

UNIVERSIDAD DE VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Cambio de utilización de vapor a uso de condensados en calentamiento de radiadores instalados en la secadora de azúcar para el ahorro de energía

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por:

Juan Diego Martínez Guillén

para optar para el grado académico de Licenciado en Ingeniería
Mecánica

Guatemala

2019

Cambio de utilización de vapor a uso de condensados en calentamiento de radiadores instalados en la secadora de azúcar para el ahorro de energía

UNIVERSIDAD DE VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Cambio de utilización de vapor a uso de condensados en calentamiento de radiadores instalados en la secadora de azúcar para el ahorro de energía

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por:

Juan Diego Martínez Guillén

para optar para el grado académico de Licenciado en Ingeniería
Mecánica

Guatemala

2019

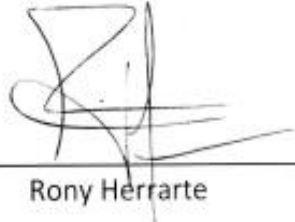
Vo.Bo.:

(F) 
Mauricio Prera

Tribunal:

(F) 
Victor Hugo Ayerdi

(F) 
Raul Loarca

(F) 
Rony Herrarte

Fecha de aprobación: Guatemala, 20 de junio de 2019.

PREFACIO

Las posibilidades de cambio en la tecnología para la generación de energía eléctrica como consecuente de la quema del bagazo de caña de azúcar son grandes. La cogeneración como es llamada a base de vapor permite un intercambio de cantidad de movimiento entre fluido. Según a este proceso, la industria cañera en Guatemala, ha desarrollado la ventaja competitiva de administrar su propio voltaje para la producción. Hoy en día y conforme la tecnología avanza, estos procesos permiten un excedente de energía eléctrica que puede ser ofrecida para la venta a otras industrias o bien a viviendas, permitiendo la obtención de ganancias a la industria que practica este método que la lleva a la diversificación de productos o servicios. Este modelo económico además agrega a la competencia concerniente a electricidad la reducción de precios por haber más empresas en el mercado que producen energía, lo cual viene a ser favorable para los guatemaltecos.

El estudio investigativo tuvo limitantes en cuanto a tiempo puesto que por sus labores los ingenieros y otros trabajadores del ingenio de azúcar que se tomó como base, disponían de cortos períodos para brindar explicaciones. Pero pese a ello y gracias a su colaboración, se pudo culminar con este proceso. Así también a la disponibilidad de los asesores institucionales de la universidad que dirigieron de forma correcta este estudio para facilitar la comprensión de los procesos cogeneración a base de vapor, brindando además las bases para la propuesta y así poder lograr los resultados deseados con el uso de condensados para la mejora y el ahorro de la energía de dicho lugar.

CONTENIDO

	Página
PREFACIO.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE GRÁFICOS.....	viii
LISTA DE TABLAS.....	ix
RESUMEN.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
III. JUSTIFICACIÓN.....	3
IV. MARCO TEÓRICO.....	4
V. CONCLUSIONES.....	73
VI. RECOMENDACIONES.....	74
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
VIII. ANEXOS.....	78
IX. GLOSARIO.....	79

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Mesa de preparación de caña.....	5
2. Tándem de molinos.....	6
3.: Evaporador quíntuple efecto tipo Roberts.....	8
4. Tacho.....	9
5. Envasado de azúcar.....	10
6. Utilización típica de vapor en un ingenio de azúcar.....	15
7. Capacitores de corriente alterna.....	18
8. Funcionamiento del nuevo esquema a tomar en cuenta para el ahorro energético.....	22
9. Diagrama del sistema de vapor a tomar en cuenta para el ahorro de energía en el condensado.....	23
10. Diagrama de causa y efecto de factores que afectan el ahorro de energía en el condesado.....	25
11. Diagrama actual del sistema de vapor.....	32
12. Acondicionamiento de agua.....	34
13. Caldera de la generación de vapor.....	54
14. Secadora salida de aire.....	55
15. Ingreso a secadora.....	55
16. Vista lateral de secadora de azúcar, entrada de aire.....	56
17. Tanque de condensado.....	56
18. Sistema de válvulas.....	57
19. Motor y bombas del sistema.....	57
20. Sistema de secadora de azúcar.....	59
21. Diagrama de la operación de secado.....	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico	Página
1. Agua evaporada como función de las tm/hr de azúcar húmeda que ingresa al secador.....	63

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1. Reducción en temperatura causada por aire.....	27
2. Punto de control del proceso actual de vapor.....	31
3. Tamaño de las tuberías para la conducción de vapor.....	38
4. Etapas actuales del proceso.....	40
5. Consumos de energía durante 2017.....	53
6. Datos del azúcar en el horno rotativo. Datos tomados del proceso.....	60
7. Valores de balances de masa para 15 y 25.....	63

RESUMEN

En este estudio se presentará si es posible utilizar condensados recolectados en los pre evaporadores de área de fabricación para calentar los radiadores utilizados en una secadora de azúcar a su temperatura de operación, con el fin de ya no usar vapor que está siendo utilizado actualmente en ese proceso en un ingenio en Guatemala. Para determinar si esta temperatura puede ser alcanzada se incluirá el análisis de tuberías, accesorios, bombas y motores a utilizar al igual que un análisis de los costos que las nuevas instalaciones conllevan.

Para completar el estudio se recopilaron datos necesarios de los equipos instalados actualmente para saber cuál debe ser el producto final, ya que el fin es mantener la operación lo más cercano a lo actual posible. Luego de esto se presentarán diagramas ilustrativos para visualizar los sistemas actuales instalados y el sistema propuesto con la implementación de los cambios a realizarse en su instalación. Al tener estos equipos y accesorios a utilizarse se completará con un análisis de sus costos al igual que de su instalación.

I. INTRODUCCIÓN

Conforme pasa el tiempo y por la cantidad de personas que constituyen una población, los mercados del consumismo van en aumento, lo que significa una mayor demanda de productos. Y en un ingenio esto no es excepción, este debe de estar a la vanguardia y prever cualquier situación que amerite una oportunidad para mejorar. Lo que incluye no solo aprovechar nuevos compradores, sino también disminuir costos internos para la obtención de mayores regalías.

Varias empresas en la actualidad también buscan formas que les permita ahorrar electricidad en los procesos de producción. Un ingenio de azúcar debe tener en cuenta la forma más viable para disminuir el consumo energético, pero a la vez encontrar oportunidades que les permita la obtención de nuevos ingresos, recurriendo a la diversificación de productos. Y que mejor manera que haciendo uso de los medios que emplea para sus propios objetivos.

El proceso de cogeneración, mejora la eficiencia energética obtiene energía limpia y mejorando las capacidades eléctricas de sus sistemas. Por ello, este sistema es una alternativa viable que permite a los ingenios azucareros efficientizarse. Además, este método permite la existencia de más proveedores de energía eléctrica fuera de los existentes en un país que por lo general son compañías pertenecientes al Estado. Se produce una diversificación de opciones para la adquisición del suministro de energía eléctrica para los ciudadanos.

Por ello, un ingenio de azúcar debe permitir la innovación en el uso de su tecnología para que de esta forma se pueda mejorar así misma, siendo una ventaja competitiva puesto que los procesos de producción tendrán un aval que le permita ser vista como una entidad que se preocupa por el medio ambiente y, por ende, en los ciudadanos.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

- Determinar si se está utilizando condensados de primer efecto para el calentamiento de los radiadores instalados en la secadora de azúcar se puede mantener una temperatura regulable entre 170-190 grados Fahrenheit.

B. Objetivos específicos

- Analizar el funcionamiento de la secadora de azúcar, así como sus parámetros de operación y los requisitos que deben cumplir estos para que la secadora pueda llevar la humedad de la azúcar a su rango de 0.02% - 0.05%.
- Analizar la diferencia entre el uso de vapor y condensados en la secadora, relacionándola y comparándola con los flujos, temperaturas y presiones necesarias para que la secadora de azúcar mantenga su producción actual sin alterarse.
- Definir de donde se bombeará el condensado que será usado en los radiadores de la secadora de azúcar para que con ello se pueda determinar la ruta de la tubería, sus dimensiones adecuadas al igual que el aislamiento si fuera necesario.
- Realizar un esquema de los equipos, tuberías y válvulas actuales (sistema completo), así como esquematizar los cambios e instalaciones que se harán para tener una representación gráfica de ambos sistemas.
- Definir las bombas a utilizar para el cumplimiento del flujo y presión necesarios para la operación de la secadora, al igual que el motor necesario para su impulsión.
- Realizar un análisis de ahorro energético ligado al área de cogeneración donde se da la venta de energía eléctrica a la red nacional, tomando en consideración la comercialización al mercado spot y los días de operación de la secadora en época de zafra.

III. JUSTIFICACIÓN

En el área de molienda de un ingenio de azúcar en Guatemala, suelen suceder cambios e implementaciones los cuales dictan muchas el uso de las calderas, por ejemplo, sin en un ingenio hay cuatro calderas, pero tres de estas, están en funcionamiento, pero una de ellas no. El flujo de vapor es entregado por las calderas que sí están en operación puesto que este es requerido para la impulsión de turbinas de vapor en el área de cogeneración, así también para los procesos de calentamiento y evaporación del jugo de azúcar en el área de fábrica. Por la reducción de flujo de vapor se busca implementar un nuevo sistema de calentamiento en los radiadores utilizados en la secadora de azúcar que ya no empleen vapor y con ello se busca usar condensados recuperados en pre evaporadores de fábrica.

La importancia de este estudio estuvo en determinar si utilizando los condensados que se encuentran entre 180-200 grados Fahrenheit recuperados en los pre evaporadores se puede mantener el rango de temperatura requerida en los radiadores (170-190 grados Fahrenheit) para que así la secadora de azúcar cumpla con los rangos de humedad (0.02% - 0.05%) determinados para el producto final que entrega la empresa azucarera.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Antecedentes generales

En Guatemala, la historia de los ingenios de azúcar se remonta hacia el siglo XVI. Se menciona que fue Cristóbal Colón quien trajo las primeras plantas al continente. Aunque esta es originaria de Asia. El primer ingenio en Guatemala fue documentado en el año de 1591, cultivándose esta manera artesanal. Con el crecimiento de la agroindustria hacia el XX, se comenzaron a formar los consorcios azucareros que hoy en día se conocen como ingenios (Asociación de Azucareros de Guatemala -ASAZGUA-, 2017).

Un ingenio azucarero, es un lugar en el cual se procesa azúcar a base de caña. Se le denominaba así, a una antigua hacienda colonial americana con instalaciones y equipos para procesar caña de azúcar con el objetivo de obtener azúcar, ron, alcohol y otros productos”. Para obtener estos productos se realiza un proceso de fabricación del azúcar. (Von Wobeser, 1988)

Para el procesamiento industrial de azúcar se involucran diversos procesos de conversión en la caña que se transforma en jugo diluido, seguido de este proceso se extrae el agua del jugo convirtiéndola en meladura, seguido se generan cristales y se eliminan de forma natural las impurezas de las misma para extraer el grano de azúcar. (Chen J, 1991)

1. Proceso de transformación de la caña de azúcar a producto terminado

En un ingenio azucarero existen diversas áreas de producción, a continuación, se dan a conocer las siguientes:

- Preparación de caña.
- Extracción de jugo.
- Clarificación de jugo.
- Evaporación.
- Cristalización.
- Centrifugación.
- Secado y envasado.

a. Preparación de caña.

El proceso de preparación de la caña comienza con la zafra, posteriormente se cargan los camiones que transportarán la caña a las áreas de procesado. Según Hugot (1982): “Estos camiones pasan al laboratorio llamado Core Sampler, es aquí donde se analiza, identifica y determina qué calidad de azúcar trae la caña, esto se realiza tomando muestras aleatorias y se verifica continuamente en el laboratorio”.

Posteriormente después del análisis de la caña y de ser tomadas las respectivas muestras en el laboratorio llegan a una hacia las mesas de preparación de caña donde se limpian y se nivela la altura del colchón de caña. La limpieza que se lleva a cabo en la preparación de caña consiste en aplicar agua para lavar la caña eliminando residuos de tierra y elementos extraños como hojas secas, piedras y otros (Rein, 2012).

Figura No. 1. *Mesa de preparación de caña*



Fuente: Elaboración propia.

Después de haber lavado la caña, esta se dirige por conductores de caña hacia las picadoras de machetes oscilantes y desfibradoras que rompen la caña, ocasionando que esta se abra y quede expuesta la fibra para proceder a extraer el jugo (Hugot, 1982). Son varios los elementos que se deben de tomar en cuenta para el proceso de preparación de caña, para poder obtener el producto terminado, o bien decir el azúcar que se lleva a las mesas de los guatemaltecos.

b. Extracción de jugo.

Cuando se menciona la extracción de jugo se hace referencia al proceso de molienda, el cual consiste en moler la caña preparada para la extracción del jugo, donde se utiliza un grupo de

molinos denominados tándem. Estos molinos por su capacidad de trabajo requieren de equipos eléctricos para su funcionamiento, donde pueden utilizar potencias de 800 hasta 1200 hp por molino para su molienda (Melgar, Meneses, Orozco, Pérez, y Espinosa, 2014).

El tándem es alimentado por la caña ya desfibrada o preparada, esta ingresa a un sistema de molinos conectado en serie, estos utilizan un jugo de cuatro mazas o rodillos rayados que tienen forma de "V" y se entrelazan. Para mejorar la extracción del jugo los molinos de nuevo se alimentan con jugo ya extraído para mejorar su extracción, a este procedimiento se le llama maceración y al último molino se le designa agua caliente, cuya temperatura puede variar entre los 140 y 176 °F, la cantidad de agua aplicada está entre el 25 al 30 % respecto a la molienda diaria, generando un aumento en la extracción de jugo. (Rein, 2012)

Figura No. 2. *Tándem de molinos*



Fuente: Elaboración propia.

Después del proceso de extracción se obtienen dos productos: el jugo diluido y el bagazo, este último producto posee una cantidad de energía calorífica que es usada como combustible en calderas para la generación de vapor, donde este es aprovechado para la generación de energía eléctrica, evaporadores y cristalizadores (Chen, 1991).

c. Clarificación.

Al jugo diluido proveniente de molinos sigue su proceso de transformación llegando a la clarificación, que consiste en limpiar el jugo de elementos que no sean característicos del mismo jugo, como lodo y minerales, entre otros. Esta etapa inicia con el proceso de elevar la temperatura del jugo en unos calentadores que aproximadamente lo llevan hasta los 158 o 167 °F. Después de calentar el jugo pasa a un proceso de aplicación de azufre, denominado sulfatación, para disminuir el color en el jugo y el PH del jugo disminuye, luego se le adiciona una mezcla de cal con jugo diluido llamado lechada, este neutraliza la acidez del jugo llegando a un valor de 7 en PH (Hugot, 1982).

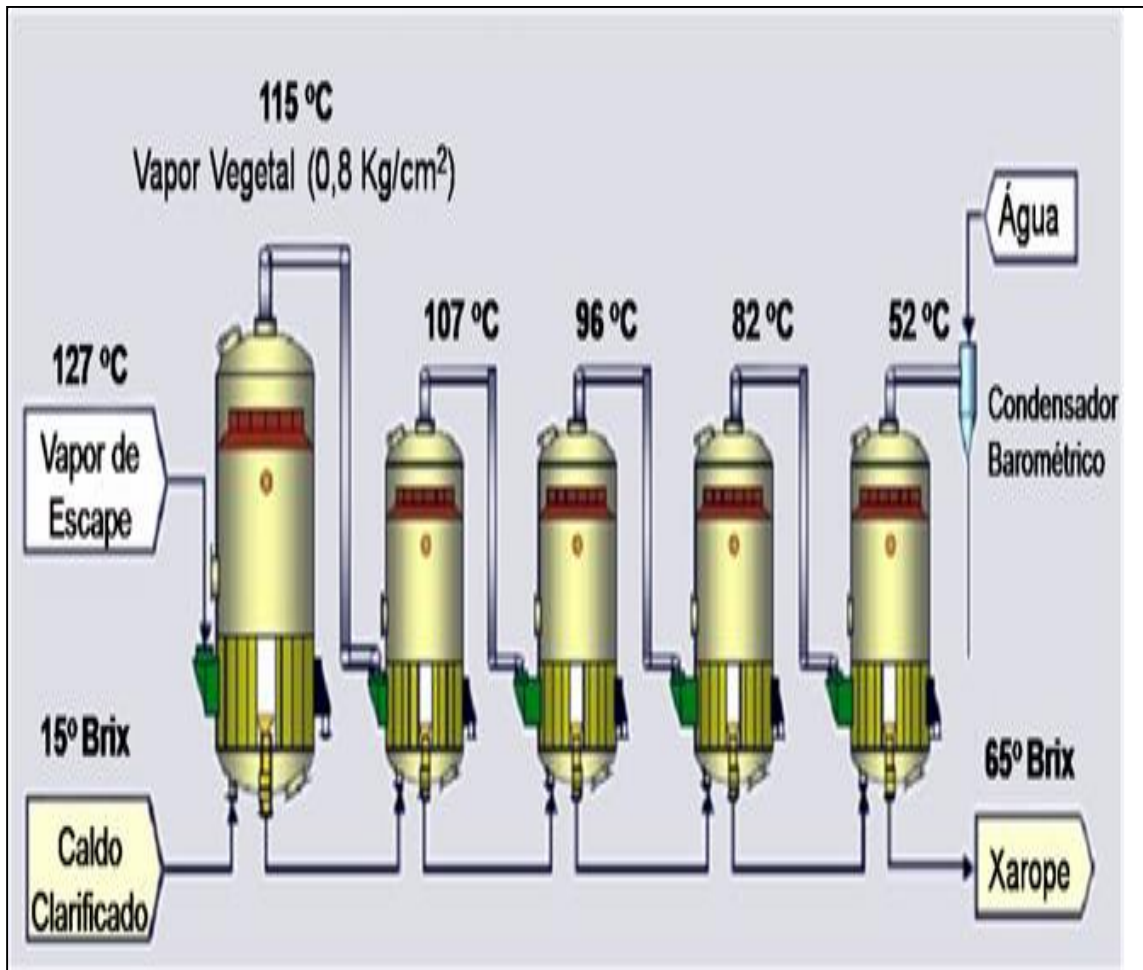
Seguido se vuelve a calentar el jugo, teniendo un procedimiento de tres etapas. En la primera etapa se aplica el denominado vapor vegetal I, este vapor proviene de la etapa de evaporación con temperaturas promedio de 179 °F; le sigue la segunda etapa donde se le aplica vapor vegetal II, calentando el jugo aproximadamente a 208 °F y la última etapa con vapor vegetal III o IV para que el jugo llegue a los 221 °F. Realizado el calentamiento ya mencionado el jugo se libera a presión atmosférica, provocando que se genere una pequeña evaporación en el tanque flash, disminuyendo posibles problemas con los lodos que contiene el jugo antes de su clarificación. (Melgar, Meneses, Orozco, Pérez, y Espinosa, 2014)

Continuando con el proceso, el jugo se lleva hacia los clarificadores, reduciendo su velocidad para poder aplicar químicos que concentren los lodos y se puedan extraer del clarificador. Donde los lodos son llevados a los filtros de cachaza para extraer azúcar contenida en los lodos extraídos. Ya que el jugo se eliminó el contenido de lodos pasan a unos filtros vibratorios para terminar de eliminar residuos en el jugo.

d. Evaporación.

Es un proceso que como su nombre lo indica, evapora el agua contenida en el jugo diluido, este proceso tiene un sistema de cinco etapas de evaporación llamadas de quintuple efecto, el proceso inicia ingresando el jugo proveniente de la clarificación donde entra a los evaporadores de primer efecto, donde este evaporador aporta vapor proveniente del área de generación de vapor calentando el jugo, extrayendo el agua que está contenido en el jugo, convirtiéndola en vapor vegetal I; seguidas de cuatro etapas más donde se va sumando el aprovechamiento del vapor en el jugo. Los evaporadores tipo Roberts son intercambiadores de calor que el vapor transfiere su calor por medio de tubería hacia el jugo. Extrayendo el agua del jugo convirtiéndola en meladura donde se presenta la sacarosa en un grado más puro. (Rein, 2012)

Figura No. 3. *Evaporador múltiple efecto tipo Roberts*

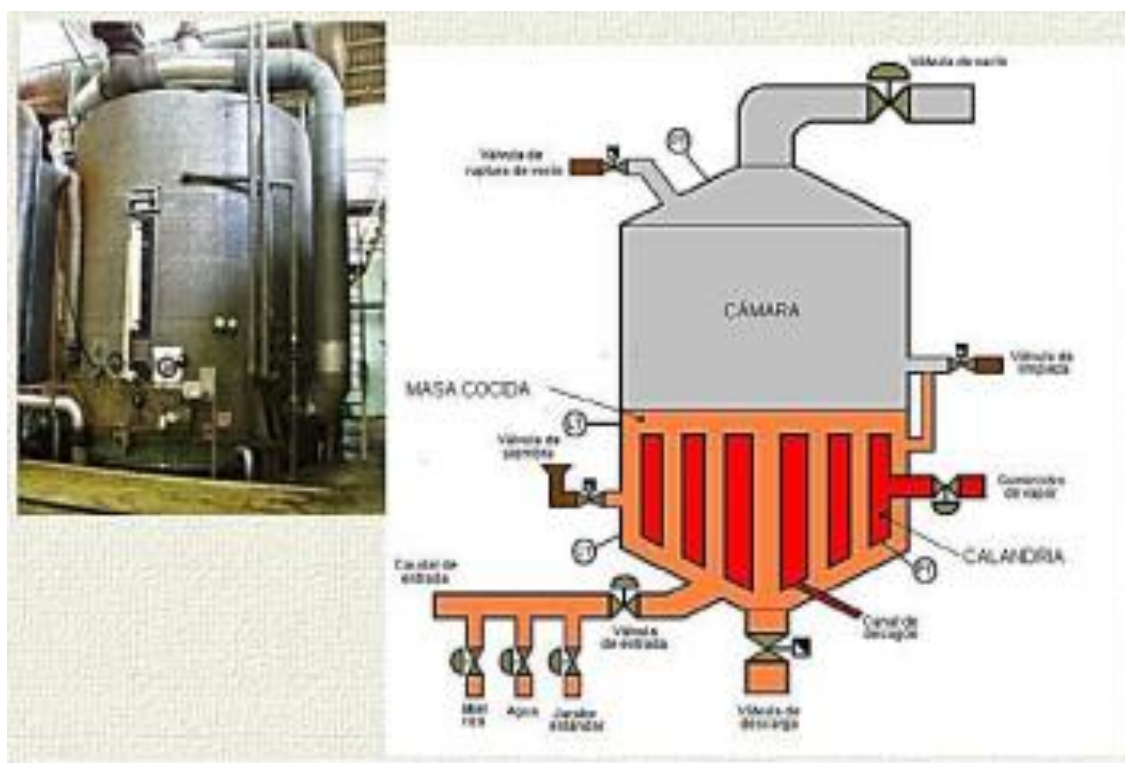


Fuente: Alcarde, A.R. Tecnología da fabricação de açúcar e do etanol. 2010.

e. Cristalización.

En este punto la meladura que se generó en la evaporación entran a los tachos (tanques de acero inoxidable diseñados para cocer con vapor al vacío). Posteriormente, la meladura se cose llevando la sacarosa contenida a un crecimiento de grano o cristalización, donde se produce el azúcar crudo y azúcar blanco. Cuando se llega a la etapa de la cristalización, atraviesa por un procesamiento que lleva tiempo para el cocimiento del grano, pero para acelerar su cocción se introducen granos microscópicos de azúcar llamados semilla. Esta semilla forma el grano apropiadamente para mejorar el producto final. Del tacho se extrae la meladura cocida denominada masa (Melgar, Meneses, Orozco, Pérez, y Espinosa, 2014).

Figura No. 4. Tacho



Fuente: Robledo R., C. Diseño de una unidad de extracción de azúcar a partir de caña de azúcar. 2006.

f. Separación.

En este proceso se extrae la masa del tacho y se ingresa a las máquinas centrífugas, que son equipos que giran a gran velocidad, los cristales del azúcar se separan de la miel (masa) por fuerza centrífuga, quedando atrapada en la tela de la centrifuga y la miel pasa a través de esta. Algunas mieles regresan al tacho o son utilizadas como materia prima en las destilerías para la producción de alcohol (Chen, 1991).

g. Secado y envasado.

Después de centrifugar el azúcar se pasa por un secador para disminuir la humedad que esta adquirió en las centrifugas, que es aproximadamente entre 0,3 y 0,6 %, llevándolo hasta los 0,2 % en azúcar crudo y 0,03 % en azúcar blanco. (Hugot, 1982)

El envasado se realiza para el azúcar blanco donde se empaca en sacos de 50 kg y jumbos de 1 400 kg para su comercialización. El azúcar crudo es exportado y carga a granel para ser transportado. (Melgar, Meneses, Orozco, Pérez, y Espinosa, 2014)

Figura No. 5. *Envasado de azúcar*



Fuente: Elaboración propia.

2. Eficiencia energética

La eficiencia de energía es la relación de energía producida sobre la energía utilizada y para lograr se debe generar un mayor trabajo o producto con igual o menos energía usada, asimismo reducir las pérdidas de energía. En los últimos años el costo de la energía ha tenido una tendencia de aumento por su valor de adquisición, como en la energía eléctrica, la dependencia de los combustibles fósiles es un factor que la afecta y de la demanda creciente de energía, poco a poco, las empresas están tomando conciencia sobre la importancia de la eficiencia energética (Aguer, Jutglar, Miranda y Rufes, 2010).

Corporativa Rural de Electrificación (2012) menciona que es para estar con una eficiencia energética se tiene que tener un desempeño que pueda producir más con el menor consumo de energía posible, sin perturbar la producción, generando una protección al medio ambiente, asegurando el cumplimiento y provocando un comportamiento sostenible en su uso, lo cual se expresa en reducción de costos.

Es esencial que la energía se use de forma racional generando concientización humana, además cuando esta se usa para el manejo de los equipos eléctricos, se deben de emplear de forma adecuada los recursos disponibles en una forma eficaz, un mejor control es desarrollar procesos que gestionan la energía (Campos y otros, 2007).

a. Calidad de la energía.

El término calidad de energía eléctrica se emplea para describir la variación de la tensión, corriente, y frecuencia en el sistema eléctrico (Wolf y Smith, 1992). Es normal que existan normas que regulen el flujo eléctrico, lo que significa que la onda de tensión debe de ir en sistemas alternos, aunque también suelen haber perturbaciones en el flujo eléctrico, pero todo depende de la intensidad de este.

La mayoría de los equipos son capaces de operar satisfactoriamente con variaciones relativamente amplias de estos tres parámetros. Talayero y Telmo (2011) mencionan que: "En los últimos diez años se han agregado al sistema eléctrico un elevado número de equipos, no tan tolerantes a estas variaciones, incluyendo a los controlados electrónicamente". Los disturbios en el sistema, que se han considerado normales durante muchos años, ahora pueden causar desorden en el sistema eléctrico industrial, con la consecuente pérdida de producción. Adicionalmente, deben tomarse en cuenta nuevas medidas para desarrollar nuevos sistemas eléctricos confiables, mismos que anteriormente no eran considerados significativos.

Las altas exigencias en la calidad del servicio de energía obligan a las empresas de energía a disponer de sistemas más flexibles y seguros que garanticen la menor interrupción posible en el fluido eléctrico. Para lograr esto, es necesario aminorar los problemas en el sistema eléctrico, para que sea confiable. Anteriormente para referirse al término de calidad de energía eléctrica solo bastaba con tomar en cuenta, la continuidad del servicio y las perturbaciones debidas a causas naturales, así como los efectos en las líneas de transmisión; pero ahora debido a muchas normas internacionales, se deben de tomar en cuenta varios índices de referencia para definir de mejor forma el término calidad de energía eléctrica.

Es importante dar cuenta que existen varias fuentes de disturbios que no están asociadas con el suministro eléctrico de entrada. Estas pueden incluir descargas electrostáticas, interferencia electromagnética radiada, y errores de operadores. Adicionalmente, los factores mecánicos y ambientales juegan un papel en los disturbios del sistema. Estos pueden incluir temperatura, vibración excesiva y conexiones flojas. Aunque estos factores muy importantes, no son propios del tema en cuestión.

b. Disponibilidad y fiabilidad.

La eficiencia de la energía se puede lograr siempre y cuando se haga uso adecuado de esta, lo cual se verá reflejado en una disminución de los costos por la utilización. Las leyes de la termodinámica estudian la eficiencia de la energía, desde el punto de vista de conservación y calidad de la energía.

1) Primera ley de la termodinámica, conservación de energía.

Con la primera ley de la termodinámica se tiene una definición precisa del calor, el cual es otro de los conceptos importantes, puesto que de estos deviene la generación de la energía. Este primer principio de la termodinámica es una ley de conservación de la energía, la cual afirma que, “la energía no puede crearse ni destruirse si no solo transformarse” (Cromer, 1986). Por lo que la cantidad de energía transferida a un sistema en forma de calor agregada a la cantidad de energía transferida en forma de trabajo sobre el sistema debe ser igual al aumento de la energía interna del sistema. El calor y el trabajo son mecanismos por los que los sistemas intercambian energía entre sí (Castells, 2012). En cualquier máquina, hace falta cierta cantidad de energía para producir trabajo; es imposible que una máquina realice trabajo sin necesidad de energía.

2) Segunda ley de la termodinámica, calidad de la energía.

La segunda ley de la termodinámica da una definición precisa de la entropía. La cual, se define como la medida de lo próximo que se halla en un sistema en equilibrio; también se puede considerar como una medida del desorden térmico del sistema según Levy (2013). Esta ley trata de las restricciones que existen al utilizar la energía en diferentes procesos, por ejemplo, en la producción de cigarrillos. Se puede demostrar que el segundo principio implica que, si no se realiza trabajo, es imposible transferir calor desde una región de temperatura más baja a una región de temperatura más alta.

b. Demanda de energía.

El vapor es la mejor forma de transferir calor a temperatura constante. Comúnmente el uso del vapor en hoteles, hospitales, industrias y universidades, entre otros. Según Porres (2007): “Los rangos de consumo de vapor en la planta de envasado pueden estar arriba de las 300 lb/hr cuando todas las selladoras están trabajando” (p.45). Típicamente la planta de envasado opera con vapor a una presión de 100 psi. Los equipos para cocinar, tales como las vaporeras, pueden necesitar arriba de las 25 psi de vapor. Esterilizadores de loza, así como la preparación de la comida y el lavado utilizan vapor de bajo nivel.

Los baños y las albercas no pueden utilizar vapor directamente, sin embargo, se emplean intercambiadores de calor que utilizan vapor para generar agua tibia. Como en muchos edificios,

la calefacción de los cuartos se hace a través de radiadores. Además, para ofrecer a los ocupantes un control individual de la temperatura por cuarto, se utilizan calentadores de vapor que cargan un circuito de agua caliente. La Alianza para el Ahorro de Energía de U.S.A. (Alliance to Save Energy) estima que un incremento de entre 25 a 35 por ciento en la eficiencia de estos sistemas es típicamente una meta razonable. (Porres, 2007)

El incremento potencial en eficiencia que puede ser alcanzado al aplicar algunas medidas de eficiencia energética en las diferentes áreas específicas de generación, operación y mantenimiento y distribución. Generalmente, la mayor parte de las mejoras están hechas después de la generación de vapor, esto es, en la operación y mantenimiento y en el sistema de distribución.

En estas áreas normalmente se tienen fugas y equipos funcionando inadecuadamente y, por lo tanto, es donde se manifiestan pérdidas de vapor, así que, como consecuencia de esto, se puede obtener de forma acertada la oportunidad de recuperar calor a través del uso de condensadores, trampas de vapor, retorno de condensados e intercambiadores de calor.

Además, tras cuidar el sistema de distribución de vapor, este da la oportunidad de ahorrar. El costo del mantenimiento a las trampas de vapor y el revisar que no existan fugas en las uniones de las tuberías y en las válvulas, requiere de una inversión de capital muy pequeña o casi nula. Dar entrenamiento laboral al personal de mantenimiento de máquinas siempre será considerado como una buena inversión.

c. Ahorros energéticos.

La energía eléctrica es uno de los recursos más importantes dentro de cualquier proceso de producción, dicho ahorro se puede conseguir mediante el uso de sistemas avanzados para el control del factor potencia, la instalación de motores eléctricos modernos, y la instalación de equipos de iluminación de alta eficacia, entre otros. Dentro de cualquier proceso de producción se puede lograr un ahorro de energía eléctrica, siempre y cuando se cuente con un plan de acción que ayude a reducir los consumos de la misma, con lo cual el proceso pueda ser más eficiente, lo cual conducirá a menores costos de fabricación.

1) Control de potencia.

En el sector industrial y dentro de los procesos de producción, el factor de potencia representa uno de los aspectos a tomar en cuenta, ya que el mismo puede generar un notable ahorro de energía. El factor de potencia de una corriente alterna, se puede definir como la relación entre la potencia activa (Kw) y la potencia aparente (KVA). (Bastian y otros, 2001)

2) Factor de potencia Kw/KVA.

El factor de potencia viene determinado por el tipo de cargas conectadas al suministro eléctrico y estas pueden ser de naturaleza: Resistiva, Inductiva y Capacitiva. Las cargas industriales por su naturaleza eléctrica son de carácter reactivo a causa de la presencia principalmente de equipos de refrigeración, motores, este carácter reactivo obliga que junto al consumo de potencia activa (KW) se sume el de una potencia llamada reactiva (KVAR), las cuales en su conjunto determinan el comportamiento operacional de dichos equipos y motores (Espinoza y Pérez, 2015).

Esta potencia reactiva ha sido tradicionalmente suministrada por las empresas de electricidad, aunque también puede ser suministrada por las industrias. Pero al ser suministradas por las empresas de electricidad, esta debe ser producida y transportada por las redes, ocasionando necesidades de inversión, lo que significa capacidades mayores de los equipos y redes de transmisión y distribución. Todas estas cargas industriales necesitan de corrientes reactivas para su operación.

La iluminación es otro de los recursos que más se utilizan dentro de una empresa y esta podría representar entre el 10% y 15% de la energía total consumida. De lo anterior la importancia de disponer de dispositivos eléctricos modernos para iluminar las áreas de trabajo, tal y como lo manifiestan Chase y Jacobs (2010):

3) Instalación de dispositivos eléctricos modernos.

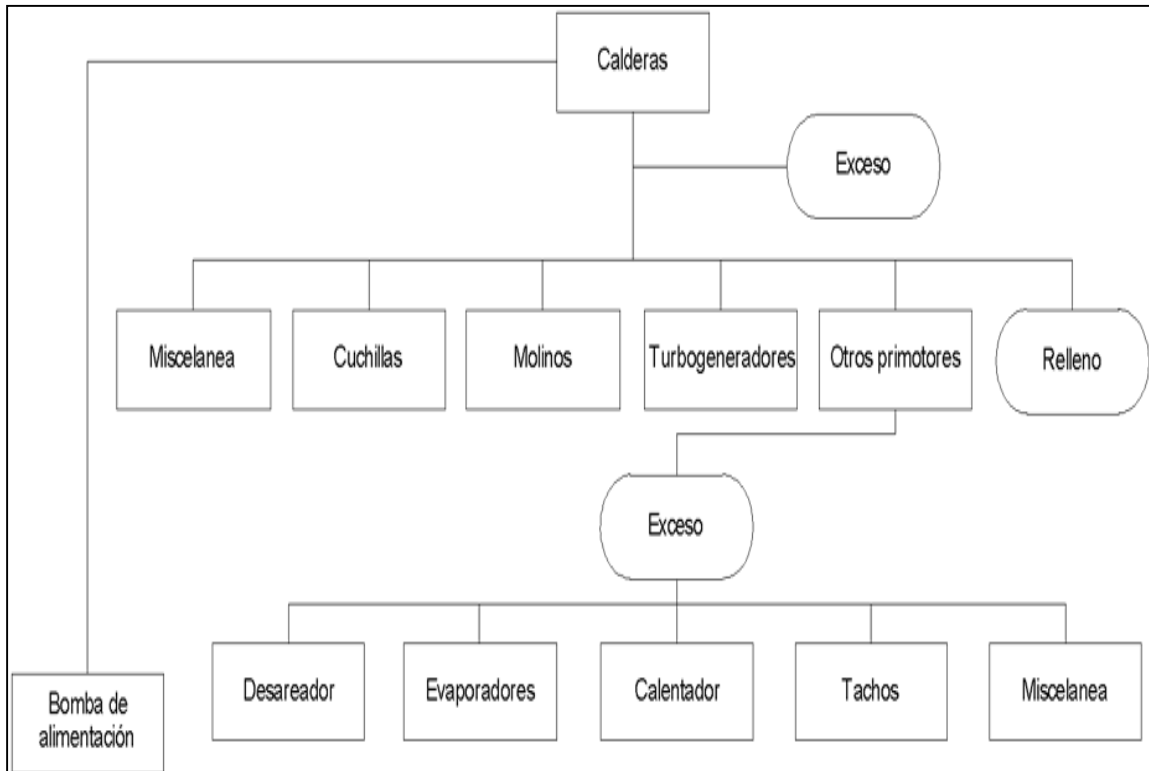
Dentro de las instalaciones que se llevan a cabo en una empresa, es importante que se utilicen dispositivos eléctricos modernos, estos funcionarán de una forma más eficiente, y con el menor consumo de energía. En la industria la mayoría de la energía consumida es debido a la operación de motores eléctricos. Disminuir el monto de la factura eléctrica por este concepto significa vigilar el trabajo eficiente de los motores eléctricos mediante recomendaciones de ahorro energético o, la instalación de motores modernos de alta eficiencia, unido a una buena instalación eléctrica y mecánica, al uso de sistemas de control, la optimización de la carga y un correcto dimensionamiento de la máquina eléctrica:

- Lámparas fluorescentes
- Balastos electrónicos
- Difusores y reflectores de alta eficiencia.

4) Contexto energético en la industria.

Los ingenios azucareros son una de las pocas industrias en Guatemala que pueden utilizar un subproducto, incluso clasificado como desecho sobrante del proceso de fábrica mismo, con impacto negativo sobre el ambiente pues se maneja como desperdicio de fabricación, como elemento base en la producción de energía, por medio de la producción de vapor a través de la combustión del bagazo. El uso típico de vapor se muestra en la figura a continuación.

Figura No. 6. *Utilización típica de vapor en un ingenio de azúcar*



Fuente: Elaboración propia

La caldera se alimenta principalmente con los condensados que se obtienen de los evaporadores, calentadores y tachos que por lo general se hacen pasar por un desaireador con el objeto de expulsar aire y otros gases disueltos que pudieran causar corrosión en la caldera y tuberías. Cada caldera convierte el calor que se ha producido como consecuencia de la combustión del bagazo en vapor. Hasta aquí el proceso es semejante al de los trenes antiguos, donde la combustión de leña permitía obtener vapor para presionar los mecanismos que hacían girar las ruedas y arrastrar los vagones.

Sin embargo, en el caso de los ingenios, el vapor vivo producido en las calderas es usado por los pre motores que producen trabajo y descargan el vapor a presiones reducidas. Estos pre

motores son por lo general turbinas, aunque en varios ingenios visitados todavía utilizan máquinas de vapor convencionales. Las turbinas de mayor tamaño se emplean para mover generadores eléctricos y las de mediano tamaño para hacer funcionar las cuchillas, desfibradores, molinos, ventiladores de tiro inducido, y bombas de alimentación a las mismas calderas.

Dependiendo del grado de electrificación que exista en el ingenio y el tamaño de las turbinas, así es la cantidad de energía producida, por ejemplo, los generadores de pe tamaño pequeño comúnmente son usadas para impulsar bombas de jugo, inyección, condensado, sirope, entre otros. Suele también utilizarse el vapor vivo que es producido en inyectores de vacío de los evaporadores y tachos, o en turbogeneradores de condensación, ninguno de estos, entrega vapor de escape ya que sus descargas son condensadas o perdidas.

Según Rein (2012): “El vapor de escape, usualmente con presiones de 11.60 a 24.66 psi, se usa en el proceso mismo de la fabricación del azúcar, y en calentar el agua que alimenta las calderas en el desaireador, el cual requiere de altas cantidades”. Los principales consumidores del vapor de escape son los evaporadores, los calentadores y los tachos. Otro uso que resulta de importancia en el vapor de escape es el de recalentar las masas cocidas antes de la centrifugación y la limpieza de los tachos.

El vapor de escape que se destina a los evaporadores, calentadores y tachos es condensado en dichos equipos y regresado con agua de relleno, así también si es necesario, este puede regresar al desaireador y después a la caldera. Por lo general los condensados son suficientes para las calderas y el proceso. Todos los sobrantes de vapor vivo que se dan por momentos y los de escapes no aprovechados se descargan a la atmósfera.

En la mayor parte de los ingenios visitados, las calderas se encuentran diseñadas para quemar todo el bagazo, y los pre motores para aprovechar casi todo el vapor vivo. El sistema de evaporación esta seleccionado para consumir la mayor parte del vapor de escape, de manera que el proceso permita la existencia del menor volumen de bagazo, vapor vivo o de escape.

El concepto de diseño en este caso, va enfocado a forzar el mayor consumo de bagazo y establecer una relación para poder eliminar todos los costos por deshacerse de los sobrantes del proceso de fábrica, es decir, que no quede bagazo sin quemarse porque ello obliga a tener que invertir en su disposición (transporte, ubicación, posibilidades de contaminación si se hecha a los ríos, entre otros).

La otra razón de diseño de fábrica en un ingenio azucarero, para lograr que se consuma todo el vapor producido, es la de reducir al máximo los costos de calderas, pre motores y equipo de fabricación, que resultarían al seleccionar equipos más eficientes. Sin embargo, actualmente estos criterios están cambiando, porque se está comprobando que la inversión en equipos que mejoran la eficiencia, es recuperable en un corto plazo vía la producción y venta de electricidad.

Varios ingenios, asesorados por técnicos especializados, han identificado la cogeneración como un subproducto del proceso del ingenio el cual es susceptible a generar ganancias. A esto se suma el hecho de que cada día el precio de la energía eléctrica aumenta, abriendo un potencial mercado de demanda en constante crecimiento, puesto que el Estado no puede satisfacer en el corto ni mediano plazo.

Existe pues una oportunidad de negocio que se evalúa aprovechar de la mejor manera. Ante este panorama, los ingenios saben que pueden hacer mucho por minimizar sus requerimientos de energía, con esto se pretende poder liberar la mayor cantidad como consecuencia de la electricidad sobrante. Una expectativa aún mayor se les presenta ante la tendencia mercantilista de la economía neoliberal, aspecto que sin duda ha hecho que sus intereses como sector de poder socioeconómico se fijen en estas posibilidades.

La cantidad de energía que puede ser generada en la práctica por cada ingenio varían según la capacidad de cada uno de estos, lo que ha hecho que en Guatemala se hayan iniciado estudios y pruebas, llegando incluso en los últimos años varios ingenios a invertir millonarias cantidades de dinero en el equipamiento destinado para producir energía eléctrica.

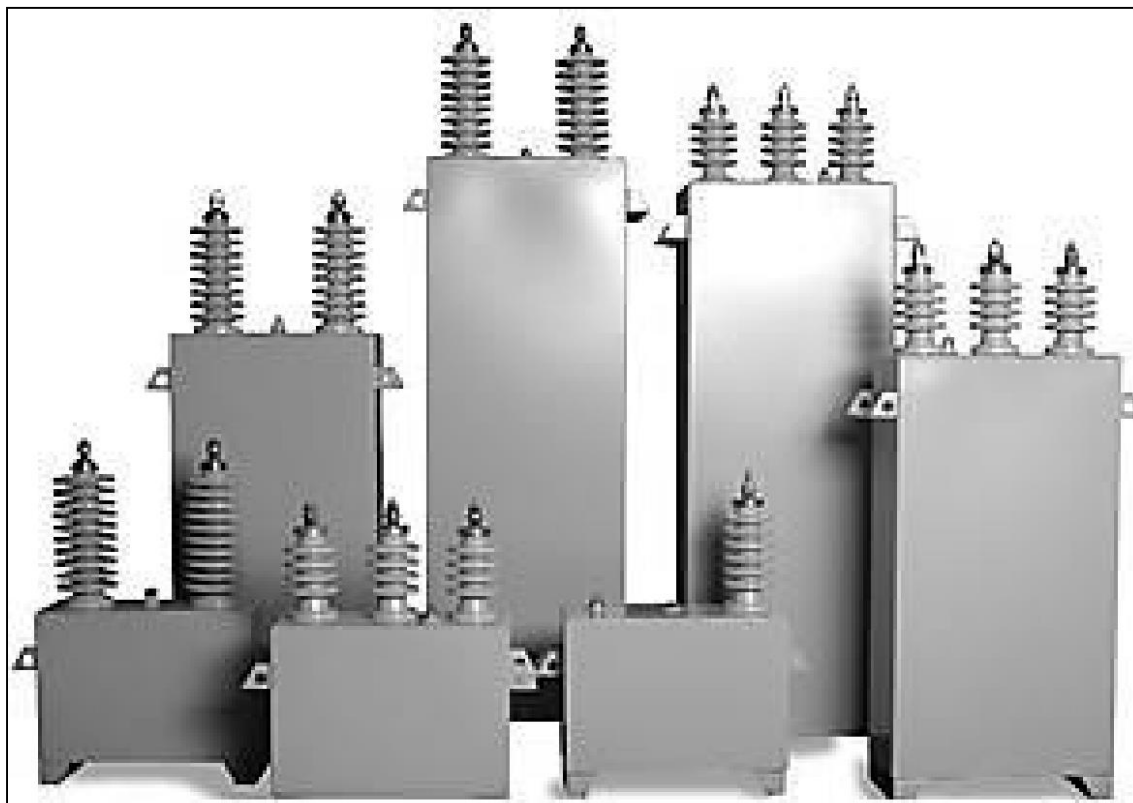
En principio los ingenios fijaron su interés en evaluar las posibilidades de aumentar su producción de energía para autoconsumo, pensando en limitar sus inversiones para hacer más eficientes sus procesos y contar con mayor disponibilidad de electricidad en la fábrica. Hubo otros, que iniciaron en la década pasada un programa de equipamiento para convertirse en suplidores de electricidad, existiendo hoy en día experiencia positiva de ello.

5) Indicadores energéticos.

Cuando un indicador relacionado al consumo entre la energía reactiva (kVAR) y la energía activa (kWh) se mezclan se obtiene el llamado factor de potencia. En las instalaciones el factor de potencia varía entre 0 y 1. Económica y técnicamente en Guatemala es importante mantenerlo por encima de 0,9 para no tener que pagar costos extras por consumo de energía reactiva (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 1998). Los beneficios de la utilización de un banco de capacitores son los siguientes:

- Optimizar las instalaciones, permitiendo una mayor utilización y manejo de la carga en los circuitos eléctricos y transformadores.
- Mejorar el voltaje en los puntos de conexión.
- Reducir la caída de voltaje por sobrecargas en la red interna.
- Eliminar penalidades por bajo factor de potencia.
- Reducir el efecto Joule y asimismo el diámetro de los conductores y el peso.

Figura No. 7. *Capacitores de corriente alterna*



Fuente: Eltech Internacional. Soluciones en seguridad y energía. 2018

En el mercado existen dos tipos de banco de capacitores, estos pueden ser fijos o variables. Además, también existen los motores síncronos sobreexcitados que son de clase variable, estos pueden aportar energía reactiva al sistema mediante la demanda de energía haciendo que se pueda aproximar lo más posible al valor deseado del factor de potencia y los bancos de capacitores normales que son los de clase fija (Corporativa Rural de Electrificación, Ltda., 2012).

6) Pérdidas de energía eléctrica.

El suministro de energía eléctrica a los hogares, industria y comercio es el resultado de un proceso de producción, transporte y venta. Las pérdidas de la energía eléctrica se pueden mostrar desde el punto de generación hasta la utilización de los consumidores finales. Las pérdidas de

energía eléctrica se clasifican de dos formas en función de su naturaleza: La primera es producida por las pérdidas físicas como características de las líneas de electricidad, pérdidas por efecto joule, entre otras; y la segunda por pérdidas no técnicas asociadas con ineficiencias administrativas y comerciales como facturación y gestiones deficientes y altas corrientes para suministrar la reactiva para los campos magnéticos de los motores eléctricos (Romero y Vargas, 2010).

Es necesario comprender algunas conceptualizaciones que a continuación se dan a conocer:

- Vapor: Este se refiere al agua en su fase líquida, a la cual se añade energía calorífica para su transformación. Se necesita añadir suficiente energía para que se eleve la temperatura del agua hasta su punto de ebullición. Después de ello, cualquier energía adicional transforma el agua en vapor, sin un incremento en la temperatura.
- Vapor húmedo: Cuando se lleva vapor de la caldera al punto de utilización, éste se condensa a lo largo de las tuberías. Este enfriamiento por pequeño que sea, al actuar sobre un vapor saturado causa una condensación, la cual se manifiesta corrientemente en forma de niebla que es arrastrada por el vapor. Por esta razón, en la práctica casi nunca una libra de vapor saturado tiene la medida de peso indicada. Dependiendo de esta y otras consideraciones, en la práctica se puede suponer que el vapor saturado es húmedo, o sea de cierta calidad, libras de vapor/libras de agua.
- Vapor saturado: Es vapor puro a una temperatura igual al temple en que hierve el agua a una presión dada.
- Vapor sobrecalentado: Es aquel que se encuentra a una temperatura mayor que la de saturación a una presión determinada.
- Calor sensible o de líquido saturado: Es la energía necesaria para elevar la temperatura del líquido sin que exista cambio de fase.
- Calor latente o de vaporización: Es la cantidad de energía absorbida o generada durante un proceso de cambio de fase.
- Calor total o temperatura del vapor: Es igual a la suma del calor del líquido saturado o sensible, y el calor latente, expresado en $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ o en $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$.
- Capacidad calorífica: Representa la cantidad de energía requerida para elevar un grado la temperatura de una sustancia en energía, que puede ser proporcionada mediante la transferencia de calor en ciertos procesos específicos. Las unidades de la capacidad calorífica, son unidades de calor por unidad de masa y por unidad de temperatura, se expresa en $\frac{\text{Btu}}{\text{lb}} \circ \text{F}$ o $\frac{\text{Btu}}{\text{lb}} \circ \text{F}$. Está en el SI es $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \circ \text{C}$ o $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \circ \text{C}$.

- Temperatura crítica: Se define como la temperatura en la que los estados de líquido saturado y vapor saturado son idénticos. (Carrión, 2011)
- Entalpía: Cuando se efectúa un balance de energía en el proceso de flujo, es conveniente considerar la entalpía, que es el contenido de calor que va relacionada con una determinada de energía y se define como: $H = E + PV$. Esto indica que la entalpía viene determinada por el contenido de energía interna, que es la energía contenida en la sustancia a determinada presión y temperatura, más una cantidad extra de energía, porque algo ha actuado sobre él y lo ha hecho fluir; ésta se denomina energía de flujo, producto de la presión por el volumen. Las unidades de la entalpía son unidades de calor

por unidad de masa, se expresa en: $\frac{\text{Btu}}{\text{lbs}}$ o $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$.

- Volumen específico: Se trata del recíproco de la densidad y se define como el volumen por unidad de masa $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}\right)$.
- Volumen específico de vapor: Es el volumen por unidad de masa y se expresa en metros cúbicos por kilogramo $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}\right)$.
- Presión absoluta, manométrica y de vacío: La presión real en una posición dada, se denomina presión absoluta y se mide respecto al vacío absoluto, es decir, la presión del cero absoluto. Sin embargo, la mayor parte de los dispositivos que miden presión, se calibran para leer el cero en la atmósfera y por ello indican la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica local. Esta diferencia se denomina presión manométrica. Las presiones por debajo de la atmosférica reciben el nombre de presiones de vacío y se determinan con medidores de vacío que indican la diferencia entre la presión atmosférica y la presión absoluta (Catalá, 2007). Las presiones absolutas, manométrica y de vacío, son cantidades positivas y se relacionan entre sí por medio de:

$$P_{\text{manométrica}} = P_{\text{abs}} - P_{\text{atm}} \text{ para presiones sobre } P_{\text{atm}}$$

$$P_{\text{vac}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{abs}} \text{ para presiones abajo de } P_{\text{atm}}$$

- Vapor condensado: El condensado, es el resultado de la reducción de temperatura causada por la eliminación del calor latente de evaporación (Díaz, 2002). Es un producto secundario de la transferencia de calor en un sistema de vapor. Se forma en el sistema de distribución debido a la inevitable existencia de radiación. También se forma en equipos de calentamiento y de proceso, debido a la transferencia de calor del vapor.

B. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL

1. Propiedades y aplicaciones del vapor

No hay un método fijo para descubrir todas las posibilidades de ahorro de energía en una instalación. El enfoque más común, es revisar listas de medidas de conservación energética que hayan sido aplicadas en otros sitios. Sin embargo, aun cuando las listas de medidas son útiles, no pueden sustituir una planificación estratégica inteligente y creativa.

Durante el proceso de identificación de oportunidades para proyectos de ahorro de energía de vapor, el paso inicial es concentrar primero las medidas de conservación no costosas. Se debe estimar el potencial de ahorro de estas medidas antes de evaluar otras de mayor costo.

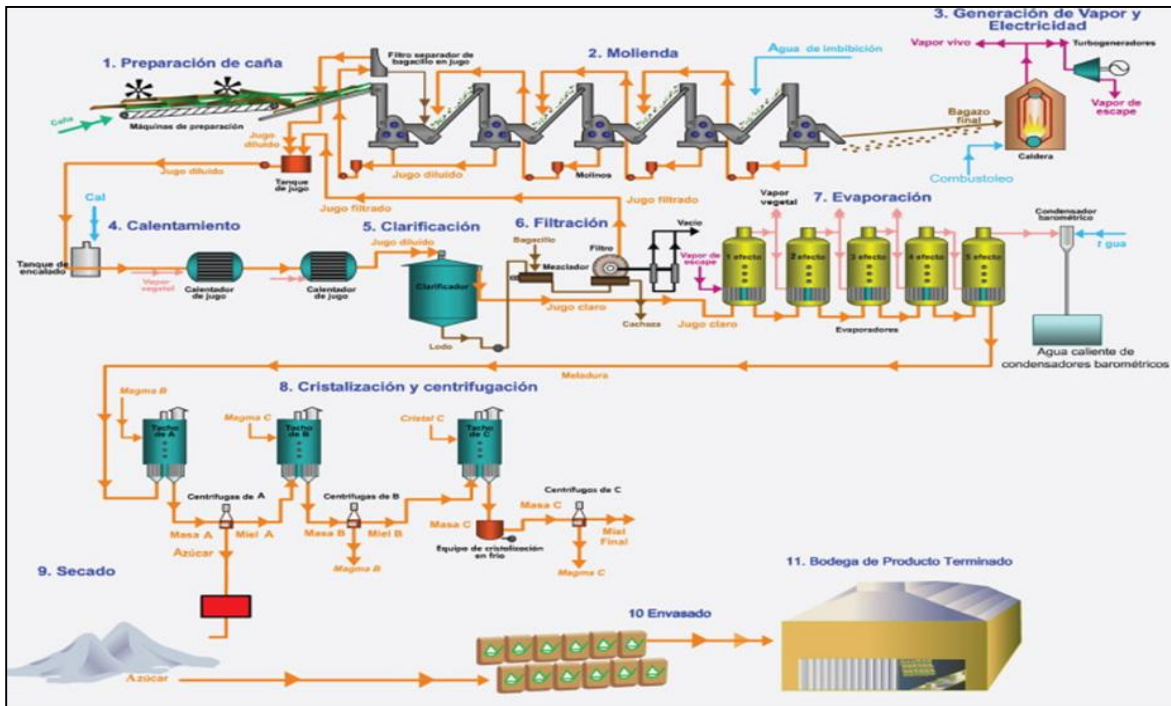
Luego se podrán hacer estimaciones del potencial de ahorro de las medidas más costosas, a partir del menor nivel de consumo energético que resultaría al implementar las medidas de bajo costo. Aunque esto parece obvio, ha habido numerosas ocasiones en las que se han aplicado medidas costosas, pero se han omitido alternativas más sencillas y baratas.

La industria posee un vocabulario único y el de vapor no es la excepción. La definición precisa de los conceptos básicos, constituye un fundamento íntegro para el desarrollo de la industria y evita equivocaciones. El estudio cuidadoso de estos conceptos, es indispensable para una buena interpretación. La eficiencia y economía de un sistema de vapor, se puede mejorar si son atendidos cuidadosamente tres puntos:

- Generación.
- Distribución de vapor.
- Consumo de vapor.

En la siguiente figura se demuestra cómo utilizar el nuevo esquema para las líneas de vapor, para tener un ahorro energético, tomando en cuenta los tres puntos mencionados anteriormente:

Figura No. 8. Funcionamiento del nuevo esquema a tomar en cuenta para el ahorro energético



Fuente: Domínguez, Bravo y Sosa. Prevención, minimización y control de la contaminación ambiental en un ingenio azucarero de México. 2014.

2. Generación de vapor

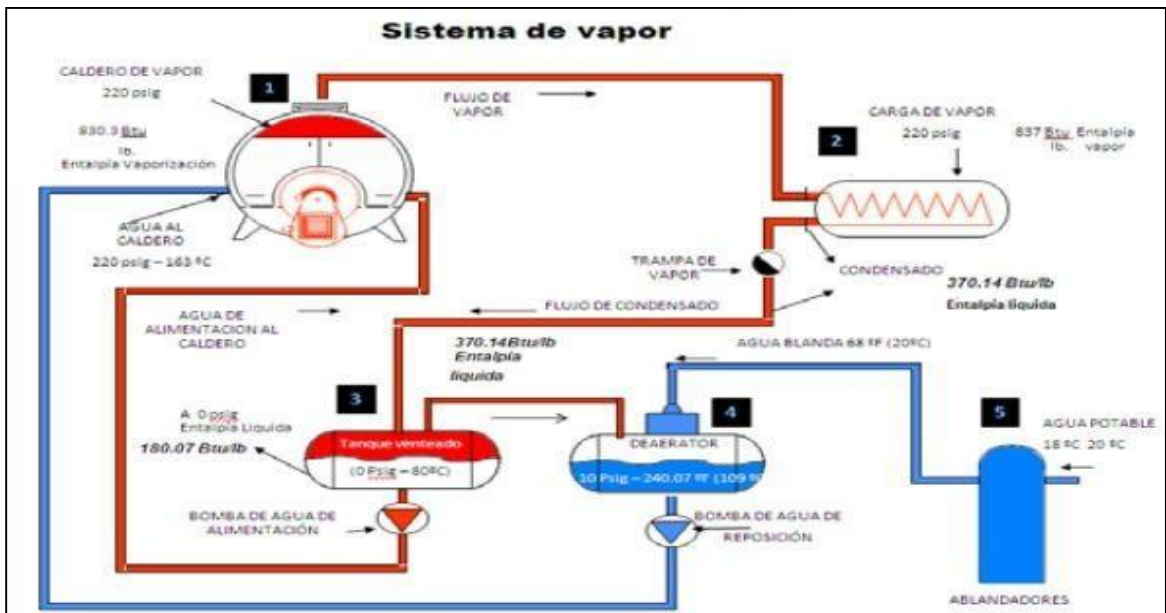
Básicamente la eficiencia de un sistema de vapor se mejorará aplicando las siguientes medidas como lo describe Catalá (2007):

- Recuperación de condensado y aislamiento térmico de la línea de retorno.
- Precalentamiento del agua fresca de alimentación de la caldera con calor residual, condensado con valor energético.
- Tratamiento químico del agua de alimentación a la caldera.
- Regulación y control de flujos de purga de lodos de la caldera y de condensados en tuberías y equipos del sistema.
- Reducción del exceso de aire.
- Precalentamiento del aire de combustión para la caldera con calor residual.
- Precalentamiento y atomización adecuada del combustible de la caldera.
- Aislamiento térmico del cuerpo de la caldera.
- Ajuste del quemador.
- Ajuste de los controles automáticos de la caldera.

- Regulación de la carga de la caldera.

Cada disposición anterior permite regular el flujo de valor para mejorar su circulación y que este represente una solución a los flujos de voltaje que puedan ser favorables para la industria y para que se puedan alcanzar las mejoras deseadas, se tiene que hacer un análisis del siguiente sistema, las cuales serán analizadas por medio de un diagrama que se presenta a continuación:

Figura No. 9. Diagrama del sistema de vapor a tomar en cuenta para el ahorro de energía en el condensado



Fuente: Villacrés y Andrade. Ahorro energético en el sistema recuperador de condensados de una planta industrial en Guayaquil utilizando un surge tank. 2009.

3. Distribución de vapor

Para reducir las pérdidas de calor a través de la línea de distribución de vapor, es necesario, según Catalá (2007):

- En instalaciones nuevas, diseñar la red de distribución, eligiendo los diámetros adecuados de tubería, determinando la localización y dimensiones apropiadas de los accesorios de tuberías.
- Aislar térmicamente las tuberías de vapor y los accesorios de tubería. Evitar fugas de vapor.

- Utilización de nuevas tecnologías de trampas de vapor que ofrecen pérdidas mínimas de vapor vivo.
- Instalación de trampas de vapor de acuerdo a su funcionamiento y en localidades para las cuales fueron seleccionadas.
- Realizar pruebas periódicas al sistema de trampeo para obtener un control del buen funcionamiento del mismo.

4. Consumo de vapor

Cada unidad de proceso deberá operar con eficiencia, siendo necesario revisar fundamentalmente los siguientes aspectos, según lo manifiesta Catalá (2007):

- Diseño adecuado del equipo.
- Uso de presiones y temperaturas de vapor adecuadas.
- Aislamiento térmico de áreas del equipo en donde existan considerables pérdidas de calor por radiación y convección.
- Reutilización del calor residual de flujos de gases de escape, a altas temperaturas, para precalentar aire y/o productos de proceso.
- Especificación de dimensionamiento y ubicación adecuada de las trampas de vapor.

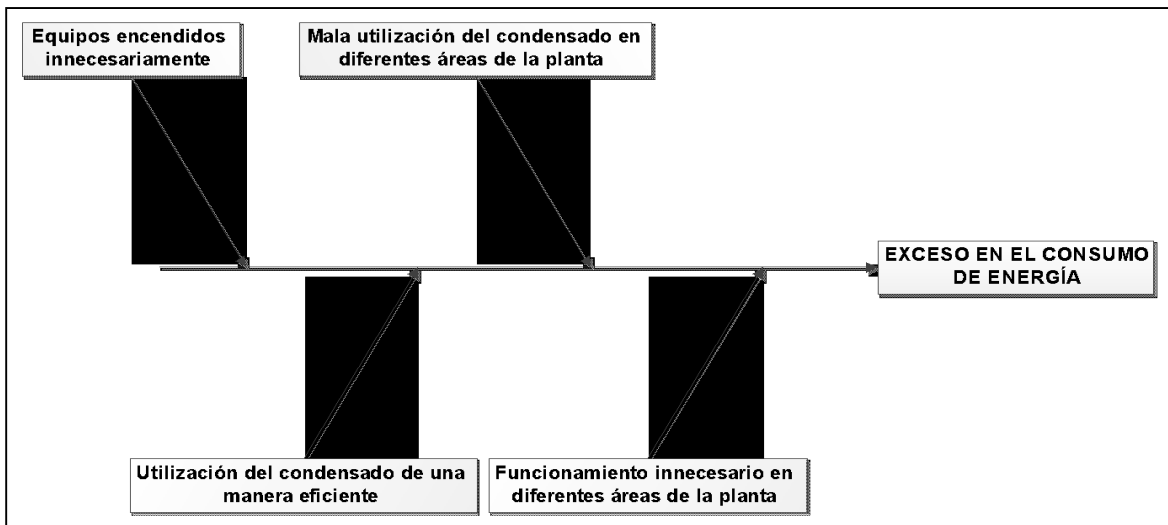
La supervisión continua de los aspectos mencionados en estos tres puntos, así como su soporte mediante un programa riguroso de mantenimiento preventivo hará posible que las plantas industriales reduzcan considerablemente sus costos, permitiéndoles mantenerse en la dinámica competencia económica.

5. Ahorro de energía en el condensado

En casi todas las instalaciones de una nueva planta, puede descubrirse un número sorprendentemente grande de oportunidades para ahorrar energía, como la utilización de un sistema que implican tecnologías de avanzada de conversión energética. La identificación de maneras de ahorrar energía, requiere imaginación e ingenio, así como de un sólido conocimiento de los principios técnicos. Esta labor consiste en encontrar formas para eliminar tareas innecesarias que consumen energía y con ello se pretende minimizar el trabajo requerido para realizar las labores necesarias. Algunas estrategias que se pueden aplicar para eliminar trabajos innecesarios hacen referencia a mejorar los controles, así como eliminar pérdidas de procedimientos y diversas modificaciones al sistema.

Las estrategias dirigidas a minimizar el trabajo requerido para tareas necesarias, incluyen recuperación de calor, (mayor eficiencia) en la conversión de energía y diversas modificaciones al sistema. Las estrategias de recuperación de calor varían desde complejos sistemas para generar energía eléctrica o térmica, hasta simples termo cambiadores que se pueden usar para calentar agua con el calor de desecho del equipo. La siguiente figura da a conocer un diagrama de causa y efecto que se emplea para determinar el ahorro de energía y que esta a su vez afecte al condensado. Permitiendo maximizar recursos:

Figura No. 10. *Diagrama de causa y efecto de factores que afectan el ahorro de energía en el condensado*



Fuente: Elaboración propia.

Algunos ejemplos de incremento de eficiencia de conversión, son motores más eficientes para convertir energía eléctrica en trabajo mecánico y fuentes luminosas más eficientes para convertir energía eléctrica en luz. Algunas modificaciones al sistema que pueden reducir el trabajo requerido para realizar tareas como la utilización adecuada de conductores de condensado. Para que se puedan alcanzar las mejoras deseadas, se tiene que hacer un análisis de las causas que afectan el ahorro de la energía, las cuales serán analizadas por medio de un diagrama de causa y efecto.

a. Retorno del condensado.

El vapor que se condensa tiene dos cualidades importantes y de interés desde el punto de vista de eficiencia. Primero, como ya se ha mencionado con anterioridad, contiene calor en una cantidad que puede ser importante, comparada con el calor total del vapor. Segundo, el condensado es agua limpia y ya tratada, sin sólidos disueltos, con excepción de los que arrastra en su flujo a través de la tubería. El retorno de condensado, entonces implica tres ahorros:

- Ahorro en combustible debido a su calor sensible.
- Ahorro en químicos de tratamiento del agua que entra a la caldera.
- Ahorro en combustible debido a la reducción de la purga necesaria para mantener un nivel adecuado de sólidos disueltos en la caldera.

b. Aislamiento del condensado.

El aislamiento no solo de la tubería, también de los tanques, de las válvulas, codos y otros puntos del sistema, es importante para poder aprovechar al máximo el calor del sistema.

c. Cierre del sistema de condensado.

Para ahorrar y recuperar el vapor perdido por vaporización y venteo del tanque de condensado, se debería considerar la posibilidad de retornar el condensado bajo presión. Esto se aplica a sistemas medianos y grandes. Puntos importantes para recordar, son el uso de bombas de vapor, para procesos de precalentamiento.

d. Precalentar agua con el condensado.

Este tipo de técnica se realiza con sistemas pequeños y medianos donde no valga la pena una inversión para nuevo equipo, y donde una parte del condensado no se retorna, pero se reemplaza con agua fresca, se puede considerar una medida sencilla. El agua fresca que necesita la caldera, se puede alimentar directamente al tanque de condensado, manteniendo así la temperatura del condensado menor a la del punto de saturación.

El condensado entra abajo del tanque y se enfrían al pasar la masa. Así se evita el sobrecalentamiento del tanque de condensado y la consecuente pérdida de vapor a través del venteo del tanque. El calor del condensado se aprovecha para precalentar agua fresca. Este sistema es eficiente solo si se necesita alimentar la caldera con un porcentaje de agua fresca.

e. Drenado del condensado.

Una vez que el vapor se condensa al haber soltado todo su calor latente, el condensado caliente se debe de remover inmediatamente. El condensado todavía es agua caliente con valor energético y se debe regresar a la caldera aun cuando el calor disponible en un kilogramo de condensado, es relativamente poco comparado al de un kilogramo de vapor.

f. Efecto del aire en la transferencia de calor.

Cuando el aire y otros gases se introducen al sistema de vapor, ocupan parte del espacio que debería estar ocupado únicamente por el vapor. La temperatura de la mezcla aire/vapor va a

ser menor que la que sería para vapor puro. La siguiente tabla, muestra la reducción en temperatura causada por diferentes porcentajes de aire a varias presiones:

Tabla No. 1. *Reducción en temperatura causada por aire*

Presión (psi)	Temperatura vapor saturado (°F)	Temperatura vapor mezclado con varios porcentajes de aire (°C)		
		10 por ciento	20 por ciento	30 por ciento
2	248,36	116,7	113	110
4	290,48	140	135,5	131,1
6	317,84	154,5	150,3	145,1
8	338,72	165,9	161,3	155,9
10	355,82	175,4	170,4	165

Fuente: Elaboración propia.

g. Estimación del costo de vapor.

El costo es un parámetro muy importante en un sistema de vapor, ya que éste refleja la eficiencia en función de su utilización. Este valor adquiere significado cuando se presenta en forma de índices de costos que lo relacionan con datos de producción, los cuales pueden elaborarse mensualmente e indicar de esta manera la eficiencia en su utilización respecto a otros meses de operación. Además, estos costos del vapor son de utilidad en la consideración de variables en el proceso, ya que especifican la más económica y eficiente (Catalá, 2007).

Otro aspecto interesante de utilización de estos costos, es la evaluación de las diferentes posibilidades de cogeneración, como lo son las turbinas de vapor y generadores diésel. Para la determinación del costo del vapor, hay que tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Presión de vapor.
- Eficiencia de la caldera.
- Precio del combustible.
- Temperatura del condensado.

El cálculo del costo del vapor, se efectúa basado en los datos anteriormente expuestos, aplicados a balances de energía, tomando como referencia la entalpía del vapor y la calidad de este. A continuación, se da a conocer un ejemplo, en donde se muestra la secuencia de cálculo en un proceso determinado:

Una caldera genera vapor a una presión de 160 libras por pulgada cuadrada. La temperatura de agua de alimentación a la caldera es de 104 grados Fahrenheit. La eficiencia es de 85 por ciento y el precio del combustible –bunker es de Q.18, 84 el galón, según dato del MEM de mayo de 2011:

1) SOLUCIÓN: Alternativa 1:

Presión de vapor: 160 psi.

$$\text{Entalpía de vapor: } hg = 1\,196,0 \quad \frac{\text{Btu}}{\text{lb}}$$

Temperatura del agua de alimentación: 104°F.

Eficiencia de caldera: 85 por ciento.

$$\text{Poder calorífico del bunker: } 150\,000 \quad \frac{\text{Btu}}{\text{gl}}$$

Costo del bunker: 18,84 $\frac{\text{Q.Q}}{\text{galón}}$

Energía del agua de alimentación:

$$Q = mC_p\Delta T$$

$$m = 1 \text{ lb.}$$

$$C_p = 1 \quad \frac{\text{Btu}}{\text{lb}} \quad ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = (104 \text{ } ^\circ\text{F} - 0 \text{ } ^\circ\text{F}) = 104 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$Q = 1 \text{ lb} \left(1 \quad \frac{\text{Btu}}{\text{lb}} \quad \times \text{ } ^\circ\text{F} \right) (104^\circ\text{F})$$

$$Q = 40 \text{ BTU}$$

La energía del agua de alimentación, es de 40 BTU por libra. La energía que debe aportar el bunker para transformar una libra de agua de alimentación a una libra de vapor a 160 libras por pulgada cuadrada.

$$Q = 1\,196,0 \quad \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} - 40 \quad \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} = 1\,156,0 \text{ BTU/lb}$$

Costo del vapor por tonelada:

$$Q \frac{2\,000}{150\,000} \frac{1}{\text{Ton}} \frac{\text{BTU}}{\text{gal}} \times 1\,156,0 / \text{lb} \times 0,85 = Q \frac{18,84}{253,82} \frac{\text{gal}}{\text{Ton}}$$

$$Q = 0,17991/\text{libra}$$

Aproximadamente Q. 0,18 la libra de vapor.

El costo por tonelada de vapor es de Q 253,82 y Q 0,17991 la libra de vapor, tomando en cuenta solamente el combustible. Se estima que el combustible representa el 80 por ciento del costo total del vapor.

2) SOLUCIÓN: Alternativa 2

Calor contenido en el vapor a 160 psia:

$$h_g = 1196,0 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$$

Energía térmica en el agua de alimentación a 104 °F:

$$h_f = 72,038 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \quad \text{ver tablas de vapor}$$

$$1\,196,0 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}} - 72,038 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} = 1\,123,962 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$$

Energía del combustible requerida para la producción del vapor:

$$1\,322,3082 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} = 1\,123,962 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \quad \text{requeridos para producir vapor a 160 psia}$$

Costo de la energía del combustible:

$$\frac{Q\,18,84 \times 1 \text{ galón} = Q\,0,00009333/\text{BTU}}{\text{Galón } 150,000 \text{ BTU}}$$

Costo del vapor producido:

$$Q \ 0,00009333X1 \ 322,3082/l = Q \ 0,1834 /l$$

Aproximadamente Q. 0,18 la libra de vapor.

h. El costo al no verificar las trampas.

De los datos anteriores, el 20 % de trampas de vapor fallarán dentro del primer año de instalación, debido a la suciedad. Con una prueba y mantenimiento regular esta proporción puede reducirse aproximadamente al 6 %. De acuerdo las investigaciones, de Castañeda García y la de Ovando Roca, quienes presentan un índice de falla con relación a los ciclos de inspección que muestra el porcentaje de trampas falladas del total de trampas de vapor en una instalación durante su funcionamiento:

1 años 6 - 10%, 2 años 10 - 15%, 3 años 15 - 35% tiempo de vida de una trampa de vapor, 4 años > 36%, 5 años > 45% y arriba de 5 años > 65%

Por tal razón se debe crear un plan de inspección periódico para las trampas, y así lograr cada vez una menor pérdida de vapor en el sistema. Existen distintos tipos de trampa en la industria, las cuales varían en tamaño, método de descarga, fabricante. Debido a lo anterior se debe tomar en cuenta que, aunque algunas trampas de vapor sean nuevas presentan pérdidas de vapor vivo. La pérdida depende del tipo de trampa:

$$\begin{array}{l} \text{Termodinámica} = 2 - 4 \quad \frac{K}{hr} \quad (4 \text{ a } 8) \quad \frac{L}{hr} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Cubeta invertida} = 3 - 5 \quad \frac{K}{hr} \quad (6 \text{ a } 10) \quad \frac{L}{hr} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Flotador y termostato} = 0 \quad \frac{K}{hr} \end{array}$$

$$\text{Termostática} = 0 \quad \frac{\text{K}}{\frac{\text{g}}{\text{hr}}}$$

Puede parecer un valor pequeño 10 litro por hora, pero multiplicada esta cantidad por la cantidad de trampas y las horas de operación en un año, para la gerencia esto significa pérdida de dinero. Se tomará en cuenta la tabla siguiente para la supervención del vapor para tener una conservación de ahorro a diario:

Tabla No. 2. *Punto de control del proceso actual de vapor*

Punto Crítico de Control (PCC)	Extracción de agua de pozo.
Riesgo (s)	En la verificación de las tuberías.
Límites críticos	Especificación en procedimiento de la creación del vapor.
Qué	El cumplimiento del procedimiento de la transportación del vapor.
Cómo	Análisis del transporte del vapor.
Frecuencia	Diario.
Quién	Supervisor del área de las tuberías.
Acciones correctivas	Rechazo del vapor y suspensión del consumo.
Verificación	Auditoría de los registros de monitoreo del vapor. Análisis periódico de vapor.
Registros	Resultado de análisis del control del vapor.

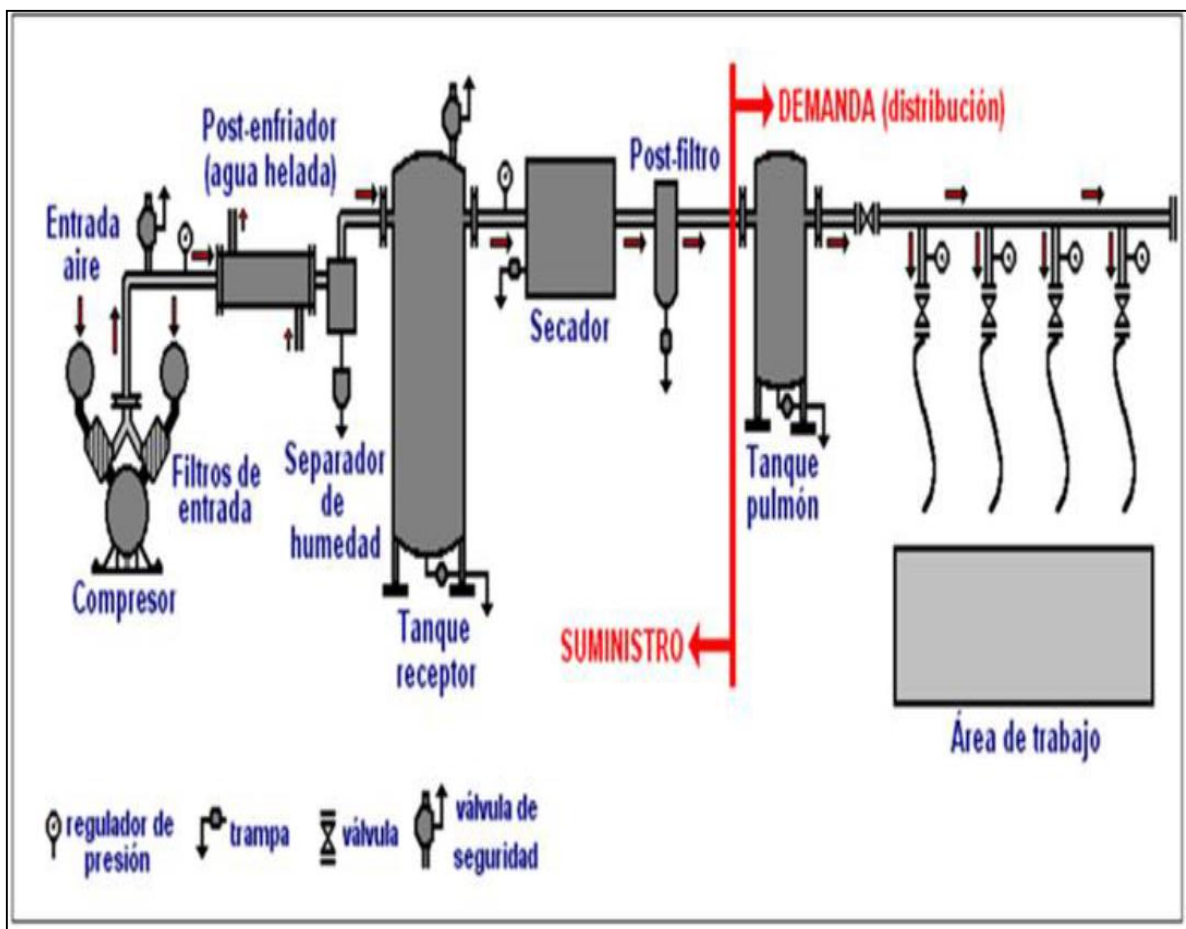
Fuente: Elaboración propia.

C. PROPUESTA PARA LA CONSERVACIÓN DEL AHORRO ENERGÉTICO

1. Sistema de condensados en la secadora en la planta

El sistema de vaporización trabaja, con dos tuberías en las que el vapor se introduce por una válvula de admisión, y el aire, así también el condensado se liberan por un purgador de vapor. El agua vuelve a la caldera y el aire se descarga a través de un orificio central situado en la base y a través de respiraderos en cada zona se tiende a calentar. El sistema tiene juntas de poco calibre, el aire retorna al sistema en cantidades mínimas, por lo que se requiere muy poca presión para propulsar el vapor. Pero resultan más económicos porque pueden trabajar con menos combustible. En la siguiente figura se presenta el sistema de vapor actual de la planta.

Figura No. 11. Diagrama actual del sistema de vapor



Fuente: Elaboración propia.

a. Proceso del consumo.

El proceso de producción comienza cuando se extrae el agua del pozo para su acondicionamiento por medio de un sistema de ósmosis inversa. El sistema inicia cuando el agua es bombeada del pozo y filtrada de toda partícula mayor de 20 micrones por medio de un filtro del tipo big blue de 20 micras nominales para eliminarle las partículas mayores de 20 micrones.

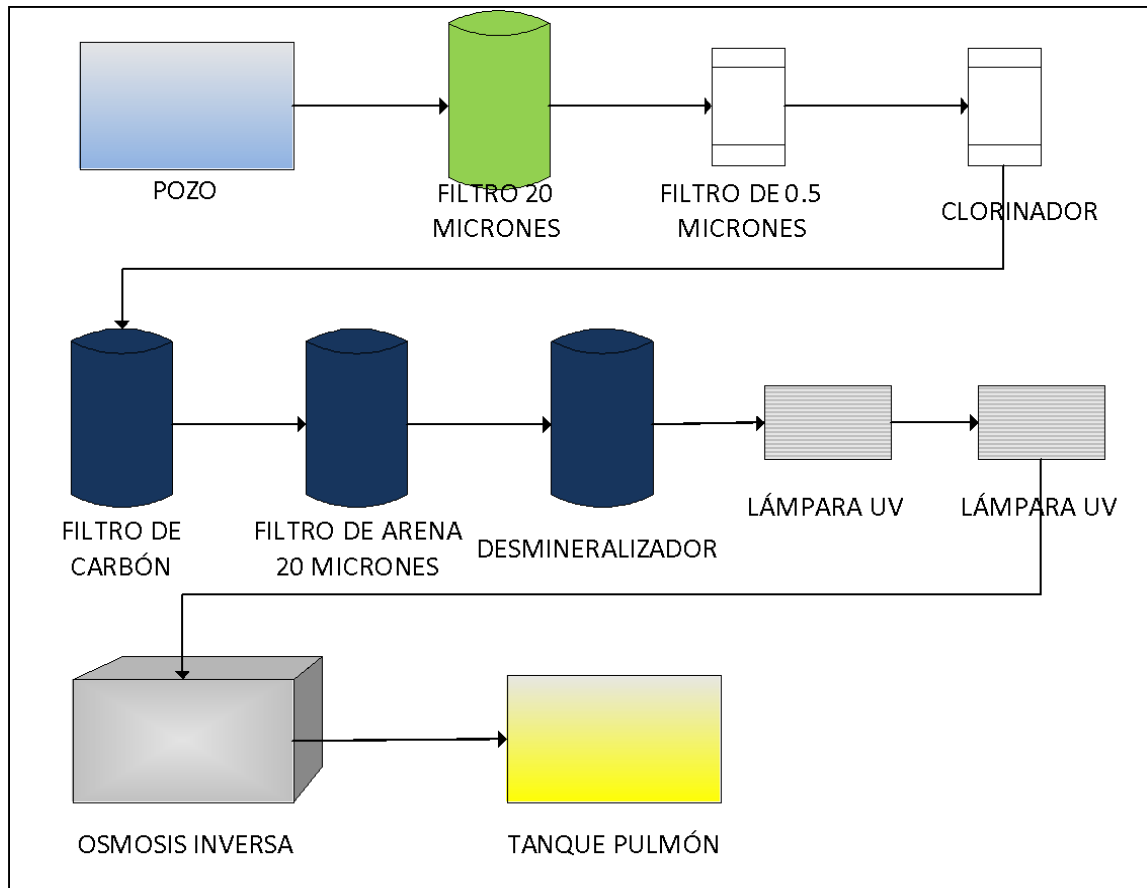
El agua sale y por medio de una tubería de acero inoxidable de grado sanitario después llega a dos filtros cerámicos de 0,9 micrones, los cuales atrapan microorganismos mayores a 0,9 micrones, donde la mayor parte de bacterias y suciedad residual procedente del anterior filtro queda atrapada, este filtrado tiene una eficiencia del 99 por ciento.

Después de este pre filtrado, el agua es clorada a 0,75 partes por millón por medio de un clorinador con el propósito de eliminar cualquier bacteria que pudiera haber pasado los filtros. El proceso continúa con 2 nuevos filtrados, uno de carbón y el segundo de arena y grava, el de carbón elimina olor, sabor y cloro del agua el de arena y grava, eliminando partículas residuales mayores a 0,5 micrones.

Pasado este filtrado el agua pasa por tres filtros de luz ultravioleta, los cuales esterilizan cualquier bacteria que pudo haber sobrevivido al proceso. El agua pre filtrada se desmineraliza por medio de un desionizador aniónico y otro catiónico, para luego ser pulida por medio de una cama mixta que eliminará cualquier residuo de calcio, sílice y cualquier residuo mineral.

Una vez libre de minerales, el agua entrará en las membranas del ósmosis inversa eliminando cualquier rastro de bacterias, metales y demás minerales que pudiese tener el agua. Una vez acondicionada, será almacenada en un tanque pulmón, para su posterior uso en las distintas líneas de producción de la empresa, el almacenamiento no debe exceder las dos horas, de lo contrario será descartada.

Figura No. 12. Acondicionamiento de agua



Fuente: Elaboración propia.

El vapor es uno de los recursos más importantes dentro del proceso de producción, puesto que sin la utilización de la misma sería casi imposible la obtención de productos y servicios. A continuación, se dan a conocer algunas conceptualizaciones para conocer más del proceso:

1) Evaporado.

Es el proceso por el cual, las moléculas en estado líquido, por ejemplo; el agua se hace gaseosa espontáneamente o vapor de agua. Es lo que se utiliza para la generación de algunas líneas de producción, esto quiere decir un volumen significativo de vapor. Los consumos de vapor dentro de los procesos de producción muchas veces son sumamente elevados, tanto por exigencias del proceso, así como por su mala utilización.

2) Condensado.

Es el cambio en la materia de una sustancia a una fase más densa cuando sale de los suministros de líquido. La condensación generalmente ocurre cuando un vapor se enfría, pero también puede ocurrir si se comprime, es decir, si se aumenta la presión o se somete a una

combinación de refrigeración y compresión, esto no se da mucho en la planta porque todo se hace con previo control para que no ocurra esto.

b. Utilización del condensado vinculado directamente en el proceso productivo.

La línea de producción de la utilización de vapor, se inicia desde que los insumos son llevados de la bodega de materia prima al área de luego son pasados a la planta de producción, donde son medidos según la orden de producción del día. Luego, estos son trasladados al área correspondiente, donde son envasados a temperatura ambiente en un área aséptica, en envases de vidrio previamente lavados.

Posteriormente, son llevados en grupos a las autoclaves donde serán esterilizados a temperaturas arriba de los 100 grados centígrados y a una presión poco mayor de 9 libras por pulgada cuadrada en un tiempo promedio de una hora. Después de esterilizarlos, son guardados en sacos provisionales y almacenados durante 24 horas, mientras la temperatura desciende a la temperatura ambiente.

1) Actividades.

Una vez libre de minerales, el agua entrará a las membranas del ósmosis inversa que eliminará cualquier rastro de bacterias, y demás minerales que pudiese tener el agua. Una vez acondicionada será almacenada en un tanque pulmón, para su posterior uso en las distintas líneas de producción, el almacenamiento no debe exceder las dos horas, de lo contrario será descartada.

2) Fuentes principales.

El sistema utilizado es el de orificios, es cuando una tubería se basa en que la fuerza de gravedad obliga al vapor condensado en el radiador a bajar a la caldera por la misma tubería, por la cual sube el vapor a los radiadores. Es el sistema de instalación más barato, pero los conductos deben ser lo bastante anchos como para albergar el vapor y recoger el condensado. Los orificios de los radiadores permiten la salida del aire una vez calentado por el vapor durante la fase de encendido.

3) Líneas fundamentales de la producción.

La línea de producción de la utilización de vapor inicia desde que los insumos son llevados de la bodega de materia prima, desde ese momento es utilizado en vapor y luego su principal utilización es en las líneas mencionadas a continuación:

4) Filtración.

Se denomina filtración al proceso de separación de sólidos en suspensión en un líquido mediante un medio poroso, que retiene los sólidos y permite el paso del líquido. Se utiliza en un sistema complejo para la recuperación de catalizadores de alto valor, en el sistema de tratamiento de agua potable destinada al suministro (Química 1-2, 2014).

5) Evaporación.

El procedimiento de evaporación consiste en separar los componentes más volátiles, exponiendo una gran superficie de la mezcla. El aplicar calor y una corriente de aire seco acelera el proceso. La evaporación es utilizada para eliminar el vapor formado por ebullición de una solución líquida, para así obtener una solución concentrada (Química 1-2, 2014).

6) Centrifugación.

Es un procedimiento que se utiliza cuando se quiere acelerar la sedimentación. Se coloca la mezcla dentro de una centrifuga, la cual tiene un movimiento de rotación constante y rápido, logrando que las partículas de mayor densidad, se vayan al fondo y las más livianas queden en la parte superior. Un ejemplo se puede observar en las lavadoras automáticas, hay una sección del ciclo que se refiere a secado, en el cual el tambor de la lavadora gira a cierta velocidad, de manera que las partículas de agua adheridas a los frascos durante su lavado, salen expeditas por los orificios, donde estas se eliminan completamente.

7) Sistema de condensado.

El calor seco en forma de aire caliente, es difícil de controlar. La penetración en los materiales es lenta y casi igual y requiere largo período de exposición. Los materiales que pueden esterilizarse por vapor seco para uso de materia prima son: materiales no alterables por el calor, soluciones acuosas, complejos farmacológicos en polvo, compuestos grasos, parafinas, aceites, etcétera (Fernández Puente, 2005).

8) Autoclaves.

Se realiza mediante vapor saturado a presión, esto se da en la línea de producción y es regulada por un aparato provisto de una llave o manómetro para regular la presión y temperatura que se desea utilizar en el sistema, por lo que se somete en el interior a una presión mayor que la atmosférica, que aumenta la temperatura del vapor, siendo de esta forma como se consigue la destrucción de todos los microorganismos. Posteriormente, son llevados en grupos a las autoclaves, donde serán esterilizados a temperaturas arriba de los 100 grados centígrados y a una presión poco mayor de 9 libras por pulgada cuadrada en un tiempo promedio de una hora.

9) Proceso de consumo del condensado.

El vapor es muy útil en la mayoría de los procesos de la planta industrial, puesto que por sus características se pueden obtener varias aplicaciones de este, tales como esterilizar, humectar, lavar y uso de autoclaves. El vapor es una sustancia en estado gaseoso, y a menudo los términos de vapor y gas son intercambiables, en la práctica de la planta se emplea vapor para pasar la sustancia que normalmente se encuentra en estado líquido.

Cuando se confina el vapor emitido por una sustancia a cualquier temperatura, se ejerce una presión conocida como presión de vapor. Si se aumenta la temperatura de la sustancia, entonces la presión de vapor se eleva, como resultado de una mayor evaporación. Cuando un líquido se calienta hasta la temperatura en la que la presión de vapor se hace igual a la presión total que existe sobre el líquido, se produce la ebullición.

El vapor a una temperatura superior al punto de ebullición, se denomina vapor sobrecalentado, y se condensa parcialmente si se disminuye la temperatura a presión constante, si el punto de ebullición se encuentra intermedio entre el vapor saturado y el sobrecalentado además se debe de tener presiones y temperaturas normales, a esto se le denomina vapor seco, este es utilizado en las soluciones acuosas.

10) Reconocimiento de las pérdidas por fugas y tubería sin aislamiento.

Los principales focos de pérdidas son:

- Alta temperatura de los gases de escape.
- Elevado porcentaje de oxígeno en los gases, producto de un alto exceso de aire.
- Diámetro de red pequeño.
- Elevada temperatura de las paredes.
- Baja calidad del vapor por arrastre de agua.
- Excesivo caudal de purgas o purgas muy continuas.
- Paradas muy frecuentes por averías.
- Cenizas muy calientes.
- Entrada de agua de alimentación fría a la caldera.
- Agua en el aire de combustión y combustible.
- Fugas de vapor.
- Falta de controles.
- Operaciones fluctuantes con demandas muy variables de vapor.

11) Consumo de combustibles.

En este caso, el que se utiliza es el bunker y en algunas ocasiones el diésel, aunque poco. El bunker es un combustible residual de la destilación del petróleo. Este es un producto viscoso y con ciertos grados de impurezas cuyas características generales exigen métodos especializados para su empleo. Su uso es principalmente en las calderas y quemadores como una fuente de producción de energía y tiene un costo favorable. El bunker al igual que todo combustible cuenta con un valor calorífico bruto, el cual tiene un valor de: 46,5 mili joules por kilogramo (Petro Blogger.com, 2010).

12) Diagnóstico de equipos.

Se demuestra que el ingenio sólo maximiza el ahorro sostenible de costes cuando los resultados energéticos se miden, supervisan y gestionan sobre una base consistente. Además, no se les da el mantenimiento adecuado a las líneas de circulación de vapor, por lo que se observan las pérdidas continuas de vapor en la línea de producción y más que todo en la salida de las calderas, porque no se tiene el control adecuado y la deficiencia de los equipos.

Muchos de estos equipos ya son antiguos y aunque se les de mantenimiento preventivo, las perdidas existentes de vapor son cuantiosas en las líneas que lo conducen. El tamaño de las tuberías de vapor que se utilizan, son las marcadas con negrilla en la siguiente tabla, es uno de los factores importantes a tomar en cuenta para tener un notable ahorro de energía en la conducción del vapor hacia el proceso de producción o hacia el dispositivo que requiere de su utilización.

Tabla No. 3. *Tamaño de las tuberías para la conducción de vapor*

Diámetro nominal del tubo (pulg)	Longitud del tubo (pulg)	Presión manométrica del vapor (lb/pulg²)
1	240	-1
1 1/4	480	-0,5
1 1/2	720	0
2	960	1
2 1/2	1200	2
3	1440	3
3 1/2	1680	5
4	1920	10

Fuente: Elaboración propia.

Cualquier fluido, agua, aire o vapor, al ser transportado por las tuberías, es retrasado por dos causas:

- Fricción con la superficie del tubo en los tramos rectos.
- Turbulencias en vueltas y pasos restringidos.

Se necesita la diseñar un sistema de tuberías de distribución de vapor, esto traerá como resultado un suministro uniforme en las diferentes salidas con un mínimo de ruido, además de eliminar por dispositivos apropiados los gases incondensables y el condensado sin provocar pérdidas de presión. En la planta se cuenta con las válvulas necesarias para tal regulación, y con ello, mantener el sistema estable, por lo tanto, se utilizan válvulas de paso de dos y tres vías:

- Válvulas de paso de dos vías: Este tipo de válvulas son empleadas para cerrar y/o estrangular el flujo. El modo de funcionamiento es muy sencillo, girando el volante manual (hacia la derecha en el sentido de las agujas del reloj) se cierra el paso. La estanqueidad del vástago se efectúa por medio de un fuelle y una prensa estopas de seguridad postconectado.
- Válvulas de paso de tres vías: las válvulas de control de tres vías KFM, son las adecuadas para aplicaciones, en las que es necesaria la recirculación de fluido, también realizando funciones de aporte de energía al proceso (calentar, enfriar). Están fabricadas en fundición, acero al carbono y acero inoxidable con empaqueta dura de teflón/grafito o fuelle de acero inoxidable.

13) Antecedentes actuales del sistema.

La empresa tiene la responsabilidad de producir fármacos para la transformación del azúcar o bien para los procesos de producción de energía. Estos causan problema porque algunos salen caros por las pérdidas de materia primas y los costos de la carga energética de vapor, así se asocia que, entre más tiempo un equipo esté operando, más energía estará consumiendo, de ahí la necesidad de apagar los equipos que estén encendidos ociosamente. El medidor de energía, almacena el valor acumulado de toda la energía consumida durante el ciclo de lectura esto es en libras. A continuación, se dan a conocer una serie de tablas que muestran las etapas actuales del proceso:

Tabla No. 4. *Etapas actuales del proceso 1*

(1) Ingrediente / proceso	(2) Identificación de los riesgos potenciales dañinos, controlados o mejorados en este paso.	(3) ¿Existe la necesidad de señalar este peligro potencia? (si /no)	(4) ¿Por qué? Justificación para la decisión tomada en la columna anterior?	(5) ¿Cuáles medidas pueden ser aplicadas para prevenir, eliminar o reducir el peligro?	(6) ¿Es este paso un punto crítico del control PCC?
Extracción de agua	Biológicos(B):E. coliO157:H7 estafilococos aureus	Sí	El E. coli puede burlar cualquier sistema de purificación de agua y contaminar el producto.	Análisis microbiológico periódico del agua del pozo	Sí
	Químicos (Q): Sulfatos, nitratos carbonatos, arsénico, óxido de azufre, sulfuro de hidrógeno.	Sí	La contaminación industrial en el sector de donde se extrae el agua puede contaminarla	Análisis químico periódico del agua del agua del pozo.	Sí
	Físicos (F): piedras, ramas, lodos	No	Estas partículas no pueden pasar el pre filtrado de 20 micrones.		No

Fuente: Elaboración propia.

Continuación tabla 4:

(1) Ingrediente / proceso	(2) Identificación de los riesgos potenciales dañosos, controlados o mejorados en este paso.	(3) ¿Existe la necesidad de señalar este peligro potencia? (si /no)	(4) ¿Por qué? Justificación para la decisión tomada en la columna anterior?	(5) ¿Cuáles medidas pueden ser aplicadas para prevenir, eliminar o reducir el peligro?	(6) ¿Es este paso un punto crítico del control PCC?
Purificación del agua	Biológicos(B): E. coli O157:H7	Sí	El E. coli puede burlar cualquier sistema de purificación de agua y contaminar el producto.	Análisis microbiológico periódico del agua del pozo.	No
	Químicos (Q): Arsénico	Sí	La contaminación industrial en el sector de donde se extrae el agua puede contaminarla	Análisis químico periódico del agua del pozo	No
	Físicos (F):	No	Estas partículas no pueden pasar el sistema de pre filtrado y filtrado.		No
Pesaje de ingredientes.	Biológicos (B): Bacterias de todo tipo, principalmente: E. coli O157:H7, estafilococos	Sí	Bacterias, virus huéspedes en operario.	Control de aplicación de BPM	No

Fuente: Elaboración propia.

Continuación tabla 4:

(1) Ingrediente / proceso	(2) Identificación de los riesgos potenciales dañosos, controlados o mejorados en este paso.	(3) ¿Existe la necesidad de señalar este peligro potencia? (si /no)	(4) ¿Por qué? Justificación para la decisión tomada en la columna anterior?	(5) ¿Cuáles medidas pueden ser aplicadas para prevenir, eliminar o reducir el peligro?	(6) ¿Es este paso un punto crítico del control PCC?
Pesaje de ingredientes	Químicos (Q): residuos de otras materias primas provenientes de la bodega de materias primas	Sí	Sustancias extrañas en vestimenta y manos del operario.	Control de aplicación de BPM	No
	Físicos (F): Aretes, anillos, ganchos, cabellos etcétera.	Sí	Objetos ajenos a la materia prima (aretes, anillos, celulares)	Control de aplicación de BPM	No
Despacho de agua	Biológicos (B):	No	El agua es trasladada a través de tubería de acero inoxidable grado alimenticio, cerrada herméticamente		No
	Químicos (Q):	No	No, el agua está en un contenedor cerrado y no tiene contacto con químicos de ningún tipo.		No

Fuente: Elaboración propia.

Continuación tabla 4:

(1) Ingrediente / proceso	(2) Identificación de los riesgos potenciales dañinos, controlados o mejorados en este paso.	(3) ¿Existe la necesidad de señalar este peligro potencia? (si /no)	(4) ¿Por qué? Justificación para la decisión tomada en la columna anterior?	(5) ¿Cuáles medidas pueden ser aplicadas para prevenir, eliminar o reducir el peligro?	(6) ¿Es este paso un punto crítico del control PCC?
Despacho de agua	Físicos (F):	No	No, el agua tiene otros filtrados al llegar a producción.		No
Despacho de ingredientes	Biológicos (B): bacterias de todo tipo, principalmente: E. coli O157:H7, estafilococos aureus	Sí	Los operarios pueden llevar contaminación biológica en sus manos por falta de higiene.	Control de la aplicación de las buenas prácticas de manufactura	No
	Químicos (Q): Residuos de otras materias primas	Sí	La mezcla accidental de dos materias primas en la bodega ocasionaría una contaminación cruzada	Cumplimiento estricto y control de la aplicación de las buenas prácticas de manufactura	No
	Físicos (F): Aretes, anillos, ganchos, cabellos etcétera.	Sí	En caso que el operario que pese y despache la materia prima ingrese con anillos, aretes, celulares etcétera.	Cumplimiento estricto y control de la aplicación de las buenas prácticas de manufactura.	No

Fuente: Elaboración propia.

Continuación tabla 4:

(1) Ingrediente / proceso	(2) Identificación de los riesgos potenciales dañinos, controlados o mejorados en este paso.	(3) ¿Existe la necesidad de señalar este peligro potencia? (si /no)	(4) ¿Por qué? Justificación para la decisión tomada en la columna anterior?	(5) ¿Cuáles medidas pueden ser aplicadas para prevenir, eliminar o reducir el peligro?	(6) ¿Es este paso un punto crítico del control PCC?
Lavado de empaques	Biológicos (B): bacterias de todo tipo, principalmente: E. coli O157:H7, estafilococos aureus	Sí	El lavado con benzalconio al 5por ciento mata a casi todas las bacterias que general-mente atacan a los frascos.		No
	Químicos (Q): Benzalconio	Sí	Un mal enjuague podría dejar residuos de jabón en el interior del envase.	El enjuague es automático sólo se debe verificar que la lavadora de frascos este en buen estado.	No
	Físicos (F):	No	La lavadora tiene un sistema de filtrado propio que evita cualquier contaminación física.		No

Fuente: Elaboración propia.

Continuación tabla 4:

(1) Ingrediente / proceso	(2) Identificación de los riesgos potenciales dañinos, controlados o mejorados en este paso.	(3) ¿Existe la necesidad de señalar este peligro potencia? (si /no)	(4) ¿Por qué? Justificación para la decisión tomada en la columna anterior?	(5) ¿Cuáles medidas pueden ser aplicadas para prevenir, eliminar o reducir el peligro?	(6) ¿Es este paso un punto crítico del control PCC?
Envasado	Biológicos (B): Bacterias de todo tipo, principalmente: E. coli O157:H7, estafilococos aureus	Sí	Contaminación biológica que porte el operario producto de mala higiene, enfermedad viral o infecto contagiosa	Cumplimiento estricto y control de la aplicación de las Buenas Prácticas de Manufactura	No
	Químicos (Q): Residuos de otras materias primas	Sí	Contaminación cruzada por residuos de sustancias de otros procesos en utensilios del área de mezclado.	Cumplimiento estricto y control de la aplicación de las Buenas Prácticas de Manufactura	No
	Físicos (F):	Sí	En caso que el operario ingrese al área con anillos, aretes, celulares etcétera.	Cumplimiento estricto y control de la aplicación de las Buenas Prácticas de Manufactura.	No

Fuente: Elaboración propia.

Continuación tabla 4:

(1) Ingrediente / proceso	(2) Identificación de los riesgos potenciales dañinos, controlados o mejorados en este paso.	(3) ¿Existe la necesidad de señalar este peligro potencia? (si /no)	(4) ¿Por qué? Justificación para la decisión tomada en la columna anterior?	(5) ¿Cuáles medidas pueden ser aplicadas para prevenir, eliminar o reducir el peligro?	(6) ¿Es este paso un punto crítico del control PCC?
Esterilización	Biológicos (B): 1. Estafilococos aureus 2. Diplocccuspne umoniae. 3. Streptococcus Pyogenes 4. BacillusSubtillis	Sí	En caso de una mala esterilización podrían sobrevivir bacterias o esporas que contaminarían el producto.	Supervisión del proceso de esterilización.	Sí
	Químicos (Q):	No	Una vez envasado el producto está libre de cualquier fuente de contaminación externa.		No
	Físicos (F):	No	Una vez envasado el producto está libre de cualquier fuente de contaminación externa.		No

Fuente: Elaboración propia.

Continuación tabla 4:

(1) Ingrediente / proceso	(2) Identificación de los riesgos potenciales dañinos, controlados o mejorados en este paso.	(3) ¿Existe la necesida d de señalar este peligro potencia? (si /no)	(4) ¿Por qué? Justificación para la decisión tomada en la columna anterior?	(5) ¿Cuáles medidas pueden ser aplicadas para prevenir, eliminar o reducir el peligro?	(6) ¿Es este paso un punto crítico del control PCC?
Reproceso	Biológicos (B): 1. Estafilococos aureus 2. Diplodoccuspne umoniae. 3. StreptococcusP yogenes 4. BacillusSubtillis	Sí	Cualquier tipo de contaminación biológica que porte el operario producto de mala higiene, enfermedad viral o infecto contagiosa	Cumplimiento estricto y control de la aplicación de las Buenas Prácticas de Manufactura	No
	Químicos (Q):	Sí	Residuos de sustancias de otros procesos en utensilios del área de mezclado.	Cumplimiento estricto y control de la aplicación de las Buenas Prácticas de Manufactura	No
	Físicos (F):	Sí	En caso que el operario ingrese al área con anillos, aretes, celulares etcétera.	Cumplimiento estricto y control de la aplicación de las Buenas Prácticas de Manufactura	No

Fuente: Elaboración propia.

Continuación tabla 4:

(1) Ingrediente / proceso	(2) Identificación de los riesgos potenciales dañosos, controlados o mejorados en este paso.	(3) ¿Existe la necesidad de señalar este peligro potencia? (si /no)	(4) ¿Por qué? Justificación para la decisión tomada en la columna anterior?	(5) ¿Cuáles medidas pueden ser aplicadas para prevenir, eliminar o reducir el peligro?	(6) ¿Es este paso un punto crítico del control PCC?
Etiquetado	Biológicos (B):	No	Una vez envasado el producto está libre de cualquier fuente de contaminación externa.		No
	Químicos (Q):	No	Una vez envasado el producto está libre de cualquier fuente de contaminación externa.		No
	Físicos (F): Etiquetado erróneo	Sí	Un etiquetado equivocado podría causar identificarlo como otro producto.	Supervisión en el proceso de etiquetado	No
Codificado y guardado en caja y costal	Biológicos (B):	No	En esta etapa el producto está libre de este tipo de contaminación.		No

Fuente: Elaboración propia.

Continuación tabla 4:

(1) Ingrediente / proceso	(2) Identificación de los riesgos potenciales dañosos, controlados o mejorados en este paso.	(3) ¿Existe la necesidad de señalar este peligro potencia? (si /no)	(4) ¿Por qué? Justificación para la decisión tomada en la columna anterior?	(5) ¿Cuáles medidas pueden ser aplicadas para prevenir, eliminar o reducir el peligro?	(6) ¿Es este paso un punto crítico del control PCC?
Codificado y guardado en caja y costal	Químicos (Q):	No	En esta etapa el producto está libre de este tipo de contaminación.		No
	Físicos (F):	Sí	En caso de un mal codificado el producto podría tener una fecha de caducidad distinta, un número de lote distinto que complicaría su trazabilidad.	La máquina es automática por lo que se debe supervisar su calibrada al inicio de cada batch.	No
Enamiento	Biológicos (B):	No	En esta etapa el producto está libre de este tipo de contaminación.		No
	Químicos (Q):	No	En esta etapa el producto está libre de este tipo de contaminación.		No

Fuente: Elaboración propia.

Continuación tabla 4:

(1) Ingrediente / proceso	(2) Identificación de los riesgos potenciales dañinos, controlados o mejorados en este paso.	(3) ¿Existe la necesidad de señalar este peligro potencia? (si /no)	(4) ¿Por qué? Justificación para la decisión tomada en la columna anterior?	(5) ¿Cuáles medidas pueden ser aplicadas para prevenir, eliminar o reducir el peligro?	(6) ¿Es este paso un punto crítico del control PCC?
	Físicos (F): Quebradura de frascos	Sí	Estibar más de cinco cajas podría provocar que el empaque se reviente.	No estibar más de cinco cajas.	No
Despacho	Biológicos (B):	No	El producto envasado y empacado está libre de cualquier tipo de contaminación.		No
	Químicos (Q):	No	El producto envasado y empacado está libre de cualquier tipo de contaminación		No

Fuente: Elaboración propia.

c. Estado del sistema eléctrico.

Actualmente, en la planta existe un sistema eléctrico inadecuado y deteriorado, adquirido hace 30 años y todavía en funcionamiento. A este no se le brinda un mantenimiento correcto, lo que vendría a prever la existencia de un programa de ahorro de energía significativo, traducido en un problema económico, debido al pago por consumo de energía eléctrica y también al sistema de vapor.

Además, se debe tener en cuenta que el crecimiento del sistema energético, ha venido se ha realizado desordenadamente, no se ha tenido un crecimiento no planificado, lo que repercute en una inadecuada distribución de las nuevas cargas de energía. Algunas de las primeras instalaciones de la red eléctrica de distribución, datan de 1975, cuya primera subestación está ubicada frente a la fachada lateral izquierda de la actual planta.

Esta posee circuitos alimentadores subterráneos, los cuales en la actualidad siguen sustentando la mayor parte de las cargas existentes. Se han realizado ampliaciones a las redes eléctricas de distribución primaria y secundaria, teniendo en la actualidad un total de dos subestaciones, ubicadas sin un diseño técnico establecido. Por lo cual, es importante la realización de este trabajo de investigación con el objetivo de priorizar en el ahorro de energía, especialmente en sistemas de vapor.

2. Generalidades

Al hacer mención del sistema eléctrico de la planta, se hace referencia a los sub sistemas de generación eléctrica y de vapor, sub sistemas de distribución (primaria y secundaria) y las instalaciones eléctricas interiores:

a. Sistema de generación.

La energía se obtiene de varias formas, esto en dependencia de la aplicación que se desee. Uno de los dispositivos más utilizados en la industria para la obtención de la energía, es el generador que se encuentran en la planta, debido a las características que este posee.

Debido a que casi llega a su vida útil, el rendimiento en la generación de electricidad ha ido mermando, por lo que su eficiencia ha disminuido y se nota a través del ciclo de las turbinas de gas, aunque en la introducción de nuevos materiales y técnicas de diseño, el rendimiento de las últimas turbinas ha incrementado en un 42 por ciento.

Si el gas caliente de salida se usa para aumentar el vapor a fin de alimentar una turbina de vapor, se forma un ciclo llamado combinado, con un rendimiento generalizado de la conversión del calor en electricidad de cerca del 60 por ciento esto ayuda mucho a la planta a no comprar demasiada energía eléctrica a la distribuidora.

b. Sistema de distribución primario.

Cuando se menciona esto, se hace referencia a los sistemas que potencian la generación de energía eléctrica y a su vez son distribuidos en el ingenio. A continuación, se dan a conocer algunas características:

- Ubicación: Este está colocada frente a la fachada lateral izquierda de la planta, es donde se encuentra la distribución del sistema, donde sale el vapor a las diferentes líneas de utilización de este.
- Cargas que alimenta: Están direccionadas al sistema administrativo y también a un salón que funciona como auditorio. Este se encuentra operativo, sin mantenimiento de ningún tipo, ni seguridad de los equipos existentes en la misma, con un tiempo de vida útil ya cumplida.

c. Consumo de energía.

La energía es uno de los recursos más importantes dentro de cualquier proceso de producción, puesto que, sin la utilización de esta, sería prácticamente imposible la obtención de productos y servicios. Los consumos de energía dentro de los procesos de producción, muchas veces son sumamente elevados, tanto por exigencias del proceso, así como por su incorrecto empleo, y es por ello la importancia de la implementación de planes de acción de ahorro energético, que conduzca a economías notorias.

Existen varios tipos de energía, así como combustibles que ayudan para la generación de esta. Dentro de los combustibles más utilizados en la industria están: El bunker y el diésel. Estos productos son útiles para la obtención de energía, contribuyendo notablemente dentro de cualquier proceso productivo, y es por ello que surge la necesidad de estudiar los consumos.

Verificando como estos cambian notoriamente entre un mes y otro, así también cotejando como los consumos podrían disminuir gracias a la puesta en marcha de un plan de acción de energía. La energía se puede obtener gracias a la utilización de aparatos que ayudan a medir la misma, tales como:

- Galvanómetros
- Vatímetros
- Manómetros
- Amperímetro.

Tabla No. 5. *Consumos de energía durante 2017*

Mes	Bunker	Diésel	Energía Eléctrica
	Litros	Litros	
Enero	10 510,05		90 052,25
Febrero	17 568,00	105,26	145 152,69
Marzo	12 458,00		125 645,22
Abril	11 195,05		105 625,22
Mayo	10,569,05	352,25	135 256,22
Junio	12 569,05	562,25	125 345,26
Julio	12 895,25	23,26	146 256,26
Agosto	15 258,26	1 025,05	134 263,26
Septiembre	19 256,25	75,26	145 362,62
Octubre	20 658,25		124 562,11
Noviembre	26,568,02	1 485,65	104 562,11
Diciembre	10 256,25	126,24	103 993,33

Fuente: Elaboración propia.

d. Equipo para la generación del vapor industrial.

La generación de vapor, está relacionada fundamentalmente con las calderas y un conjunto de aparatos y equipos auxiliares que se combinan para generar vapor (caldera, economizador, sobrecalentados de vapor, pre calentador de aire):

- Una caldera de vapor: Es un recipiente cerrado en el cual se genera vapor de agua, utilizando el calor extraído de un combustible o por el uso de electricidad.
- La caldera: Es una máquina diseñada para generar vapor, especialmente la que se tiene. Este vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante. A continuación, se presentan las características de la caldera que genera vapor dentro de la planta:
- Calderas horizontales power master
 Capacidad:
 20 y40 HP (C.C.)
 Presión:
 85 psi = 6,0 kg/cm²
 Hasta 250 psi = 17,5 kg/cm²
 Servicio: vapor saturado seco.
 Combustible: gas L.P. o gas natural.
 Alimentación eléctrica requerida: 115 V monofásica.

Características:

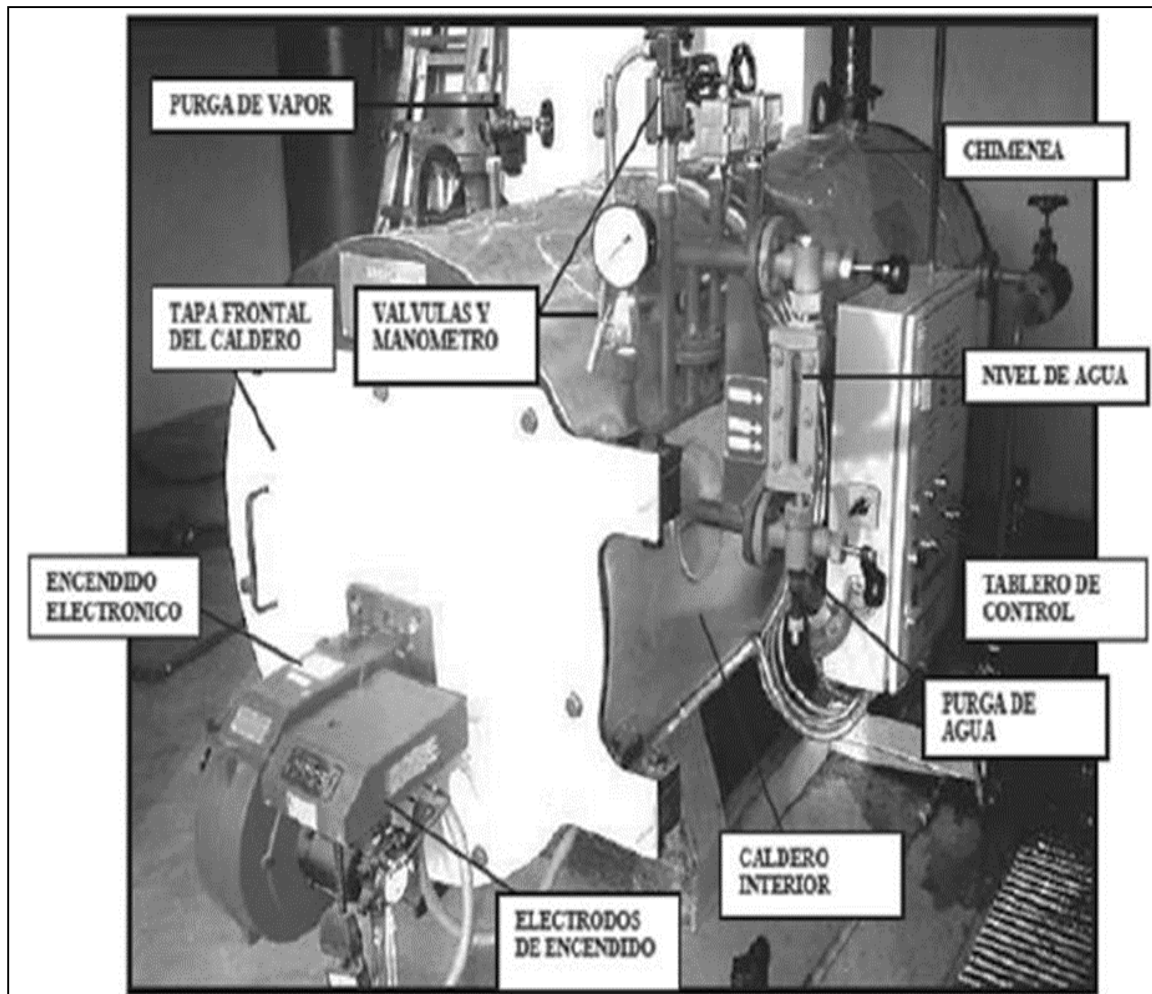
Caldera de tubos de humo de cuatro pasos.

Diseñada y fabricada con estricto apego al código ASME, sección I.

Operación automática.

Base de acero estructural.

Figura No 13. *Caldera de la generación de vapor*



Fuente: Elaboración propia.

- Sistema instalado de la secadora de azúcar: Hace referencia a todos los aparatos y equipos que se emplean para secar el azúcar. A continuación, se aprecian algunas figuras que dan cuenta de estos:

Figura No 14. *Secadora salida de aire*



Fuente: Elaboración propia.

Figura No 15. *Ingreso a secadora*



Fuente: Elaboración propia.

Figura No 16 *Vista lateral de secadora de azúcar, entrada de aire*



Fuente: Elaboración propia.

Figura No 17. *Tanque de condensado*



Fuente: Elaboración propia.

Figura No. 18. Sistema de válvulas



Fuente: Elaboración propia.

Figura No. 19. Motor y bombas sistema



Fuente: Elaboración propia.

D. PROPUESTA PARA LA CONSERVACIÓN DEL AHORRO ENERGÉTICO

Para la realización de los cálculos se tomó en consideración un tanque cercano de 4,400 galones que ya tenía bombas y tuberías hacia el punto de operación de la secadora. Se agregó una sección extra de tubería para acoplarse al nuevo sistema y a la ruta de tubería. Las dimensiones están fijas ya que se usó equipo instalado para calcular el funcionamiento de la secadora. Sus parámetros de operación y los requisitos que deben cumplir estos, para que la secadora pueda llevar la humedad de la azúcar a su rango de 0.02% - 0.05%.

Bombas instaladas: 2

Bomba Goulds MTX 3196

Flujo 200 gmp

Cabeza 200 pies

Motores instalados: 2

Motor eléctrico

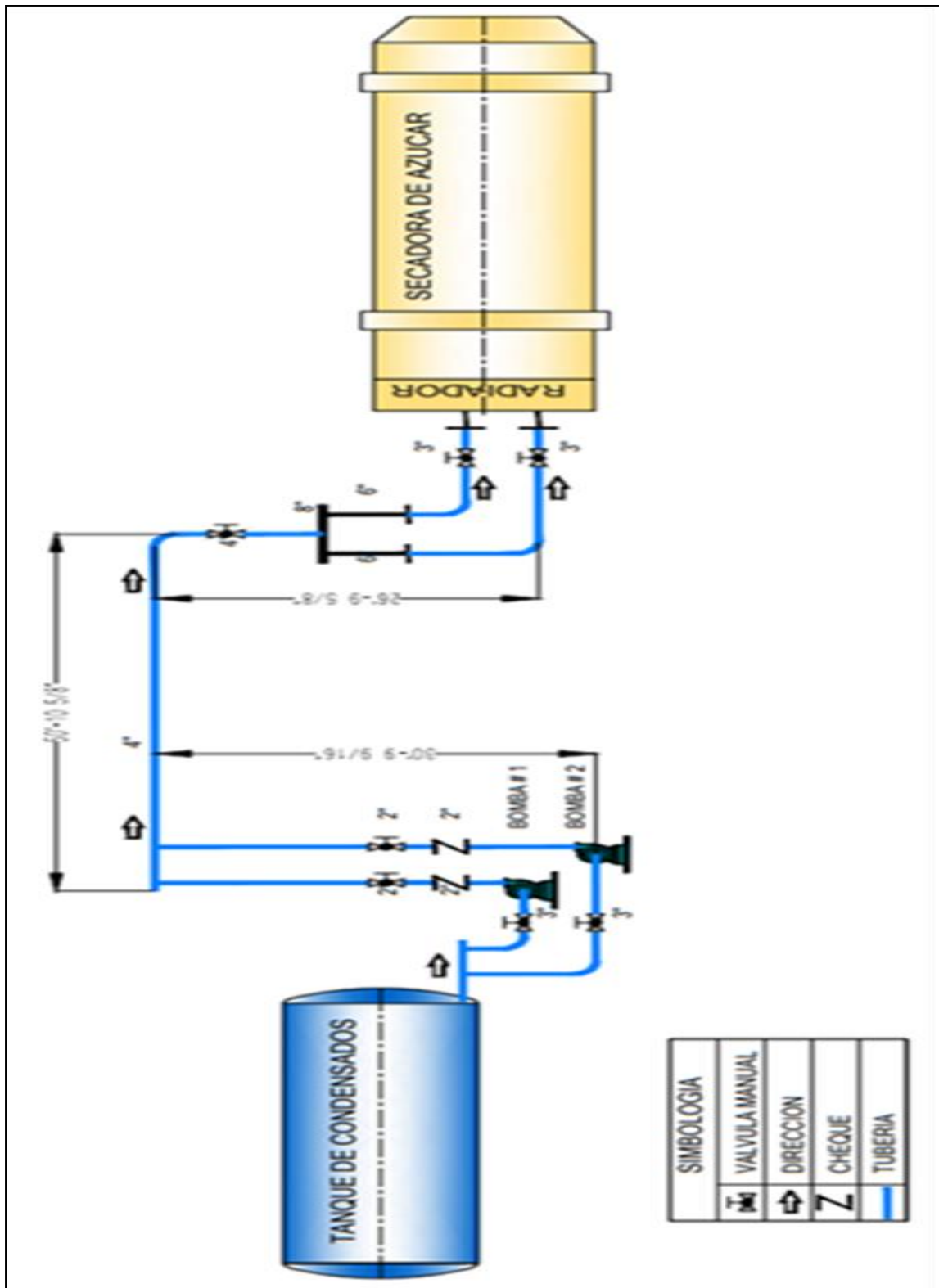
Potencia 30 Hp

RMP 1750

Los parámetros de operación como presión de fluido en el punto de entrada a la secadora que establecieron estos equipos tablas anteriores, fueron adquiridos de manera experimental y a base de un historial del equipo, el cual fue operado por un sistema previo puesto que estaba instalado en otro lugar.

Este equipo ya había sido utilizado para otros trabajos dentro del ingenio. A continuación, se da a conocer una imagen que denota el sistema de secado de azúcar:

Figura No. 20. Sistema de secadora de azúcar



Fuente: Elaboración propia.

1. Proyecto

El secado de azúcar con agua condensada tiene un rango de temperatura entre 160° a 180° F. La presión de dicho condensado es de 40 psi para una bomba y 60 psi para dos bombas en uso simultáneo. El azúcar ingresa con 0.02%, el flujo másico del azúcar que ingresa es entre 15 y 25 TM/hr. El horno rotativo se calienta con aire caliente que se suministra a través de un ventilador y el que recibe calor de una línea de vapor a 500°F y 100 psi, que es la que se pretende sustituir por el flujo de condensado.

El aire ingresa al ventilador a 86°F con una humedad del 40% y sale del mismo a 235°F debido al calor transferido por el vapor. El flujo másico del aire es de 201,000 lbs/hr. El objetivo es determinar si la sustitución del vapor por condensado es suficiente y cuantificar en masa y energía los requerimientos de dicho cambio para finalmente evaluar ahorros en los costos del proceso. A continuación, se muestra el desarrollo de los cálculos másicos y energéticos:

a. Datos del azúcar.

A continuación, se da a conocer una tabla que da a conocer parámetros referentes al proceso de azúcar en horno rotativo:

Tabla No. 6. Datos del azúcar en el horno rotativo. Datos tomados del proceso

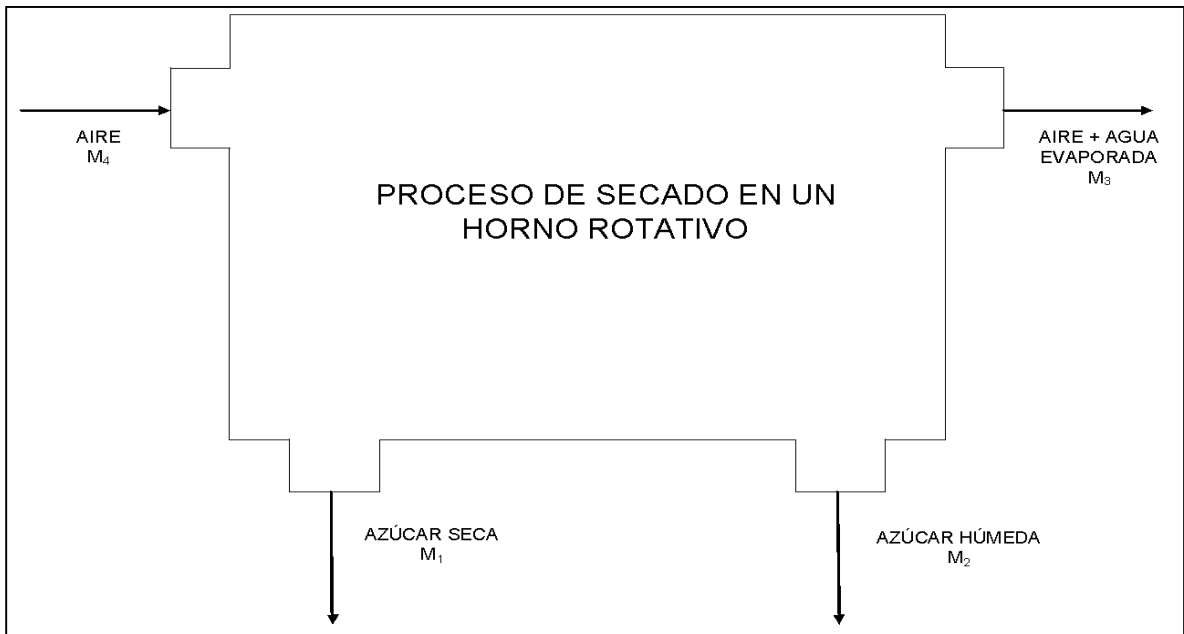
Parámetro	Entrada		Salida	
	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad
Flujo másico	15 a 25	tm/hr	15 a 25	Tm/hr
Humedad	1	% p/p	0.02 a 0.03	% p/p
Temperatura	140	°F	104	°F

Fuente: Elaboración propia.

b. Balance de masa para determinar el agua evaporada.

Hace referencia a comprobación que ejerce la masa en el proceso de evaporación del agua. En la siguiente tabla se da razón de esto:

Figura No. 21. Diagrama de la operación de secado



Fuente: <http://farmupibi.blogspot.com/2015/03/secado-por-aspersion-de-leche.html>

Base: 1 hora de operación (15 a 25 TM)

2.1. $M_1 = 15$ TM

M_{1A} = Flujo másico de azúcar en la entrada

M_{1H_2O} = Flujo másico de agua en la entrada

Azúcar	99	%
Agua	1	%
<hr/>		
Azúcar húmeda	100	%

$$M_{1A} = 15 (0.99) = 14.85 \text{ TM}$$

$$M_{1H_2O} = 15 (0.01) = 0.15 \text{ TM}$$

M_2 = Flujo másico de azúcar seca en la salida

M_{2A} = Flujo másico de azúcar en la salida

M_{2H_2O} = Flujo másico de agua en la salida

Composición a la salida

Azúcar	99.98	%
Agua	0.02	%
<hr/>		
Azúcar húmeda	100.00	%

Concepto: El azúcar a la entrada = el azúcar a la salida $M_{1A} = M_{2A} \Rightarrow M_{2A} = 14.85$ TM. De la composición a la salida se deduce que:

$$\frac{M_{2H_2O}}{M_{2A} + M_{2H_2O}} = \frac{0.02}{100}$$

Resolviendo

$$100 (M_{2H_2O}) = 0.02 (M_{2A} + M_{2H_2O})$$

$$100 M_{2H_2O} - 0.02 M_{2H_2O} = (0.02) (14.85)$$

$$99.98 M_{2H_2O} = 0.297$$

$$M_{2H_2O} = \frac{0.297}{99.98} = 0.00297 \text{ TM}$$

M_{2H_2O} Es el agua retenida (no evaporada) en el azúcar después del secado.

M_{3H_2O} es el flujo másico de agua evaporada

Del diagrama 1 se deduce que:

$$M_{1H_2O} = M_{2H_2O} + M_{3H_2O}$$

$$\text{Despejando para } M_{3H_2O} = M_{1H_2O} - M_{2H_2O}$$

$$M_{3H_2O} = 0.15 - 0.00297$$

$$M_{3H_2O} = 0.14703 \text{ TM}$$

2.2. $M_1 = 25$ TM

La secuencia de cálculos es igual que (a.). Por lo que en este apartado se presentan resumido:

$$M_{1A} = 25 (0.99) = 24.75 \text{ TM}$$

$$M_{1H_2O} = 25 (0.01) = 0.25 \text{ TM}$$

$$99.98 M_{2H_2O} = (0.02) (24.75)$$

$$M_{2H_2O} = 0.00495 \text{ TM y}$$

$$M_{3H_2O} = 0.24505 \text{ TM}$$

En la siguiente tabla se resumen los valores de los balances de masa para 15 y 25 TM/hr:

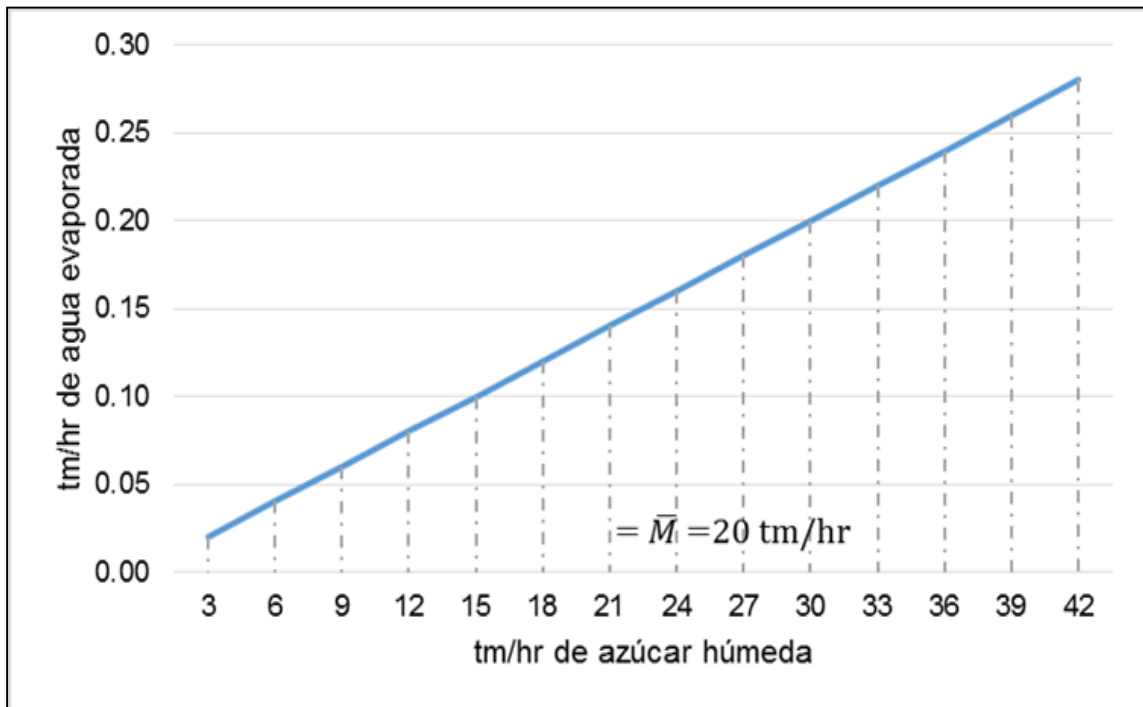
Tabla No. 7. Valores de balances de masa para 15 y 25

Entrada					Salida				Salida	
Flujo	Azúcar	%	Agua	%	Azúcar	%	Agua	%	Agua Evaporada	%
15	14.85	99	0.15	1	14.85	99.98	0.00297	0.02	0.147	98
25	24.75	99	0.25	1	24.75	99.98	0.00495	0.02	0.245	98

Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje de agua evaporada es en base al contenido de agua en la corriente de entrada. En un régimen estable y si las composiciones de entrada y salida no cambian, es posible determinar una relación lineal del agua evaporada en función de la filimentación de azúcar si y 0 TM/hr de agua evaporada y $x = \text{TM/hr}$ de azúcar húmeda, la relación es $y = 0.0098 x$. Lo anterior se puede apreciar en la siguiente gráfica:

Gráfica No. 1. Agua evaporada como función de las tm/hr de azúcar húmeda que ingresa al secador



Fuente: Elaboración propia.

1) Cálculos para el aire de entrada.

Siguiendo el esquema de la figura No. 24, el flujo de entrada de aire es M_4 . Siguiendo la secuencia de letra número y asignando las letras A_i , el flujo de entrada de aire le corresponde M_4 , en donde M_{4A_i} es para el flujo de aire seco y M_{4H_2O} es para el flujo de vapor de agua expresado en la humedad relativa.

$$M_4 = 201,000 \text{ lbs de aire / hr}$$

$$T_4 = 40\%$$

$$hr = 40\%$$

Base: 1 hora de operación

Dado que el balance para el agua evaporada se utilizó como unidad de medida de los flujos másicos, de igual forma se aplicará en este apartado.

$$201,000 \text{ lbs} * \frac{1 \text{ TM}}{2,000} = 100.5 \text{ TM}$$

Con el apoyo de la carga psicométrica del texto de Himmelblan para $t = 86^\circ\text{F}$ y $hr = 40\%$ se obtiene que: El aire que ingresa al ventilador contiene entre 0.010 y 0.011 lbs agua/lb de aire seco, se utilizará el promedio de ambos valores para los cálculos.

$$\frac{0.010 + 0.011}{2} = 0.0105 \text{ lbs agua/lb de aire seco}$$

$$\text{La fracción en peso es } \frac{0.0105}{1 + 0.0405} = 0.0104 \text{ (1.04\% p/p)}$$

La cantidad de agua que ingresa al ventilador es: $(100.5 \text{ TM}) (0.0104) = 1.045 \text{ TM/hr}$ de agua como vapor en la corriente de aire. Este dato es M_{4H_2O} .

$$M_{4A_1} = 100.5 - 1.045 = 99.455 \text{ TM/hr de aire seco}$$

El agua evaporada del azúcar $M_{3H_2O} = 0.14703 \text{ tm/hr}$ que es "arrastrada" por la corriente de aire caliente para una alimentación de 15 tm/hr. En la salida del aire se adiciona al agua del flujo inicial de entrada el agua evaporada. $M_{T_3 H_2O} = M_{3H_2O} + M_{4H_2O}$.

$$M_{T_3 H_2O} = 0.14703 + 1.045 = 1.192 \text{ TM/hr}$$

El flujo másico total a la salida del secador es:

$$M_3 \text{ y } M_3 = M_{3A1} + M_{T3 \text{ H}_2\text{O}} = 99.455 + 1.192 = 100.654 \text{ TM/hr}$$

Como la condición de operación no genera acumulación dentro del sistema $M_{3A1} = M_{4A1}$.

Los datos de la carga psicométrica fueron calculados para 1 atm de presión, se revisó en páginas de la web para aplicar las correcciones correspondientes y en la dirección. Se encontró 1027 hpa que equivale a 1.014 atm (1.4% mayor) por lo que no se consideró necesario (World metro.info, 2019).

Cálculo del calor transferido al aire por el vapor a 500 °F y 100 psi.

Peso molecular del aire

$$\text{O}_2 = 21\% (16) (2) (0.21) = 6.72$$

$$\text{N}_2 = 79\% (14) (2) (0.79) = 22.12$$

$$\frac{28.84}{28.84} \quad \equiv 29 \text{ lbs/Mol lb o } 29 \text{ tm/Mol tm}$$

En el cálculo anterior la composición media del aire es 21% de oxígeno y 79% de nitrógeno, ambos son diatómicos, sus pesos atómicos son 16 y 14 respectivamente.

$$\text{H}_2 = (1) (2) \quad 2$$

$$\text{O} = (16) (1) \quad 16$$

$$\frac{18}{18} \quad \text{lbs/mol lb o } 18 \text{ TM/mol TM}$$

Composición molecular del aire de entrada (X_E)

$$99.455 \text{ tm} * \frac{1 \text{ mol TM}}{29 \text{ TM}} \quad 3.43 \text{ moles TM (para aire seco)}$$

$$1.045 \text{ tm} * \frac{1 \text{ mol TM}}{1 \text{ atm}} \quad 0.58 \text{ moles tm (para el vapor)}$$

$$\text{Moles totales} = 3.43 + 0.058 = 3.488 \text{ moles TM}$$

Sea X_i = fracción molar del componente i

$$X_i = \frac{M_i}{M_t} = \frac{\text{Moles del componente } i}{\text{Moles totales}}$$

$$X_{EA1} = \frac{3.43}{3.488} = 0.983$$

$$X_{EH_2O} = \frac{0.058}{3.488} = 0.017$$

Composición molar a la salida (X_s)

Para el aire seco los moles tm no cambian (3.43 moles TM).

$$\text{Para el vapor de agua } 1.92 \text{ TM} * \frac{1 \text{ mol TM}}{18 \text{ TM}} = 0.066 \text{ moles TM}$$

Moles totales = 3.43 + 0.066 = 3.496 moles TM

$$X_{sA1} = \frac{3.43}{3.496} = 0.981$$

$$X_{sH_2O} = \frac{0.066}{3.496} = 0.019$$

Cálculo de las capacidades calorífica medias (\bar{c}_{PE} , \bar{c}_{PS}) en $Btu/lb \text{ } ^\circ F$

Para mezclas ideal $C_{Pm} = \sum C_{Pi} X_i$

Del manual del ingeniero químico (Perry, 2001) se obtiene:

Para el aire: $C_{PEA1} = 0.24 \text{ Btu/lb } ^\circ F$ (T=235°F)

Para el agua: $C_{PH_2O} = 0.46 \text{ Btu/lb } ^\circ F$ (T=235°F)

Las variaciones porcentuales de las capacidades caloríficas A 86° F y 235°F (respecto a 86°F) son las siguientes:

$$C_{PA1} = \left(\frac{0.25 - 0.24}{0.24} \right) * 100 = 4.2\%$$

$$C_{P H_2O} = \left(\frac{0.46 - 0.45}{0.45} \right) * 100 = 2.2\%$$

Dado que las variaciones son pequeñas, se usarán como datos de cálculo las medidas aritméticas.

$$C_{PA1} = \left(\frac{0.25 - 0.24}{2} \right) = 0.245 \text{ Btu/lb } ^\circ\text{F}$$

$$C_{PH_2O} = \left(\frac{0.45 - 0.46}{2} \right) = 0.455 \text{ Btu/lb } ^\circ\text{F}$$

Cálculo del $\bar{C}_p \bar{C}_p$ $_{A1-H_2O}$ utilizando la relación para mezclas ideales $\bar{C}_p \bar{C}_p$ $_{A1-H_2O} = C_{pA1} X_{A1} + C_{pH_2O} X_{H_2O}$ para las fracciones molares a la entrada y a la salida del radiador.

$$C_{pE A1-H_2O} = (0.245) (0.983) + (0.455) (0.017) = 0.249 \text{ Btu/lb } ^\circ\text{F}$$

$$C_{pS A1-H_2O} = (0.245) (0.981) + (0.455) (0.019) = 0.249 \text{ Btu/lb } ^\circ\text{F}$$

La aproximación al tercer decimal iguala los dos valores por lo que es concluyente que el C_p permanece constante en el intervalo de operación. Se define el calor húmedo como la capacidad calorífica de una mezcla de aire – vapor de agua expresada en base a una libra de aire totalmente seco y se representa por C_s su expresión matemática es:

$C_s = C_{pH_2O} + C_{ph_2O} H$, en donde H , es la humedad.

$$C_s = 0.245 + 0.455 H$$

$$H = \frac{18 n_{h_2O}}{29 n_{aire}}$$

A la entrada del radiador:

$$H_E = \frac{18 (0.017)}{29 (0.983)} = 0.0107$$

A la salida del radiador:

$$H_s = \frac{18 (0.019)}{29 (0.981)} = 0.012$$

Los calores húmedos correspondientes son:

$$CS_E = 0.245 + 0.455 (0.0107) = 0.250 \text{ Btu/lb aire seco } ^\circ F$$

$$CS_S = 0.245 + 0.455 (0.012) = 0.250 \text{ Btu/lb aire seco } ^\circ F$$

Estos valores son prácticamente iguales a las capacidades caloríficas lo que confirma que es una mezcla con aplicación de características ideales.

Cálculo del calor transferido al aire $MC_p\Delta T$.

La ecuación del calor (Q) establece $Q = mC_p\Delta T$, este valor es el calor que el aire recibe del vapor sobrecalentado y del condensado al cambiar la fuente de suministrado de energía.

Base 1 hora de operación

$$m = 100.5 \text{ TM} = 201,000 \text{ lbs}$$

$$C_p = 0.249 \text{ Btu/lb } ^\circ F$$

$$\Delta T = 235^\circ - 86^\circ = 149^\circ F$$

$$Q = (201,000 \text{ lbs}) (0.249 \text{ Btu/lb } ^\circ F) (149^\circ F) = 7,457,301 \text{ Btu}$$

Cálculo del calor requerido para evaporar 0.147 y 0.245 tm/hr, estos datos que se obtuvieron del balance de masa será utilizado en libras.

$$0.147 \text{ TM} * \frac{2,000 \text{ lbs}}{\text{TM}} = 294 \text{ lbs}$$

$$0.245 \text{ TM} * \frac{2,000 \text{ lbs}}{\text{TM}} = 490 \text{ lbs}$$

El agua en el azúcar presenta los estados siguientes:

- Ingresa líquida al secador a 140°F (60°C).
- Aumenta su temperatura (Q1).
- Se evapora (Qz).
- Sale en la corriente del aire A T = 235°F.

- Q aumenta de 140°F a 212°F (temperatura normal de ebullición).

$$Q_1 = m C_p \Delta T_{212-140}$$

$$C_p = \frac{1 \text{ Cal}}{\text{gr } ^\circ\text{C}} * \frac{1 \text{ Btu}}{252 \text{ Cal}} * \frac{1000 \text{ gr}}{\text{kg}} * \frac{1 \text{ kg}}{2.2046 \text{ lbs}} * \frac{1 \text{ AC}^\circ}{1 \text{ P } ^\circ\text{F}} = 1 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$$

$m = 294 \text{ lbs}$

490 lbs

$$Q_1 = (294 \text{ lbs}) \left(\frac{1 \text{ Btu}}{\text{lbs } ^\circ\text{F}} \right) (212 \text{ } ^\circ\text{F} - 140 \text{ } ^\circ\text{F}) = 21,16 \text{ P Btu}$$

$Q_2 =$ Absorbe el calor para evaporarse

$Q_2 = m l$, donde $l =$ calor latente de vaporización a 212°F

Del manual de ingeniero químico, tabla 241 (Perry, 2001):

$$L = 639 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} * \frac{1000 \text{ cal}}{1 \text{ kcal}} * \frac{1 \text{ Btu}}{252 \text{ cal}} * \frac{1 \text{ kg}}{2.2046 \text{ lbs}} = 1150.2 \text{ Btu/lb}$$

$$Q_2 = (294 \text{ lbs}) (1150.2 \text{ Btu/lb}) = 235 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$Q_3 =$ Absorbe calor hasta 235 °F

$$Q_3 = m C_p \Delta T_{235-212}$$

$$= (294) (1) (22) = 6762 \text{ Btu}$$

Los mismos parámetros para $m = 490 \text{ lbs}$

$$Q_1 = (490) (1) (72) = 35,280 \text{ Btu}$$

$$Q_2 = (490) (1150.2) = 564,480 \text{ Btu}$$

$$Q_3 = (490) (1) (23) = 11,270 \text{ Btu}$$

Total, de calor requerido

- Flujo másico de 374 lbs

$$Q_T = 21,168 + 358,158 + 6,762 = 386,088 \text{ Btu}$$

- Flujo másico de 490 lbs

$$Q_T = 35,280 + 564,480 + 11,270 = 611,030 \text{ Btu}$$

- Calor no utilizado

El flujo másico de 490 lbs es el que se utilizará como base de este cálculo por ser el que mayor consumo energético requiere.

- Porcentaje de calor utilizado

$$\frac{611,030}{7,457,301} = 8.2\%$$

- Exceso

$$100 - 8.2 = 91.8\%$$

Estimación del condensado T = 160 a 180°F

El condensado, el agua caliente que debe perder calor como calor sensible y parte debe ser el mínimo para evaporar el agua a los valores que el vapor sobrecalentado permite. De las tablas de vapor. Para 1 atm de presión y temperatura de 160°F y de 180°F se tiene:

Presión = 4.739 lbs/plg² T= 160°F

$$hf = 127.87 \quad hfg = 1002.0 \quad hg = 1129.9 \text{ Btu/lb}$$

Presión = 7.51 T= 180°F

$$hf = 147.91 \quad hfg = 990.2 \quad hg = 1138.1 \text{ Btu/lb}$$

Flujos másicos requeridos de condensado

$$\text{Sí } T = 160^\circ\text{F} \quad M_{\text{condensado}} = \frac{611,030 \text{ Btu}}{127.87 \text{ Btu/lb}} = 4,778.5 \text{ lbs}$$

$$\text{Sí } T = 180^\circ\text{F} \quad M_{\text{condensado}} = \frac{611,030 \text{ Btu}}{147.91 \text{ Btu/lb}} = 4,131.1 \text{ lbs}$$

Datos del vapor sobrecalentado

$$T = 500 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$P = 1,147 \text{ psi}$$

$$H = 1,277.1 \text{ Btu/lb (tabla de vapor sobrecalentado)}$$

Calor transferido al aire por el vapor sobrecalentado.

$$M_{VSC} = \frac{7,457,301 \text{ Btu}}{1,277.1 \text{ Btu/lb}} = 5,839.25 \text{ lbs}$$

Dado que la base de cálculo es una hora de operación.

$$M_{VSC} = 5,839 \text{ lb/hr}$$

Flujo másico de vapor sobrecalentado requerido en función de las alimentaciones de azúcar húmeda.

15 TM/hr corresponden 294 lbs/hr de agua evaporada.

$$\frac{386,088 \text{ Btu}}{1,277.1 \text{ Btu/lb}} = 302.3 \text{ lbs/hr}$$

25 TM/hr corresponden 490 lbs/hr de agua evaporada.

$$\frac{611,030 \text{ Btu}}{1,277.1 \text{ Btu/lb}} = 478.5 \text{ lbs/hr}$$

Importante: No se conocen las condiciones del retorno de vapor sobrecalentado, por lo que el cálculo anterior se fundamenta en el calor transferido al aire y las referencias de las tablas de vapor.

2. Costos

El cálculo del ahorro energético del proveedor de vapor en la turbina generadora.

a. Datos de turbina:

- Shin – nippon 20 MW
- Eficiencia calculada teórica y experimental, 14.31 lb_{vapor}/hr

Flujo de vapor a utilizar = 5,839 lb_{vapor}/hr

$$\text{kw producido por hora} = \frac{5,839 \text{ } lb_{vapor}/\text{hora}}{14.1 \text{ } lb_{vapor}/hr} = 414.1134 \text{ } kw/hr$$

$$\begin{aligned} \text{Tomando 1 día} &= 414.1134 \text{ } kw/hr \text{ (24 horas)} \\ &= 9,938.73 \text{ } kw/día \end{aligned}$$

Tomando el periodo de zafra en donde se produce azúcar blanco por un total de 130 días a 140 días:

$$9,938.73 \text{ } kw/día \text{ (130)} = 1,292,034.9 \text{ } kw$$

$$9,938.73 \text{ } kw/día \text{ (140)} = 1,391,422.2 \text{ } kw$$

Tomando el precio del kw en época de zafra vendida al mercado spot como biomasa a 0.04 dólares. El ahorro energético total en dólares es:

$$1,292,034.7 \text{ } (\$ 0.04) = \$ 51,681.39$$

$$1,391,422.2 \text{ } (\$ 0.04) = \$ 55,656.88$$

V. CONCLUSIONES

La implementación de programas de conservación de energía en los sistemas de vapor, dieron como resultado una notable reducción de los consumos por la utilización de los mismos dando como resultado una producción eficiente.

La propuesta de CAMBIO DE UTILIZACIÓN DE VAPOR A USO DE CONDENSADOS EN CALENTAMIENTO DE RADIADORES INSTALADOS EN LA SECADORA DE AZÚCAR PARA AHORRO DE ENERGÍA, con las modificaciones del proceso, redujeron el consumo de vapor extraído de la caldera, lo que implica mayor flujo de vapor hacia la turbina acoplada al generador eléctrico. Este flujo compromete una mayor generación de electricidad, la cual es vendida a la red nacional en el mercado spot con un precio de biomasa.

Al tener una reducción en el uso de vapor en este sistema se está ahorrando químico que fue introducido al agua utilizada en la caldera, lo cual también es reflejado en los costos de operación, teniendo así una tasa de pérdida de agua tratada menor en cada ciclo que puede dar agua químicamente tratada en el circuito de la caldera y turbina de vapor.

Se pudo definir que el vapor utilizado se estaba desperdiciando en un 90% de su energía, por lo que era considerada como una fuente superflua por no tener un buen control en la línea de tubería de vapor. Sin ningún tipo de sensor o medidor de flujo. No existe un control previo a la manera de operación del ingenio, pero se pretende reducir gastos innecesarios de vapor. Es adecuado tener un mejor control en más puntos estratégicos.

VI. RECOMENDACIONES

Realizar los estudios pertinentes al agua de reciclado y compararlos con la calidad del agua que requiere el producto para realizar el secado, así también estudiar si influye de alguna manera en la calidad del este. Puesto que de ser así se puede buscar un equipo adicional al propuesto para cumplir con los requerimientos establecidos.

Que se lleven a cabo las rutinas de mantenimiento preventivo en los sistemas de vapor e iluminación, esto para el perfecto funcionamiento de los equipos, así como para alargar el tiempo de vida útil de los mismos.

Es recomendable buscar la forma de reducir gastos innecesarios de vapor teniendo para ello, un adecuado control.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Libros

1. Aguer Hortal, M., Jutgalr, L., Miranda, A. L., & Rufes, P. (2004). *El ahorro energético: estudios de viabilidad económica*. Madrid: Ediciones Días de Santos.
2. Alcarde, A. R. (2010). *Tecnología da fabricação de açúcar e do etanol*. Sao Paulo: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
3. Bastian, P. (2001). *Electrotecnia*. Madrid: Akal.
4. Campos, A., Castrillon M, J. C., Quispe O, E. C., & M Urhan, R. (2007). *Calidad de la energía eléctrica*. Bogotá: UPME.
5. Carrión C, E. (2011). *Termoquímica*. Valencia: Universitat de València.
6. Castañeda G, O. J. (2013). *Propuesta de un programa de ahorro energético, en el sistema de vapor, de una planta procesadora de fármacos, con enfoque en prácticas operativas de producción más limpia*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
7. Castells, X. E. (2012). *Tratamiento y valorización energética de residuos*. Madrid: Díaz de Santos.
8. Catalá, J. E. (2007). *Beneficios en sistemas de vapor por medio de una correcta instalación y selección de trampas*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
9. Chase, R. B., & Jacobs, F. R. (2010). *Administración de operaciones: Producción y cadena de suministros*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana.
10. Chen J, C. P. (1991). *Manual del azúcar de caña*. México, D.F.: Limusa.
11. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (1998). *Comisión Nacional de Energía Eléctrica*. Guatemala: CNEE.
12. Corporativa Rural de Electrificación. (2012). *Manual de eficiencia energética*. Santa Cruz: Corporativa Rural de Electrificación.
13. Cromer, A. H. (2006). *Física en la ciencia y en la industria*. Barcelona: Reverté, S.A.
14. Díaz H, M. (2006). *Física 3*. México, S.F.: Umbral.
15. Domínguez M, C. A., Bravo A, H., & Sosa E, R. (2014). *Prevención, minimización y control de la contaminación ambiental en un ingenio azucarero de México*. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
16. ELTECH Internacional. (2018). *Soluciones en seguridad y energía*. Florida: ELTECH Internacional

17. Espinoza T, C. J., & Pérez S, M. J. (2015). *Metodología para el diseño y dimensionamiento adecuado de banco de capacitores para corrección de factor de potencia en la empresa Yambersa*. Managua, : Universidad Nacional de Ingeniería.
18. Hugot, E. (1982). *Manual para ingenieros azucareros*. México, D.F.: Continental.
19. Levy, A. (2007). *ECP Estrategia, cognición y poder: Cambio y alineamiento conceptual en sistemas sociotécnicos complejos*. Buenos Aires: Garnica.
20. Melgar M, A., Meneses , H., Orozco, O., Pérez, R., & Espinoza. (2014). *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. Guatemala: Artemis Edinter, S.A.
21. Ovando R, S. M. (2007). *Beneficios en sistemas de vapor por medio de una correcta instalación y selección de trampas*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
22. Rein, P. (2012). *Ingeniería de la caña de azúcar*. Berlín: Bartens.
23. Robledo R, C. (2006). *Diseño de una unidad de extracción de azúcar a partir de caña de azúcar*. Cádiz: Universidad de Cádiz.
24. Romero L, D. J., & Vargas R, A. (2010). *Modelo de incentivos para la reducción de pérdidas de energía eléctrica en Colombia*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
25. Talayero N, A. P., & Telmo, M. E. (2011). *Energía eólica (Serie energías renovables)*. Zaragoza: Servicio de Publicaciones Universidad de Zaragoza.
26. Villacrés, J., & Andrade S, F. (2009). *Ahorro energético en el sistema recuperador de condensados de una planta industrial en Guayaquil utilizando un surge tank*. Guayaquil: Escuela Politécnica del Litoral.
27. Von Hoof, B. (2008). *Producción más limpia: Paradigma de gestión ambiental*. Barcelona: Marcombo.
28. Von Wobeser, G. (1988). *La hacienda azucarera en la época colonial*. México, D.F.: Secretaría de Educación Pública.
29. Wolf, S., & M Smith, R. F. (1992). *Guía para mediciones electrónicas y prácticas de laboratorio*. México, D.F.: Pearson Educación.

Páginas web

1. *Biomasa*. (2019). Recuperado el 2019, de Energía térmica y biomasa:
<https://sites.google.com/site/energiatermicaybiomasapad/como-funciona-una-central-termica>

2. Fernández Puente, E. (17 de junio de 2005). *Mailxmail.com*. Recuperado el 15 de agosto de 2019, de Curso de esterilización:: <http://www.mailxmail.com/curso-esterilizacion/esterilizacion-calor-seco>
3. Martinho, T. (25 de noviembre de 2010). *Docsity*. Recuperado el 2019, de Relatorio Cana de Açucar, Notas de estudio de Engenharia Química: <https://www.docsity.com/pt/relatorio-cana-de-acucar/4747265/>
4. *Petro Blogger.com*. (3 de enero de 2010). Recuperado el 15 de agosto de 2019, de Combustibles residuales derivados: <http://www.ingenieriadepetroleo.com/combustibles-residuales-derivados-de/>
5. Porres Andrade, C. G. (2007). *Estudio y mejoramiento de la distribución de vapor a través de un sistema de trampas en una industria de cosméticos*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
6. *Química 1-2*. (27 de agosto de 2014). Recuperado el 15 de agosto de 2019, de Metodos de Separacion de Mezclas: <https://temasquimica1-2.blogspot.com/2014/08/metodos-de-separacion.html>

VIII. ANEXOS

Siglas o acrónimos

F	Fahrenheit.
HR	Hora.
KG	Kilogramos.
KVA	Kilo voltio amperio.
KVAR	Kilovar.
KW	Kilo watt (kilovatio).
Lbs	Libras.
MEM	Ministerio de Energía y Minas.
MW	Mega watts (mega vatio).
PCC	Punto Crítico de Control
PH	Potencial de hidrogeniones.
PSI	Libra por pulgada cuadrada (siglas en inglés).
RPM	Revoluciones por minuto.
TM	Toneladas métricas
U.S.A.	Estados Unidos de América (siglas en inglés).

IX. GLOSARIO

Acuoso	Que es parecido al agua o que posee alguna de sus características.
Bagazo	Residuo de los frutos que se exprimen para sacarles el jugo.
Caña	Planta de tallo leñoso, hueco, flexible, de hojas anchas, algo ásperas y flores agrupadas en panojas muy ramosas; puede alcanzar hasta 4 m de altura.
Centrifuga	Es aquella manifestada en cuerpos que desarrollan una trayectoria curva. Esta fuerza es igual pero contraria a la fuerza centrípeta, que se dirige radialmente hacia el centro.
Cogeneración	Es un sistema de alta eficiencia energética, en el cual se obtiene simultáneamente energía eléctrica (electricidad) y energía térmica (calor) a partir de la energía primaria. Esta energía primaria se suele obtener mediante la combustión de combustibles fósiles como el gas o el petróleo.
Combustibles fósiles	Es un recurso energético no renovable que se genera a partir de la descomposición de materia orgánica proveniente de restos animales y vegetales. Al combinarse con el oxígeno, la materia orgánica produce energía. El petróleo, el carbón y el gas natural son combustibles fósiles, así como sus derivados.
Condensados	En estado más denso.
Convección	Movimiento de una masa gaseosa o de un fluido, en especial el aire o las corrientes magmáticas que ascienden al aumentar su temperatura.
Esterilizar	Destruir los gérmenes que pueden provocar una infección.
Fahrenheit	Fahrenheit es una escala de temperatura termodinámica, donde el punto de congelación del agua es a 32 grados Fahrenheit (°F) y el punto de ebullición a 212 ° F (a una presión atmosférica normal).
Granel	Se aplica al producto que se vende sin envasar o sin empaquetar, o a la manera de comprar o vender productos de este tipo.

Microorganismos	Organismo microscópico animal o vegetal.
Molienda	Proceso que consiste en desmenuzar una materia sólida, especialmente granos o frutos, golpeándola con algo o frotándola entre dos piezas duras hasta reducirla a trozos muy pequeños, a polvo o a líquido.
Parafinas	Sustancia sólida, blanca, translúcida, inodora y que funde fácilmente, que se obtiene de la destilación del petróleo o de materias bituminosas naturales y se emplea para fabricar velas y para otros usos.
Radiación	Emisión de energía o de partículas que producen algunos cuerpos y que se propaga a través del espacio.
supervención	Acción y efecto de sobrevenir nuevo derecho.
Tacho	Utensilio para cocinar, usado especialmente para cocer alimentos o calentar agua, que consiste en un recipiente metálico, de base circular, con dos asas o con mango, y generalmente con tapa.
Vapor vivo	Es aquel que todavía no ha realizado ninguno de los trabajos para los que fue generado.
Volátil	Se usa para indicar algo que vuela o puede volar, como por ejemplo, las aves que pueden levantar vuelo.