Estudio de consumo y comportamiento del vapor en los ahumaderos estáticos Citalsa para la cocción de la línea de cerveceros

Anderson Stiven Triviño Bautista

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad Tecnológica

Bogotá

Enero de 2019

Estudio de consumo y comportamiento del vapor en los ahumaderos estáticos Citalsa para la cocción de la línea de cerveceros

Anderson Stiven Triviño Bautista

Monografía

Yisselle Indira Acuña Hereira

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Bogotá
Enero de 2019

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Universidad Distrital francisco José de caldas, Facultad Tecnológica, por permitirme adquirir los diversos conocimientos de la rama de la ingeniería mecánica y ayudarme a ser una mejor persona para la sociedad.

Además doy gracias a mi tutora Yisselle Indira Acuña Hereira, por el acompañamiento realizado durante el estudio y la ejecución de este proyecto, así como a la empresa de Alimentos cárnicos por permitirme poner en práctica los conocimientos adquiridos durante mi etapa de estudio.

Finalmente agradezco a todas las personas que estuvieron presentes durante mi etapa de formación, para así, culminar con éxitos esta etapa de mi vida.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios y a mi familia, porque ellos han sido las personas que me han acompañado en todo lo que llevo de vida, ayudándome a crecer y desarrollar las diferentes capacidades para alcanzar este sueño tan anhelado y de esta manera ser un individuo más útil para la sociedad; le doy muchas gracias a mi madre por su incondicional apoyo en los momentos buenos pero sobre todo en los malos, ya que en estos, sus palabras fueron de gran ayuda, para así, cumplir esta meta.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 (Productos producidos en la línea de cerveceros) 19
Tabla 2 (Formato y cronograma de producción) 22
Tabla 3 (Tiempos de apertura y cierre de la válvula de vapor durante el proceso de cocción con cargue completo). 23
Tabla 4 (Tiempos de apertura y cierre de la válvula de vapor durante el proceso de cocción con cargue incompleto).....27
Tabla 5 (Valores constantes para los procesos de cocción en todas las referencias). 33
Tabla 6 (Masa de vapor requerida para la etapa inicial del proceso).....35
Tabla 7 (Valores de energía interna para la etapa de estabilización del proceso de cocción). 37
Tabla 8 (Temperatura promedio ganada por el producto durante la etapa de cocción). 38
Tabla 9 (Masa total de vapor para la cocción total del producto con seis carros).41
Tabla 10 (Masa de vapor en la etapa inicial con cuatro carros dentro del ahumadero).....42
Tabla 11 (Masa de vapor en la etapa inicial con cinco carros dentro del ahumadero).....42
Tabla 12 (Masa de vapor total para la etapa de cocción con cuatro carros).....44
Tabla 13 (Masa de vapor total para la etapa de cocción con cinco carros). 44
Tabla 14 (Costo de la generación del vapor por día) 46
Tabla 15 (Costos de generación por hora y libra de vapor) 48
Tabla 16 (Masa de vapor requerida para la cocción de productos en libras (lb))...49
Tabla 17 (Relación de consumo con cargue completo). 50
Tabla 18 (Relación de consumo con cargue incompleto 5 carros). 51
Tabla 19 (Relación de consumo con cargue incompleto 4 carros) 51
Tabla 20 (Costo del vapor para la cocción del producto en pesos colombianos). .52
Tabla 21 (Cronograma promedio de producción diaria de la línea de cerveceros) 54

Tabla 22 (Proyección del costo del vapor en pesos colombianos). 55
Tabla 23 (Valores de calidad y energía interna final para el proceso de cocción). 58
Tabla 24 (Masa de vapor en (lb)).....59
Tabla 25 (Masa de vapor condensada en el proceso de cocción en (lb)).....60

LISTA DE IMÁGENES

Ilustración 1 (Carro con producto cargado).....4
Ilustración 2 . (Componentes del equipo) 5
Ilustración 3 (Ahumadero estático Citalsa) 13
Ilustración 4 (Grafica de parámetros de proceso).....22
Ilustración 5 (Grafica de proceso cerveroni 1200 con ahumadero cargado completamente) 24
Ilustración 6 (Etapas del proceso para producto final).....25
Ilustración 7 (Grafica de proceso Cerveroni 1200 con ahumadero cargado incompletamente) 26
Ilustración 8 (Curvas de cantidad de vapor generado para calderas piro tubulares) 47

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 2
3. ESTADO DE ARTE 6
4. JUSTIFICACIÓN 10
5. OBJETIVOS 11
5.1 OBJETIVO GENERAL: 11
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS: 11
6. MARCO TEÓRICO 12
6.1 Primera ley de la termodinámica: 13
7. METODOLOGÍA 16
7.1 RECOPILACIÓN DE DATOS DEL SISTEMA: 16
7.2 CÁLCULO DE LA ESTIMACIÓN TEÓRICA DEL CONSUMO DE VAPOR DEL EQUIPO: 17
7.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS 17
7.4 ESTIMACIÓN TEÓRICA DEL COSTO DE VAPOR EN EL PROCESO: 17
8. DESARROLLO DE LA PROPUESTA 18
9. ANÁLISIS Y CÁLCULOS 28
10. ESTIMACIÓN DE COSTOS DEL VAPOR 45
11. CONCLUSIONES 61
12. RECOMENDACIONES 63
13. BIBLIOGRAFÍA 64
14. ANEXOS 66

1. INTRODUCCIÓN

En el siguiente documento se presenta la propuesta para desarrollar el estudio de consumo de vapor en los equipos de los ahumaderos estáticos Citalsa de la línea de procesos térmicos de cerveceros, en la planta de alimentos cárnicos sede Bogotá; en este se encuentra el planteamiento del problema, estado de arte, la justificación, los objetivos, el marco teórico, la metodología, el desarrollo, las conclusiones y las recomendaciones a la problemática planteada.

El estudio tiene como finalidad encontrar la masa de vapor necesaria para el proceso de cocción de los alimentos producidos en la línea, para así, poder estandarizar el proceso y tener un control más rígido en la producción; teniendo en cuenta que los ahumaderos son cargados con seis carros llenos de producto para realizar el proceso y que durante los últimos dos años los cargues incompletos en los ahumaderos han incrementado, nace la necesidad de conocer la cantidad de vapor que se requiere para llevar acabo la cocción de los alimentos.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A lo largo de la historia el ser humano se ha visto en la necesidad de buscar diferentes alternativas para dar solución a los problemas que se presentan en su diario vivir; algunos de estos pueden ser: alimentarse, transportarse, vestirse, comunicarse entre otras actividades que son necesarias para subsistir.

Debido a las problemáticas presentadas en el entorno, es necesario implementar diferentes estrategias y mecanismos que ayuden a optimizar y mejorar la calidad de vida; es por esto que nacen diferentes agrupaciones que se dedican a satisfacer dichas necesidades en los diferentes sectores de la economía a nivel global.

Un sector de la economía que es de gran importancia por no decir que el mayor, es el sector de la industria, ya que en este se transforman las materias primas y se generan los productos para llevarlos al consumidor; el sector industrial es muy amplio pero lo podemos dividir a manera groso moda de la siguiente manera:

- Industria pesada: En esta se implementan grandes cantidades de energía y materia prima; algunas de estas son: cementeras, metalúrgicas, petroquímicas y automovilísticas.
- Industria ligera: Es donde se transforman las materias primas semielaboradas en productos de consumo para las personas o empresas de bienes y servicios; estas pueden ser: alimenticia, textil y farmacéutica.
- Industria de punta: Allí es donde se implementan tecnologías más avanzadas y recientes; estas pueden ser: robótica, informática y aeroespacial.

El presente proyecto de investigación estará enmarcado en la industria ligera haciendo énfasis en el sector alimenticio, puesto que, es de gran importancia debido a que satisface una de las necesidades primordiales en la población, la cual es, alimentarse.

Debido al crecimiento exponencial que han tenido las civilizaciones a nivel mundial durante las últimas décadas, se han generado diferentes estrategias para llevar acabo la producción en masa de los alimentos y de esta manera satisfacer la necesidad en la población. La industria de alimentos se encuentra dividida de acuerdo a la producción de alimentos que realicen; algunos de estos son: cárnicos, lácteos, bebidas y pesquera.

En la industria alimentaria cárnica se tiene como materia prima la carne que sea de ganado vacuno o porcino, la cual, se somete a un proceso de deshuesado y allí se clasifica para consumo humano o para la fabricación de embutidos o enlatados. En Colombia existen diferentes compañías que se dedican a la producción de embutidos y enlatados, las principales empresas que lideran el mercado de embutidos y alimentos cárnicos son: Alimentos Cárnicos S.A.S, Zenù, la Fazenda, Cerdos del Valle, Minerva Colombia y su subsidiaria Red Cárnica, Comestibles Dan, Carnes Casablanca, Cialta, Frigo Sinú, Pic Colombia, y Expo ganados Internacional; en el mercado podemos encontrar también otras empresas que se dedican a la producción y fabricación de estos productos.

Debido a la amplia competencia que se presenta en el mercado, surge la idea de realizar un proyecto de investigación en la planta de Alimentos Cárnicos S.A.S., la cual cuenta con cinco sedes; este proyecto se basara en la sede de Bogotá, la cual se encuentra ubicada en la localidad número nueve correspondiente a Fontibón, UPZ número 76 San pablo, barrio puente grande, esta es una zona de clasificación industrial ubicada en el nororiente de Fontibón; esta empresa se

dedica a la fabricación de embutidos, se identificó la necesidad de conocer la cantidad de vapor necesaria, para llevar a cabo el proceso de cocción en la línea de cerveceros, con el objetivo de optimizar los tiempos y así elevar sus estándares de calidad.



Ilustración 1 (Carro con producto cargado)

Fuente: Alimentos Cárnicos S.A.S (2018)

En la línea de cerveceros se cuenta con cuatro ahumaderos estáticos de la marca Citalsa, los cuales, son máquinas diseñadas para realizar la cocción de alimentos en masa, cada equipo cuenta con una entrada de vapor independiente con diferentes accesorios como: filtros, válvulas reguladoras, trampas de vapor válvulas de seguridad, manómetros, termómetros entre otros; además cuenta con un quemador de gas y una red de agua potable; en la ilustración #2 se observan las principales partes del equipo de una manera más clara. El vapor tiene la función de realizar la cocción del embutido y mantener la temperatura dentro del ahumadero, para así, garantizar la inocuidad del proceso; el quemador tiene la función de calentar el aire generado por los ventiladores en la etapa de secado, para así, deshidratar el producto y la entrada de agua potable se utiliza para

realizar un roció sobre el producto y de esta manera generar un cambio brusco en la temperatura, con el objetivo de esterilizar el embutido.

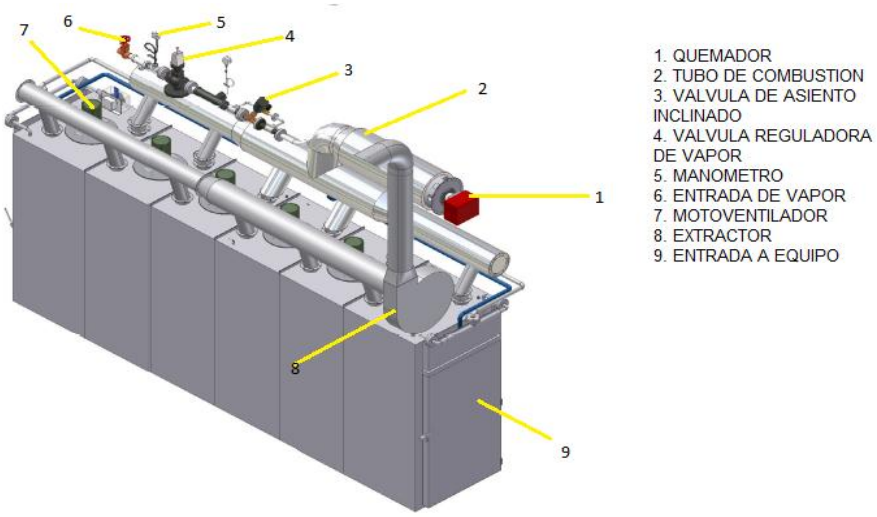


Ilustración 2 . (Componentes del equipo)
Fuente: CITALSA, equipos de servicio y calidad. Manual técnico Horno automático a Gas. Última actualización Marzo 2007.

Se debe tener en cuenta que para el proceso, los equipos consumen diferentes insumos como agua, energía, gas y vapor; la planta cuenta con un control o registro de los insumos de agua, energía y gas, pero no lleva un control de registro en el vapor, ya que los equipos de medición para este tienen un alto costo en el mercado y se debe realizar una inversión para su instalación; por ende al implementar el uso de estos se incrementaría el costo y no es viable para la compañía.

Teniendo en cuenta que los ahumaderos son cargados con seis carros llenos de producto y que en los últimos dos años, el cargue incompleto en los ahumaderos de la línea ha incrementado; para la compañía es primordial tener un control en los procesos que se realizan dentro la planta de producción, es por esto que se generara una propuesta de control en el proceso térmico, lo cual elevara los estándares de calidad; llevando a mejorar la eficiencia y eficacia en los procesos de calidad, agilizando los tiempos del proceso térmico.

3. ESTADO DE ARTE

Para el desarrollo del estado del arte se utilizaron los recursos electrónicos de las bases de datos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, así como el sistema de información científica Redalyc y el uso del buscador del google académico.

Para la selección de los artículos relacionados con el tema de estudio, se tuvo en cuenta los textos desarrollados durante los últimos quince años, para así, poder crear un filtro en la información de los sistemas de búsqueda; además se hizo uso de una tabla de Excel donde se especificó el nombre del artículo, el año de su publicación y el enlace de búsqueda del mismo.

Luego de haber ejecutado la búsqueda en las diferentes herramientas se procede a realizar una selección de nueve fuentes que son las que más se asemejan al tema de estudio; a continuación se hace una breve descripción de los artículos seleccionados.

Para el año 2005 los profesores Álvaro Hernán Restrepo y Juan Carlos Burbano junto con el estudiante Álvaro Andrés salgado implementaron un programa de gestión energética en el área de producción de vapor con el objetivo de caracterizar el proceso y de esta manera poder generar estrategias de mejora en la industria Levapan S.A; estas mejoras estuvieron enfatizadas en el ahorro de combustible y la mejora en la eficiencia de la caldera.

Durante el 2009 la universidad Nacional de Colombia desarrolló un estudio titulado “Evaluación del proceso de cocción para obtener un confite duro a partir de pulpa de arazá” escrito por los autores Eduardo Rodríguez Sandoval y Patricia Bastidas Garzón en este se habla acerca de la elaboración de un confite a partir de la pulpa

de arazá, en este se establecen la cantidad exacta de los ingredientes que se requieren para la fabricación de dicho producto, así como la cantidad de vapor necesaria para lograr la aplicación y el coeficiente global experimental de transferencia el cual es comparado con el valor teórico del proceso.

Durante el mismo año en Caracas Venezuela, Johana Colina y Marisa Guerra desarrollaron un estudio acerca de la obtención y evaluación de arroz integral de cocción rápida; en este artículo se compara el comportamiento del cereal en los procesos de remojo, secado y cocción; arrojando como dato curioso que la cocción en agua es mucho mejor que la cocción de vapor debido a que tiene un mayor incremento en el volumen y en la gelatinización para este producto, trayendo consigo una mejora para el proceso que se tenía establecido.

En el año 2013 la revista mexicana de ingeniera química saco un artículo titulado “análisis de costos de operación exergo económicos a un ciclo teórico de refrigeración por compresión de vapor usando hfc-134a“en este artículo cabe resaltar el uso que se le da al vapor, puesto que en la industria este no solo es utilizado para realizar procesos de cocción sino que también puede ser implementado en la refrigeración de diferentes lugares, para así lograr cierto confort y mejorar la ergonomía de los trabajadores.

Durante el mismo año en Santiago de Cali la estudiante Emileny plaza reina desarrollo un estudio de actualización de mermas de producto para mejorar la rentabilidad de alimentos Lacali S.A; puesto que los embutidos representaban más del 84% de las ganancias de la compañía. Con el objetivo de lograr estandarizar los tiempos en cada uno de los procesos de la planta, la estudiante procedió a recopilar los datos de manera experimental para los tiempos y temperaturas del proceso; al final del proyecto la autora termina resaltando que el proceso siempre va a tener una perdida pero con un buen control se puede disminuir su cantidad.

En el año 2015 el estudiante Hernán Darío Ramírez Escobar nombro su trabajo de grado como “Actualización de inventario del ahumadero continuo Atmos” el cual es un equipo de la empresa ZENU el cual es utilizado en la cocción de alimentos específicamente para la línea de salchichas; en este trabajo se establecen los componentes mecánicos y eléctricos del equipo, así como su funcionamiento, y con la recopilación de la información se establece un plan de mantenimiento para prevenir los posibles fallos en el equipo y reducir los tiempos de parada.

Durante el transcurso del año 2017 se desarrollaron tres proyectos; uno de ellos fue implementado por Adriana Nohemí Torres Gámez en México el cual lo nombro “generalidades de los productos cárnicos (embutidos)” en este se establecen los diferentes lineamientos para identificar el tipo de embutido que es a partir de la composición de la materia prima y de las buenas prácticas de manufactura, a las cuales, está siendo sometido el producto durante el proceso y de esta manera determinar la calidad del mismo.

A si mismo también se trabajó en Ecuador las ventajas que se tienen al implementar modelos de automatización en los procesos de las líneas de cocción de embutidos; en el trabajo titulado “Análisis del impacto en la producción de embutidos ante la inclusión de un proceso de cocción automatizado” realizado por el autor Oscar Fabricio Angulo Chiliquinga, se establecen las diferentes ventajas como la disminución de los tiempos en el proceso así como una mejora en la calidad del producto, puesto que, se tiene un mayor control de todo el proceso.

Por ultimo en el trabajo titulado “Eficiencia energética en el uso del vapor para la cocción de alimentos”, elaborado por el grupo de trabajo conformado por Yuniel delgado santana, Reinier Jiménez Borges y Margarita Lapido rodríguez se habla acerca de un estudio desarrollado en el uso del vapor y el sistema de producción en las marmàs utilizadas para la cocción de alimentos; allí se establecen los

diferentes parámetros de funcionamiento de manera experimental con ayuda de cámaras de termografía y el uso de termómetros y se logra determinar la eficiencia del sistema.

Para finalizar como podemos ver durante el transcurso de los últimos años son pocas las personas que se han dedicado a combinar un dato teórico y traducirlo a costos de producción de un proceso; además se puede ver de una manera clara y concisa que en los proyectos trabajados se busca es aumentar la eficiencia energética de los equipos y reducir los tiempos en los procesos sin disminuir los estándares de calidad.

4. JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto es ejecutado con el objetivo de implementar un estudio de consumo y comportamiento del vapor, en el proceso de cocción de los ahumaderos estáticos Citalsa, en la planta de alimentos cárnicos sede Bogotá, ubicada en la localidad novena de Fontibón, donde se evidencio la problemática de aumento de cargues incompletos durante los últimos dos años, sus principales causas son:

- mala estandarización en el procedimiento, la cual conlleva a que haya una falta de rango en el tiempo de cocción del proceso,
- falta de disponibilidad de los equipos, que generan un retraso en el proceso térmico
- desperdicio de insumos lo que conlleva a la elevación de los costos de producción

Por ello este proyecto de investigación es relevante, ya que por medio de este surge una propuesta de control en el proceso térmico, el cual eleva los estándares de calidad; llevando a mejorar la eficiencia y eficacia en los procesos y agilizando los tiempos del proceso térmico.

Al generar mecanismos de control se puede contribuir a la responsabilidad social de la empresa minimizando los tiempos en el proceso, lo cual ayuda al medio ambiente, puesto que, se reducen los consumos de energía y recursos; a nivel económico se optimizan los costos de los insumos, lo cual es favorable para la empresa, porque se generan más regalías al elevar el índice de productividad en la línea y por ende una mayor capacidad en la distribución del producto a nivel nacional, haciendo que la marca siga manteniendo su liderazgo en el mercado, ya que según estadísticas es la de mayor preferencia en el consumidor.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL:

Realizar el estudio de consumo y comportamiento del vapor en los ahumaderos estáticos de la marca Citalsa para la cocción de la línea de cerveceros.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

5.2.1 Identificar la cantidad de vapor necesaria para el proceso de cocción en los ahumaderos estáticos de la marca Citalsa.

5.2.2 Analizar si los tiempos del proceso de cocción de los cargues incompletos son iguales o menores a los tiempos de los cargues completos en el ahumadero.

5.2.3 Estimar el costo del vapor consumido durante el proceso de cocción de la línea de cerveceros.

6. MARCO TEÓRICO

Para obtener el embutido se realizan los siguientes procesos:

- Alistamiento de carnes y condimentos: consiste en pesar las cantidades exactas para la fabricación del producto.
- Molienda: en este proceso la carne pasa por un molino en donde se reduce el tamaño, para así, hacer una mezcla más homogénea con los condimentos.
- Mezcla: en un recipiente llamado emulsificador se mezclan los condimentos, la carne y agua caliente para lograr una consistencia en la pasta.
- Embutido: en esta sección se procede a introducir la pasta en el empaque de producto.
- Proceso térmico: en esta parte se procede a realizar el cargue del producto mediante carros en los ahumaderos de la marca Citalsa, para allí, realizar el proceso de cocción del producto; cabe resaltar que esta etapa es la más importante, puesto que, en esta es donde se garantiza que el producto cumple con las condiciones para el consumo humano; el proceso térmico se encuentra bajo los lineamientos de la norma NTC 13-25, donde se establece que el producto es apto para el consumo humano cuando alcanza una temperatura interna de 72°C; sin embargo el departamento de calidad de la compañía solo libera el producto si este alcanza una temperatura mayor o igual a 74°C

El ahumadero de la marca Citalsa es un recipiente estático que tiene una entrada y una salida para el producto; luego de que el producto es ingresado se cierran la entrada y la salida; se procede a abrir la válvula para introducir el vapor, la cual funciona automáticamente detectando una temperatura mínima para abrir y una

temperatura máxima para cerrarse; para distribuir de una manera homogénea el vapor en la cámara se hace uso de los ventiladores, para así, garantizar la cocción de todo el producto cargado en el sistema; durante este proceso se empieza a observar la temperatura interna del producto hasta alcanzar la deseada en el mismo, para así, realizar el duchado, el cual, es un proceso que consiste en rosear agua fría directamente sobre el producto y de esta manera generar un cambio brusco en la temperatura para esterilizarlo.



Ilustración 3 (Ahumadero estático Citalsa)

Fuente: CITALSA, equipos de servicio y calidad. Manual técnico Horno automático a Gas. Última actualización Marzo 2007.

6.1 Primera ley de la termodinámica:

La primera ley de la termodinámica es aplicada a sistemas abiertos y cerrados, para este estudio se implementara de acuerdo al estado de la válvula, es decir, cuando la válvula se encuentre en estado abierto y permita el flujo de masa de vapor hacia el equipo el sistema se considerara abierto y cuando la válvula se cierre y corte el flujo de vapor hacia el equipo el sistema se considera cerrado.

Por lo tanto cuando la válvula se encuentre en estado abierto, el modelo matemático para el balance de energía, será el siguiente:

$$(Qe + We + \Sigma \mathrm{m}\theta \mathrm{e}) - (Qs + Ws + \Sigma \mathrm{m}\theta s) = (m2e2 - m1e1)_{\text{Sistema}}$$

(Balance de energía para volumen de control; tomado de "Yanus A. Cengel. Michael A. Boles. Termodinámica séptima edición. Capítulo 5, pág. 247)

Dónde:

Q_e = Calor de entrada

Q_s = Calor de salida

W_e =Trabajo de entrada

W_s = Trabajo de salida

m= Masa

$\boldsymbol{\theta}$= h+ e_c + e_p

e= u+ e_c + e_p

h= Entalpia

u= Energía interna

e_c = Energía cinética

e_p = Energía potencial

Ahora si se supone que el cambio en la energía cinética y potencial es despreciable dentro del sistema, debido a que los cambios de altura y velocidad son insignificantes; la ecuación anterior se reduce a:

$$(Qe + We + \Sigma \mathrm{m}he) - (Qs + Ws + \Sigma \mathrm{m}hs) = (m2u2 - m1u1)_{\text{ Sistema}}$$

(Balance de energía para volumen de control; tomado de "Yanus A. Cengel. Michael A. Boles. Termodinámica séptima edición. Capítulo 5, pág. 247)

Donde "he" es la entalpia de entrada del vapor, "hs" es la entalpia de salida del vapor; "$u2$" es la energía interna del sistema en el estado dos y "$u1$" es la energía interna inicial del sistema.

Luego las anteriores ecuaciones se pueden reducir aún más si se tienen algunas suposiciones sobre el sistema, por lo tanto la simplificación del balance de energía para el sistema en estado abierto se presenta en el análisis de ingeniería del documento.

Ahora cuando el sistema se considere en estado cerrado el balance de energía para el sistema estará dado por:

$$Eentrada = Esalida$$

Como se observa el modelo establece que para los sistemas cerrados, la energía que entra al sistema tiene que ser igual a la energía que sale del mismo; luego la anterior expresión se puede expresar de una manera más explícita de la siguiente manera:

$$\Delta Usistema = Q - W$$

Donde el "$\Delta Usistema$" es el cambio en la energía interna del sistema; "Q" es el calor suministrado al mismo y "W" es el trabajo.

Es importante recordar que los signos de los términos de la ecuación anterior pueden variar, puesto que el calor se considerara negativo si se pierde del sistema y positivo si se agrega al mismo; ahora con el trabajo sucede lo contrario se considera negativo si es suministrado hacia el sistema y positivo si sale del mismo.

El desarrollo e implementación de las ecuaciones del sistema en estado cerrado se presentan en el análisis de ingeniería del documento.

7. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la implementación del estudio se desarrollan cuatro etapas, las cuales son:

7.1 RECOPILACIÓN DE DATOS DEL SISTEMA:

En esta etapa se reúnen la mayor cantidad de datos referentes al equipo (ahumadero Citalsa) y el proceso. Algunos datos referentes al equipo pueden ser:

- ubicación de sensores
- cantidad y tipo de válvulas
- materiales del equipo
- planos

La información se puede obtener de los técnicos encargados del equipó, así como de los manuales que se encuentran en la planta. Por otra parte los datos del proceso pueden ser recogidos de los operarios del equipo y de los coordinadores de producción; algunos de estos datos pueden ser:

- tipo de pasta (embutido)
- tiempo total del proceso
- temperaturas
- peso total del cargue

7.2 CÁLCULO DE LA ESTIMACIÓN TEÓRICA DEL CONSUMO DE VAPOR DEL EQUIPO:

Esta etapa del proyecto se realiza en compañía del tutor, en donde se aplica la primera ley de la termodinámica, para así estimar el valor de la masa de vapor requerida para la cocción del proceso; además se estudia el comportamiento de la transferencia del vapor hacia el producto, la cual es mediante convección forzada.

7.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS:

En esta sección se realiza la interpretación del consumo de vapor durante el proceso de cocción para los cargues completos e incompletos; para así, determinar si el consumo es menor o igual y de esta manera establecer una relación para los procesos, con el objetivo de generar un control en el consumo de vapor para elevar los índices de calidad en el proceso.

7.4 ESTIMACIÓN TEÓRICA DEL COSTO DE VAPOR EN EL PROCESO:

Luego de hacer el análisis del comportamiento y consumo de vapor en el equipo, se pretende calcular de manera teórica el costo de la masa de vapor en el proceso, para así, hacer una estimación monetaria del proceso térmico en la línea de cerveceros y observar si es posible implementar una modificación para así reducir los tiempos y optimizar el proceso.

8. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

En busca de encontrar una solución al problema planteado se ha analizado el funcionamiento y comportamiento del vapor en el ahumadero de la marca Citalsa, teniendo en cuenta los procesos que se realizan dentro del mismo; a continuación se realiza la descripción de los procesos que se llevan a cabo en el equipo.

El ahumadero estático de la marca Citalsa es un horno diseñado para realizar diferentes procesos térmicos a los alimentos cuyo mayor contenido es la carne; los procesos térmicos que realiza el equipo son:

- *Secado:* este proceso consiste en deshidratar la pasta, para esto, el equipo enciende el quemador, para así calentar el aire generado por los ventiladores y de esta manera cumplir el objetivo que es retirar cierto porcentaje de humedad del producto; cabe recalcar que durante los procesos donde se involucre el uso del quemador la compuerta del extractor se encuentra en estado medio abierta o abierta.
- *Cocción*: este proceso se lleva acabo solo con el uso del vapor y la compuerta de extracción cerrada, por esta razón el equipo se encuentra calibrado con un set point, donde se detecta una temperatura mínima para dar apertura a la válvula de asiento inclinado y una temperatura máxima para generar el cierre de la misma; luego el vapor pasa por una válvula reguladora de presión donde reduce de 100psi a 40psi, para así, ingresar el vapor a la cámara, hasta alcanzar la temperatura máxima del set point.
- *Sostenimiento:* esta etapa del proceso se da cuando el vapor es ingresado en la cámara, el cual, es distribuido por unas flautas y los ventiladores, y de esta manera garantizar la cocción homogénea de todo el producto.
- *Extracción*: esta etapa consiste en evacuar el vapor residual de la recamara a través de la compuerta de extracción y el uso de los ventiladores durante dos minutos.

- *Duchado:* esta etapa consiste en rociar agua fría sobre el producto para generar un cambio brusco en la temperatura y generar una esterilización sobre el mismo.

En la línea de cerveceros se producen ocho referencias de producto, las cuales se diferencian por el uso de las materias primas, así como los tiempos y procesos implementados dentro del horno; en la tabla #1 se puede ver de una manera más clara el nombre del producto, la cantidad de carros por tanda, haciendo énfasis en que el cargue es completo dentro del ahumadero cuando es llenado con seis carros, además se puede ver el tiempo de los procesos de cocción, extracción y duchado.

PRODUCTOS PRODUCIDOS EN LA LÍNEA DE CERVECEROS				
Nombre del producto	**Cantidad de carros por tanda**	**Tiempo de cocción del proceso**	**Extracción de vapor**	**Tiempo de duchado**
Cerveroni 1200	8	65min	2min	20min
Cerveroni 900	7	65min	2min	20min
Rica 1000	6	55min	2min	15min
Rica 700	6	55min	2min	15min
Ranchero 480	9	65min	2min	20min
Cunit 1000	8	55min	2min	20min
Cunit 700	7	55min	2min	20min
Tajado	6	15min	2min	20min

Tabla 1 (Productos producidos en la línea de cerveceros)

Fuente: Elaboración propia (2018). Información suministrada por departamento de producción planta alimentos cárnicos sede Bogotá.

De acuerdo a los datos de la tabla # 1 se observa que de las ocho referencias producidas en la línea, la de menor tiempo de cocción es la del tajado, esto se da porque este producto es el único que es sometido al proceso de secado, ya que, requiere que la pasta sea deshidratada, para así poder llevar a cabo el proceso de cocción; además observamos que las referencias de tajado, Rica 1000 y Rica 700 cumplen con la cantidad de carros por tanda para que el cargue en el ahumadero sea completo. Con estos datos se identifica que el problema en los cargues incompletos se presentan en la referencias Cerveroni 1200, Cerveroni 900, ranchero 480, Cunit 1000 y Cunit 700.

Luego de identificar las referencias en las cuales, se presentaban los cargues incompletos en la línea de cerveceros se procede a analizar la información suministrada por el SCADA, el cual, es un programa de monitoreo y control que posee la planta para llevar un registro del comportamiento de cada una de las líneas que trabajan en la planta, así como de todo el sistema y red de frio de la misma. Las líneas que trabajan en la planta son:

- Línea de salchichas
- Línea de cerveceros
- Línea de hamburguesa
- Línea de practi-carne

Gracias al SCADA se puede observar de una manera clara el comportamiento que tiene el equipo durante cada proceso que se ejecute en el mismo; en la imagen número 4 se observa el comportamiento de cada una de las etapas de proceso para la referencia Cerveroni 1200 en ella observamos que el equipo arroja 12 graficas, las cuales son:

- Set-point de la cámara: hace referencia a la temperatura de control que debe haber en la cámara, es decir, la temperatura máxima que debe haber en la misma.
- Set-point del núcleo: hace referencia a la temperatura interna del producto

- Temperatura de bulbo húmedo: es la temperatura del sensor de humedad del equipo.
- Temperatura de bulbo seco: es la temperatura de un sensor del equipo, donde gracias a este se controla la apertura de la válvula del vapor hacia el equipo.
- Temperatura del núcleo 1: temperatura del producto en la zona #1 del equipo.
- Temperatura del núcleo 2: temperatura del producto en la zona #2 del equipo.
- Temperatura del núcleo 3: temperatura del producto en la zona #3 del equipo.
- Temperatura del núcleo 4: temperatura del producto en la zona #4 del equipo.
- Temperatura del núcleo 5: temperatura del producto en la zona #5 del equipo
- Temperatura del núcleo 6: temperatura del producto en la zona #6 del equipo.
- Set point de humedad: Es la cantidad de vapor de agua que debe tener el aire dentro la cámara.
- Humedad de la cámara: Es el porcentaje de la máxima cantidad de vapor de agua, que contiene el aire que está siendo medido durante el proceso



Ilustración 4 (Grafica de parámetros de proceso)

Fuente: Elaboración propia (2018). Información suministrada por SCADA CARNICOS

En el departamento de tecnología de la compañía se cuenta con el historial de las gráficas de monitoreo de cada uno de los procesos del año que se lleva en curso; para dar solución a la problemática planteada, se recopilo la información de cada uno de los ahumaderos estáticos Citalsa, así como los cronogramas de producción en cada uno de ellos; con la recopilación de dicha información se realizó el siguiente formato, para así analizar y comprender de una mejor manera el planteamiento del problema.

FORMATO Y CRONOGRAMA DE PRODUCCIÓN					
Fecha	**Nombre del producto**	**Hora de inicio del proceso de cocción**	**Hora final del proceso de cocción**	**Cantidad de carros**	**Equipo**

Tabla 2 (Formato y cronograma de producción)

Fuente: Elaboración propia (2018). Información suministrada por departamento de producción planta alimentos cárnicos sede Bogotá

Con la información recopilada en dichos formatos se pudo analizar que en promedio se generaban diariamente entre cuatro y cinco cargues incompletos y que en las referencias donde más se presentaba dicho problema eran en la de del Cerveroni 1200 y Cerveroni 900. Con estos datos se ejecutó el análisis de las gráficas suministradas por el SCADA donde se determinó el tiempo total de apertura de la válvula del vapor durante la etapa de cocción del proceso; como se observó en la tabla 1 se presenta el tiempo total del proceso de cocción mas no el tiempo de apertura y cierre de la válvula de vapor; es por esto que en la tabla 3 se presentan los tiempos promedio de apertura y cierre de la válvula de vapor durante el proceso de cocción con el cargue completo dentro del ahumadero.

TIEMPO DE APERTURA Y CIERRE DE LA VÁLVULA DE VAPOR DURANTE EL PROCESO DE COCCIÓN CON CARGUE COMPLETO			
NOMBRE DE LA REFERENCIA	**TIEMPO DE APERTURA AL INICIO DEL PROCESO**	**TIEMPO DE CIERRE Y APERTURA DE LA VÁLVULA**	**TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN**
Cerveroni 1200	12 minutos	1 minuto	2minutos
Cerveroni 900	12 minutos	1 minuto	2minutos
Ranchero 480	12 minutos	1 minuto	2minutos
Cunit 1000	12minutos	1 minuto	3 minutos
Cunit 700	12 minutos	1 minuto	3 minutos

Tabla 3 (Tiempos de apertura y cierre de la válvula de vapor durante el proceso de cocción con cargue completo).
Fuente: Elaboración propia (2018). Datos suministrados por SCADA CARNICOS.

Para obtener los datos de la tabla #3 se estudiaron y analizaron las gráficas de temperatura de bulbo seco del equipo, las cuales son las de color verde; puesto que es a través de este sensor que se controla la apertura y cierre de la válvula del vapor; en la tabla #3 se observan cuatro columnas donde se ve el nombre de la referencia del producto, el tiempo de apertura al inicio del proceso, el tiempo de cierre de la válvula durante el proceso, y el tiempo de estabilización del equipo. En la ilustración 6 se observa de una mejor manera como se determinó el tiempo de apertura y cierre de la válvula, puesto que el proceso de cocción se puede dividir en las etapas descritas en la imagen.



Ilustración 5 (Grafica de proceso cerveroni 1200 con ahumadero cargado completamente)

Fuente: Elaboración propia (2018). Información suministrada por SCADA CARNICOS

Como se puede observar en la ilustración #5 se ve una gráfica donde en el eje Y representa la variación de la temperatura a lo largo del proceso y el eje X representa el tiempo transcurrido para el proceso; además se ve que en el inicio la temperatura tiene un comportamiento uniforme esto se da porque el ahumadero no ha sido cargado con producto y se encuentra a temperatura ambiente; luego

observamos una pendiente positiva, la cual nos indica que el equipo ha sido cargado con producto y que se ha habilitado la apertura de la válvula del vapor para ingresar el fluido a la recamara del equipo y empezar la cocción de la materia prima; luego se observa un pico y una pequeña pendiente negativa, el pico representa el cierre de la válvula de vapor y la pendiente negativa es la etapa de estabilización del equipo, es decir la recamara empieza a lograr un equilibrio térmico; luego se observa que a lo largo de la gráfica se tiene un comportamiento en forma de ondas donde los picos positivos representan el cierre de la válvula de vapor y los picos negativos representan la apertura de la válvula; para finalizar se observa una mayor pendiente negativa, la cual, representa la etapa de extracción del proceso y los escalones las etapas de duchado.

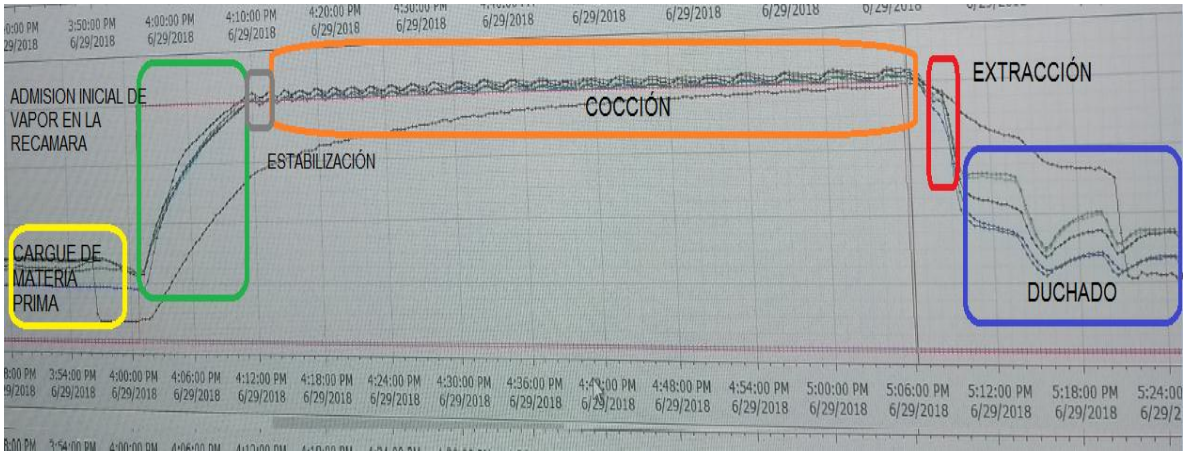


Ilustración 6 (Etapas del proceso para producto final)

Fuente: Elaboración propia (2018). Información suministrada por SCADA CARNICOS.

Luego de analizar las gráficas para determinar los tiempos de apertura de la válvula de vapor con el ahumadero cargado en su totalidad, se procedió a analizar los tiempos de apertura de la válvula con el ahumadero cargado incompletamente; para determinar los tiempos de apertura de la válvula se realizó el mismo procedimiento en el análisis de las gráficas del ahumadero cargado completamente; la diferencia en los tiempos de apertura de la válvula se

presentaba en todas las etapas del proceso como se puede observar en la ilustración # 6; en la etapa de admisión inicial de vapor en la recamara se observa una mayor pendiente esto debido a que el tiempo de apertura es menor para alcanzar la temperatura del set-point, en la etapa de estabilización se observa una línea con una menor pendiente esto debido a que el ahumadero tarda un poco más en lograr el equilibrio térmico entre la recamara y el producto, en la etapa de cocción se observa una mayor amplitud y menor número de repeticiones en la apertura de la válvula del vapor este fenómeno es producido debido a que ahí menor masa dentro del equipo; para finalizar en las últimas dos etapas (extracción y duchado) se observa el mismo comportamiento que con el ahumadero cargado completamente. Los datos de los tiempos promedio de la apertura y cierre de la válvula se presentan en la tabla # 4.

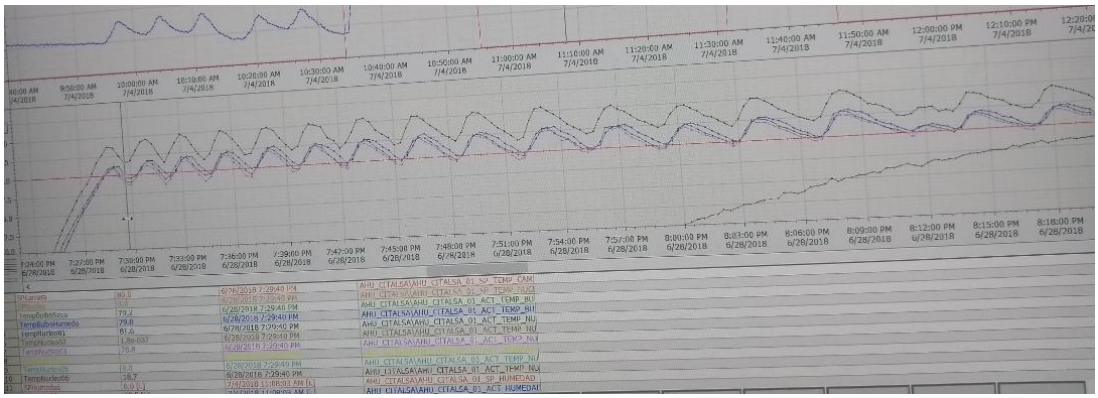


Ilustración 7 (Grafica de proceso Cerveroni 1200 con ahumadero cargado incompletamente)

Fuente: Elaboración propia (2018). Información suministrada por SCADA CARNICOS

TIEMPO DE APERTURA Y CIERRE DE LA VÁLVULA DE VAPOR DURANTE EL PROCESO DE COCCIÓN CON CARGUE INCOMPLETO			
NOMBRE DE LA REFERENCIA	**TIEMPO DE APERTURA AL INICIO DEL PROCESO**	**TIEMPO DE CIERRE Y APERTURA DE LA VÁLVULA**	**TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN**
Cerveroni 1200	11 minutos	2 minutos	3 minutos
Cerveroni 900	11minutos	2 minutos	3 minutos
Ranchero 480	11 minutos	2 minutos	3 minutos
Cunit 1000	11 minutos	2 minutos	4 minutos
Cunit 700	11minutos	2 minutos	4 minutos

Tabla 4 (Tiempos de apertura y cierre de la válvula de vapor durante el proceso de cocción con cargue incompleto)

Fuente: Elaboración propia (2018). Datos suministrados por SCADA CARNICOS

9. ANÁLISIS Y CÁLCULOS

Teniendo en cuenta que el ahumadero es un horno fabricado para la cocción de alimentos en masa es importante resaltar que este se encuentra fabricado en acero inoxidable A -304, además las paredes del mismo se encuentran aisladas para así conservar el calor dentro del equipo y mejorar su eficiencia durante las etapas de cocción y secado; el equipo tiene las siguientes dimensiones 1,40m de ancho, 2,61m de alto y 7,2m de largo; en busca de garantizar la inocuidad del proceso, el producto es colgado en varillas de acero inoxidable A- 304 de 0,98m de largo en carros del mismo material; el cual pesa 115 Kg sin carga y cuyas dimensiones son 1,90m de alto y 1m de ancho.

Para llevar a cabo el desarrollo de la problemática se implementó el uso de la primera ley de la termodinámica para sistemas cerrados y abiertos; donde se analizó el sistema de acuerdo al estado de la válvula de entrada de vapor, es decir abierta o cerrada, haciendo énfasis que el sistema a analizar está conformado por el producto, los carros y el vapor.

Para esto se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ *SISTEMA ABIERTO:*
  - El sistema se analiza como abierto cuando la válvula de vapor está abierta, es decir permite el paso de vapor hacia el ahumadero.
  - El sistema se estudia en estado transitorio es decir, las propiedades del sistema varían con el tiempo.
  - El flujo en el sistema es uniforme.
  - El sistema se encuentra aislado, es decir no intercambia energía con sus alrededores.
  - La energía potencial y cinética se desprecian puesto que los cambios en la altura y velocidad son insignificantes dentro del sistema.

- ✓ *SISTEMA CERRADO:*
  - El sistema se considera cerrado cuando la válvula de vapor está cerrada, es decir no permite el paso de vapor hacia el ahumadero
  - El sistema se modela en estado estacionario es decir, el volumen y la masa permanecen constantes dentro del sistema.
  - El sistema se encuentra aislado, es decir no intercambia energía con sus alrededores.
  - La energía potencial y cinética se desprecian puesto que los cambios en la altura y velocidad son insignificantes dentro del sistema.

En primera instancia se realizó el análisis cuando el equipo se encontraba cargado en su totalidad y de acuerdo con las anteriores consideraciones, cuando el sistema se encuentra en estado abierto el balance de energía está dado por:

$$\boldsymbol{Eentrada - Esalida = \Delta Esitema}$$

Ecuación 1

Dónde:

E entrada= Energía de entrada al sistema

E salida= Energía de salida del sistema

ΔE sistema= Cambio de la energía del sistema

Luego la representación más detallada para el flujo de energía dentro del sistema está dada por:

$$(Qe + We + \Sigma \mathrm{m}\theta \mathrm{e}) - (Qs + Ws + \Sigma \mathrm{m}\theta s) = (m2e2 - m1e1)_{\text{Sistema}}$$

Ecuación 2

Dónde:

Q_e = Calor de entrada

Q_s = Calor de salida

W_e =Trabajo de entrada

W_s = Trabajo de salida

m= Masa

$\boldsymbol{\theta}$= h+ e_c + e_p

e= u+ e_c + e_p

h= Entalpia

u= Energía interna

e_c = Energía cinética

e_p = Energía potencial

Como se afirmó en las suposiciones la energía potencial y cineteca son despreciables, por lo tanto, la ecuación 2 se reduce a lo siguiente:

$$(Qe + We + \Sigma \mathrm{m}he) - (Qs + Ws + \Sigma \mathrm{m}hs) = (m2u2 - m1u1)_{\text{Sistema}}$$

Ecuación 3 (Balance de energía para volumen de control; tomado de "Yanus A. Cengel. Michael A. Boles. Termodinámica séptima edición. Capítulo 5, pág. 247)

Como se observa la ecuación 3 está conformada por ocho términos de los cuales unos son 0; estos son: el calor de entrada, el calor de salida, el trabajo de salida y la masa de salida. El calor de entrada se considera 0 porque el sistema no está siendo sometido a un calentamiento por parte del quemador del equipo, además no hay calor de salida porque como se mencionó en las suposiciones, el sistema se encuentra aislado y no intercambia energía con sus alrededores; el trabajo de salida es 0 puesto que el sistema no genera ninguna clase de trabajo y la masa de salida es 0 porque no hay salida de masa del sistema. Basados en lo anterior se obtiene la siguiente ecuación:

$$(We + \Sigma \mathrm{m}he) = (m2u2 - m1u1)_{\text{Sistema}}$$

Ecuación 4

Ahora la parte derecha de la ecuación 4 se puede escribir de la siguiente manera, teniendo en cuenta que el sistema está compuesto por el producto, los carros y el vapor como se mencionó anteriormente:

$$(m2u2 - m1u1)sistema = \Delta Up + \Delta Uc + (m2u2 - m1u1)_{\text{Vapor}}$$

Ecuación 5

Dónde:

ΔUp= Cambio en la energía interna del producto

ΔUc= Cambio en la energía interna del carro

$(m2u2 - m1u1)vapor$= Cambio en la energía interna del vapor

Los cambios de la energía interna del producto y los carros se pueden determinar mediante la siguiente expresión:

$$\Delta U = m * Cp * \Delta T$$

Ecuación 6

Donde “m” es la masa, “Cp” es el calor específico de la sustancia que se esté analizando y “ΔT” es el cambio de la temperatura en la sustancia.

Ahora al sustituir la ecuación 5 en la ecuación 4 se tiene lo siguiente:

$$(We + \Sigma mhe) = \Delta Up + \Delta Uc + (m2u2 - m1u1)_{\text{Vapor}}$$

Ecuación 7

Si se detalla la ecuación 7 se puede identificar que en primera instancia en el sistema no hay vapor, por lo tanto la masa de vapor que entra al sistema es igual a la masa final de vapor dentro del sistema; por lo tanto la ecuación 6 se reduce a:

$$(We + mhe) = \Delta Up + \Delta Uc + mu2$$

Ecuación 8

Donde “m” es la masa de vapor que ingresa al sistema y es la necesaria para realizar el proceso de cocción del producto; luego como la variable que se necesita conocer del sistema es la masa de vapor que ingresa en el mismo; de la ecuación 8 se obtiene:

$$m(he - u2) = \Delta Up + \Delta Uc - We$$

Ecuación 9

Ahora si se observa detenidamente la ecuación 8, los términos de la parte derecha se pueden obtener por los datos recopilados durante el proceso de estudio, así como el valor de la entalpia de entrada del vapor; luego los valores de la masa y la energía interna dos se pueden obtener expresando la masa en función del volumen "V" y el volumen especifico "v", por lo tanto la ecuación 9 se puede denotar de la siguiente manera:

$$\frac{V}{v}(he - u2) = \Delta Up + \Delta Uc - We$$

Ecuación 10

A partir de la ecuación 10 el valor de la masa se puede modelar en función del volumen específico por lo tanto este valor se puede escribir de la siguiente forma:

$$v = \frac{V(he - u2)}{\Delta Up + \Delta Uc - We}$$

Ecuación 11

Ahora se sabe que la masa de vapor entra al sistema en estado recalentado a una presión de 40 psi y 135°C y que una parte de esta energía se transfiere al producto y a los carros y otra se condensa a una temperatura de 82°C; por lo tanto el volumen especifico y la energía interna dos se puede escribir de la siguiente manera:

$$vf + Xvfg = \frac{V\big(he - (uf + Xufg)\big)}{\Delta Up + \Delta Uc - We}$$

Ecuación 12

Donde "X" es la calidad del vapor a 82°C, así como los valores de la energía interna y el volumen especifico a esta temperatura; ahora si se sustituyen los valores del volumen; entalpia; trabajo de entrada, el cual, es suministrado por los ventiladores y el cambio de la energía interna del producto y los carros, es posible determinar el valor de la calidad del vapor, para así conocer los valores del

volumen especifico y la energía interna y de esta manera determinar la masa de vapor inicial para el sistema.

Debido a que las referencias no manejan la misma composición en sus ingredientes el valor de la masa de vapor inicial no es igual; sin embargo algunos términos de la ecuación 12 como la entalpia de entrada del vapor, el volumen del equipo y el trabajo suministrado por los ventiladores, son constantes para todas las referencias; los valores de estas contantes se presentan en la tabla #5.

VALORES CONSTANTES PARA LOS PROCESOS DE COCCIÓN EN TODAS LAS REFERENCIAS				
VOLUMEN DEL EQUIPO (M^3)	**ENTALPIA DE ENTRADA DEL VAPOR (KJ/KG)**	**TRABAJO SUMINISTRADO POR LOS VENTILADORES (KJ)**	**V_F A 82°C (M^3/KG)**	**V_{FG} A 82°C (M^3/KG)**
26,31	2730,58	12885,696	0,0010302	3,172590

Tabla 5 (Valores constantes para los procesos de cocción en todas las referencias).

Fuente: Elaboración propia (2018)

La entalpia de entrada del vapor es constante, puesto que, los parámetros de la presión y temperatura es la misma para todas las referencias (40psi y 135°C); los valores del volumen saturado se consideran constantes porque es una propiedad del vapor a la temperatura de 82°C; los valores para las propiedades del vapor fueron tomados de las tablas del libro termodinámica séptima edición de Yanus A. Cengel y Michael A. Boles; y el trabajo es constante puesto que los ventiladores trabajan el mismo intervalo de tiempo (12 minutos), en todas las referencias.

Luego de identificados los valores constantes en la ecuación 12 se procede a calcular los valores de la masa de vapor requerida para la etapa inicial del proceso. Los valores del cambio de la energía interna del producto, el carro, la calidad del vapor, el volumen específico y la energía interna se presentan en la tabla 6. Es importante resaltar que la variación en el cambio de la energía interna del producto se da por la cantidad de masa y la variación de la temperatura alcanzada en la etapa de admisión inicial del proceso; además la variación de la energía interna del carro se da porque la cantidad de varillas en la que se cuelga el producto varía según la referencia; ahora como se observa en la ecuación 11 el volumen especifico depende de las constantes de la tabla 5 y de las variables de la tabla 6, pero en especial al valor de la calidad; por lo tanto, el valor del volumen especifico y la energía interna varían, para cada referencia.

Nota: los valores de la masa del producto, la masa de los carros la cantidad de varillas y las temperaturas alcanzadas en cada una de las etapas del proceso se presentan en los anexos del documento, así como los valores de la potencia de los ventiladores y las dimensiones del equipo.

MASA DE VAPOR REQUERIDA PARA LA ETAPA INICIAL DEL PROCESO						
REFERENCIA	**ΔUp (Kj)**	**ΔUc (Kj)**	**Calidad (X)**	**volumen especifico (m^3/Kg)**	**Energía interna (U_2) (Kj/Kg)**	**Masa de vapor (Kg)**
Ranchero 480	358319,25	32763	0,0373	0,1741916	460,206	151,03
Cerveroni 900	156523,05	30351	0,1263	0,401868	613,832	65,47
Cerveroni 1200	144928,75	27939	0,1388	0,4414426	640,535	59,59
Cunit 700	146714,40	30351	0,1348	0,4287878	631,996	61,36
Cunit 1000	141474,6	25929	0,1444	0,4590794	652,436	57,31

Tabla 6 (Masa de vapor requerida para la etapa inicial del proceso).

Fuente: Elaboración propia (2018)

Ahora como se observa en la tabla 6 la referencia que requiere mayor masa de vapor para la etapa inicial del proceso es el ranchero 480 y la que menos requiere es la del Cunit 1000; luego de calcular la masa necesaria para la etapa inicial del proceso, se procede a analizar el sistema en estado cerrado, para así, identificar sus características y comportamiento en este estado.

El balance de energía para el sistema en estado cerrado está dado por:

$$Eentrada = Esalida$$

Ecuación 13

Ahora la ecuación 13 se puede expresar de una manera más explícita:

$$\Delta Usistema = Q + W$$

Ecuación 14

Como se observa en la ecuación 14 la variación en la energía del sistema es generada por el calor y el trabajo que se suministra, pero como se había dicho en la descripción del funcionamiento del equipo en la etapa de cocción el quemador no se utiliza por lo tanto el calor se hace 0, por lo tanto la variación de la energía en el sistema se da por el trabajo; entonces la ecuación 14 se reduce a:

$$\Delta Usistema = W$$

Ecuación 15

Luego el sistema está compuesto por el producto, el vapor y los carros, entonces la representación del cambio en la energía interna del sistema se representa de la siguiente manera:

$$\Delta Up + \Delta Uc + (m2u2 - m1u1)_{\text{Vapor}} = W$$

Ecuación 16

Ahora si se analizan los términos de la ecuación 16 se observa que la variación de la energía interna del producto y los carros, se da por el cambio de temperatura en cada uno de estos elementos; donde el producto experimenta un incremento positivo, ya que, su temperatura interna aumenta; mientras que los carros experimentan una perdida, porque su temperatura interna disminuye de 82°C a 78°C; además si se observa la masa de vapor permanece constante puesto que no hay entrada ni salida del sistema; luego la ecuación 16 se puede expresar de la siguiente forma:

$$\Delta Up + \Delta Uc + m(u2 - u1)_{\text{Vapor}} = W$$

Ecuación 17

Como se observa en la ecuación 17, el cambio en la energía del vapor se produce por la variación de la energía interna del mismo, luego, de los términos de la ecuación 17 el único que se desconoce es la energía interna del estado dos del vapor "$\boldsymbol{u2}$", porque la energía interna inicial del vapor "$\boldsymbol{u1}$", es igual a la energía interna 2 "$\boldsymbol{u2}$" del estado anterior, es decir cuando la válvula se encontraba

abierta; además la masa de vapor, es la calculada para la etapa inicial del proceso. Basados en lo anterior y despejando "$\boldsymbol{u2}$" se tiene:

$$u2 = \frac{W - \Delta Up - \Delta Uc}{m} + u1$$

Ecuación 18

En la tabla 7 se presentan los valores de la energía interna del vapor en el estado dos, para cada una de las referencias para la etapa de estabilización del proceso; como se observa el comportamiento de la energía interna e casi constante para las referencias del Cerveroni y del Cunit, mientras que para el ranchero 480 si presenta una variación un poco más significativa, la cual es generada por la masa de vapor inicial que ingresa al proceso.

VALORES DE ENERGÍA INTERNA PARA LA ETAPA DE ESTABILIZACIÓN DEL PROCESO DE COCCIÓN	
REFERENCIA	**Energía interna del vapor (Kj/Kg)**
Ranchero 480	426,4912914
Cerveroni 900	578,2163464
Cerveroni 1200	589,2687143
Cunit 700	542,3904481
Cunit 1000	551,8930243

Tabla 7 (Valores de energía interna para la etapa de estabilización del proceso de cocción).

Fuente: Elaboración propia (2018)

Después de haber calculado la masa de vapor inicial en el proceso y el comportamiento del sistema en la etapa de estabilización, se procede a analizar la etapa de cocción, donde se identifica, que aunque los tiempos de apertura y cierre de la válvula de vapor son iguales para todas las referencias, así como la variación de la temperatura de los carros y el trabajo suministrado por los ventiladores, la

variación en la temperatura interna del producto no es la misma, esto se debe principalmente por la composición e ingredientes que posee cada referencia.

Por otra parte, se pudo identificar que para todas las referencias en los primeros diez minutos de la etapa de cocción, el producto va ganando una mayor temperatura, tanto en las aperturas como en los cierres de la válvula, pasados los diez minutos el producto se estabiliza ganando la misma proporción de temperatura en los cierres y aperturas de la válvula hasta finalizar el proceso alcanzando la temperatura interna que establece el departamento de calidad de la compañía; en la tabla 8 se presentan los valores promedio de la temperatura ganada para la etapa de cocción en cada una de las referencias.

TEMPERATURA PROMEDIO GANADA POR EL PRODUCTO DURANTE LA ETAPA DE COCCIÓN				
REFERENCIA	**Temperatura ganada en las aperturas durante los primeros diez minutos (°C)**	**Temperatura ganada en los cierres durante los primeros diez minutos (°C)**	**Temperatura ganada en las aperturas hasta finalizar el proceso (°C)**	**Temperatura ganada en los cierres hasta finalizar el proceso(°C)**
Ranchero 480	1,12 - 1,13	1,01 - 1,03	0,2 - 0,4	0,4 - 0,6
Cerveroni 900	1,4 – 1,6	0,8 - 1	0,8 – 0,9	0,5 – 0,6
Cerveroni 1200	1,4 – 1,6	0,8 - 1	0,8 – 0,9	0,5 – 0,6
Cunit 700	2 – 2,1	1,5 - 1,6	0,9 - 1	0,5 -0,6
Cunit 1000	2 – 2,1	1,5 - 1,6	0,9 - 1	0,5 -0,6

Tabla 8 (Temperatura promedio ganada por el producto durante la etapa de cocción).

Fuente: Elaboración propia (2018)

De acuerdo a los análisis efectuados en las etapas de admisión inicial de vapor y de estabilización del sistema, se identifica que para la etapa de cocción el análisis matemático para el balance de energía del sistema, se comporta de manera similar al de las dos etapas anteriores, ahora se explicara el modelo matemático para todas las aperturas de la válvula durante la etapa de cocción; partiendo de la ecuación 7, se tiene:

$$(We + \Sigma \mathrm{m} he) = \Delta Up + \Delta Uc + (m2u2 - m1u1)_{\text{Vapor}}$$

Ecuación 19

Ahora como se había dicho anteriormente, en la etapa de admisión inicial de vapor, la masa de vapor que entraba al sistema era igual a la masa final de vapor dentro del sistema, esto debido a que en el ahumadero no había vapor en primera instancia; ahora para la etapa de cocción siempre se tendrá una masa inicial de vapor con cierta cantidad de energía, es por esto, que la masa final del vapor dentro del sistema será igual a:

$$m2 = me + m1$$

Ecuación 20

Donde "$m2$" representa la masa final del vapor para ese instante en el sistema, "me" es la cantidad de masa de vapor que ingresa en el sistema y "$m1$" es la cantidad de masa de vapor que había inicialmente en el sistema. Sustituyendo la ecuación 20 en la ecuación 19 se tiene:

$$(We + \mathrm{me} he) = \Delta Up + \Delta Uc + [\big((me + m1) * u2\big) - m1u1]_{\text{Vapor}}$$

Ecuación 21

Si se observan los términos de la ecuación 21 todos se conocen a excepción de la masa de entrada de vapor al sistema, luego como esta es la variable de interés se despeja de la ecuación 21 y se tiene:

$$me = \frac{\Delta Up + \Delta Uc + m1(u2 - u1) - We}{he - u2}$$

Ecuación 22

Ahora si analiza la ecuación 22, se identifica que para la etapa de cocción todos los términos a excepción de la masa inicial del vapor y la energía interna en el estado inicial del vapor van a tener un comportamiento constante; esto se da porque la masa del producto se mantiene igual debido a que el empaque es impermeable, es decir no permite la entrada ni salida de agua del producto, además los cambios de temperatura a lo largo de la etapa son iguales como se muestra en la tabla 8; por otra parte la variación de temperatura de los carros es la misma porque suben de 78°C a 82°C; además el trabajo de los ventiladores es el mismo porque trabajan la misma cantidad de tiempo en toda la etapa y para finalizar los valores de la entalpia de entrada y de energía interna del estado dos son constantes, puesto que son las propiedades del vapor a las condiciones dadas por el proceso.

Luego si se continua con el análisis de la ecuación 21, los valores de la masa inicial de vapor dentro del sistema así como el valor de la energía interna, se obtienen de la etapa o estado anterior del proceso, es decir, el valor de la energía interna inicial "$u1$" será igual a la energía interna final del estado anterior "$u2$"; así como la masa inicial será igual a la masa que había dentro del sistema sumada a la masa de vapor que ingreso en la etapa anterior. Es por esto que el aumento de la energía interna del vapor se presenta en los cierres de la válvula y se modelan bajo la ecuación 18.

De acuerdo con lo anterior se puede decir que, la cantidad de vapor que ingresa al sistema para llevar acabo la cocción total del producto y cumplir con los requerimientos de las propiedades organolépticas del mismo, para que así, sea

aceptado por el departamento de calidad de la compañía, será igual, a la cantidad de masa de vapor que ingresa en la etapa inicial del proceso sumada a la masa de vapor que ingresa en la etapa de cocción. En la tabla 9 se presentan los resultados de la cantidad de masa de vapor que se requiere para cada referencia, así como la energía interna final del vapor dentro del sistema.

MASA TOTAL Y ENERGÍA INTERNA FINAL DEL VAPOR PARA EL PROCESO DE COCCIÓN		
REFERENCIA	**MASA TOTAL DE VAPOR PARA EL PROCESO (KG)**	**ENERGÍA INTERNA FINAL DEL VAPOR (KJ/KG)**
Ranchero 480	255,61	463,08
Cerveroni 900	189,60	609,95
Cerveroni 1200	189,25	635,64
Cunit 700	171,51	653,00
Cunit 1000	167,90	672,40

Tabla 9 (Masa total de vapor para la cocción total del producto con seis carros)

Fuente: Elaboración propia (2018)

Después de haber ejecutado el análisis para el ahumadero cargado completamente y determinar la cantidad de vapor necesaria para cada referencia, se procede a calcular la masa de vapor necesaria cuando el ahumadero es cargado de manera parcial o incompletamente, es decir con una cantidad menor a seis carros.

Para determinar la cantidad de vapor necesaria cuando el equipo es cargado de manera incompleta, se realiza el balance de energía para el sistema, donde se determina que para todas las etapas de cocción del proceso el modelo matemático es el mismo que cuando está cargado en su totalidad; basados en lo

anterior y en los datos suministrados en la tabla 4, se determina la cantidad de vapor que ingresa al sistema en la etapa de admisión inicial cuando el equipo es cargado con cuatro y cinco carros. Los resultados de la masa de vapor para esta etapa se presentan en las tablas 10 y 11 respectivamente.

MASA DE VAPOR EN LA ETAPA INICIAL CON CUATRO CARROS DENTRO DEL AHUMADERO	
REFERENCIA	**MASA DE VAPOR (Kg)**
Ranchero 480	101,49
Cerveroni 900	57,60
Cerveroni 1200	58,53
Cunit 700	59,21
Cunit 1000	47,60

Tabla 10 (Masa de vapor en la etapa inicial con cuatro carros dentro del ahumadero)

Fuente: Elaboración propia (2018).

MASA DE VAPOR EN LA ETAPA INICIAL CON CINCO CARROS DENTRO DEL AHUMADERO	
REFERENCIA	**MASA DE VAPOR (Kg)**
Ranchero 480	132,59
Cerveroni 900	72,28
Cerveroni 1200	76,35
Cunit 700	60,42
Cunit 1000	60,70

Tabla 11 (Masa de vapor en la etapa inicial con cinco carros dentro del ahumadero).

Fuente: Elaboración propia (2018).

Como se observa en las tablas 10 y 11 la cantidad de vapor que se requiere para la etapa inicial del proceso es proporcional a la cantidad de masa que haya dentro del sistema, es decir a mayor cantidad de masa dentro del sistema mayor será la cantidad de vapor necesaria para la etapa inicial del proceso; aparte de la masa, un aspecto importante a analizar es la temperatura interna del producto, puesto que, el incremento de temperatura es casi el mismo que con el ahumadero cargado en su totalidad, este fenómeno se presenta porque son características propias del producto a las condiciones dadas por el proceso; además el trabajo suministrado por los ventiladores es menor, porque este va ligado a la cantidad de tiempo que laboran los ventiladores para cada etapa del proceso.

Luego de estudiada la parte de admisión inicial del proceso se analiza el comportamiento del vapor para la etapa de cocción, como se observa en la ilustración 6 y en la tabla 4 los tiempos de apertura y cierre de la válvula del vapor son mayores que con el ahumadero cargado en su totalidad; esto se da porque la temperatura dentro de la cámara tiende a mantenerse más estable debido a que hay una menor cantidad de masa dentro del recinto; por esta razón el consumo de vapor dentro del equipo es menor y sumado a esto la temperatura interna del producto se incrementa de la misma manera que con el equipo cargado en su totalidad; luego en las tablas 12 y 13 se presentan los resultados de la masa total de vapor implementada para la cocción del producto, para así, cumplir con los requerimientos del departamento de calidad de la compañía

MASA DE VAPOR TOTAL PARA LA ETAPA DE COCCION CON CUATRO CARROS	
REFERENCIA	**MASA DE VAPOR (Kg)**
Ranchero 480	124,22
Cerveroni 900	87,20
Cerveroni 1200	84,74
Cunit 700	94,68
Cunit 1000	80,85

Tabla 12 (Masa de vapor total para la etapa de cocción con cuatro carros)

Fuente: Elaboración propia (2018).

MASA DE VAPOR TOTAL PARA LA ETAPA DE COCCION CON CINCO CARROS	
REFERENCIA	**MASA DE VAPOR (Kg)**
Ranchero 480	166,69
Cerveroni 900	114,77
Cerveroni 1200	114,55
Cunit 700	109,76
Cunit 1000	105,85

Tabla 13 (Masa de vapor total para la etapa de cocción con cinco carros).

Fuente: Elaboración propia (2018).

10. ESTIMACIÓN DE COSTOS DEL VAPOR

Después de determinar la cantidad de masa de vapor para el ahumadero cargado de manera total y parcial con el producto, se procede a realizar la estimación del costo del vapor para el proceso, para esto, se parte que el vapor es generado por una caldera piro tubular de 300 BHP marca *Distral de la línea power master*, la cual, necesita de diferentes insumos para la generación de vapor y así abastecer cada uno de los procesos de la las líneas de la planta; los insumos o materias primas que necesita la caldera son: combustible, agua, electricidad, químico para el tratamiento de agua, mantenimiento y operación.

La caldera trabaja en promedio 17 horas por día, además, posee un quemador mixto para trabajar con tres clases de combustibles, los cuales son: Gas natural, ACPM y GLP; donde el combustible de trabajo constante es el gas natural debido a su bajo costo en el mercado; el ACPM y el GLP se tienen como respaldo en caso de que haya un corte o daño en la línea de gas natural. Ahora se sabe que el consumo promedio diario de combustible de la caldera son $1800m^3$ de gas natural; por otra parte en promedio el consumo diario de agua es de $38m^3$ y el consumo de energía eléctrica promedio es 202 KW-h por día.

Ahora conociendo los promedios de consumo diario del equipo y en base a la información suministrada por parte de cada una de las compañías prestadoras de los servicios públicos y del departamento de mantenimiento de la compañía; en la tabla 14 se presentan los costos para los insumos de la generación del vapor; los costos de operación y mantenimiento son subcontratados y tienen un valor de $10’000.000 de pesos mensuales, por lo tanto, este valor se divide en la cantidad de días trabajados para así obtener su costo diario; por otra parte el costo asociado al químico para el tratamiento del agua y conservación del equipo tiene

un costo de $2’220.000 el cual tiene una duración de 60 días por lo tanto el costo diario se obtuvo al dividir el costo total en el número de días.

COSTOS DE LA GENERACIÓN DEL VAPOR		
INSUMO	**COSTO UNITARIO $**	**COSTO TOTAL $/DÍA**
Combustible (Gas natural) (m^3)	1.505,58	2´710.044
Agua (m^3)	5.687,27	216.116,26
Energía eléctrica (KWh)	599,0406	121.006,201
Tratamiento Químico	N/A	37.000
Operación y Mantenimiento	N/A	333.333,333
TOTAL		**3´417.499,794**

Tabla 14 (Costo de la generación del vapor por día)

Fuente: Elaboración propia (2018)

Como se observa en la tabla 14 el costo del insumo más alto es del combustible y el de menor costo es el del tratamiento químico para el agua de la caldera; luego el costo de la generación del vapor se puede modelar bajo la siguiente ecuación:

$$PV = \frac{hc - haa}{PCS * n} * C * 100 + A + Q + E + OM$$

Ecuación 23 (Fórmula para determinar el precio del vapor). Tomada de ebook optimización económica y operativa de sistemas de vapor en la industria)

Donde “PV”es el precio del vapor; "C” precio del combustible consumido en un intervalo de tiempo; hc” es la entalpia del vapor recalentado a la presión de trabajo de la caldera ;” haa” es la entalpia del agua de alimentación de la caldera; “PCS” es el poder calorífico superior del combustible; “n” es la eficiencia de trabajo de la caldera; “A”es el precio del agua, “E” es el costo de la electricidad,” Q” es el costo del tratamiento químico y “OM” es el gasto asociado a operación y mantenimiento.

En la tabla 14 se observa que el costo de la generación del vapor para un día de trabajo en la compañía tiene un valor de $*3´417.499,794;* luego si se quiere conocer el valor del vapor en $/Kg se hace uso de la ecuación 23, para hacer uso de la misma se necesita conocer el valor de cada uno de los términos en las unidades de $/Kg; por lo tanto se ha decidido determinar el precio del vapor con base en la capacidad de generación de vapor de la caldera, es por esto que en la ilustración 7 se muestra el diagrama de la capacidad de generación de vapor para calderas piros tubulares. Como se muestra en la imagen la generación de vapor de las calderas depende de dos factores, los cuales son, la presión de operación y la temperatura de alimentación del agua que ingresa a la caldera. A partir de estas dos variables y conociendo que la presión promedio de operación de la caldera es de 120psi y la temperatura del agua de alimentación es de 80°C, se tiene que la caldera genera en promedio 9600 lb/h de vapor.

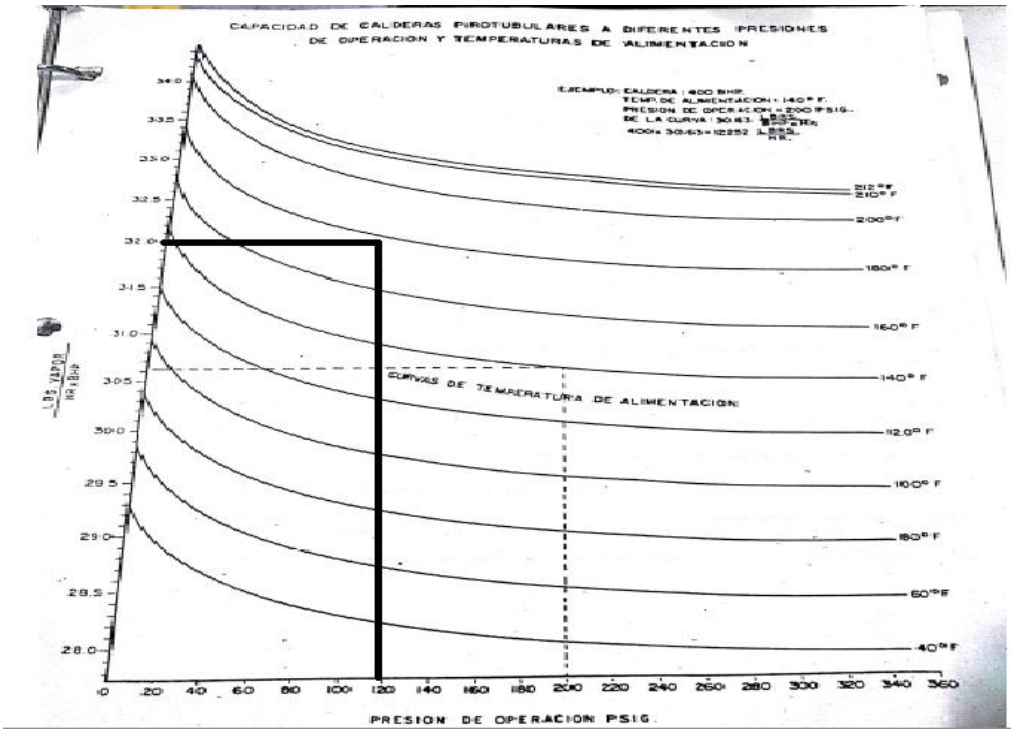


Ilustración 8 (Curvas de cantidad de vapor generado para calderas piro tubulares).

Fuente: Manual para calderas Eduardo Ospina y CIA. S.A.

Ahora si se realiza la conversión de las libras de vapor hora generada por la caldera a kilogramos de vapor hora, se tiene que la generación de vapor es de 4.354,487 Kg/h. Con los datos de la tabla 14 y de las horas de trabajo de la caldera y de la capacidad de generación de vapor durante una hora de trabajo, se puede determinar el costo asociado a cada una de las variables de la ecuación 23; los valores se presentan en la tabla 15.

COSTOS DE GENERACIÓN POR HORA Y LIBRA DE VAPOR		
INSUMO	**$/HORA**	**$/ lb de vapor**
Combustible (Gas natural) (m^3)	159.414.353	1.505,58
Agua (m^3)	12.712,721	1,324
Energía eléctrica (KWh)	7118,015	0,741
Tratamiento Químico	1541,667	0,161
Operación y Mantenimiento	13888,888	1,447
Total	194.675,644	1.509,253

Tabla 15 (Costos de generación por hora y libra de vapor)

Fuente: Elaboración propia (2018).

Ahora el vapor de la caldera sale a una presión de 120 psi y 220°C con estos datos y de acuerdo a las tablas de vapor recalentado la entalpia del vapor para estas características tiene un valor de *2883,7 Kj/Kg*, luego el poder calorífico superior del gas natural tiene un valor de *38627 Kj/Kg;* y suponiendo una eficiencia de la caldera con un valor del *80 %* como se observa en el último análisis de combustión realizado al equipo; luego si se observa la ecuación 23 el único termino que falta por determinar es la entalpia del agua de alimentación de la caldera, y de acuerdo a las tablas de vapor de líquido subenfriado a una temperatura de (80°C) y a presión atmosférica se obtiene que el valor de la entalpia es de *334,99 Kj/Kg.*

Luego al sustituir los costos por lb de vapor que se presentan en la tabla 15, los valores de las entalpias, el poder calorífico del combustible y la eficiencia de la caldera en la ecuación 23; se tiene que el precio del vapor es de *$127,690/ lb de vapor.*

$$PV = \frac{2883{,}7 - 334{,}99}{38627 * 80} * 1.505{,}58 * 100 + 1{,}324 + +0{,}741 + 1{,}447$$

Ahora se conoce la cantidad de masa de vapor requerida para llevar acabo la cocción total de los productos en kilogramos; es por esto que en la tabla 15 se presentan los valores de la masa de vapor para la cocción en "lb" tanto para los cargues completos e incompletos dentro del horno.

MASA DE VAPOR REQUERIDA PARA LA COCCIÓN DE PRODUCTOS EN LB			
REFERENCIA	**Ahumadero cargado completamente (seis carros)**	**Ahumadero cargado incompletamente (cinco carros)**	**Ahumadero cargado incompletamente (cuatro carros)**
Ranchero 480	563,514	367,480	273,860
Cerveroni 900	417,995	253,029	190,874
Cerveroni 1200	417,220	252,538	186,819
Cunit 700	378,109	241,979	182,713
Cunit 1000	370,155	233,349	178,240

Tabla 16 (Masa de vapor requerida para la cocción de productos en libras (lb)).

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 16 la cantidad de masa de vapor requerida para el proceso va de acuerdo a la cantidad de masa que haya dentro del equipo; es por esto, que si se ejecuta el análisis de la relación entre la masa de vapor y la masa de producto, se observa que no se presenta desperdicio del insumo del vapor durante el proceso de cocción del producto, cuando el ahumadero es cargado de manera incompleta; debido a que este presenta un rendimiento equivalente de acuerdo a la carga que haya dentro del mismo, puesto que, cuando el ahumadero es cargado de manera parcial se necesita una menor cantidad de masa de vapor por cantidad de masa de producto; los resultados de la relación de masa de vapor y masa de producto se presentan en las tablas 17,18 y 19.

RELACIÓN DE CONSUMO CON CARGUE COMPLETO					
Referencia	**kg de vapor**	**kg de producto**	**lb de vapor**	**lb de producto**	**Relación de consumo**
Ranchero 480	255,605	2243	563,514	4944,968	0,113957019
Cerveroni 900	189,599	1633	417,995	3600,149	0,116104927
Cerveroni 1200	189,248	1633	417,220	3600,149	0,115889792
Cunit 700	171,507	1476	378,109	3254,023	0,116197398
Cunit 1000	167,89	1476	370,155	3254,023	0,113752916

Tabla 17 (Relación de consumo con cargue completo).

Fuente: Elaboración propia (2018)

RELACIÓN DE CONSUMO CON CARGUE INCOMPLETO 5 CARROS					
Referencia	**kg de vapor**	**kg de producto**	**lb de vapor**	**lb de producto**	**Relación de consumo**
Ranchero 480	166,686	1869	367,479	4120,440	0,089184417
Cerveroni 900	114,772	1361	253,029	3000,491	0,084329314
Cerveroni 1200	114,549	1361	252,538	3000,491	0,084165399
Cunit 700	109,774	1230	242,009	2711,686	0,089246892
Cunit 1000	105,845	1230	233,349	2711,686	0,08605306

Tabla 18 (Relación de consumo con cargue incompleto 5 carros).

Fuente: Elaboración propia (2018).

RELACIÓN DE CONSUMO CON CARGUE INCOMPLETO 4 CARROS					
Referencia	**kg de vapor**	**kg de producto**	**lb de vapor**	**lb de producto**	**relación de consumo**
Ranchero 480	124,220	1495	273,859	3295,911	0,083090543
Cerveroni 900	86,579	1088	190,874	2398,629	0,079576297
Cerveroni 1200	84,740	1088	186,819	2398,629	0,077885767
Cunit 700	97,439	984	214,815	2169,349	0,099023002
Cunit 1000	80,848	984	178,240	2169,349	0,082163065

Tabla 19 (Relación de consumo con cargue incompleto 4 carros)

Fuente: Elaboración propia (2018).

Por otra parte se observa que la relación de consumo entre las referencias seleccionadas presentan gran semejanza, debido a que los compuestos en las materias primas del producto son similares, por lo tanto se confirma que el otro factor determinante durante el proceso de cocción para el consumo del insumo del vapor será la masa de los carros y las varillas que hallan dentro del equipo.

Ahora como se conoce la cantidad de masa de vapor requerida para cada uno de los procesos y el costo de la libra de vapor, se puede determinar el valor del vapor para el proceso; en la tabla 20 se presentan los costos del vapor para el horno cargado de manera total y parcial durante la ejecución de un proceso, es decir, el tiempo implementado durante la cocción total del producto.

COSTO DEL VAPOR PARA LA COCCIÓN DEL PRODUCTO EN $			
REFERENCIA	**Ahumadero cargado completamente (seis carros)**	**Ahumadero cargado incompletamente (cinco carros)**	**Ahumadero cargado incompletamente (cuatro carros)**
Ranchero 480	71.955,086	46.923,395	34.969,058
Cerveroni 900	53.373,782	32.309,321	24.372,707
Cerveroni 1200	53.274,884	32.246,520	23.854,930
Cunit 700	48.280,738	30.898,290	23.330,666
Cunit 1000	47.265,041	29.796,316	22.759,508

Tabla 20 (Costo del vapor para la cocción del producto en pesos colombianos).

Fuente: Elaboración propia (2018).

Al analizar los resultados de la tabla 20 se tiene que el costo del vapor más alto cuando el ahumadero es cargado de manera total o parcial es para la referencia del ranchero 480, esto se presenta debido a la cantidad de masa del producto y la composición de sus ingredientes; por otra parte se puede observar que para las referencias del Cerveroni 900 y 1200 los costos son casi iguales cuando el horno es cargado en su totalidad y de manera parcial, esto se presenta debido a que la composición de la pasta es la misma y lo único que varía es el tamaño de la referencia; por ultimo si se analizan las referencias del Cunit 700 y 1000 se observa que los costos son muy similares, sin embargo la variación que se presenta en los mismos es debido a la cantidad de varillas en la que es colgado el producto; debido a que en la referencia del Cunit 1000 el número de varillas es menor y por ende la masa total del carro disminuye, lo cual genera que se requiera una menor cantidad de masa en el vapor para elevar la temperatura interna del mismo, dichos resultados se pueden observar en la tabla 16.

Por otra parte se observa que el costo del vapor es relativamente bajo para cada una de las referencias, sin embargo los datos de la tabla 20 son para una hora de trabajo en promedio en un solo ahumadero, ahora se sabe que la planta cuenta con cuatro ahumaderos de las mismas características los cuales trabajan alrededor de 14 horas diarias, para así, sostener el volumen de producción de la línea, el cual, oscila entre 18 y 20 tandas diarias de todas las referencias que se manejan en la misma; en la tabla 21 se presenta el cronograma de producción diario promedio trabajado en esta parte de la planta, en este se puede observar la cantidad de tandas para cada referencia y el número de carros cargados con producto.

CRONOGRAMA PROMEDIO DE PRODUCCIÓN DIARIA DE LA LÍNEA DE CERVECEROS		
Referencia	**Numero de Tandas/ Día**	**Numero de Carros Cargados en el Equipo**
Cerveroni 1200	2	16
Cerveroni 900	3	21
Rica 1000	2	12
Rica 700	2	12
Ranchero 480	4	36
Cunit 1000	2	16
Cunit 700	2	14
Tajado	3	18

Tabla 21 (Cronograma promedio de producción diaria de la línea de cerveceros)

Fuente: Elaboración propia (2018). Información suministrada por departamento de producción de Alimentos Cárnicos S.A

Tomando en cuenta lo anterior, se procede a realizar la proyección del costo del vapor con una periodicidad diaria, mensual y anual; para las referencias en las cuales se pueda generar un cargue incompleto dentro del ahumadero; estas son: Cerveroni 1200, Cerveroni 900, Ranchero 480, Cunit 1000 y Cunit 700. Si se analizan los resultados de la tabla 21 en la referencia del Cerveroni 1200 se generarían dos cargues completos y uno incompleto con cuatro carros; en la referencia del Cerveroni 900 se tendrían dos cargues completos y dos incompletos, uno con cinco carros y otro con cuatro carros; para la referencia del Cunit 1000 se tendrían dos cargues completos y uno incompleto con cuatro carros; para la referencia del Cunit 700 se genera un cargue completo y dos incompletos con cuatro carros; para finalizar se observa que para la referencia del Ranchero 480 se generan seis cargues completos.

En la tabla 22 se presenta el costo del vapor con base en lo expuesto, es decir, teniendo en cuenta el número de cargues completos e incompletos para cada referencia, para así, obtener los resultados de los costos con periodicidad diaria, mensual y anual.

PROYECCIÓN DEL COSTO DEL VAPOR			
REFERENCIA	**COSTO DEL VAPOR DIARIO ($)**	**COSTO DEL VAPOR MENSUAL ($)**	**COSTO DEL VAPOR ANUAL ($)**
Ranchero 480	431.730,516	10’361.532,38	124’338.388,6
Cerveroni 900	163.429,592	3’922.310,208	47’067.722,5
Cerveroni 1200	130.404,698	3’129.712,752	37’556.553,02
Cunit 700	94.942,07	2’278.609,68	27’343.316,16
Cunit 1000	117.289,59	28’14.950,16	33’779.401,92
TOTAL	**937.796,466**	**22’507.115,18**	**270’085.382,2**

Tabla 22 (Proyección del costo del vapor en pesos colombianos).

Fuente: Elaboración propia (2018).

Nota: Los datos de la proyección de los costos del vapor se realizaron teniendo en cuenta que la planta de producción trabaja seis días a la semana, veinticuatro días al mes y doscientos ochenta y ocho días al año.

Si se analizan los datos presentados en la tabla 22 se puede observar que el costo del vapor anual para la producción de la línea de cerveceros es de $*270’085.382,2*; donde la referencia del ranchero 480 genera casi la mitad del costo del vapor total anual, con un valor de *$124’338.388,6* y la referencia con menor costo de este insumo es la del Cunit 700 con un valor anual de *$27’343.316,16.*

Por otra parte se puede observar que el costo de este insumo es económico para la compañía, debido a la cantidad de unidades de producto que se generan dentro de los ahumaderos; sin embargo el costo de este insumo se podría reducir en gran manera, mediante la implementación de un sistema que ayude a retornar el condensado que se genera dentro del equipo durante el proceso de cocción; teniendo en cuenta que el equipo cuenta con un sistema de trampeo antes de la válvula de apertura de vapor, mientras que dentro del equipo no se cuenta con ningún sistema que ayude a retornar el condensado al tanque de alimentación de la caldera y además que el condensado del proceso no se encuentra contaminado por el producto, debido a que este cuenta con una tripa que es impermeable, es decir no permite la entrada ni salida de agua del producto.

A continuación se determinará la cantidad de vapor que se condensa durante el proceso de cocción para las 5 referencias; luego como se tiene la cantidad de masa de vapor que ingresa al ahumadero y la energía interna del vapor en su estado final; la calidad final para cada proceso se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$U = Uf + XUfg$$

Ecuación 24

Donde "U" es la energía interna final del vapor en el proceso; "Uf" representa la energía interna de saturación del vapor en liquido saturado a 82°C ; "Ufg" es la diferencia entre la energía interna del vapor saturado a 82°C y la del vapor en liquido saturado a 82°C y "X" es la calidad del vapor en el estado final del proceso. Luego despejando la calidad de la ecuación 24, se tiene:

$$X = \frac{U - Uf}{Ufg}$$

Ecuación 25

En la tabla 23 se presentan los valores de la energía interna final del vapor y la calidad para cada una de las referencias, en los cargues completos e incompletos. Como se puede observar los valores de la energía interna y la calidad varían de acuerdo a la cantidad de masa que haya dentro del sistema, por otra parte se ve que la referencia con menor energía interna es la del ranchero 480, esto se presenta debido a que la pasta del producto adquiere un mayor cambio en su energía interna debido a los componentes e ingredientes de los mismos; además se observa que la energía interna para las otras referencias tiene un comportamiento similar debido a que durante el proceso el cambio en la temperatura interna del producto se aproxima demasiado; ahora si se analizan los resultados de la calidad, se observa que en todas las referencias el mayor valor se presenta cuando el ahumadero es cargado con una menor cantidad de producto, lo cual, indica que el vapor queda con una mayor cantidad de energía en su estado final, es decir la masa de vapor que se condensa en el equipo durante el proceso de cocción queda con una mayor temperatura.

Nota: Los Datos correspondientes a los valores de la energía interna del vapor a 82°C fueron tomados del libro TERMODINAMICA séptima edición de los autores Yanus A. Cengel y Michael A. Boles.

VALOR DE LA CALIDAD FINAL DEL VAPOR						
Referencia	**Energía interna final con cargue completo "U" (Kj)**	**Calidad del vapor con cargue completo a 82°C**	**Energía interna final con cargue incompleto (cinco carros) "U" (Kj)**	**Calidad del vapor con cargue incompleto a 82°C (cinco carros)**	**Energía interna final con cargue incompleto (cuatro carros) "U" (Kj)**	**Calidad del vapor con cargue incompleto (cuatro carros) a 82°C**
Ranchero 480	463,080	0,0559	480,997	0,0643	525,965	0,0853
Cerveroni 900	609,946	0,1245	590,687	0,1155	662,092	0,1489
Cerveroni 1200	635,641	0,1365	576,550	0,1090	652,499	0,1444
Cunit 700	653,004	0,1446	634,007	0,1358	732,339	0,1817
Cunit 1000	672,405	0,1537	634,580	0,1360	720,666	0,1762

Tabla 23 (Valores de calidad y energía interna final para el proceso de cocción).

Fuente: Elaboración propia (2018).

Ahora de acuerdo a los autores *Yanus A. Cengel y Michael A. Boles* la calidad está definida como la razón entre la masa de vapor y la masa total de la mezcla; por lo tanto la expresión aritmética que define la calidad está dada por:

$$X = \frac{Mg}{Mt}$$

Ecuación 26

Donde "Mg" es la masa de vapor y "Mt" es la masa total de la mezcla; luego de la ecuación 26 se conocen los valores de la calidad y la masa total; por lo tanto si se despeja la masa de vapor se tiene:

$$Mg = X * Mt$$

Ecuación 27

Si se sustituyen los valores de la calidad y la masa total para cada una de las referencias cuando el ahumadero es cargado de manera total y de manera parcial la masa de vapor para cada uno de los casos será:

MASA DE VAPOR (lb)			
REFERENCIA	**Cargue completo**	**Cargue incompleto con cinco carros**	**Cargue incompleto con cuatro carros**
Ranchero 480	31,513	23,626	23,360
Cerveroni 900	52,052	29,233	28,419
Cerveroni 1200	56,964	27,508	26,978
Cunit 700	54,690	32,852	33,199
Cunit 1000	56,895	31,744	31,415

Tabla 24 (Masa de vapor en (lb)).

Fuente: Elaboración propia (2018).

Luego se necesita saber la cantidad de vapor que se condensa, entonces la masa total de vapor se define de la siguiente manera:

$$Mt = Mg + Mf$$

Ecuación 28

Donde "Mf" es la masa de vapor en estado de líquido saturado, es decir el condensado de la mezcla; entonces la masa de vapor que se condensa durante el proceso de cocción estará dada por:

$$Mf = Mt - Mg$$

Ecuación 29

Ahora si se sustituyen los valores correspondientes en la ecuación 30 se tiene:

MASA DE VAPOR CONDENSADA EN EL PROCESO DE COCCIÓN (lb)			
Referencia	**Cargue completo**	**Cargue incompleto con cinco carros**	**Cargue incompleto con cuatro carros**
Ranchero 480	532,000	343,854	250,500
Cerveroni 900	365,943	223,796	162,455
Cerveroni 1200	360,256	225,030	159,841
Cunit 700	323,419	209,126	149,514
Cunit 1000	313,260	201,605	146,825

Tabla 25 (Masa de vapor condensada en el proceso de cocción en (lb)).

Fuente: Elaboración propia (2018).

Ahora al realizar el análisis de los resultados presentados en la tabla 25 se observa que más del 80% de la masa de vapor que ingresa al ahumadero se condensa, por lo tanto es de gran importancia recuperar este recurso, puesto que de esta manera se reduciría el consumo de agua, combustible y químico para el tratamiento de agua de la caldera; de acuerdo a la compañía de Spirax Sarco en los sistemas de vapor el mayor desperdicio energético y monetario para las industrias que utilizan este insumo en sus procesos se da en el condensado, puesto que, no se cuenta con sistemas de recuperación de vapor y si se cuenta con los mismos no son muy eficientes.

11. CONCLUSIONES

Gracias al estudio de consumo y comportamiento del vapor en los ahumaderos estáticos Citalsa, se lograron identificar diferentes aspectos que *ayudaron a controlar y mejorar algunas falencias que había dentro del proceso productivo*, para así, elevar el rendimiento en el proceso y adquirir mejores herramientas de control en la línea y en la compañía; esto fue posible mediante la reducción de los cargues incompletos dentro del equipo, puesto que, se redujeron tiempos en el proceso productivo y se ahorraron los insumos de energía eléctrica, agua y horas te trabajo operacional para la generación del producto terminado.

Se calculó teóricamente la cantidad de masa de vapor necesaria en los cargues completos e incompletos para llevar acabo la cocción de los productos en las referencias seleccionadas (Ranchero 480, Cerveroni 900, Cerveroni 1200, Cunit 700 y Cunit 1000); donde se confirma que la cantidad de masa de vapor que ingresa al equipo depende de la masa total y características del producto que haya dentro del ahumadero, por lo tanto no se generan pérdidas en el insumo del vapor durante el proceso de cocción en los cargues incompletos dentro del equipo.

Se determinó que los tiempos para la cocción del producto son constantes, cuando el ahumadero es cargado de manera parcial o total para los parámetros de operación del vapor dentro del equipo, es decir; a una presión de entrada de 40 psi y a una temperatura de 135°C, el producto gana una mayor temperatura interna en la etapa de admisión inicial; luego durante los siguientes 10 minutos del proceso, el producto adquiere una mayor temperatura en este intervalo de tiempo y luego se estabiliza hasta finalizar el proceso. Además se identificó que la temperatura interna que gana el producto

durante el proceso de cocción es la misma cuando el ahumadero es cargado de manera parcial o total debido a los componentes de la pasta del producto; por otra parte se determinó que aunque los tiempos del proceso de cocción son iguales cuando el ahumadero es cargado de manera total o parcial, la relación de consumo de vapor es equivalente a la carga de producto que haya dentro del equipo, por lo tanto no se genera desperdicio de este insumo.

Se estimó el costo del vapor para cada una de las referencias seleccionadas cuando el ahumadero es cargado de manera total o parcial, donde se identificó que el valor más alto de este insumo es para el ranchero 480 y el valor más bajo para el Cunit 700. Por otra parte se analizó que el costo del vapor es muy económico en comparación a las unidades que se producen y se venden gracias al uso de este insumo; teniendo en cuenta que el costo del vapor equivale al 0.4% del valor del producto inicial, donde el costo del producto inicial hace referencia a la materia prima cárnica, condimentos y agua utilizada para la generación de la pasta del producto.

Se analiza que la cantidad de condensado que se genera durante el proceso de cocción, está siendo desperdiciado, ya que, se arroja a los ductos del alcantarillado de la planta, generando un sobrecosto para la compañía, puesto que el condensado tiene que ser tratado en la planta de tratamiento de agua residual.

12. RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos en la investigación del proyecto, se sugiere a la compañía de Alimentos Cárnicos S.A sede Bogotá, implementar un sistema de recuperación del condensado generado durante el proceso de cocción en los ahumaderos estáticos de la marca Citalsa de la línea de cerveceros, con el fin de obtener una reducción en los costos de la generación del vapor para los procesos térmicos de toda la planta; teniendo en cuenta, que el condensado generado en el proceso de cocción es ideal para retornarlo al tanque de alimentación de las calderas, porque:

- Sirve para disminuir el consumo de agua de reposición del equipo, ayudando reducir el costo de agua para la generación del vapor.
- Sirve como precalentamiento al agua que ingresa al tanque de alimentación y posteriormente ser ingresada a la caldera con una temperatura más alta, trayendo consigo una reducción en el consumo de combustible y un aumento en la eficiencia de operación del equipo.
- Ayuda a reducir el impacto al medio ambiente, puesto que, reduce el consumo de los insumos para la generación del vapor.

Además se sugiere seguir con la implementación de la combinación de los cargues en el ahumadero para las referencias (Cerveroni 900 y Cerveroni 1200; Cunit 700 y Cunit 1000) cuando este es cargado de manera parcial, teniendo en cuenta que el aumento de la temperatura interna del producto y el tiempo de cocción es el mismo; y lo único que varía es el tamaño de las referencias, para así continuar con la reducción de tiempos, costos durante el proceso productivo y ser más amigables con el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- ANGULO, Oscar. Análisis del impacto en la producción de embutidos ante la inclusión de un proceso de cocción automatizado. Disponible en internet, (http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13102/1/T-ESPEL-EMI-0327.pdf)
- CENGEL Yanus A. BOLES Michael A. Termodinámica, Séptima edición. México, MC Graw Hill, 2012; ISBN 978-607-15-0743-3.
- CENGEL Yanus A. Transferencia de Calor y Masa, Tercera edición. México, MC Graw Hill, 2007, ISBN-13: 978-970-10-6173-2.
- CIA. General de aceros S.A. Aceros Inoxidables Austeníticos. Disponible en internet (http://www.cga.com.co/images/document/ficha-304-304L.pdf)
- CITALSA, equipos de servicio y calidad. Manual técnico Horno automático a Gas. Última actualización Marzo 2007.
- COLINA, Johana; GUERRA, Marisa. Obtención y evaluación de arroz integral de cocción rápida. Disponible en internet, (http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33913147010)
- DELGADO, Yuniel; JIMÉNEZ, Reinier; Lapido, Margarita. Eficiencia energética en el uso del vapor para la cocción de alimentos. Disponible en internet, (http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47849964003)
- ICONTEC, Norma técnica Colombiana NTC 1325. Industrias Alimentarias de Alimentos Cárnicos Procesados no Enlatados. Disponible en internet, (https://es.slideshare.net/jamesdays/ntc1325-9772139).
- LUGO-Leyte, R.; SALAZAR-Pereyra, M.; RUÍZ-Ramírez, O. A.; ZAMORA-Mata, J. M.; TORRES-González, E. V. Análisis de costos de operación exergo económicos a un ciclo teórico de refrigeración por compresión de vapor usando hfc-134ª. Disponible en internet, (http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62030721016)

- M.V. Carlos A. Garriz. Calidad organoléptica de la carne vacuna, influencia de factores Biológicos y Tecnológicos. Disponible en internet. (http://www.produccionanimal.com.ar/informacion_tecnica/carne_y_subproductos/14-calidad_organoleptica_de_la_carne_vacuna.pdf)
- PLAZA, Emileny. Estudio de actualización de mermas de producto para mejorar la rentabilidad de alimentos Lacali S.A. Disponible en internet, (http://red.uao.edu.co/bitstream/10614/5215/1/TID01599.pdf.)
- RAMIREZ, Hernán. Actualización de inventario del ahumadero continúo Atmos. Disponible en internet (http://repositoriodspace.itm.edu.co/jspui/bitstream/itm/124/1/Actualizacion_Inventario_Ahumadero_Ramirez_2015.pdf.)
- RESTREPO, Álvaro; BURBANO, Juan; SALGADO, Álvaro. Caracterización y posibilidades de ahorro energético en generación de vapor - estudio de caso. Disponible en internet, (http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84911707015.)
- RODRÍGUEZ, Eduardo; BASTIDAS, Patricia. Evaluación del proceso de cocción para obtener un confite duro a partir de pulpa de araza (Eugenia stipitata). Disponible en internet, (http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64311752006.)
- SCADA, Supervisión y Control de adquisición de datos, Alimentos cárnicos sede Bogotá.
- SPIRAX SARCO first fort steam solutions .Optimización Económica y Operativa de Sistemas de Vapor en la Industria. Ebook Optimización Económica y Operativa de Sistemas de Vapor en la Industria, PDF.
- TORRES, Adriana. Generalidades de los productos cárnicos (embutidos).Disponible en internet, (http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42187/K%2064737%20adriana%20nohemy%20torres%20g%C3%A0mez.pdf?sequence=1)

13. ANEXOS

DATOS DEL PRODUCTO		
REFERENCIA	**MASA DEL PRODUCTO CUANDO ES CARGADO EN SU TOTALIDAD (Kg)**	**CALOR ESPECIFICO (Kj/Kg*K)**
Ranchero 480	2243	3,55
Cerveroni 900	1633	
Cerveroni 1200	1633	
Cunit 700	1476	
Cunit 1000	1476	

DATOS DEL CARRO			
COMPONENTE	**MASA DEL (Kg)**	**CALOR ESPECIFICO (Kj/Kg*K)**	**MATERIAL**
CARRO	115	0,5	Acero inoxidable A-304
VARILLA	1		

Nota: el valor del calor específico del material del carro fue tomado de ficha técnica del mismo provisionada por la compañía nacional de aceros.

DIMENSIONES DEL AHUMADERO (m)			
ANCHO	**ALTO**	**LARGO**	**VOLUMEN (m^3)**
1,4	2,61	7,2	26,3088

VENTILADORES	
N° VENTILAODORES	**POTENCIA C/U (KW)**
6	2,9828

VALORES PROMEDIO DE VARIACIONES ΔT PRODUCTO					
REFERENCIA	**Apertura inicial (°C)**	**Cierre primeras etapas (°C)**	**Apertura primeras etapas (°C)**	**Cierres etapas posteriores (°C)**	**Apertura etapas posteriores (°C)**
Ranchero 480	50 - 51	0,9 – 0,1	1,2 - 1,3	0,1 – 0,3	0,3 - 0,5
Cerveroni 900	45 - 47	1,2 - 1,3	1,8 – 1,9	0,7 – 0,8	1 – 1,0
Cerveroni 1200	45 - 47	1,2 - 1,3	1,8 – 1,9	0,7 – 0,8	1 – 1,0
Cunit 700	42 - 45	2 – 2,1	2,5 – 2,6	0,8 – 0,9	1 – 1,1
Cunit 1000	42 - 45	2 – 2,1	2,5 – 2,6	0,8 – 0,9	1 – 1,1

CANTIDAD DE VARILLAS POR CARRO	
REFERENCIA	**NUMERO DE VARILLAS**
Ranchero 480	48
Cerveroni 900	36
Cerveroni 1200	24
Cunit 700	36
Cunit 1000	14