorecen la regulación del agua hasta un nivel de PH 8, el cual es el recomendable según especificaciones del floculante para su preparación y adecuada eficacia.

Figura 17: Flujograma instalación tanque agua de condensados.

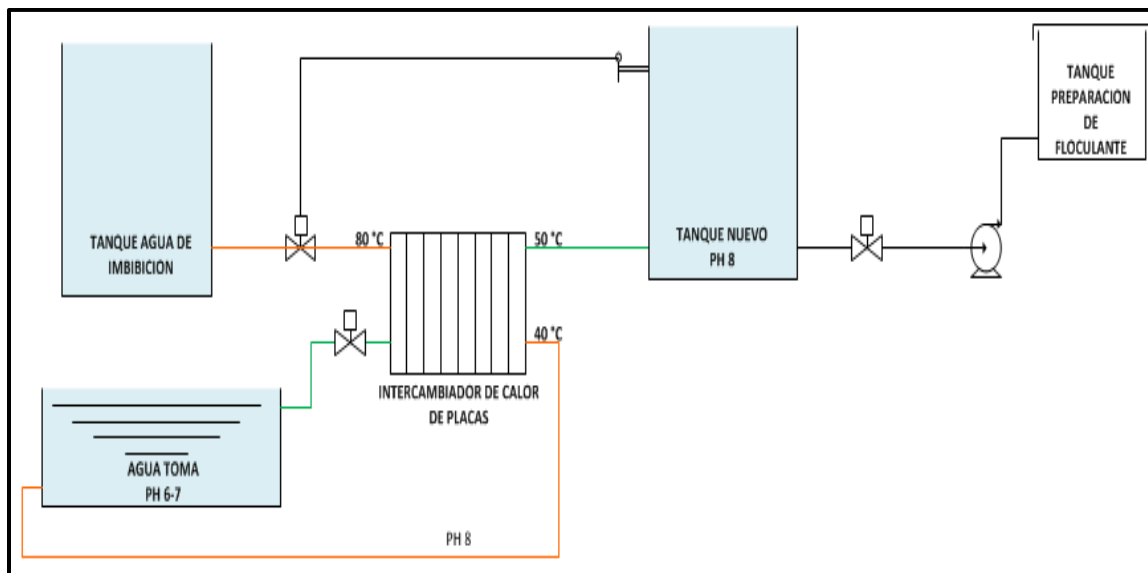
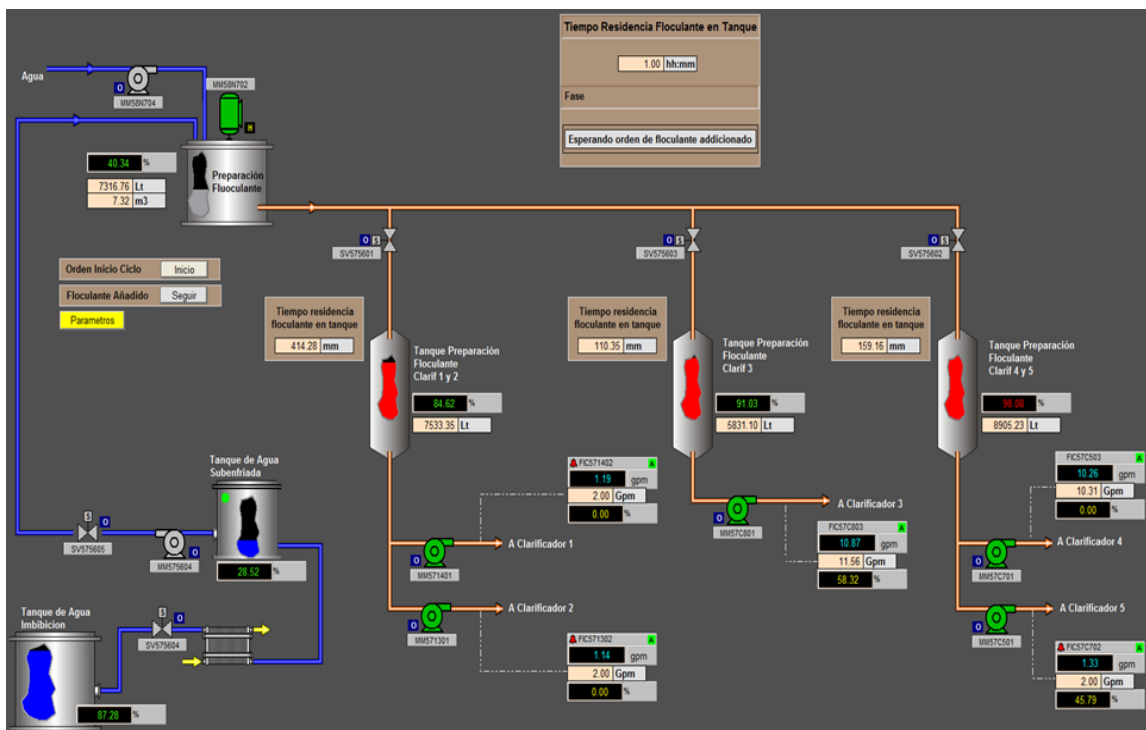


Figura 18: Lazo de control del tanque de condensados.



N. Cálculo de costos de la instalación del tanque de agua de condensados.

Cuadro 16: Costo en dólares instalación tanque de condensados.

COSTOS INSTALACIÓN TANQUE AGUA DE CONDENSADOS	COSTOS TOTALES
MANO DE OBRA	\$17,561.30
MATERIALES	\$35,897.17
TOTAL	\$53,458.47

Cuadro 17: Costo en quetzales instalación tanque de condensados.

COSTOS INSTALACIÓN TANQUE AGUA DE CONDENSADOS	COSTOS TOTALES
MANO DE OBRA	Q136,978.13
MATERIALES	Q279,997.93
TOTAL	Q416,976.06

V. METODOLOGÍA

1. UNIDADES DE ANÁLISIS

- a. Factibilidad técnica: Se hizo un estudio técnico para determinar si era posible ejecutar las mejoras propuestas.
- b. Determinación del costo de la inversión: Se realizaron diversas cotizaciones con el fin de encontrar los materiales indicados y el servicio de mano de obra, se determinó el costo total para la realización de las inversiones.
- c. Programación del trabajo: Se programaron las tareas en base a la distribución de los recursos de mano de obra y materiales con respecto al tiempo.
- d. Retorno de la inversión (dinero): Se llevó a cabo el flujo de efectivo de cada una de las mejoras y con base al flujo se calcularon el monto de las ganancias que logra completar el monto invertido en un plazo estipulado o determinado.
- e. Retorno de la inversión (calidad): Se observó físicamente un aumento de calidad en el azúcar producida, lo que también implica un aumento de los ingresos para la empresa.

2. INSTRUMENTOS

- a. Análisis de instalación física: Se verificó el espacio para la planeación de las nuevas instalaciones, contemplando la seguridad industrial.
- b. Programación del trabajo: se hizo mediante Diagramas de Gantt, CPM, para determinar la ruta crítica del trabajo.
- c. Análisis de retorno de inversiones TIR: Se realizó el cálculo del retorno de la inversión en utilidades de las mejoras instaladas.

VI. RESULTADOS

A. Los resultados alcanzados de la instalación de aislamiento, son los siguientes:

Al haber instalado 1,143 m^2 de aislamiento en tubería y equipos se ahorrarán en energía 25.1865 Mw/h, y en capital \$5,289.17 por zafra trabajada, incrementando la eficiencia energética a 25.1865 Mw/h, energía que era desaprovechada debido a la falta de aislamiento y ahora es aprovechada para la venta. En los siguientes cuadros, se pueden observar los beneficios energéticos y económicos obtenidos de la implementación del aislamiento térmico.

Cuadro 18: Energía disponible para la venta.

Energía disponible en una hora Mw/h	Energía disponible día Mw/h	Energía disponible mes Mw/h	Total energía disponible zafra Mw/h
0.0057	0.1380	4.20	25.1865

Cuadro 19: Retribución económica por la energía disponible.

Ingreso Hora Dólares	Ingreso Hora Quetzales	Ingreso Diario Dólares	Ingreso Diario Quetzales	Ingreso Mes Dólares	Ingreso Mes Quetzales	Ingreso Anual Dólares	Ingreso Anual Quetzales
\$1.21	Q9.42	\$28.98	Q226.03	\$869.36	Q6,780.99	\$5,289.17	Q41,255.55

Rentabilidad. Aunque el beneficio de la eficiencia térmica sea prudente para lograr disminuir el costo unitario de producción, la rentabilidad de la mejora es negativa, siendo de -2.481%, con un tiempo de recuperación de la inversión de 20.51 años. La rentabilidad es negativa debido a la baja retribución diaria por concepto de venta de energía.

B. Los resultados derivados de la instalación de los filtros de meladura y del tanque de condensados, son los siguientes:

Al haber realizado las mejoras propuestas, la producción de azúcar moreno aumentó de 40,210.90 *ton* a 42,481.25 *ton* al día 100 de zafra y se contabilizó cero reclasificaciones de azúcar tipo moreno a tipo crudo por bajo sedimento al día 100 de zafra.

Las siguientes gráficas muestran una comparación de la cantidad de materia insoluble presente en el azúcar moreno y crudo, de las zafra 2012/2013 y 2013/2014.

Figura 19: Comparación de materia insoluble presente en azúcar moreno.

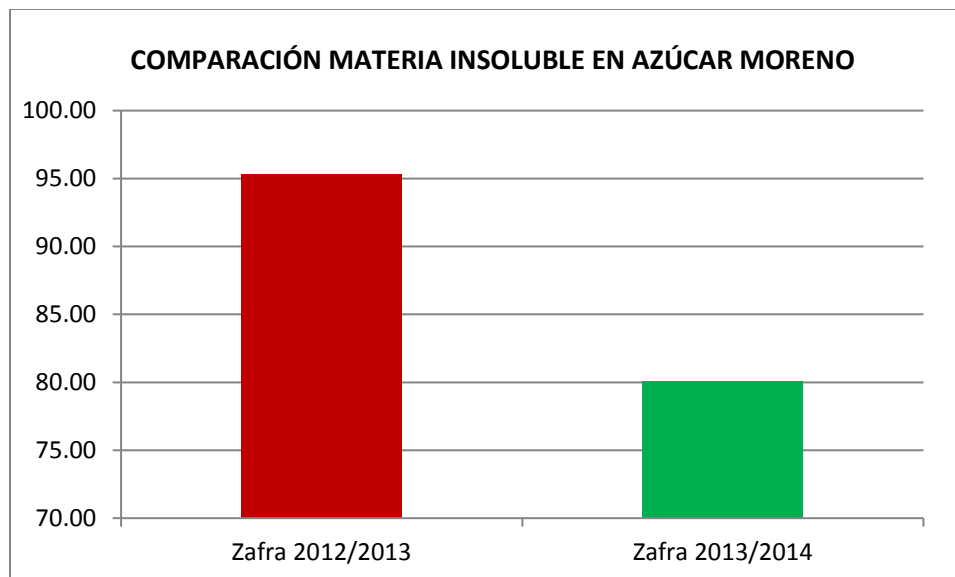
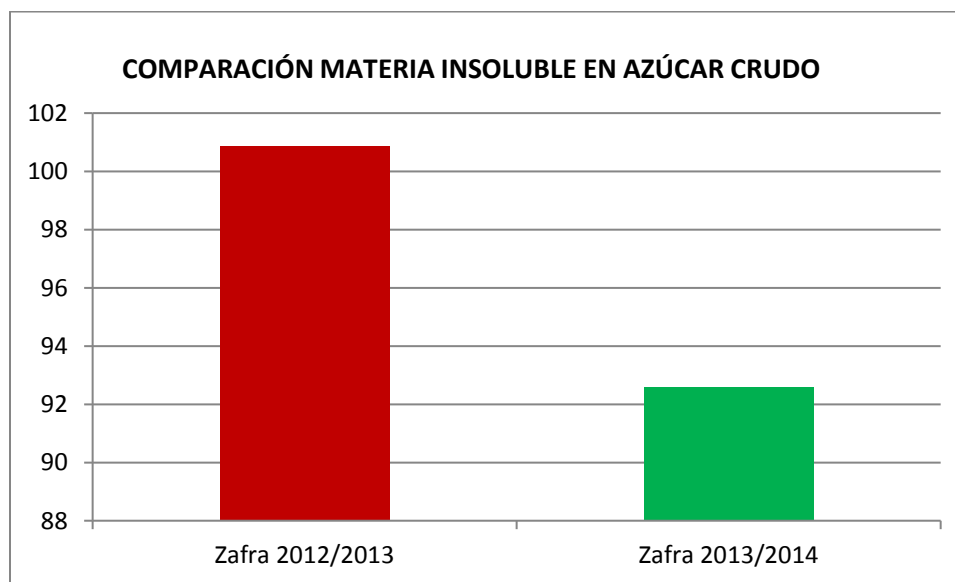


Figura 20: Comparación de materia insoluble presente en azúcar crudo.



VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. Resultados obtenidos de la instalación de aislamiento térmico

1. **Eficiencia térmica.** La instalación del aislamiento térmico ha provocado que, la energía térmica contenida en el vapor sea mejor empleada, evitando así la pérdida de energía por medio de la radiación térmica al ambiente al tener los equipos y tuberías al descubierto. Lo que significa que la eficiencia térmica aumentó y por lo tanto el vapor extra, ahora queda disponible para la generación de energía, la que posteriormente se vende al sistema nacional interconectado, por un precio de \$210.00 Mw/h, lo que significa un aumento en los ingresos del ingenio por día de \$28.98.

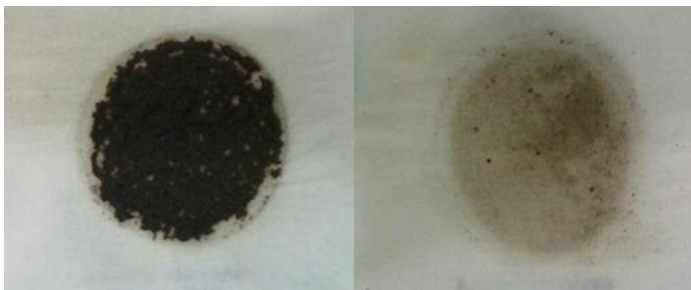
2. **Seguridad.** Al aislar 1,143 m^2 en tuberías y equipos disminuyeron los accidentes, de 3 accidentes de la zafra 2012/2013 a 0 accidentes durante la presente zafra 2013/2014 al día no.100 de zafra. Datos que evidencian que la seguridad para los trabajadores aumentó, debido a que el aislamiento térmico impide que los trabajadores sufran quemaduras en la piel por algún roce involuntario. Mejora en el ambiente de trabajo, debido a que la disipación de calor coadyuva a que se cree un ambiente de trabajo incómodo que genera estrés en los trabajadores.

B. Resultados obtenidos de la instalación de los filtros de meladura y del tanque para agua de condensados.

Ambas instalaciones repercuten en la calidad del producto final (azúcar moreno), por lo tanto la calidad del azúcar debe aumentar. La instalación de los filtros de meladura y el tanque de agua de condensados dieron como resultado los siguientes beneficios:

1. **Calidad.** Mejora en la calidad de la meladura evaporada, al día 100 de zafra 2013/2014 la captación de materia insoluble disminuyó de 95 a 80 comparada con la zafra 2012/2013, la cual se evidencia en la Figura 21, la reducción de sedimento en la toma de muestras antes y después de los filtros de meladura.

Figura 21: Sedimento de la meladura antes y después de la instalación de los filtros de meladura.



2. Rentabilidad. Durante la zafra 2012/2013 hubieron pérdidas de \$208,250 por reclasificación de 833 toneladas de azúcar moreno a crudo, debido a materia insoluble fuera de especificación. Durante la presente zafra 2013/2014 dado que los filtros de meladura se instalaron en el día 68 de zafra, en el arranque de la misma, hubo una reclasificación total de 490 toneladas, que representan \$122,500 no percibidos por la empresa.

Luego de la instalación de los filtros de meladura en el día 68 al día 100 no ha habido ninguna reclasificación de moreno a crudo por incumplimiento en la especificación de materia insoluble, lo que se traduce en un aumento de los ingresos para la empresa de \$330,750.00 anuales, gracias a la instalación del tanque de agua de condensados y de los filtros de meladura.

El costo total ingresado en el flujo de efectivo, es la suma del costo total de tanque de condensados y el costo total de los filtros de meladura, debido a que juntos contribuyen a la mejora de la calidad del azúcar. Proporcionando una alta rentabilidad a la instalación de la mejora de 89.76%, con un tiempo de recuperación de la inversión de 1.11 años.

VIII. CONCLUSIONES

A. Instalación de aislamiento térmico en tuberías de vapor y tanque de jugo claro, proporcionó como resultado los siguientes beneficios:

1. Aumento de la eficiencia térmica, la instalación de aislamiento térmico en tuberías de vapor y tanque de jugo claro tiene un aumento en la generación de energía eléctrica de 25 *Mw/h* anual, gracias al mejor aprovechamiento de la energía térmica por medio del aislamiento térmico.

2. Aumento de la seguridad de los trabajadores, debido a la instalación de 1,143 *m*² de aislamiento térmico se ha reducido la tasa por concepto de quemaduras accidentales de las personas que laboran dentro del proceso de tratamiento de jugo. Al día 100 de zafra no ha habido accidentes por quemaduras.

3. Mejora del entorno laboral, ya que disminuye el estrés térmico de las personas que laboran en el proceso de tratamiento de jugo.

B. Instalación del tanque de agua de condensados y filtros de meladura, proporcionó como resultado los siguientes beneficios:

1. Mejora en la calidad del azúcar tipo moreno, con base en las muestras de sedimento de antes y después de los filtros de meladura, la cantidad de sedimento en la meladura disminuyó notablemente, desde el día 68 al día 100 de zafra hubo cero reclasificación del azúcar tipo moreno a crudo por materia insoluble.

C. Con base en los resultados anteriores, se proyectó un aumento de ingresos anual de \$330,750.00 anuales por la no reclasificación de azúcar moreno a crudo.

Rentabilidad de las mejoras instaladas:

1. Aislamiento térmico: El proyecto de instalación de aislamiento térmico en tuberías de vapor y tanque de jugo claro, posee un largo tiempo de recuperación de la inversión. La rentabilidad del proyecto es de -2.48 %.

2. Tanque de condensados y filtros de meladura: La rentabilidad de estas dos mejoras es positiva, siendo de 80.76%.

IX. RECOMENDACIONES

El aislamiento térmico no es recomendable para instalar en otras tuberías y tanques del proceso, debido a que la rentabilidad del proyecto es negativa. La razón de la rentabilidad negativa es el alto costo del material adecuado a las características de ambiente de trabajo industrial como lo es un ingenio. Se recomienda realizar una revisión con los proveedores de la materia prima y de la mano de obra, para obtener un descuento debido a que no se puede instalar otro tipo de material aislante que no sea el adecuado al ambiente de trabajo industrial. Sin embargo, esto provee otros beneficios como el aumento de la seguridad industrial, contribución a un mejor clima laboral, el cual no es fácilmente cuantificable.

Desde el punto de vista de operación, el tanque de agua para condensados es recomendable replicarlo a otras áreas, debido a que el agua puede utilizarse en varios puntos como agua de enfriamiento, preparación de floculante de jugo claro y en la clarificación de licor de la refinería.

Con los filtros de meladura se recomienda revisar el cálculo de la capacidad de los filtros dado que se están saturando más rápido de lo que se esperaba, producto de la alta concentración de sólidos en la meladura lo que incrementa la caída de presión. Durante la operación de los filtros se verificó que las sales de calcio en la meladura tienden a incrustar el filtro, bajando su eficiencia por lo que se implementó el mantenimiento programado en zafra y en reparación del sistema de mantenimiento de limpieza.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Crees O. L., Whayman E. & Willersdorf A. L. (1977): *Further studies on flocculation. Proc. Qld. Soc. Sugar Cane Technol* (pp. 255-233).
- Doherty W. O., Edey L. A. (1999): *An overview on the chemistry of clarification of cane sugar juice. Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol* (pp. 381-388).
- Guatemala, Asociación Bancaria de Guatemala (2012). *Sector 2 Azúcar Diciembre 2012: Sector Azucarero*.
- Guatemala, Superintendencia de Bancos, (2011). *Estudio del Sector Azucarero, referido a 2011: Análisis de Sectores Económicos*.
- Hugot E. (1986): *Handbook of Cane Sugar Engineering*. 3rd Ed. Elsevier, Amsterdam.
- Lucio P. (2000). *El Libro de la Dolarización*. (1^a Ed.) Ecuador: Corporación Editorial Nacional.
- Peter W. R. (2012). *Ingeniería de la Caña de Azúcar* (pp. 32-35). Berlin, ALEM: ISBN 978-3-87040-142-9.
- Peter W. R. (2012). *Ingeniería de la Caña de Azúcar* (pp. 257-263). Berlin, ALEM: ISBN 978-3-87040-142-9.
- Peter W. R. (2012). *Ingeniería de la Caña de Azúcar* (p. 280). Berlin, ALEM: ISBN 978-3-87040-142-9.
- Peter W. R. (2012). *Ingeniería de la Caña de Azúcar* (pp. 393-395). Berlin, ALEM: ISBN 978-3-87040-142-9.
- Peter W. R. (2012). *Ingeniería de la Caña de Azúcar* (p. 400). Berlin, ALEM: ISBN 978-3-87040-142-9.
- Pantaleon Sugar Holding. *Pantaleon*. Disponible en: <http://www.pantaleon.com/historia>
[01/09/2013]

Pantaleon Sugar Holding. *Pantaleon*. Disponible en: <http://www.pantaleon.com/industrial>
[01/09/2013]

Saudi Arabia, Associate Professor of Chemical Engineering, King Fahd University of Petroleum & Minerals. (1,997). *Heat transfer, heat exchangers, condensers and reboilers, air coolers*.
Riad: Reyad Awwad Shawabkeh.

Stephanie M. F. (2012). *Azúcar: Producción, Oferta Total, Consumo y Distribución Mundial*.
Central American Business Intelligence.

Tromp L.A. (1936): *Machinery and Equipment of de Cane Sugar Factory*. London: Norman
Rodger.

Weinstein , J. (2011). *Cera Materials: Ceramic Fiber Board*. Disponible en:
<http://www.ceramaterials.com/ceramicfiberboards.html>.

Whayman E., Crees O. I. (1975): *Mechanistic studies of cane mud flocculation* (pp. 20-24).

Zhadanovsky, I. (2010, June). *Vapor Heating Systemn With Naturally Induced Vacuum*
(*VHSNIV*): Exposition presented in IDEA Conference, Indianapolis, IN.

X. ANEXOS

Ley de la oferta y demanda

A. LA DEMANDA

Está representada por los compradores y es la cantidad de consumidores interesados en los bienes y servicios puestos a su disposición por la oferta.

1. **Causas del aumento de la demanda.** La demanda hace relación al poder de compra de las personas y estas demandan más bienes y servicios en los mercados por los siguientes motivos:

- a. Por el aumento de sueldos o salarios
- b. Por factores climáticos
- c. Por precaución de situaciones futuras inesperadas
- d. Por la especulación , para poder vender los mismos productos a mayor precio
- e. Debido a la propaganda efectiva que induce al gasto
- f. Por el aumento natural de la población
- g. Por el aumento de las inversiones , que generan más empleo, mejores salarios y más gastos
- h. Por los cambios de temporada y épocas festivas

2. **Desplazamiento de la curva de la demanda.** Movimiento que sufre la curva de la demanda hacia arriba o hacia abajo, dependiendo de los siguientes factores:

- a. El cambio del ingreso monetario del consumidor
- b. El cambio en los gustos del individuo
- c. El cambio en los precios de los bienes sustitutos o complementarios

3. **Elasticidad de la demanda.** Es la relación existente entre los cambios porcentuales de la demanda y los cambios porcentuales de los precios, así cuando el precio aumenta o disminuye en un determinado porcentaje, la demanda también aumentará o disminuirá en cierto porcentaje, Ejemplo 20% de aumento en los precios, 30 % de disminución de la demanda. Pero si ese aumento o disminución de los precios y de la demanda es en el mismo porcentaje, se denominara elasticidad unitaria de la demanda. Ejemplo aumento del 35% en el precio, y disminución en el 35 % de la demanda.

B. LA OFERTA

Se encuentra representada por los vendedores y es la cantidad de bienes y servicios existentes en los mercados y puestos a disposición de los consumidores.

1. **Causas para la disminución de la oferta.** Los bienes y servicios ofertados, disminuyen por los siguientes motivos:

- a. Debido a la disminución de las fuentes proveedoras de materias primas, como el petróleo, minas, bosques, etc.;
- b. Por la destrucción de las cosechas por distintos fenómenos, especialmente naturales como plagas, sequías, inundaciones, heladas, etc.;
- c. Por los paros y huelgas de productores, comerciantes o transportistas;
- d. Por las políticas innovadoras, como reforma o creación de leyes procesos electorales, cambio de autoridades (Lucio,2000).

2. **Desplazamiento de la curva de la oferta.** Si el precio baja, la oferta disminuye por cuanto al productor no le conviene producir cuando los precios están bajos, en cuyo caso la curva de oferta se desplaza hacia adentro, pero si los precios aumentan la oferta será mayor, desplazándose la curva hacia fuera. Los factores para estos desplazamientos son:

1. El desarrollo tecnológico: Permite mayor producción , que trae consigo el aumento de la oferta, pero sin que exista variación en los precios;
2. El aumento de las empresas: Igualmente el ingreso de nuevas empresas al mercado, aumentan la producción y por ende de la oferta (Lucio,2000).

3. **Elasticidad de la oferta.** Dentro de la curva de la oferta se demuestra que una alteración hacia el alza en el nivel de precios, también provoca una alteración en el alza de las cantidades ofrecidas, sin embargo no podemos suponer que para los bienes y servicios, las cantidades ofrecidas tengan las mismas variaciones (Lucio,2000).

FOTOGRAFÍAS DE INSTALACIÓN DE AISLAMIENTO TÉRMICO

Figura 22: Instalación de aislamiento en tubería de vapor a calentadores de placas.



Figura 23: Instalación de aislamiento en tubería de jugo claro a calentadores de placas, antes y después.



Figura 24: Tuberías de vapor entre los vasos evaporadores y tuberías propias de los vasos evaporadores con aislamiento térmico.



Figura 25: Aislamiento térmico de una tubería de vapor de un vaso evaporador.



Figura 26: Aislamiento térmico en tuberías de vapor entre vasos evaporadores y hacia calentadores de placas.



Figura 27: Vista lateral del tanque de jugo claro con aislamiento térmico, antes y después.

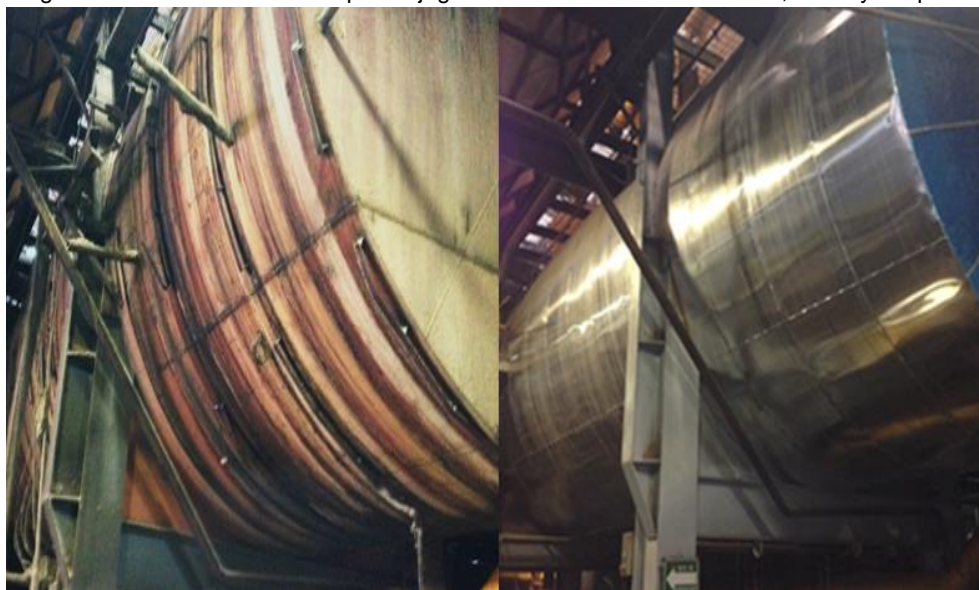


Figura 28: Vista frontal tanque de jugo claro con aislamiento térmico.



FOTOGRAFÍAS DE INSTALACIÓN DE LOS FILTROS DE MELADURA

Figura 29: Proceso de instalación de los filtros de meladura



Figura 30: Instalación final de filtros de meladura



Figura 31: Vista lateral filtros de meladura.



FOTOGRAFÍAS DEL NUEVO TANQUE DE AGUA DE CONDENSADOS INSTALADO

Figura 32: Vista frontal y lateral del tanque para agua de condensados.



Figura 33: Calentador de placas parte del sistema del nuevo tanque para agua de condensados.



XII. GLOSARIO

Azúcar: Término de la sacarosa disacárida y productos de la industria azucarera, compuestos esencialmente por sacarosa.

Azúcar crudo: Azúcar moreno producido en las fábricas de azúcar, generalmente destinados a procesos posteriores en refinerías para obtener azúcar blanco.

Brix: Medida de los sólidos disueltos en el azúcar, jugo, licor o jarabe utilizando un refractómetro, también conocidos como sólidos secos refractométricos. Para soluciones que contienen únicamente azúcar y agua. Los grados brix se pueden determinar usando un hidrómetro.

Cachaza (torta del filtro): Material retenido y descargado por los filtros que se encargan de filtrar los lodos del clarificador.

Commodity: Artículo o producto básico de consumo.

Efecto de evaporación: Uno de los evaporadores que funcionan en serie como un sistema de múltiple efecto (por ejemplo, primer efecto, segundo efecto). Los condensados y vapores son denominados correspondientemente (por ejemplo, primer condensado y vapor uno: condensado y vapor del primer efecto respectivamente).

Filtrado: Líquido que ha pasado a través de la malla de los filtros.

Floculante: Polielectrólito en solución añadido al jugo o meladura para promover la clarificación.

Jarabe o meladura: Jugo concentrado obtenido en los evaporadores.

Jugo clarificado: Jugo proveniente de los clarificadores, también conocido como jugo claro.

Licor: Jarabe de azúcar, término generalmente empleado en refinerías de azúcar.

Semilla: Suspensión de cristales finos en una solución de alcohol saturada o el grano inicial obtenido al semillar en tachos.

Sólidos disueltos: Todo material soluto que está en solución, incluyendo sacarosa, monosacáridos, cenizas y otras impurezas orgánicas.

Sólidos suspendidos: Sólidos insolubles en jugo u otro líquido, que pueden ser removidos con medios mecánicos.

Sulfatación: Introducción de dióxido de azufre en el jugo o licor.

Tacho o evapo-cristalizador: Cristalizador evaporativo al vacío utilizado en la industria azucarera para cristalizar azúcar a partir de meladura, jarabe, licor o miel.