



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA TÉRMICA DE UN SISTEMA DE COCCIÓN
POR MEDIO DEL AISLAMIENTO TÉRMICO DE UN BOMBO ROTATORIO**

Julio Roberto Fernández Castellanos

Asesorado por el Ing. Marco Tulio Green Olmendo

Guatemala, marzo del 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA TÉRMICA DE UN SISTEMA DE COCCIÓN
POR MEDIO DEL AISLAMIENTO TÉRMICO DE UN BOMBO ROTATORIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JULIO ROBERTO FERNANDEZ CASTELLANOS
ASESORADO POR EL ING. MARCO TULIO GREEN OLMEDO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, MARZO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Williams Alvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Gramajo Narciso
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA TÉRMICA DE UN SISTEMA DE COCCIÓN
POR MEDIO DEL AISLAMIENTO TÉRMICO DE UN BOMBO ROTATORIO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería
Química, con fecha diciembre de 2009.


Julio Roberto Fernández Castellanos

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



Guatemala, 24 de julio de 2007

FACULTAD DE INGENIERÍA

Ingeniero
Willians Guillermo Álvarez
Director de Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero:

Le saludo cordialmente, el motivo de la presente es para informarle que he revisado y aceptado el informe final de Julio Roberto Fernández Castellanos, con carne universitario No. 2005-11750. Con el tema de tesis “ MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA TERMICA DE UN SISTEMA DE COCCIÓN POR MEDIO DEL AISLAMIENTO TÉRMICO DE UN BOMBO ROTATORIO”.

Sin otro particular me suscribo de usted.

A handwritten signature in black ink, enclosed in a large, loopy oval shape. Below the signature, the word "Atentamente" is printed in a small, sans-serif font.

Atentamente

Ingeniero Químico Marco Green
No. De colegiado 1135



Guatemala, 25 de Octubre de 2011
Ref.EIQ.TG.221.2011

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el **Acta TG- 166-2011-B-IF** le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERO QUÍMICO al estudiante universitario, **Julio Roberto Fernández Castellanos**, identificado con carné No. **2005-11750**, titulado: "**MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA TÉRMICA DE UN SISTEMA DE COCCIÓN POR MEDIO DE AISLAMIENTO TÉRMICO DE UN BOMBO ROTATORIO**", el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Químico Marco Tulio Green Olmedo

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice al estudiante **FERNANDEZ CASTELLANOS** proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAR A TODOS"

Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.
COORDINADORA

Tribunal que revisó el informe final
Del trabajo de graduación



C.c.: archivo



El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **JULIO ROBERTO FERNÁNDEZ CASTELLANOS** titulado: "**MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA TÉRMICA DE UN SISTEMA DE COCCIÓN POR MEDIO DEL AISLAMIENTO TÉRMICO DE UN BOMBO ROTATORIO**". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.


Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía, C. S. C.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, marzo de 2012

Cc: Archivo
WGAM/ale

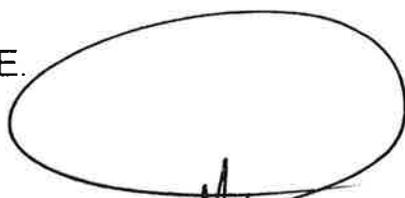


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.119.2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA TÉRMICA DE UN SISTEMA DE COCCIÓN POR MEDIO DEL AISLAMIENTO TÉRMICO DE UN BOMBO ROTATORIO**, presentado por el estudiante universitario **Julio Roberto Fernández Castellanos**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, marzo de 2012



/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Que me dio la oportunidad de llegar al día de hoy y cumplir una de mis metas, también la sabiduría, inteligencia y paciencia necesaria para poder alcanzar poco a poco cada uno de mis sueños.
- A mi madre** Arabella Castellanos por creer y confiar en mí.
- A mi abuelo y abuela** Oscar Castellanos y Aura Nájera que me apoyaron tanto durante todo este tiempo, sin ustedes no lo hubiera logrado.

AGRADECIMIENTOS A:

- Mi madre** Arabella Castellanos por darme la vida y todo su amor, por ser ese apoyo incondicional a lo largo de todo este tiempo.
- Mi familia** A mi papá Oscar Castellanos por su sacrificio y esfuerzo para que yo lograra esta meta, a mi abuela Aura Nájera por su apoyo y cuidados. A mis hermanos por estar conmigo siempre.
- Mis amigos** A mi grupo de estudio: Priscilla Paz, por estar siempre conmigo apoyando en todo y tenderme la mano cuando más lo necesitaba, por ser una amiga sincera. Aldo de Cruz, por su ánimo y buenos consejos. Oscar Ayapan, por su apoyo. Danilo Castillo, Renato Madrid, Juan José Cuellar, Mario Escobar y todos los que estuvieron conmigo y compartimos muchos momentos inolvidables.
- Kellogg CASA** Por el apoyo y la confianza para poder desarrollar este proyecto. En especial al ingeniero Marco Green por su tiempo y consejos.
- Catedráticos** Por compartir conmigo y mis compañeros su tiempo y dedicación para compartir sus conocimientos y experiencias.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. ANTECEDENTES.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Eficiencia térmica.....	3
2.2. Aislante térmico.....	3
2.2.1. Importancia del aislante térmico.....	4
2.3. Materiales aislantes.....	4
2.3.1. Características generales.....	5
2.3.2. Clasificación de los aislantes.....	6
2.3.2.1. Tipos de termoaislantes y recubrimientos.....	6
2.4. Tecnología para manufactura de cereales listos para comer.....	7
2.4.1. Cereales de hojuelas.....	8
2.4.1.1. Formulación.....	9
2.4.1.2. Mezclado.....	9
2.4.1.3. Cocinado.....	10
2.5. Cocción de alimentos.....	11
2.5.1. Etapas del proceso de cocción.....	12
2.5.1.1. Prevaporización.....	12

2.5.1.2.	Cocimiento lento	12
2.5.1.3.	Cocimiento rápido	12
2.6.	Consumo de energía durante el proceso de cocción.....	12
2.6.1.	Calor de reacción.....	13
2.6.2.	Calor sensible	13
2.6.3.	Calor latente	14
2.6.4.	Panorama de la operación de cocción	14
3.	DISEÑO METODOLÓGICO	17
3.1.	Variables.....	17
3.2.	Delimitación del campo de estudio	18
3.2.1.	Determinación del tiempo de análisis	18
3.3.	Metodología de la investigación	18
3.3.1.	Recursos físicos	19
3.3.2.	Recursos humanos	19
3.3.3.	Recursos económicos	19
3.4.	Procedimiento para la recolección, obtención, ordenamiento y cálculo de datos.....	20
3.4.1.	Historial de equipo	20
3.4.2.	Descripción del equipo y componentes importantes	20
3.4.3.	Parámetros de operación	20
3.4.4.	Eficiencia térmica actual de bombos rotatorios	21
3.4.4.1.	Muestreo de materia prima	21
3.4.4.2.	Muestreo producto de olla.....	22
3.4.4.3.	Cálculo de humedad	23
3.4.4.3.1.	Equipo	23
3.4.4.3.2.	Procedimiento.....	24
3.4.4.4.	Balance de materiales.....	26

3.4.4.4.1.	Delimitación del campo de estudio	26
3.4.4.4.2.	Balance de masa para agua	27
3.4.4.4.3.	Balance de masa para maíz	29
3.4.4.4.4.	Balance de masa para vapor	30
3.4.4.5.	Balance de energía	31
3.4.4.5.1.	Calor total	31
3.4.4.5.2.	Calor de reacción.....	32
3.4.4.5.3.	Calor sensible	34
3.4.4.5.4.	Calor de vaporización	35
3.4.4.5.5.	Calor suministrado.....	36
3.4.4.5.6.	Calor cedido por el vapor.....	37
3.4.4.6.	Eficiencia térmica del equipo	38
3.4.5.	Diseño del aislante térmico	38
3.4.5.1.	Materiales de fabricación del aislante térmico	38
3.4.6.	Dimensiones del aislante térmico	39
3.4.6.1.	Implantación del aislante térmico.....	40
3.4.6.1.1.	Detalles del procedimiento de colocación de aislante	40
3.4.6.2.	Evaluación y mantenimiento del sistema de aislamiento térmico.	40
3.4.7.	Estudio post instalación del aislante.....	41
3.4.8.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	41

4. RESULTADOS.....	43
4.1. Historial del equipo.....	43
4.1.1. Descripción del equipo y componentes importantes...	43
4.2. Diseño del aislante térmico	45
4.2.1. Materiales de fabricación del aislante térmico.....	45
4.2.2. Dimensiones del aislante térmico.....	47
5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	49
CONCLUSIONES.....	53
RECOMENDACIONES.....	55
BIBLIOGRAFÍA.....	57
APÉNDICES.....	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Zonas de muestreo	22
2.	Flujos de bombo.....	26
3.	Medidas aislante térmico.....	47

TABLAS

I.	Obtención de datos para balance de masa de agua.....	28
II.	Obtención de datos para balance de masa de maíz.....	29
III.	Obtención de datos para balance de masa de vapor.....	30
IV.	Obtención de datos para balance de energía	31
V.	Obtención de datos para calor de reacción	32
VI.	Variables calor de reacción.....	33
VII.	Obtención de datos para el cálculo del calor sensible	34
VIII.	Obtención de datos para el cálculo de calor de vaporización.....	35
IX.	Obtención de datos para el cálculo del calor de suministrado	36
X.	Datos para el cálculo del calor cedido por el vapor	37
XI.	Medición alimentación de maíz al sistema de cocción.....	41
XII.	Datos de flujo de agua en el sistema de cocción.....	42
XIII.	Parámetros de operación en los bombos rotatorios	44
XIV.	Eficiencia térmica.....	44
XV.	Cálculo de humedad	64
XVI.	Balance de masa para agua.....	64
XVII.	Cálculo calor sensible.....	65

XVIII.	Balance de energía.....	65
XIX.	Calculo eficiencia térmica	66
XX.	Balance de agua post instalación aislante térmico	66
XXI.	Balance de maíz post instalación aislante térmico	67
XXII.	Cálculo calor sensible post instalación aislante térmico	67
XXIII.	Cálculo eficiencia térmica post instalación aislante térmico	68
XXIV.	Programa de limpieza y mantenimiento aislante térmico del bombo.....	69
XXV.	Parámetros de operación pos-instalación aislante térmico y pre- instalación aislante térmico.....	70

LISTADO DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
F_f	Flujo de finos
F_{mo}	Flujo de maíz a ollas
F_e	Flujo entrante de maíz
kg	Kilogramos
min	Minutos

GLOSARIO

Bombo rotatorio	Equipo industrial hermético de acero inoxidable de forma cilíndrica que gira sobre un eje concéntrico utilizado para la cocción de alimentos inyectándole vapor.
Cocción	Es un conjunto de reacciones químicas que se producen entre las proteínas y los azúcares reductores que se dan al calentar los alimentos.
Prevaporización	Primera etapa del proceso de cocción donde se inyecta vapor al interior del bombo rotatorio por un corto período de tiempo para subir la temperatura de la materia primera.
Producto de olla	Materia prima obtenida luego del proceso de cocción en los bombos rotatorios, el maíz obtenido tiene una humedad promedio de 32 por ciento.

RESUMEN

El desarrollo del proyecto inicia con la evaluación de la capacidad en el aprovechamiento de la energía o eficiencia térmica de los equipos que forman parte del sistema de cocción, a través del análisis de flujos durante el proceso de cocción y parámetros de operación necesario para realizar balances de masa y balances de energía obteniendo un resultado del 65,4 por ciento.

El objetivo de este proyecto es lograr una mejora del aprovechamiento de la energía térmica durante el proceso de cocimiento de maíz por lo que se llevó a cabo la selección de materiales, accesorios y condiciones para el diseño e instalación de un sistema de aislamiento térmico que se utilizó en los bombos rotatorios, después de haber sido instalado el aislante térmico en los equipos, se realizó una nueva evaluación post instalación de los equipos, considerando el hecho de tener una mayor resistencia a la pérdida de calor hacía los alrededores. La evaluación pre y post instalación del aislante permitió realizar una comparación y poder determinar que la mejora a través de la implementación del aislante fue de 4,7 por ciento.

Se evaluaron nuevas condiciones de operación, así como el protocolo de cocción, ya que la instalación de un aislante térmico en el sistema de cocción permitió reducir tiempo de operación así como también la disminución del requerimiento de energía térmica para llevar a cabo la cocción del maíz, logrando así una mejora de la eficiencia térmica del sistema de cocimiento.

OBJETIVOS

General

Mejoramiento de la eficiencia térmica de un bombo rotatorio por medio de su aislamiento térmico.

Específicos

1. Realizar un diagnóstico actual de los bombos rotatorios que componen el sistema de cocción.
2. Calcular la eficiencia térmica de los bombos rotatorios sin aislante térmico.
3. Dimensionar y establecer las características, materiales y dimensiones del aislante térmico.
4. Instalar el aislante térmico en los equipos.
5. Realizar un estudio post instalación para calcular el efecto del aislante térmico sobre la eficiencia o aprovechamiento del calor en los equipos.
6. Describir beneficios de la instalación del aislante térmico en el bombo rotatorio.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la ingeniería evoluciona y busca la alta eficiencia, es decir hacer más cosas con la menor cantidad de recursos. La mejora de los procesos industriales a través del aprovechamiento de la energía térmica es el objetivo de cualquier empresa que busca la disminución de costos sin afectar la calidad y presentación de sus productos terminados.

La eficiencia térmica es parte esencial en el aprovechamiento de vapor, por lo que se hace necesario aplicar un aislamiento térmico, en los equipos de cocción que utilizan en gran cantidad de este recurso, se toma en consideración los diferentes tipos de aislamientos y recubrimiento, sus propiedades, componentes y formas de instalación necesarias para evitar las pérdidas de calor en el sistema. Este es un campo de oportunidad donde se deben buscar condiciones y formas que permitan un mejor aprovechamiento de este recurso.

En este trabajo de graduación por medio de la implementación de un aislante térmico logra una mejora en la eficiencia térmica de los equipos de cocción de un 4,7 por ciento, así como también contribuye con beneficios reducción de tiempos de cocción que benefician la productividad de la empresa. Se hace mención de un diseño de mejoras y análisis al sistema que ayudará al desarrollo del proceso de cocción.

1. ANTECEDENTES

El principio de un aislamiento térmico se origina en la energía. La necesidad de preservar y hacer eficiente el uso de la misma, es fundamental para todos, pues de este recurso depende tanto nuestra existencia como nuestro desarrollo. Una de las principales formas en que se manifiesta la energía es el calor. Todos los procesos de transferencia de calor involucran transferencias y conservación de energía.

El uso de aislamiento térmico de equipo industrial es un método utilizado para generar ahorros por optimización de procesos, pues una gran cantidad de la energía que se perdía hacia los alrededores se retiene en el equipo aislado aprovechando de mejor forma la energía para realizar un proceso.

En un mundo de apertura, de competencia cada vez más agresiva, se le ha dado la importancia al papel del aislamiento térmico por su contribución en el control de los costos y la mejora de eficiencias. El aislamiento térmico mantiene las condiciones de operación estables, mejorando la eficiencia de operación al poderse estabilizar en menos tiempo un proceso.

En la operación de producir o suministrar calor así sea a una temperatura moderada, se requiere aumentar la rentabilidad, por lo tanto lo que se debe determinar no es si se aísla, sino qué espesor de aislamiento se debe tener. La rentabilidad de un sistema de aislamiento es permanente, independiente del cambio en los costos de energía, del tipo de combustible, de la forma de producir calor o de las condiciones de operación. Se habían hecho mejoras en el equipo pero no se había buscado el aislamiento térmico del mismo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Eficiencia térmica

Los equipos que utilizan la energía en forma de calor, como parte de los requerimientos para llevar a cabo un proceso, se les miden su capacidad de aprovechamiento de la energía, la eficiencia térmica es un valor representativo de esta capacidad, relaciona la cantidad de energía que entra con la energía necesaria para llevar a cabo un proceso.

La eficiencia térmica también refleja la cantidad que se pierde a los alrededores por transferencia de calor, mientras más alta sea la eficiencia térmica de un equipo, esto quiere decir que de la cantidad de energía en forma de calor suministrada al proceso, poca de esta se pierde hacia los alrededores. La eficiencia térmica de un equipo se puede mejorar creando una resistencia a la transferencia de calor a los alrededores, esto por medio de selección de materiales de construcción de baja conductividad o por medio de la instalación de aislantes térmicas¹.

2.2. Aislante térmico

Los aislantes térmicos son cuerpos por lo general cilíndricos o en forma de mantas de una o varias capas dependiendo del uso. Estos aislantes poseen densidad y otras propiedades como las de no inflamabilidad , resistencia al ataque bacteriológico ya los ácidos, coeficiente de transferencia de calor. Están fabricados de uno o varios elementos o fibras como las que podemos

¹ VAN NESS, Smith. Introducción a la termodinámica de Ingeniería Química. p. 238.

mencionar: el asbesto, fibra de vidrio, kraft blanco, aluminio, alúmina, lana de roca, acero galvanizado, polietileno, etcétera.

Los aislantes térmicos son piezas monolíticas las cuales pueden instalarse rápidamente y que proveen características de rendimiento tan diversas que abarcan resistencia a la abrasión, alto aislamiento térmico y resistencia al ciclaje térmico, protección contra corrosión, amortiguación de vibraciones mecánicas, evitan el goteo por condensación, resistente a los materiales de construcción, ahorros, además se producen también productos parecidos de mantas y módulos de fibra aislante.

2.2.1. Importancia del aislante térmico

El aislamiento térmico permite reducir la cantidad de energía perdida en forma de calor al ambiente, ayudando así a reducir el consumo de combustible por vapor de agua producido en una caldera, que es de importancia ambiental utilizados en la generación de vapor, además de mantener una temperatura casi constante en toda la red de distribución de vapor hacia las áreas donde ha de utilizarse el fluido.

2.3. Materiales aislantes

Bajo el nombre de materiales aislantes se agrupan productos que cumplen muchas funciones. Están caracterizados por un coeficiente de conductividad (λ) lo más bajo posible.

2.3.1. Características generales

El papel esencial de un material aislante, evidentemente, es cumplir su función. Un aislante térmico deberá ofrecer una buena resistencia a la transmisión del calor. Independientemente de sus propiedades específicas, a los aislantes se le pide cualidades complementarias. Las principales de estas cualidades son:

- Precio en relación con el servicio que presta.
- Flexibilidad o rigidez según la estructura portante.
- Ausencia de propiedades corrosivas para los materiales con los que el aislante está en contacto.
- Estabilidad física y química: ausencia de dilatación excesiva al calor, resistencia a diversos agentes de destrucción: humedad u oxidación.
- Buena resistencia mecánica.
- Estética si el producto queda visto.
- Incombustibilidad o por lo menos ausencia de inflamabilidad.

El papel esencial de un material aislante, evidentemente, es cumplir su función. Cada clase de aislante, a menudo, se presta con un gran número de variedades o también cada clase de aislante, a menudo, se presta con un gran número de variedades o también de masas específicas. Con frecuencia, resulta difícil la elección entre los diferentes aislantes.

2.3.2. Características generales

Los aislantes se pueden clasificar de muchas formas:

- Según su estructura: granular, fibrosa, alveolar, etc
- Según su origen: vegetal, mineral, etc
- Según su resistencia en las diferentes zonas de temperatura_

Bueno, acá se adoptara una clasificación arbitraria como las anteriores:

Según:

- Materiales fibrosos
- Aislantes con estructura celular

2.3.2.1. Tipos de termoaislantes y recubrimientos.

Hay un sin fín de termoaislantes y recubrimiento, pero comercialmente se conocen con lo siguiente nos.

- Climaver
- Cubretuberias
- Spintex
- Coquillas
- Tubolit
- Fibras
- Calibel
- Refractarios

Los anteriores poseen cada uno sus propiedades y características propias tales como:

- Número de capas
- Componentes
- Recubrimientos
- Temperatura de trabajo
- Presentaciones
- Dimensiones
- Densidad
- Conductividad térmica

Los cuales los hace buenos para unas aplicaciones y malos para otras, solamente hay que saber cual será la aplicación y deberá escogerse el mejor para esa aplicación.

2.4. Tecnología para manufactura de cereales listos para comer

Los cereales listos para comer son granos procesados con fórmulas diseñadas para el consumo humano sin necesidad de cocinar previo al consumo. Estos son de composición estable, de bajo peso, y convenientes para el transporte y almacenamiento. Los cereales listos para comer están hechos principalmente de maíz, arroz, harinas y sémola, a estos se les agrega sabor y otros agentes fortificantes.

El proceso para la elaboración de cereales listos para consumir involucra como primer paso el cocinar el grano con materiales endulzantes y saborizantes. Algunas veces los fortificantes nutricionales termoestables son añadidos antes de iniciar el proceso de cocinado o cocción del maíz. Dos

métodos generales de cocción son utilizados en la industria, la inyección directa de vapor a la masa del grano en el interior de ollas rotatorias y cocinadas por extrusión continua.

Una de las clasificaciones de los cereales listos para comer más importante son los cereales de hojuela.

2.4.1. Cereales de hojuela

Los cereales de hojuela incluyen los cereales hechos directamente de un grano entero desgerminado. El objetivo básico en hacer hojuelas de maíz para un cereal es procesar primero el grano de maíz de tal forma que nos permita obtener partículas que cada una de estas formaran una hojuela.

Las características y propiedades de los granos a procesar son muy importantes ya que esto afectara en las características de la hojuela final. Los tamaños de los granos afectan de forma directa el tamaño de la hojuela es por ello necesario estandarizar la materia prima y asegurarnos de recibir grano de buena calidad.

La mayor referencia de cereales hechos a partir de granos enteros es el tradicional cereal de hojuelas de maíz. El cual conlleva un proceso complejo para la producción del mismo. El procedimiento para la obtención de hojuelas de maíz a partir de granos enteros de maíz es el siguiente.

2.4.1.1. Formulación

La materia prima para obtener hojuelas de maíz, se presenta como producto de la molienda en seco del maíz producido en el campo. El molido en seco permite remover del grano entero el germen del mismo, reduciendo el tamaño del grano, para la producción de hojuelas el tamaño necesario es desde la mitad hasta un tercio del tamaño original del grano.

La materia prima al iniciar el proceso esta cruda, sin sabor y con características no favorables para laminar el grano en hojuela. La identidad del grano no se modifica durante el proceso de obtención de hojuelas de maíz. Cada hojuela de maíz representa un grano de maíz, algunas veces dos granos pequeños se pegan para formar una sola hojuela.

Una fórmula típica para hojuela de maíz es: granos de maíz, 900 libras; azúcar, 6 libras.; malta líquida, 2 libras; sal; 2 libras; y suficiente agua para llevar a cabo la cocción y obtener maíz cocinado con una humedad no mayor a 32 por ciento. Sacarosa líquida a 67 grados Brix puede sustituir el azúcar, con una disminución en el uso de agua. La malta líquida es un material bastante viscoso y es por esto que en alguno proceso se opta por el uso de malta en polvo.

2.4.1.2. Mezclado

El primer paso para la conversión de maíz crudo a hojuelas de maíz, es mezclarlo con una solución saborizante. Batches grandes de materiales saborizantes (azúcar, malta, sal y agua) deben hacerse para múltiples batches de cocimiento o cocinado. La forma correcta de adición del sabor a los batches de cocimiento debe hacerse en proporción a la carga de maíz en las ollas y no

de forma volumétrica. Variaciones en la temperatura y viscosidad del jarabe conlleva a una adición inconsistente del saborizante a ollas. Los ingredientes deben agregarse en cantidades exactas ya que proporciones no adecuadas de ingredientes resulta en el manejo y calidad del grano en los procesos subsecuentes y por último en la calidad del producto terminado.

2.4.1.3. Cocinado

El jarabe y materia prima se cargan a ollas de cocción de 4 pies de diámetro y 8 pies de largo. Las ollas son capaces de rotar y están diseñadas para soportar y permitir la inyección de vapor presurizado.

La aplicación de jarabe y maíz a ollas se puede dar de forma simultánea o se agrega primero el maíz, se sella la olla para iniciar la rotación y luego se añade el jarabe de sabor. No existe reglas de velocidades para llevar a cabo el proceso de cocción, excepto que el resultado debe ser una dispersión uniforme del sabor entre la masa de maíz.

Normalmente la materia prima al ingresarse a las ollas no ocupa más dos tercios del volumen, esto permite espacio para la expansión durante el cocimiento. Para el cocimiento de maíz se a detectado que es mejor incrementar el tamaño de los batches para que al final del proceso de hoción la olla esta llena en su totalidad. Los batches de maíz son más grandes que los utilizados para la cocción de arroz son menos pegajosos y más fáciles de procesar.

Con el jarabe y el maíz adentro de las ollas este se sella, se inicia la inyección de vapor. La calidad del vapor debe ser la permitida para el contacto con alimentos. El proceso de cocción generalmente se da a 15-18 libras por

pulgada cuadrada por 2 horas. Algunos batches tardan mas que otros, como resultado de variaciones en el comportamiento de cocinado del maíz. La velocidad de rotación de la ollas se maneja entre 1-4 revoluciones por minuto con la velocidad alta utilizada únicamente para el mezclado inicial. La humedad de la masa cocinada al final del ciclo de cocción no debe ser mayor que el 32 por ciento.

El cocinado esta completo cuando la apariencia del maíz cambia de ser dura y yesosa a ser suave y traslúcete. Un batch que tuvo exceso de cocción se identifica por un número alto de granos excesivamente suaves y pegajosos. Granos debidamente cocinados son elásticos pero firmes y no presentan centros blancos los cuales se verán reflejados en la hojuela final.

Cuando el ciclo de cocción se completa, el vapor se apaga y se despresuriza la olla para disminuir la presión adentro de la olla y permitir un enfriamiento del mismo. Se destapa la olla y se inicia la rotación y descarga del maíz cocinado.

2.5. Cocción de alimentos

“La cocción es la operación culinaria en la que se utiliza calor para hacer que un alimento sea más sabroso y apetecible, favoreciendo de igual forma a la conservación del mismo. Uno de los primeros pasos del proceso de la transformación de los ingredientes crudos en un producto terminado es el cocimiento”².

2, VAN NESS, Smith. Introducción a la termodinámica de Ingeniería Química. p.115.

2.5.1. Etapas del proceso de cocción

El proceso de cocción en la empresa se divide en tres etapas, en las que el producto crudo es expuesto a distintas variables de operación con el fin de lograr un buen producto final.

2.5.1.1. Prevaporización

Bombos limpios y fríos deben ser prevaporizadas antes de la primera operación de cocimiento. El precalentamiento calienta la olla y remueve cualquier condensación en la tubería de vapor³.

2.5.1.2. Cocimiento lento

Este cocimiento se da a baja velocidad para asegurar el cocimiento parejo del grano. Es suministrada al producto seco para ablandarlo y para ayudar a la penetración de sabor. Varía dependiendo del tipo del producto⁴.

2.5.1.3. Cocimiento rápido

Es utilizada normalmente al principio del ciclo de cocimiento para mezclar totalmente el batch de ingredientes⁵.

2.6. Consumo de energía durante el proceso de cocción

La energía durante el proceso de cocción es absorbida en distintas formas:

3. VAN NESS, Smith. Introducción a la termodinámica de Ingeniería Química. p. 78.

4. IBID.

5. IBID. p. 79

2.6.1. Calor de reacción

La reacción principal en el cocinado de granos es la gelatinización de almidón y desnaturalización de la proteína, El calor endotérmico de reacción se reportado entre 90 – 100 kilo Julios por kilogramo para proteínas y 10 – 19 kilo Julios por kilogramo para almidón de cereales de granos.

El calor absorbido en esta reacción se calcula estimando la contribución de cada ingrediente en promoción a su fórmula.

$$\Delta H^{\circ} = \Delta H_x^{\circ} + \Delta H_p^{\circ} \text{ Ec. No. 1}$$

Donde ΔH° = calor total de reacción (kJ/kg de producto, ΔH_x° = calor total de reacción para gelatinización de almidón, ΔH_p° = calor total de reacción por desnaturalización de proteína. En ausencia de datos para calores de reacción para ingredientes particulares, el calor total de reacción se puede estimas de calores de reacción promedio como sigue:

$$\Delta H^{\circ} = 14X_s + 95x_p \text{ Ec. No. 2}$$

Donde X_s = fracción de almidón en la composición del grano y X_p = fracción de proteína en el grano.

2.6.2. Calor sensible

El otro componente significativo de energía absorbido es el calor sensible, este depende del calor específico de los ingredientes así como también la temperatura de trabajo durante el proceso de cocción.

El calor específico es una función de la temperatura así como también de su composición, este valor se vuelve significativo en condiciones de trabajo en altas temperaturas.

Esta energía calórico permite aumentar la temperatura del cuerpo sin afectar su estructura molecular y por lo tanto su estado.

2.6.3. Calor latente

Durante el proceso de cocción es necearía la absorción de cierta cantidad de energía para realizar un cambio de estado, es necesaria la evaporación de agua, este valor de calor necesario estará en función de la presión de operación de la olla de cocción.

El calor latente de evaporación es la cantidad de energía a la que hay que someter un gramo de líquido para transformarlo a su fase gaseosa; este concepto difiere del punto de ebullición en el que se habla de temperatura, por lo tanto al referirse a calor de vaporización se habla de una cantidad de energía. Aún cuando se le siga aplicando calor, la temperatura no cambia hasta que se haya fundido del todo.

2.6.4. Panorama de la operación de cocción

Cada ciclo de cocimiento de producto producido por una olla rotativa está producido en forma de “*batch*”. El proceso de cocimiento es considerado una operación batch y si se mide el tiempo de los ciclos de cocimiento, un flujo continuo de producto ocurre que alimenta el resto del proceso.

El producto crudo es transferido desde una zona de almacenamiento hasta la olla de cocimiento. El producto crudo es basculado por batches que son empleados para llenar la olla de cocimiento. Otros ingredientes secos, como vitaminas y minerales son añadidos a la cocción. Ciertas cantidades de sabor líquido y de agua son añadidos a la olla. Después de haber agregado todos los ingredientes la olla es sellada.

La olla es rotada y el vapor es inyectado a la olla. La olla gira a velocidades bajas y altas por períodos de tiempo específicos de mezcla y cocimiento de los ingredientes.

Después del concluir el proceso de cocimiento, ya no se inyecta más vapor, la presión se reduce y la tapa de la olla es removida. Los ingredientes cocidos son descargados en un sistema de bandas transportadoras. El producto de ollas es alimentado de forma continua al secador.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

Se analizó cómo funciona el sistema actualmente y como funcionará este bajo las nuevas condiciones, es decir, al aprovechar el calor transferido por el aceite de lubricación del compresor de aire.

3.1. Variables

- Temperatura de cocción: temperatura a la cual se esta realizando el proceso de cocción.
- Flujo de maíz: es la cantidad de maíz por unidad de tiempo que se alimenta al sistema de cocción.
- Flujo de agua: cantidad de agua que se mezcla con los ingredientes en el interior del bombo rotatorio.
- Porcentaje de humedad: es el porcentaje de agua contenido entre los ingredientes .
- Flujo de agua por vapor condensado: es la cantidad de agua que se genera por la condensación del vapor.
- Flujo de vapor: es la cantidad de vapor inyectado en el interior del bombo rotatorio por unidad de tiempo.
- Presión de operación: es la presión a la que se está realizando el proceso de cocción en el interior del bombo rotatorio.
- Flujo de agua evaporada: cantidad de agua que ingresa al sistema como ingrediente y se evapora por las altas temperaturas.
- Flujo de vitaminas: cantidad de vitaminas que se agregan al sistema como parte de la formulación.

3.2. Delimitación del campo de estudio

- Sistema de cocción

Se midieron todas las variables involucradas en el proceso de cocción así como también se tomaron en cuenta los parámetros de operación que influyen sobre el proceso de cocinado de la materia prima.

- Bombo rotatorio

Se tomo en cuenta el tiempo y los ciclos durante el proceso de cocción así como la capacidad, se midieron los flujos que ingresaron al sistema.

- Sistema de purga

Se midió la temperatura y cantidad de agua purgada del sistema como resultado de la condensación del proceso.

3.2.1. Determinación del tiempo de análisis

Los datos se midieron diariamente durante un mes para tomar en cuenta las posibles variaciones del sistema y obtener datos con mayor confiabilidad.

3.3. Metodología de la investigación

Para llevar a cabo la investigación fue necesario contar con los recursos físicos, humanos y económicos que se detallan.

3.3.1. Recursos físicos

El proceso de evaluación y cálculo de la eficiencia térmica del sistema de cocción se realizó en una empresa dedicada a la elaboración de cereales para el desayuno ubicada en la ciudad de Guatemala. La investigación se realizó dentro de las instalaciones de la empresa.

Se cuenta con el equipo de apoyo especializado en aislamiento de equipo, a nivel laboratorio se cuenta con el equipo necesario para realizarle los cálculos pertinentes para establecer la eficiencia térmica de los equipos.

3.3.2. Recursos humanos

Durante el desarrollo de la evaluación se involucraron a los operadores de ollas, proporcionando información del funcionamiento de éstas así como las condiciones de operación de las mismas, el ingeniero químico Marco Green fue el asesor de proyecto. Julio Roberto Fernández desarrollará la evaluación, cálculos y presentará resultados. Supervisores de producción y Gerente de calidad autorizaron la realización del proyecto con los recursos de la planta.

3.3.3. Recursos económicos

Todos los gastos necesarios fueron cubiertos en su totalidad por la empresa.

3.4. Procedimiento para la recolección, obtención, ordenamiento y cálculo de datos

Los datos necesarios a recolectar están descritos a continuación, el ordenamiento de la información es un factor muy importante.

3.4.1. Historial del equipo

En este punto se documenta el tiempo que el equipo tienen de funcionamiento desde el momento que fue adquirido hasta hoy en día, también se expuso si estos han sufrido de algún desperfecto mecánico considerable. El tiempo de funcionamiento es uno de los factores que reducen la eficiencia térmica de los equipos, por lo que se debe considerar como factor a analizar para lograr una mejora en el sistema de cocción.

3.4.2. Descripción del equipo y componentes importantes

La descripción del equipo y sus componentes importantes son necesarios, para entender el proceso de cocción, así como las partes del equipo involucradas. La descripción del equipo proporciona datos importantes, como material del que está hecho el equipo, espesores de pared, diámetros internos y externos, longitudes y otras variables de diseño de interés.

3.4.3. Parámetros de operación

Los parámetros, variables y condiciones de operación se documentaron para compararlas con los resultados post instalación del aislante térmico, se definieron velocidades de rotación de los bombos, protocolo de cocción, flujos de ingredientes, temperatura y presión de operación en los equipos.

3.4.4. Eficiencia térmica actual de bombos rotatorios

Por medio de balances de masa y energía se calculo el valor representativo de la eficiencia térmica del equipo, es decir la capacidad de los bombos rotativos para aprovechar la energía térmica y que esta no se pierda por transferencia de calor a los alrededores. Para realizar este cálculo se seguirá la siguiente metodología.

3.4.4.1. Muestreo de materia prima

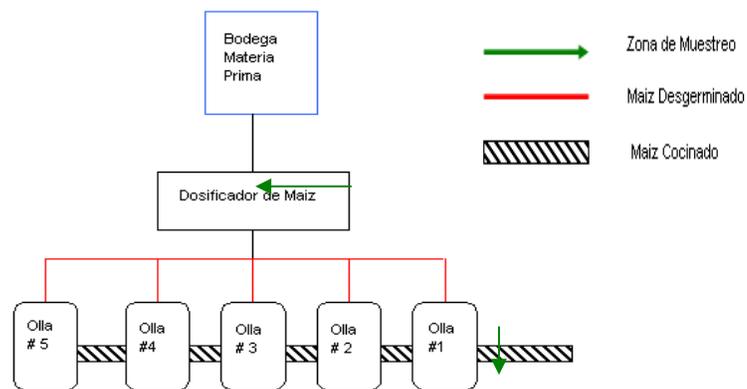
Se determinó el número de muestras a analizar por medio del método militar. Este método define el número de muestras a tomar en función del tamaño del lote de materia prima, asegurándonos así que se obtuvo un dato representativo y confiable que define las propiedades o características del lote entero.

Después de definir el número de muestras a analizar, se tomo maíz del número definido de distintos *Big-bags* que forman parte de un lote de materia prima. Para el muestreo de *Big-bags* se utilizo un equipo especial con el fin de tomar maíz no únicamente de la superficie de los *Big-bags* si no de todo su contenido.

3.4.4.2. Muestreo producto de olla

Para establecer las propiedades y características del producto obtenido después del proceso de cocción en ollas fue necesario muestrear en este punto, por lo que el número de muestras a tomar por turno de producción se estableció en función de la cantidad de descargas, utilizando de igual forma que para muestrear materia prima el método Militar. Las zonas a muestrear están indicadas en la siguiente imagen, antes de entrar al dosificador de maíz y después del proceso de cocción.

Figura 1. Zonas de muestreo



Fuente: elaboración propia.

3.4.4.3. Cálculo de humedad

Se calculo la humedad de la materia prima y producto de la etapa de cocción utilizando el analizador de humedad *Computrac Max 1000* es un instrumento termo-gravimétrico. Cuando se inicia una prueba, un horno convencional empieza a sacar la humedad de la muestra de prueba a una temperatura preseleccionada por el usuario.

Como la muestra pierde peso, éste peso es medido por una balanza electrónica la cual gira la señal al microprocesador. El microprocesador asume una curva exponencial de peso/tiempo y usa una aproximación en serie para predecir el valor final de humedad. Continúa perfeccionando el estimado en serie hasta que el peso de la muestra de prueba termina de disminuir.

3.4.4.3.1. Equipo

- *Computrac Max 1000 Series Analizador de Humedad- Arizona Instruments, Computrac Division.*
- Plato para muestra - de aluminio, desechable, *Maxi Pans* o equivalente (*Arizona Instruments, Computrac División*)
- Espátula.

3.4.4.3.2. Procedimiento

- El equipo se enciende y se apaga en la parte trasera, la posición de “I” es encendido y “O” es apagado. No conectar ni desconectar del tomacorriente en la posición de Encendido “I”.
- Cuando se enciende el equipo, después de un largo tiempo de estar apagado, se debe dejar 30 minutos para que caliente. No usar durante ese tiempo.
- Para iniciar un análisis oprima la tecla del mando Memry, aparecerá un menú de los diferentes análisis que se pueden realizar, en ese momento, al lado izquierdo aparecerán numerados, y al lado derecho aparecerá el nombre. Los dos primeros con los números 00 y 01, o “*weight* y *tartrate*”, no se deben usar, ya que son exclusivos para calibrar el equipo. Seleccione la opción ollas.
- Oprima la tecla start, en la pantalla aparece un mensaje de esperar mientras se tara la bandeja de muestra, luego aparece el mensaje open “the lid” (abrir la tapa) y se agrega la muestra.
- Mientras se agrega la muestra se escuchan una serie de BIPS, y en la pantalla aparecerá una barra donde se puede observar la cantidad de gramos agregados. Al acercarse a la cantidad ideal de muestra (5 gramos), los BIPS se escucharán con más frecuencia. Al agregar la muestra “no empuje, haga presión o golpee la balanza”, ya que ésta es muy sensible y se puede dañar irreversiblemente, si agrega un poco más de la muestra no la intente quitar, pues en este intento o procedimiento

puede hacer una presión fuerte en la balanza; deje este exceso de muestra porque no afecta el resultado.

- Al agregar la cantidad deseada, se cierra la tapa y el análisis comienza a efectuarse, mientras el análisis se realiza un triángulo da vueltas en la esquina inferior izquierda, al finalizar el resultado se verá en la pantalla. Se puede abrir la tapa y sacar la bandeja con unas pinzas ya que la misma se encontrará caliente, sin que se borre el resultado. Este resultado se borrará al iniciar otro análisis mientras tanto esta en pantalla.
- El equipo se enciende y se apaga en la parte trasera, la posición de I es encendido y O es apagado. No conectar ni desconectar del tomacorriente en la posición de Encendido I.
- Para iniciar un análisis oprima la tecla del mando *Memory*, aparecerá un menú de los diferentes análisis que se pueden realizar, en ese momento, al lado izquierdo aparecerán numerados, y al lado derecho aparecerá el nombre. Los dos primeros con los números 00 y 01, o "*weight* y *tartrate*", no se deben usar, ya que son exclusivos para calibrar el equipo. Seleccione la opción ollas. Oprima la tecla *START*, en la pantalla aparece un mensaje _de esperar mientras se tara la bandeja de muestra, luego aparece el mensaje "*open the lid*" (abrir la tapa) y se agrega la muestra).
- Mientras se agrega la muestra se escuchan una serie de bips, y en la pantalla aparecerá una barra donde se puede observar la cantidad de gramos agregados. Al acercarse a la cantidad ideal de muestra, los bips se escucharán con más frecuencia. Al agregar la muestra "no empuje, haga presión o golpee la balanza",

- Al agregar la cantidad deseada, se cierra la tapa y el análisis comienza a efectuarse, mientras el análisis se realiza un triángulo da vueltas en la esquina inferior izquierda, al finalizar el resultado se verá en la pantalla. Se puede abrir la tapa y sacar la bandeja con unas pinzas ya que la misma se encontrará caliente, sin que se borre el resultado. Este resultado se borrará al iniciar otro análisis mientras tanto esta en pantalla.

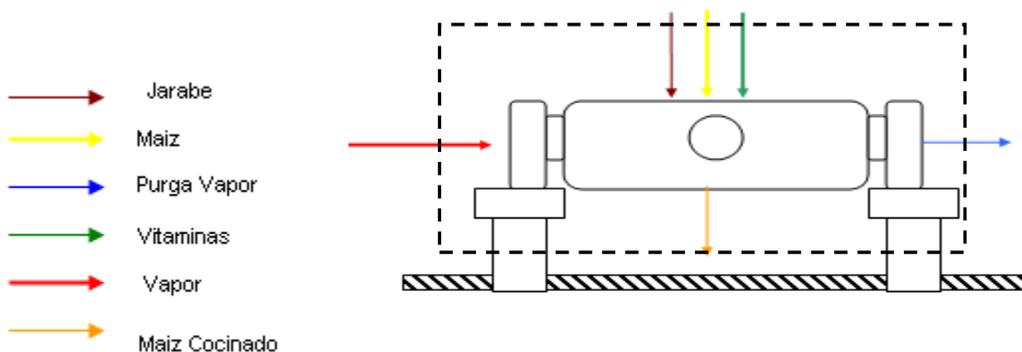
3.4.4.4. Balance de materiales

Se realizó un balance de materiales con el fin de establecer y cuantificar los flujos de entrada y los flujos de salida del sistema a analizar.

3.4.4.4.1. Delimitación del campo de estudio

Las ollas se analizaron y se consideraron individualmente por lo que se tomo únicamente en cuenta los flujos que interactúan en la olla, esto se realizo de la misma forma para cada una de las ollas.

Figura 2. Flujos de bombo



Fuente: elaboración propia.

3.4.4.4.2. Balance de masa para agua

Se deberá considerar todo flujo que agua (H₂O) que ingrese a ollas y todo flujo de salida. El agua se presenta como contenido de humedad en la materia prima, y como ingrediente en el jarabe.

Para esto se utilizara la siguiente ecuación. (Ec. No. 4)

$$\%H_{maiz.} \times F_{maiz.} + \%H_{vit} \times F_{vit.} + F_{H_2O} - \%H_{mc} \times F_{mc} + F_{con} - F_{eva} = 0$$

Donde:

$\%H_{maiz.}$ = Porcentaje humedad en maíz (%)

$F_{maiz.}$ = Flujo másico de maíz. (kg/ciclo)

$\%H_{vit}$ = Porcentaje humedad en vitaminas (%)

F_{vit} = Flujo masico de vitamina (kg/ciclo)

F_{H_2O} = Flujo de agua como ingrediente (kg/ciclo)

$\%H_{mc}$ = Porcentaje humedad en maíz cocinado (%)

F_{mc} = Flujo maíz cocinado (kg/ciclo)

F_{con} = Flujo de agua por condensado de vapor (kg/ciclo)

F_{eva} = Flujo de agua evaporada (kg/ciclo)

Tabla I. **Obtención de datos para balance de masa del agua**

Variable	Método de obtención
$\%H_{maiz.}$	Se utilizara la termo-balanza computrack para conocer el contenido de humedad inicial en la materia prima.
$F_{maiz.}$	Este flujo se conoce ya que corresponde a la formula establecida. Siempre se pesan los contenedores de maíz antes de procesar.
$\%H_{vit}$	Este dato se obtiene de los certificados de calidad proporcionados por el proveedor.
$F_{vit} =$	Por formulación se conoce la cantidad de vitamina que se dosifica por ciclo de cocción.
$F_{H_2O} =$	Por formulación se conoce la cantidad de vitamina que se dosifica por ciclo de cocción.
$\%H_{mc}$	Se utiliza la termo balanza computrack para determinar el contenido de humedad del producto.
$F_{mc} =$	Se cuenta con un equipo que mide la cantidad de producto que pasa por la banda de producto cocinado.
$F_{eva} =$	Por balance de masa se conoce la cantidad de agua evaporada.

Fuente: elaboración propia.

3.4.4.4.3. Balance de masa para maíz

Se definieron los valores que cuantifican los flujos de maíz por olla, y se realizara un balance de masa. Para esto se utilizara la siguiente ecuación. (Ecuación No. 3)

$$F_{maizE} - F_{maizS} - F_{MaizA} = 0 \text{ Ecuación. No. 5}$$

Donde:

F_{MaizE} = Flujo de entrada de maíz (kg/ciclo)

F_{MaizS} = Flujo de salida de maíz (kg/ ciclo)

F_{MaizA} = Maíz acumulado (kg/ciclo)

Tabla II. **Obtención de datos para balance de masa del maíz**

Variable	Método de obtención
F_{maiz}	Este flujo se conoce ya que corresponde a la fórmula establecida. Siempre se pesan los contenedores de maíz antes de procesar.
$F_{mc} =$	Se cuenta con un equipo que mide la cantidad de producto que pasa por la banda de producto cocinado.
$F_{MaizA} =$	Se pesa la cantidad de maíz que quede dentro de la olla

Fuente: elaboración propia.

3.4.4.4. Balance de masa para vapor

El flujo de vapor se definió por medio de un balance de masa utilizando la siguiente ecuación: (Ecuación No. 4)

$$F_{vapE} - F_{Vap} - F_{Vapp} = 0 \quad \text{Ecuación No. 6}$$

Donde:

F_{vapE} = Flujo vapor de entrada (lb/ciclo)

F_{Vap} = Flujo vapor por evaporación del agua (lb/ciclo)

F_{Vapp} = Flujo vapor purgado (lb/ciclo)

Tabla III. **Obtención de datos balance de masa vapor**

Variable	Método de obtención
F_{vapE}	Se obtendrá flujo de condensado del cual se determinara el flujo de vapor de entrada a ollas
$F_{Vap} =$	Según los datos de balance de agua se podrá calcular la cantidad de agua evaporada durante el proceso.
$F_{Vapp} =$	Se medirá el flujo de condensado del vapor purgado.

Fuente: elaboración propia.

3.4.4.5. Balance de energía

Las variables necesarias para realizar el balance de energía se detallan a continuación junto con las ecuaciones a utilizar.

3.4.4.5.1. Calor total

Por medio de balances de energía y basándonos en las condiciones de operación del equipo se determinó la cantidad de calor necesario para llevar a cabo el proceso de cocción en las ollas rotatorias. Utilizaremos la siguiente ecuación:

$$Q_t = Q_s + Q_v \quad (\text{Ecuación No. 7})$$

Donde:

Q_t = Calor total necesario (kJ)

Q_s = Calor sensible jarabe (kJ/kg*ciclo)

Q_v = Calor de evaporación (kJ/kg)

Q_v = Calor para cocinar maíz (kJ/kg)

Tabla IV. **Obtención de datos balance de energía**

Variable	Método de obtención
$Q_s =$	Se obtendrá del resultado del inciso .5.3.3.2
$Q_v =$	Se relacionaran todos los requerimientos energéticos.

Fuente: elaboración propia.

3.4.4.5.2. Calor de reacción

Durante el proceso de cocción es necesario suministrar cierta cantidad del sistema específicamente para llevar a cabo las reacciones químicas involucradas en este proceso. La cantidad de energía utilizada se definió por la siguiente ecuación.

$$Q_r = \Delta H_{\text{Reaccion}} m \quad \text{Ecuación No. 8}$$

Donde:

Q_r = Calor sensible (kJ)

$\Delta H_{\text{reaccion}}$ = Entalpía de reacción (kJ/kg)

m = Kg de maíz. (kg)

Tabla V. Obtención de datos calor de reacción

Variable	Método de obtención
$\Delta H_{\text{reaccion}} =$	Se obtendrá de la ecuación No. 9
$m =$	Cantidad de maíz involucrado en la reacción.

Fuente: elaboración propia.

La entalpía de reacción se deduce de la siguiente ecuación, la cual nos da un valor aproximado correspondiente a la entalpía de reacción en función de la fracción de almidón y proteína contenida en el grano de maíz.

$$\Delta H_{reaccion}^{\circ} = 14X_s + 95x_p \quad \text{Ecuación No. 9}$$

Donde:

$\Delta H_{reaccion}$ = Entalpía de reacción (kJ/kg)

X_s = Fracción de almidón en el granos de maíz.

X_p = Fracción de proteína en el grano de maíz.

La fracción de proteína y almidón se obtendrán a partir de información en la literatura.

Tabla VI. **Variables de calor de reacción**

Variable	Método de obtención
$X_s =$	Fracción de almidón en el grano de maíz.
$X_p =$	Fracción de proteína en el grano de maíz.

Fuente: elaboración propia.

3.4.4.5.3. Calor sensible

Es necesario aplicar calor para subir de temperatura las sustancias presentes en el proceso de cocción. El calor sensible es calor necesario para subir la temperatura de una sustancia. En el proceso de cocción se utiliza para subir de temperatura el jarabe y para calentar el maíz. Se calcula utilizando la siguiente ecuación.

$$Q_s = mC_p \Delta T \quad (\text{Ecuación No. 10})$$

Donde:

Q_s = Calor sensible (BTU)

m = Flujo masico maíz o jarabe

C_p = Capacidad calorífica maíz o jarabe

ΔT = Gradiente de temperatura

Tabla VII. **Obtención de datos para cálculo calor sensible**

Variable	Método de obtención
$m =$	Valor constante que se utiliza durante el proceso de cocción.
$C_p =$	Dato bibliográfico obtenido para el maíz y para el jarabe.
$\Delta T =$	Este gradiente de temperatura se obtendrá al restar la temperatura de salida del jarabe o del maíz, con la temperatura de entrada.

Fuente: elaboración propia.

3.4.4.5.4. Calor de vaporización

Para lograr la evaporación del agua es necesario agregarle un calor extra para lograr el cambio de fase, denominado calor latente para calcular esto es necesario utilizar la siguiente ecuación.

$$Q_v = m \bar{H}_{vap} \quad (\text{Ecuación No. 11})$$

Donde:

Q_v = Calor de vaporización (BTU)

m = masa de agua evaporada (lb)

\bar{H}_{vap} = Entalpía de vaporización.

Tabla VIII. **Obtención de datos para cálculo calor de vaporización**

Variable	Método de obtención
$m =$	Dato obtenido del balance de masa para el agua.
$\bar{H}_{vap} =$	Valor obtenido de las tablas de vapor, correspondiente a la presión de trabajo.

Fuente: elaboración propia.

3.4.4.5.5. Calor suministrado

El calor suministrado está en función de la cantidad de vapor que se inyecta a ollas y también en función de la cantidad de este vapor que se condense dentro de ollas. Según la ecuación

$$Q = Q_{vap} + Q_{cc} \quad (\text{Ecuación No. 12})$$

Donde:

Q= Calor suministrado (BTU)

Qvap = Calor cedido por el vapor (BTU)

Qcc= Calor por condensación del vapor. (BTU)

Tabla IX. **Obtención de datos para cálculo calor suministrado**

Variable	Método de obtención
$Q_{vap} =$	Este dato se obtendrá del inciso 5.3.3.5
$\bar{H}_{vap} =$	Valor obtenido de las tablas de vapor, correspondiente a la presión de trabajo.

Fuente: elaboración propia.

3.4.4.5.6. Calor cedido por el vapor

Cuando el vapor entra a ollas este cede calor y su temperatura disminuye, para determinar cuanto calor proporcione al sistema, es necesario utilizar la siguiente ecuación.

$$Q_{vap} = m\Delta \bar{H} \quad (\text{Ecuación No. 13})$$

Donde:

Q_{vap} = Calor cedido por el vapor. (BTU)

m = Masa de vapor inyectado a ollas (lb/ciclo)

ΔH = Cambio de entalpía. (BTU / lb)

Tabla X. **Datos para cálculo de calor cedido por el vapor**

Variable	Método de obtención
$m =$	Este dato se obtendrá en función de la cantidad de condensado obtenido.
$\Delta H =$	Valor obtenido de las tablas de vapor, correspondiente a las condiciones iniciales y condiciones finales del vapor utilizado.

Fuente: elaboración propia.

3.4.4.6. Eficiencia térmica del equipo

La eficiencia térmica del equipo es una relación entre el calor aprovechado para el proceso de cocción y el calor proporcionado a ollas para llevar a cabo la cocción. Se utiliza la siguiente ecuación.

$$E = \frac{Q_t}{Q} \times 100 \quad (\text{Ecuación No. 15})$$

Donde:

E: Eficiencia de olla (%)

Qt= Calor aprovechado (BTU)

Q= Calor aplicado por olla (BTU)

Este cálculo se obtendrá para el bombo rotatorio que se esta analizando.

3.4.5. Diseño del aislante térmico

Para el correcto diseño de un aislante térmico involucra considerar muchas variables, las cuales afectan el desempeño como aislante térmico.

3.4.5.1. Materiales de fabricación del aislante térmico

Se utilizaron los materiales adecuados para fabricar el aislante térmico para los bombos rotatorios. Para determinar que materiales se utilizaran se deben considerar diferentes características y cumplir con cierta cantidad de requisitos. Los factores a considerar son los siguientes:

- Resistente al agua, en sus estados de vapor y líquido.
- No corrosivo y no combustible / no se absorbe de combustibles líquidos.
- Resiste a reactivos Industriales.
- Dimensionalmente estable bajo variaciones de temperatura y condiciones de humedad.
- Resistencia del aislamiento a deformación bajo una carga permanente.
- Baja conductividad térmica y durabilidad.
- Baja absorción de humedad .

Se hizo uso del material aislante que reúna la mayor cantidad de estas características deseables, a la vez cumpliendo con los requisitos de las distintas normas regulatorias. Esta sección incluirá todas las características y condiciones de trabajo del aislante térmico.

3.4.6. Dimensiones del aislante térmico

El aislante térmico se diseñó específicamente para los bombos rotatorios por lo que estará en función de las dimensiones del equipo, así como a sus limitantes operacionales.

Se midió el equipo , según las medidas necesarias a tomar para realizar el aislante térmico adecuado para este equipo. Las medidas importantes a tomar son las siguientes utilizando como herramienta una cinta métrica.

- Diámetro externo del bombo rotatorio
- Largo del bombo rotatorio
- También se consideró en el diseño del equipo, los puntos en los que puede existir algún tipo de fricción con otros equipos para evitar daños en el aislante u otros equipos.

3.4.6.1. Implantación del aislante térmico

El proceso para instalar el aislante térmico en el equipo, requiere de un paro en línea, y ya instalado se deberá mantener una frecuencia de mantenimientos.

3.4.6.1.1. Detalles del procedimiento de colocación de aislante

En esta sección se describió el procedimiento a tomar para la instalación del aislante térmico del equipo, las condiciones y preparaciones previas a la instalación, herramientas y equipos necesarios para llevar a cabo el proceso.

3.4.6.2. Evaluación y mantenimiento del sistema de aislamiento térmico

En esta sección se definió los métodos y procedimientos realizados para darle mantenimiento al equipo, para asegurar la durabilidad del mismo y evitar daños que podrían afectar la conductividad del aislante. Los procedimientos aquí definidos estarán basados en las especificaciones de los materiales utilizados para crear el aislante, también se tomaran en cuenta las recomendaciones del fabricante.

3.4.7. Estudio post instalación del aislante

Para conocer los beneficios del aislante térmico es necesario realizar un cálculo que permita establecer la eficiencia térmica del equipo, con el aislante instalado. El procedimiento y las ecuaciones utilizadas para calcular la eficiencia térmica del equipo son las mismas utilizadas a partir de la sección. 6.2.2, este

dato de igual forma será representativo de la capacidad de los equipo para aprovechar la energía.

En el estudio post instalación se incluyo cualquier observación que se tenga del funcionamiento de los equipos mientras giran con el aislante instalado, así como también si se presenta alguna mejora en la cocción , que permita realizar cambios en el protocolo de cocción.

3.4.8. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Para la recolección de datos se utilizara la siguiente tabla de datos.

Tabla XI. **Medición alimentación de maíz al sistema de cocción**

Balance de maíz				
Muestra No.	kg. De maíz entrando al bombo cocción	kg. de maíz cocinado por ciclo de cocción	Contenido de humedad % (Materia prima)	Contenido de humedad % (Maíz cocinado)
Promedio.				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. Datos de flujo de agua en el sistema de cocción

Balance de agua				
Muestra No.	Agua preparación jarabe (Kg/ batch)	Agua en materia prima (kg/batch)	Cantidad de agua en el maíz cocinado (Kg/Batch)	Cantidad de agua por condensado de vapor (Kg/Batch)
Promedio.				

Fuente: elaboración propia.

4. RESULTADOS

4.1. Historial del equipo

El bombo rotatorio Modelo 59 con 22 años de uso, actualmente no presenta ningún desperfecto mecánico, previo a estas pruebas se mejoro el sistema de purga de vapor así como también se cambiaron los empaques en el equipo para evitar fugas de vapor. El bombo rotatorio se somete a una serie estrictos mantenimientos programados al finalizar cada corrida de producción.

4.1.1. Descripción del equipo y componentes importantes

El bombo rotatorio es un equipo complejo hecho de acero inoxidable con forma de cilindros que consta de distintos componentes con una pared de una sola capa. Algunos de los componentes más importantes son identificados en la siguiente lista:

- Cubierta o tapa de la olla
- Casco de la olla
- Núcleo
- Núcleo interno
- Núcleo ranurado externo
- Tubos ascendentes
- Placas de desviación
- Mecanismo motriz de la olla

Tabla XIII. **Parámetros de operación en los bombos rotatorios**

DESCRIPCIÓN:	DATOS RECETA:
Cantidad de agua para 1 batch de sabor:	1175 Kg (malta líquida 80 Brix*) 1200 Kg (Malta en polvo)
Cantidad de sabor a aplicar en 1 batch:	356 kg/batch
Cantidad de agua de barrido:	10 kg/batch
Presión de vapor	23,5 PSI
Temperatura	216 C
Kilos de maíz	900 Kg/ batch
PROTOCOLO COCIMIENTO	Tiempos
Prevaporizado	15 minutos
Sabor	5 minutos
Cocimiento.	
Alta	10 minutos
Baja	20 minutos
Alta	3 minutos
Baja	15 minutos
Alta	2 minutos
Baja (5 min de despresurización)	15 minutos

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Eficiencia térmica**

EFICIENCIA TERMICA			
	Calor total (KJ/Batch)	Calor proporcionado (Kj/batch)	Eficiencia (%)
Pre Instalacion	314858,94	481710,66	65,4
Post Instalacion	314858,94	449163,11	70,1
Diferencia	0	32547,55	4,7

Fuente: elaboración propia.

4.2. Diseño del aislante térmico

La idea del aislante térmico a desarrollado, es un aislante que no está fijo al bombo rotatorio, permitiendo así quitarlo y ponerlo de una manera fácil y segura. Esto permite que se realice la limpieza y sanitización de las superficies de los equipo que se encuentren en contacto directo con los alimentos de una mejor forma y sobre todo cumplir con los requerimientos del reglamento de SQF, que no permite aislamientos fijos por que estos representan dificultades al momento de la limpieza.

Se diseñará un aislamiento reusable formado por una cara interior de tela de silicón y una capa también de tela de silicón para el exterior, relleno de lana mineral de roca.

4.2.1. Materiales de fabricación del aislante térmico

El material a utilizar para la fabricación del aislante térmico reusable en el bombo rotatorio, es relleno de lana mineral de roca, este material posee ciertas características que lo hacen adecuado para este fin. Los factores considerados para la elección de este material son:

- Resistente al agua: la lana mineral de roca no absorbe agua por acción capilar aún en presencia de ambientes con elevados niveles de humedad atmosférica, por lo tanto no condensa sobre las superficies aisladas. Si el agua llegase a penetrar y saturar el aislamiento, después de seco permanecerán inalteradas la propiedades aislantes.

- No corrosivo: la lana mineral de roca es químicamente neutra, no es corrosiva para los aceros, su sistema productivo y composición mineralogía asegura una baja concentración de cloruros y un PH neutro.
- No combustible: material inorgánico de naturaleza incombustible, en caso de incendio no genera gases ni humos tóxicos, no contiene agentes químicos que atenten contra la salud humana.
- Dimensionalmente estable bajo variaciones de temperatura y condiciones de humedad: es denso, resistente a intempestivos cambios de temperaturas sin encogerse ni perder su densidad.
- Resistencia del aislamiento a deformación bajo una carga permanente: las fibras de lana mineral de roca están dispuestas de forma vertical, horizontal y diagonal, dando como resultado una trama multi direccional que asegura una excelente estabilidad.
- Baja conductividad térmica: posee una muy baja conductividad térmica, debido a su alta densidad ofrece mayor resistencia al flujo de calor.
- La lana mineral de roca es fácil de manejar, ajustar e instalar.

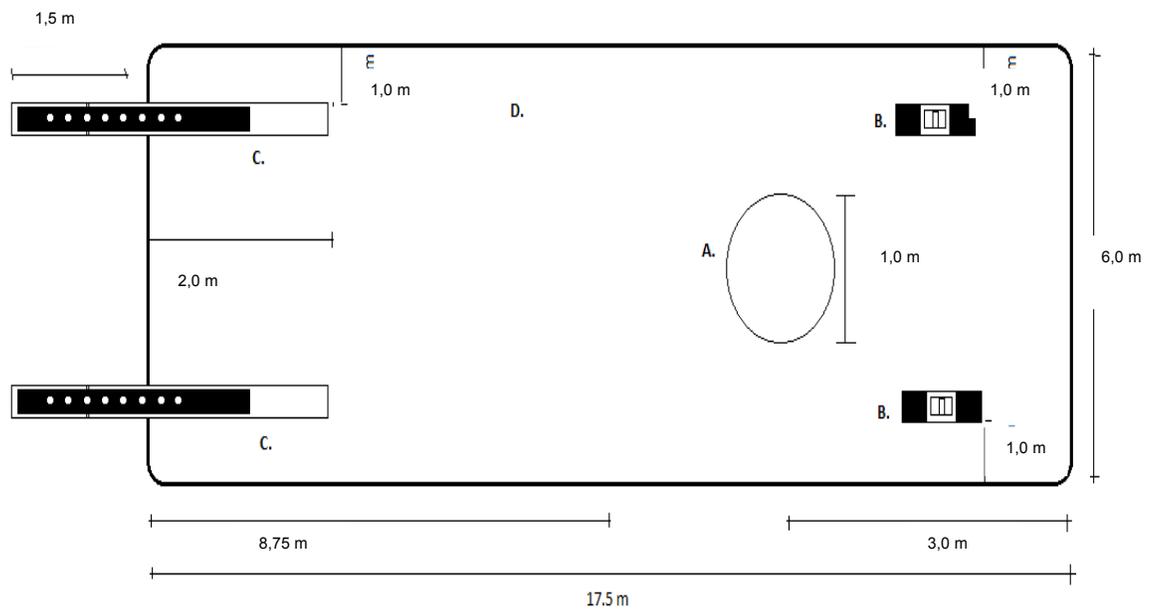
El material que envolverá el relleno de lana mineral de roca, es una capa de silicón gris, estas son telas resistentes a altas temperaturas, utilizadas muchas veces para proteger aislamientos térmicos. Los tejidos revestidos con silicón, aumenta la resistencia a la abrasión y la salpicadura de material a altas temperaturas. El uso de este material es adecuado a temperaturas próximas de 315 grados celcius, a la vez este tela impide el paso de humedad y aire al

interior, protegiendo así a la lana mineral, el espesor de esta tela de es 0,03 pulgadas.

4.2.2. Dimensiones del aislante térmico

Según las dimensiones de la olla se definieron las siguientes dimensiones.

Figura 3. Medidas aislante térmico



Fuente: elaboración propia.

Descripción del dibujo:

- A. Apertura en el aislante térmico donde se acomoda la cubierta o tapa de la olla. (1 metro de diámetro).
- B. Broches o cierres de acero inoxidable con todas las piezas fijas al aislante.

- C. Ojetes de acero inoxidable fijos al aislante térmico.
- D. Aislante térmico reusable formado por una cara interior de tela de silicón color gris y cara externa de silicón gris, relleno de lana mineral de roca de 2 pulgadas.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El bombo rotatorio utilizado para la cocción de maíz es un equipo que requiere vapor para cocinar la materia prima durante el proceso de cocinado y mezclado de ingrediente.

Considerando aspectos de sanidad, seguridad industrial y seguridad alimenticia se optó por la fabricación de un aislante térmico removible descrito en la imagen No. 4 , con una cara interior de tela de silicona color gris y con cara externa de tela de silicona, relleno de lana mineral de roca de 2 pulgadas de espesor. Con cierres y ojetes de acero inoxidable, cordel de alambre de acero y con todas las piezas fijas al aislamiento que nos permitirá realizar la operación de una forma mas eficiente aprovechando de mejor manera le energía suministrado por el vapor.

El material que envuelve el relleno de lana mineral de roca, es una capa de silicón gris, estas son telas resistentes a altas temperaturas, utilizadas muchas veces para proteger aislamientos térmicos. Los tejidos revestidos con silicón, aumenta la resistencia a la abrasión y poseen una fuerza excepcional y propiedades de resistencia al desgarre. El uso de este material es adecuado a temperaturas de hasta 315 grados celcius, a la vez este tela impide el paso de humedad y aire al interior, protegiendo así a la lana mineral, el espesor de esta tela de es 0,03 pulgadas. Este material ha recibido la aprobación de USDA para su uso en la industria alimenticia y de la FDA (21 CFR177.2600).

La lana mineral de roca como opción de relleno para el aislante térmico ya que satisfacía distintas necesidades de operación con sus características y

propiedades, el área de cocción es una área con bastante humedad ya que el producto ya cocinado libera vapor de agua al ambiente, por lo que era necesidad que el material fuera resistente al agua, la lana mineral de roca no absorbe agua aun en presencia de ambientes con elevados niveles de humedad atmosférica. Si el agua llegara a penetrar y saturar el aislamiento después de seco permanecerán inalteradas las propiedades aislantes.

Es importante que todas las superficies en contacto directo o indirecto con los alimentos estén en buen estado y sin presencia de óxido, la lana mineral no está en contacto directo pero es bueno siempre evitar cualquier foco de óxido u otros posibles contaminantes, la lana mineral de roca es químicamente neutra, no es corrosiva para los aceros, su proceso productivo y composición mineralogía asegura una baja concentración de cloruros y un PH neutro.

Para elegir los materiales se considero tanto seguridad alimenticia como seguridad industrial, evitando el uso o presencia de materiales flamables que podrían ser fuente de un incendio o intensificar el mismo, la lana mineral es un material inorgánico de naturaleza incombustible en caso de incendio no genera gases ni humos tóxicos, no contiene agentes químicos que atenten contra la salud humana, manteniendo así un proceso seguro.

La lana mineral de roca es un material denso, resistente a intempestivos cambios de temperaturas sin encogerse ni perder su densidad, manteniéndose estables así las dimensiones definidas para el aislante térmico según las dimensiones del bombo rotatorio, estas características a la vez nos asegura que siempre mantendremos un espesor de aislante de 2 pulgadas asegurando así la resistencia al flujo de calor durante todo el proceso de cocción. La lana mineral

de roca esta diseñada dando como resultado una trama multi direccional que asegura una excelente estabilidad.

Un buen aislante térmico debe poseer una baja conductividad térmica, debido a su alta densidad la lana mineral de roca posee una baja conductividad térmica ofreciendo una mayor resistencia al flujo de calor. Las costuras del aislante se realizaron con cordel de alambre inoxidable y fueron internas evitando así exponer el cordel al ambiente y posible contaminación con la línea de producto.

La instalación y desinstalación del aislante térmico es posible con dos personas, ya que el aislante es flexible y liviano facilitando la tarea; el aislante se asegura al equipo ajustando los cinturones instalados en el aislante señalizados en la imagen No.4, identificada por la letra “C” y “D” en la imagen.

Se desarrollo un plan de mantenimiento del aislante térmico, descrito en el Anexo No. 1 , el cual aprovecha el cambio de producto en la línea de producción para realizar una limpieza, desinstalando el equipo y por las características de sus materiales poder realizar una limpieza humedad, ya que el agua utilizada no será absorbida por el material, aprovechando a la vez el tiempo correspondiente a la limpieza de la línea para cambio de producto por lo que no retrasa el proceso de sanitización.

Inicialmente el bombo rotatorio tenia una eficiencia térmica de 65,4 por ciento lo que se refleja en un mayor consumo de vapor como transporte de energía del necesario para llevar a cabo la operación , la instalación del aislante térmico logro mejorar 4,7 puntos porcentuales , logrando una eficiencia de 70,1 esto debido a la baja conductividad térmica del material aislante , lo que es causa de una resistencia al flujo de calor a través de este material, evitando la

pérdida de calor a los alrededores manteniéndolo en el interior del bombo siendo de mejor forma aprovechado para el proceso de cocción.

La instalación del aislante no solo logro el mejor aprovechamiento de la energía si no que también permite y abre las puertas a nuevos estudios que permiten la mayor eficiencia de una línea, se realizo un diagnóstico del equipo previo al uso de aislante el cual demostraba que el ciclo de cocción se realizaba en 90 minutos , con el aislante logramos una menor pérdida de calor lo cual redujo el tiempo de cocción a ciclos de 85 minutos, en los cuales se logra una cocción correcta con un 32 por ciento de humedad. La reducción del tiempo del protocolo de cocción genera un aumento en el flujo de producto de 13,2 a 14,0 kilogramos por minuto, aumenta un 5,9 por ciento de la producción total. Para una mejor comparación de estas mejores ver Anexo No. 2.

Otro beneficio de la implementación del aislante es la posibilidad de la reducción de la presión de operación, lo cual se reflejaría en la reducción de la necesidad de generar vapor para satisfacer el requerimiento energético del proceso de cocción.

CONCLUSIONES

1. La implementación del aislante térmico elaborado de lana mineral y silicone gris logro una mejora de 4,7 puntos porcentuales logrando una eficiencia de 70,1 por ciento.
2. El aislante térmico conserva el calor dentro del bombo rotatorio aprovechándose de mejor forma el calor durante el proceso de cocción logrando la reducción de 5 minutos en el protocolo de cocción.
3. La reducción del tiempo en el protocolo de cocción aumento la productividad de la línea en un 5,9 por ciento de la producción total, aumentado de 13,2 a 14,0 kilogramos por minuto de producto terminado.
4. Las características fisicoquímicas de los materiales aseguran la no absorción de humedad evitando así el aumento en la conductividad térmica de los mismos, siendo menos eficiente el aislante térmico.
5. El aislante térmico se fabricó de lana mineral recubierta por ambas caras con tela de silicone gris con costura interna con orden de acero, ojetes y cierras de acero inoxidable con todas las piezas fijas al aislante.

RECOMENDACIONES

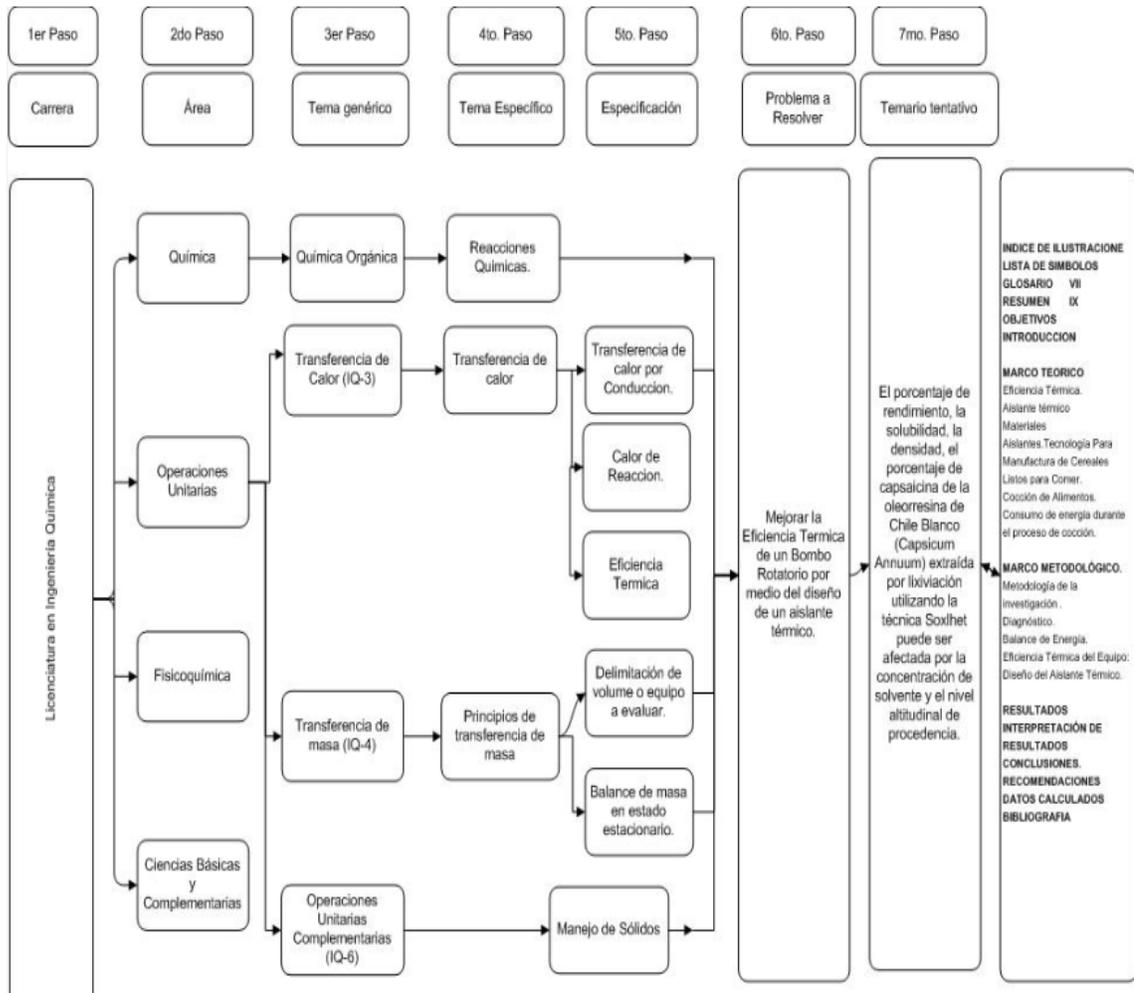
1. Se debe lavar la superficie del aislante térmico ya que es posible la acumulación de condensado y partículas de materia prima, dando lugar a crecimiento de bacterias y hongos.
2. Realizar un estudio que determine cuál de los beneficios que nos da el uso de aislante es el que agrega más valor a la producción, ya sea el menor uso de vapor para realizar el proceso de cocción o el aumento de la capacidad de producción de la línea.
3. Realizar una revisión de las costuras del aislante térmico para que estas no se desprendan y sean un riesgo para la seguridad del alimento.

BIBLIOGRAFÍA

1. CENGEL, Yunus A. *Transferencia de calor*. 3a ed. México: McGraw-Hill, 2007. 778 p. ISBN-13: 978-970-10-6173-2.
2. FAST, Roberto B. *Breakfast cereal, and how they are made*. Estados Unidos: Caldwell, 1991. 371 p.
3. Kelloggs Company. *Olla rotativa Modelo 59 Manual de mantenimiento*, Estados Unidos: Kellogg Editors, 1991. 159 p.
4. VAN NESS, Smith J.M; ABBOT, M.M. *Introducción a la termodinámica de ingeniería química*. 5a ed. México: McGraw-Hill, 1997. 650 p. ISBN 9789701061473.

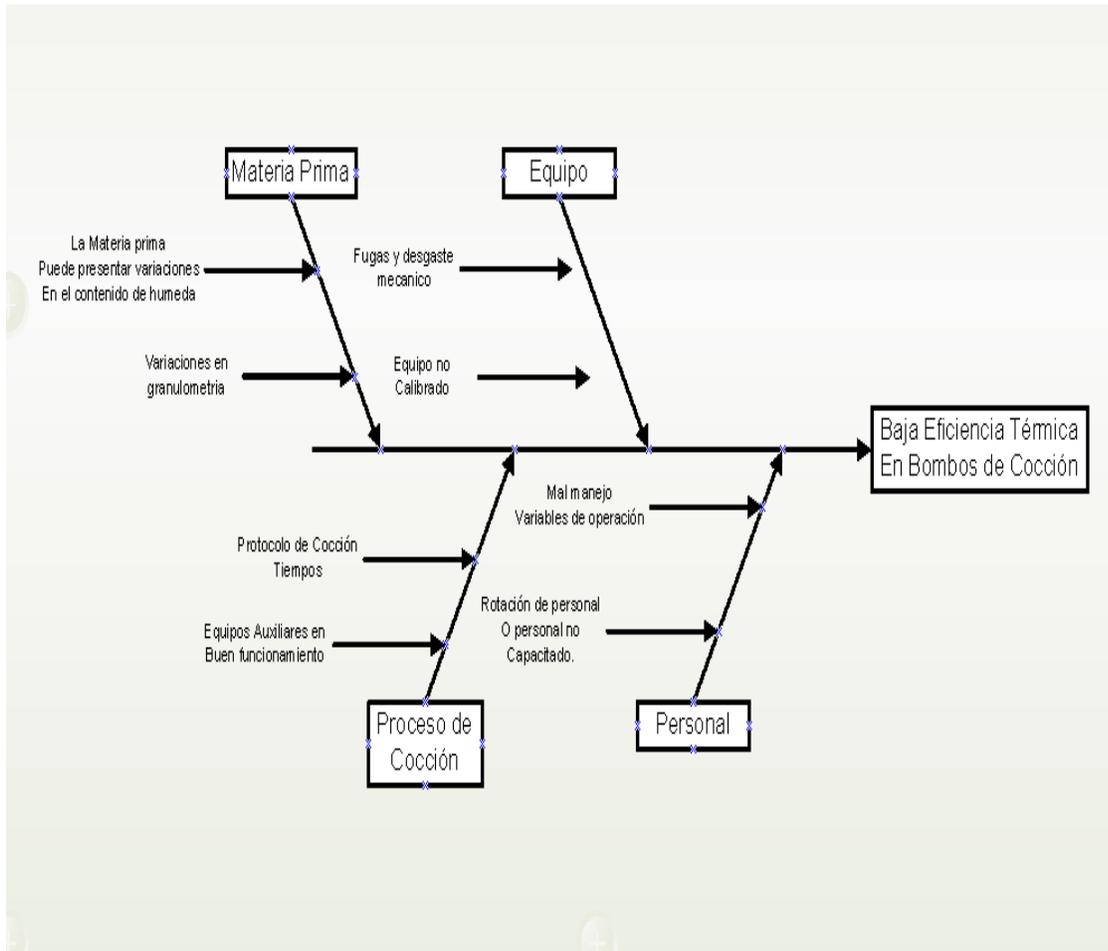
APÉNDICE

1. Apéndice 1. Tabla de requisitos académicos.



Fuente: elaboración propia.

2. Apéndice 2. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Datos calculados.

Muestreo de Materia Prima y Producto del sistema de cocción

Según las tablas Military Standard 105E (ANSI/ASQC Z1.4, ISO 2859) para un lote o una población de 16 a 25 unidades, para un plan normal de inspección, el plan de evaluación fue:

Para un plan de muestreo para una población de 21 unidades
Se deben evaluar 10 unidades de la población Correspondiente al 48 % de la población Se deben evaluar todos los batches pares del proceso de cocción.

Al analizar la materia prima se evaluó ese mismo lote de maíz cocinado por lo que las cantidades de muestra obtenidas de ambos puntos son las mismas.

Apéndice 3.1. Cálculo de humedad

Balance de maíz				
Muestra No.	Kg. De maíz entrando al bombo cocción.	Kg. de maíz cocinado por ciclo de cocción.	Contenido de humedad % (Materia prima)	Contenido de Humedad % (Maíz cocinado)
1	900,3	1270,38	12,35	32,48
2	900,1	1273,66	11,59	32,1
3	900	1274,28	12,25	32,65
4	900,3	1267,46	12,09	32,11
5	900,5	1275,05	13,01	33,24
6	900,4	1260,29	13,85	33,05
7	900,3	1274,77	12,49	32,84
8	900,6	1279,53	11,89	32,63
9	900,3	1268,83	12	32,12
10	900,2	1270,02	13,25	33,16
Promedio.	900,30	1271,43	12,48	32,64

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.2. Balance de masa para agua

Balance de agua.				
Muestra No.	Agua preparacion jarabe (kg/ batch)	Agua en materia prima (kg/batch)	Cantidad de agua en el maiz cocinado (kg/batch)	Cantidad de agua por condensado de vapor (kg/batch)
1	250,93	111,19	379,60	17,48
2	250,93	104,32	376,21	20,96
3	250,93	110,25	382,86	21,68
4	250,93	108,85	374,33	14,56
5	250,93	117,16	390,03	21,94
6	250,93	124,71	382,92	7,29
7	250,93	112,45	385,25	21,87
8	250,93	107,08	384,33	26,32
9	250,93	108,04	374,89	15,92
10	250,93	119,28	387,42	17,22
Promedio.	250,93	112,33	381,78	18,52

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.3. Cálculo calor sensible

Calor de Sensible						
Temperatura Ambiente: 22 C (295 K)			Temperatura de Coccion: 126 C			
Temperatura de evaporacion: 114						
Muestra No.	Jarabe		Agua.		Maiz.	
	Kg/Batch	KJ/Batch	Kg/Batch	KJ/Batch	Kg/Batch	KJ/Batch
1	495.5	154596	111.19	460.3144	789.113	264258.1447
2	495.5	154596	104.32	431.8914	795.7784	266490.2739
3	495.5	154596	110.25	456.435	789.75	264471.48
4	495.5	154596	108.85	450.6236	791.4537	265042.0251
5	495.5	154596	117.16	485.0219	783.345	262326.5569
6	495.5	154596	124.71	516.2804	775.6946	259764.6076
7	495.5	154596	112.45	465.5325	787.8525	263836.0552
8	495.5	154596	107.08	443.3167	793.5187	265733.5289
9	495.5	154596	108.04	447.269	792.264	265313.3683
10	495.5	154596	119.28	493.8047	780.9235	261515.6617
Promedio.	495.5	154596	112.3307	465.049	787.9693	263875.1702
Calor Sensible Total Promedio. 418, 936.2 KJ / Batch						

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.4. Balance de Energía

Muestra No.	Calor de Reacción.	Calor de Sensible.
	(KJ)	(KJ)
1	9165,05	419314,46
2	9163,02	421518,17
3	9162,00	419523,92
4	9165,05	420088,65
5	9167,09	417407,58
6	9166,07	414876,89
7	9165,05	418897,59
8	9168,11	420772,85
9	9165,05	420356,64
10	9164,04	416605,47
Promedio.	9165,05	418936,22
Calor necesario Para cocinar un Batch de Maíz. 428101,27 KJ/ Batch		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.5. Cálculo eficiencia térmica

	Calor de Reacción.	Calor de Sensible.	Calor Proporcionado
Muestra No.	(KJ)	(KJ)	(KJ)
1	9165,05	306023,65	484905,70
2	9164,04	306191,71	500564,67
3	9159,96	307726,26	463622,85
4	9167,09	306622,78	488611,90
5	9167,09	304847,97	459086,35
6	9166,07	304008,99	490946,96
7	9164,04	305232,67	482055,67
8	9162,00	305520,93	458120,43
9	9155,89	306121,30	498461,97
10	9165,05	304656,87	490730,14
Promedio.	9163,63	305695,31	481710,66
Calor necesario Para cocinar un Batch de Maíz. 314,956,05 KJ/ Batch			Calor Proporcionado 481,710,66 kJ/Batch
EFICIENCIA TERMICA PROMEDIO % 65,3			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.6. Balance de agua post instalación aislante térmico

Balance de agua.				
Muestra No.	Agua preparación jarabe (Kg/ batch)	Agua en materia prima (kg/batch)	Cantidad de agua en el maíz cocinado (Kg/Batch)	Cantidad de Agua por condensado de vapor (Kg/Batch)
1	250,93	111,46	370,37	7,98
2	250,93	110,72	376,66	15,01
3	250,93	104,56	383,77	28,28
4	250,93	109,41	379,16	18,82
5	250,93	116,07	388,11	21,10
6	250,93	119,12	381,16	11,11
7	250,93	114,33	382,71	17,46
8	250,93	113,04	391,12	27,15
9	250,93	110,18	393,13	32,03
10	250,93	116,59	386,01	18,49
Promedio.	250,93	112,55	383,22	19,74

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.7. **Balance de maíz post instalación aislante térmico**

Balance de maíz				
Muestra No.	Kg. de maíz entrando al bombo coccion.	Kg. de Maíz cocinado por ciclo de coccion.	Contenido de humedad % (Materia prima)	Contenido de humedad % (Maíz cocinado)
1	900,3	1260,89	12,38	31.95
2	900,2	1267,81	12,3	32.3
3	899,8	1280,69	11,62	32.55
4	900,5	1271,93	12,15	32.4
5	900,5	1274,21	12,89	33.1
6	900,4	1264,12	13,23	32.79
7	900,2	1270,26	12,7	32.75
8	900	1279,76	12,56	33.2
9	899,4	1284,03	12,25	33.25
10	900,3	1271,39	12,95	33
Promedio.	900,16	1272,51	12,50	32,73

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.8. **Cálculo calor sensible post instalación de aislante térmico**

Calor de Sensible						
Temperatura Ambiente: 22 C (295K)			Temperatura de Cocción: 126			
Temperatura de evaporación: 114						
Muestra No.	Jarabe		Agua		Maiz	
	kg/Batch	kJ/Batch	kg/Batch	kJ/Batch	Kg/Batch	kJ/Batch
1	295,5	92196	111,46	461,4326	788,8429	213366,2168
2	295,5	92196	110,72	458,3998	789,4754	213537,3062
3	295,5	92196	104,56	432,865	795,2432	215097,3916
4	295,5	92196	109,41	452,9605	791,0893	213973,8203
5	295,5	92196	116,07	480,5482	784,4256	212171,4228
6	295,5	92196	119,12	493,1689	781,2771	211319,8246
7	295,5	92196	114,33	473,3072	785,8746	212563,3618
8	295,5	92196	113,04	467,9856	786,96	212856,9408
9	295,5	92196	110,18	456,1307	789,2235	213469,1723
10	295,5	92196	116,59	482,6778	783,7112	211978,1919
Promedio.	295,5	92196	112,5477	465,9476	787,6123	213033,3649
Calor Sensible Total Promedio.				305,695, 31 KJ / Batch		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.9. **Cálculo eficiencia térmica post instalación aislante térmico**

	Calor de Reaccion.	Calor de Sensible.	Calor Proporcionado
Muestra No.	(KJ)	(KJ)	(KJ)
1	9165,05	306023,65	443927,75
2	9164,04	306191,71	451799,06
3	9159,96	307726,26	449484,00
4	9167,09	306622,78	461209,10
5	9167,09	304847,97	443524,10
6	9166,07	304008,99	440471,26
7	9164,04	305232,67	445826,30
8	9162,00	305520,93	443652,79
9	9155,89	306121,30	456262,22
10	9165,05	304656,87	455474,49
Promedio.	9163,63	305695,31	449163,11
Calor necesario Para cocinar un Batch de Maíz. 314,858,05 KJ/ Batch			Calor Proporcionado 449,163,11 kJ/Batch
EFICIENCIA TERMICA PROMEDIO % 70.1			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.10. **Programa de limpieza y mantenimiento aislante térmico de bombo rotatorio**

MES	SEMANA				PROCEDIMIENTO LIMPIEZA
	1	2	3	4	
ENERO					<p>Las limpiezas se realizaran durante el transcurso de las semanas indicadas por mes, ya que estas corresponden al cambio de producto</p> <p>En línea, por lo que se tiene 4 horas para la limpieza.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Usar polipasto para poder quitar el aislante térmico en el bombo rotatorio 2. Dirigir el aislante térmico al área de lavado donde se debe utilizar el limpiador correspondiente 3. Lavar la superficie del bombo rotatorio evitando la acumulación de residuos. 4. Lavar el interior del bombo rotatorio 5. Revisar los accesorios del aislante para que estos estén sujetos al mismo. 5. Usar polipasto para colocar el aislante térmico sobre el bombo.
FEBRERO					
MARZO					
ABRIL					
MAYO					
JUNIO					
JULIO					
AGOSTO					
SEPTIEMBRE					
OCTUBRE					
NOVIEMBRE					
DICIEMBRE					

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Parámetros de operación post-instalación aislante térmico y pre-instalación aislante térmico**

DESCRIPCIÓN:	DATOS RECETA:	NUEVOS DATOS DE RECETA:
Cantidad de agua para 1 batch de sabor:	1175 Kg (malta líquida 80 Brix*) 1200 Kg (Malta en polvo)	1175 Kg (malta líquida 80 Brix*) 1200 Kg (Malta en polvo)
Cantidad de sabor a aplicar en 1 batch:	356 Kg/batch	356 Kg/batch
Cantidad de agua de barrido:	10 Kg/batch	10 Kg/batch
Presión de vapor	23,5 PSI	23,5 PSI
Temperatura	216 C	216 C
Kilos de Maiz	900 Kg/ batch	900 Kg/ batch
PROTOCOLO COCIMIENTO	Tiempos	Tiempos
Prevaporizado	15 minutos	15 minutos
Sabor	5 minutos	4 minutos
Cocimiento.		
Alta	10 minutos	9 minutos
Baja	20 minutos	19 minutos
Alta	3 minutos	3 minutos
Baja	15 minutos	14 minutos
Alta	2 minutos	2 minutos
Baja (5 min de despresurización)	15 minutos.	14 minutos.
FLUJOS DE PRODUCCION	13,2 kg producto terminado/ min.	14,0 kg producto terminado/ min.

Fuente: elaboración propia.