



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN EN LA DETERMINACIÓN DEL BALANCE DE MASA Y  
ENERGÍA EN LA PANIFICADORA LA CORONA COMO HERRAMIENTA DE INGENIERÍA  
PARA AUMENTAR SU PRODUCTIVIDAD**

**Liliana del Carmen Cobaquil Gómez**

Asesorado por el MSc. Ing. Luis Carlos Jerez López

Guatemala, noviembre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN EN LA DETERMINACIÓN DEL BALANCE DE MASA Y  
ENERGÍA EN LA PANIFICADORA LA CORONA COMO HERRAMIENTA DE INGENIERÍA  
PARA AUMENTAR SU PRODUCTIVIDAD**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**LILIANA DEL CARMEN COBAQUIL GÓMEZ**  
ASESORADO POR EL MSC. ING. LUIS CARLOS JEREZ LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADORA	Inga. Hilda Piedad Palma Ramos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN EN LA DETERMINACIÓN DEL BALANCE DE MASA Y ENERGÍA EN LA PANIFICADORA LA CORONA COMO HERRAMIENTA DE INGENIERÍA PARA AUMENTAR SU PRODUCTIVIDAD**

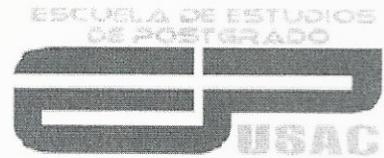
Tema que me fuera asignado por la dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 9 de octubre de 2014.



**Liliana del Carmen Cobaquil Gómez**



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala



**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**  
Teléfono 2418-9142 / 2418-8000 Ext. 86226

**AGS-MGIPP-0032-2014**

Guatemala, 09 de octubre de 2014.

Director  
Víctor Manuel Monzón  
Escuela de Ingeniería Química  
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Liliana del Carmen Cobaquil Gómez** carné número **2007-14734**, quien optó la modalidad del **“PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO”**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría de Gestión Industrial**.

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

Sin otro particular, atentamente,

“Id y enseñad a todos”

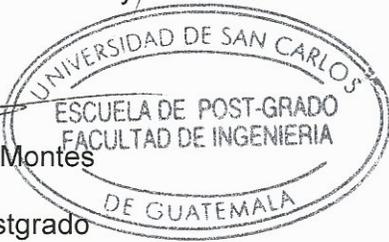
MSc. Ing. Luis Carlos Jerez López  
Asesor(a)

**Luis Carlos Jerez López**  
Ingeniero Químico  
Col. 1476

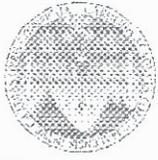
MSc. Ing. César Augusto Akú Castillo  
Coordinador de Área  
Gestión y Servicios

**César Akú Castillo MSc.**  
INGENIERO INDUSTRIAL  
COLEGIADO No. 4,073

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



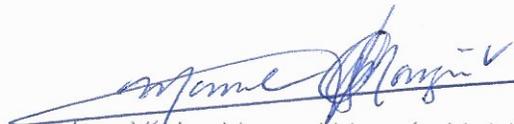
Cc: archivo  
/la



Ref.EIQ.TG.261.2014

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el informe de la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la estudiante, **LILIANA DEL CARMEN COBAQUII GÓMEZ**, ha optado por la modalidad de estudios de postgrado para el proceso de graduación de pregrado, que para ello el estudiante ha llenado los requisitos establecidos en el normativo respectivo y luego de conocer el dictamen de los miembros del tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el **Informe del Diseño de Investigación del Programa de Maestría en GESTIÓN INDUSTRIAL** titulado **"DISEÑO DE INVESTIGACIÓN EN LA DETERMINACIÓN DEL BALANCE DE MASA Y ENERGÍA EN LA PANIFICADORA LA CORONA COMO HERRAMIENTA DE INGENIERÍA PARA AUMENTAR SU PRODUCTIVIDAD"**. Procede a **VALIDAR** el referido informe, ya que reúne la coherencia metodológica requerida por la Escuela.

*"Id y Enseñad a Todos"*



Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, noviembre de 2014

Cc: Archivo  
Copia: Colegio de Ingenieros Químicos de Guatemala  
VMMV/ale





DTG. 669.2014

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: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN EN LA DETERMINACIÓN DEL BALANCE DE MASA Y ENERGÍA EN LA PANIFICADORA LA CORONA COMO HERRAMIENTA DE INGENIERÍA PARA AUMENTAR SU PRODUCTIVIDAD**, presentado por la estudiante universitaria **Liliana del Carmen Cobaquil Gómez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy  Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, 19 de noviembre de 2014

/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por haberme acompañado y guiado durante toda mi carrera y mi vida, gracias por brindarme la paciencia, sabiduría y fuerza para alcanzar este éxito, gracias mi Dios, toda la gloria sea para ti.

### **Virgen María**

Por su amor de madre, por siempre cuidarme, guiarme y estar a mi lado en todo momento.

### **Mis padres**

Roberto Cobaquil y Liliana Gómez de Cobaquil. Por su entrega, amor y apoyo incondicional que me han brindado durante toda mi vida, por sus sabios consejos y por ser mi ejemplo de vida, todo mi amor para ustedes, este éxito es nuestro.

### **Mis hermanos**

Roberto y André Cobaquil. Por ser parte fundamental en mi vida, por estar siempre a mi lado, por sus consejos, apoyo y cariño que he tenido durante toda mi vida.

**Mis tíos, primos y  
sobrinos**

Por su apoyo, consejos y cariño que he tenido siempre de su parte, por inyectarme de felicidad y energía para seguir adelante, que Dios los bendiga.

**Josemarcelo Velásquez**

Por su amor incondicional, por ser mi apoyo y felicidad, por su paciencia y comprensión y por ayudarme en todo momento a culminar esta etapa de mi vida.

**Amigos**

Por todos los buenos momentos compartidos, por brindarme su amistad y apoyo a lo largo de toda la carrera.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**La Universidad de  
San Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios y proveerme de conocimientos para realizarme profesional y exitosamente.

**Facultad de Ingeniería**

Por darme la oportunidad y los recursos para poder alcanzar mi meta de ser ingeniera.

**Ing. Luis Carlos Jerez**

Por su conocimiento y valiosa colaboración en la supervisión y revisión de mi trabajo.

**Panadería la Corona**

Por el apoyo brindado para permitir realizar este trabajo de investigación dentro de sus instalaciones

**Ing. Vladimir Pérez**

Por ser parte importante para la realización de este trabajo de investigación, por compartir su conocimiento, apoyo y consejos.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
INTRODUCCIÓN .....	XI
1. ANTECEDENTES .....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
3. JUSTIFICACIÓN .....	11
4. OBJETIVOS .....	15
5. ALCANCES .....	17
6. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....	19
6.1. Historia del pan.....	19
6.2. Definición del pan .....	23
6.3. Materia prima utilizada.....	25
6.3.1. Ingredientes básicos.....	25
6.3.1.1 Harina.....	25
6.3.1.2 Agua.....	28
6.3.1.3 Sal.....	29
6.3.1.4 Levadura.....	29

6.3.2.	Ingredientes secundarios .....	31
6.3.2.1	Azúcar.....	31
6.3.2.2	Materias grasas.....	32
6.3.2.3	Leche.....	32
6.3.2.4	Huevos.....	32
6.3.3.	Ingredientes alternativos .....	33
6.3.3.1	Aditivos.....	33
6.3.3.2	Enzimas.....	34
6.3.3.3	Ácido Ascórbico.....	34
6.3.3.4	Harina de malta.....	34
6.3.3.5	Emulsionantes.....	34
6.3.3.6	Ingredientes alternativos naturales.....	35
6.4.	Equipo utilizado.....	35
6.4.1.	Hornos.....	36
6.5.	Proceso de elaboración de pan.....	38
6.5.1.	Pesaje de los ingredientes .....	38
6.5.2.	Mezcla y amasado .....	38
6.5.3.	Primera fermentación o reposo inicial .....	38
6.5.4.	Corte y ovillado.....	39
6.5.5.	Segunda fermentación .....	39
6.5.6.	Moldeado.....	39
6.5.7.	Tercera fermentación .....	40
6.5.8.	Horneado.....	40
6.5.9.	Rendimiento de una receta .....	41
6.6.	Definición de productividad .....	42
6.7.	Modelo de productividad total .....	43
6.8.	Ventajas del modelo de productividad total.....	45
6.9.	Fases de implementación del modelo de productividad total .....	46

6.9.1.	Medición de la productividad .....	46
6.9.2.	Evaluación de la productividad .....	46
6.9.3.	Planeación de la productividad .....	47
6.9.4.	Mejoramiento y control de la productividad .....	47
6.9.4.1	Mejora de la productividad.....	48
6.9.4.2	Factores que influyen en la mejora de la productividad.....	48
6.10.	Definición de balance de masa.....	48
6.11.	Utilización del balance de masa en procesos.....	49
6.12.	Procedimiento general para determinar el balance de materia.....	51
6.13.	Transferencia de calor.....	52
6.13.1.	Calor por conducción.....	52
6.13.2.	Calor por convección .....	53
6.13.3.	Calor por radiación .....	53
6.14.	Definición del balance de energía .....	54
6.15.	Energía.....	54
6.16.	Balance de energía en sistemas cerrados.....	55
6.17.	Determinación de la eficiencia del horno a través del balance de energía.....	57
6.17.1.	Calor disponible .....	60
6.17.2.	Calor útil .....	62
6.17.3.	Pérdidas de calor del proceso .....	62
6.17.3.1	Pérdida de calor por conducción.....	62
6.17.3.2	Transferencia de calor por radiación.....	63
6.17.4.	Energía neta transferida al sistema .....	64
6.17.5.	Eficiencia térmica del horno.....	64
7.	CONTENIDO DEL INFORME .....	67

8.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	71
8.1.	Fase I: recopilación de información histórica de producción ....	72
8.2.	Fase II: determinación de indicadores de productividad actual de la panificadora .....	74
8.3.	Fase III: determinación del balance energético .....	76
8.4.	Fase IV: determinación del balance de material .....	78
8.5.	Fase V: determinación de la productividad total.....	79
9.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	81
9.1.	Recolección y ordenamiento de la información .....	81
9.2.	Procesamiento primario de datos.....	81
9.3.	Procesamiento secundario de datos .....	82
10.	CRONOGRAMA .....	83
11.	RECURSOS DISPONIBLES.....	85
11.1.	Recurso humano.....	85
11.2.	Recurso material .....	85
11.3.	Factibilidad del estudio y fuente de financiamiento .....	86
12.	BIBLIOGRAFÍA .....	89
13.	APÉNDICE.....	95

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Ficha descriptiva de la harina.....	27
2.	Ficha descriptiva de la levadura.....	31
3.	Insumos tangibles mostrados por el modelo de la productividad de Sumanth.....	45
4.	Ecuación general de balance de materia .....	50
5.	Transferencia de calor en el horno.....	59
6.	Diagrama del balance de materia para el cocimiento del pan.....	78

### TABLAS

I.	Tipos de agua y su efecto en las masa .....	28
II.	Partes de un horno y su transmisión de calor .....	37
III.	Recurso humano .....	85
IV.	Recurso material .....	86
V.	Presupuesto del proyecto.....	87



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$\alpha$	Absortividad
<b>A</b>	Área de transferencia de calor
<b>Q</b>	Calor
<b>Qt</b>	Calor total
<b>C<sub>pan</sub></b>	Calor específico del pan
<b>Q<sub>D</sub></b>	Calor disponible
<b>Q<sub>t</sub></b>	Calor total aportado al horno
<b>Q<sub>rad</sub></b>	Calor transferido por radiación
<b>Q<sub>1</sub></b>	Calor útil
<b>Q<sub>util</sub></b>	Calor útil para evaporación de agua
<b>C<sub>p,combs</sub></b>	Capacidad calorífica del combustible
<b>K</b>	Conductividad térmica
<b><math>\Delta</math></b>	Delta (final – inicial)
$\varepsilon$	Emisividad de la superficie
<b>E<sub>c</sub></b>	Energía cinética
<b>E<sub>combs</sub></b>	Energía del combustible alimentado al horno
<b>U</b>	Energía Interna
<b>E<sub>p</sub></b>	Energía potencial
<b>L</b>	Espesor
<b>M<sub>pf</sub></b>	Masa del pan sin humedad
<b>Q<sub>pared</sub></b>	Pérdida de calor a través de las paredes
<b>Q<sub>pared</sub></b>	Perdida del calor de las paredes del horno
<b>P<sub>i</sub></b>	Peso inicial (masa cruda)

<b>Pf</b>	Peso final (pan horneado)
<b>Pt</b>	Productividad total
$\Sigma$	Sumatoria
<b>Qi</b>	Sumatoria de las pérdidas de calor
<b>Qrad</b>	Transferencia de calor por radiación
<b>T<sub>ambiente</sub></b>	Temperatura del ambiente
<b>T<sub>pared</sub></b>	Temperatura de la pared
<b>T<sub>quema</sub></b>	Temperatura de quema del pan
<b>Te</b>	Temperatura exterior
<b>Ti</b>	Temperatura interior
<b>W</b>	Trabajo

## GLOSARIO

<b>Balance de calor</b>	Basado en la Ley de la Conservación de la Energía, la cual establece que en el curso de un proceso, la energía no se puede crear ni destruir; solo se puede cambiar las formas.
<b>Balance de masa</b>	Basada en la Ley de Conservación de la Masa, la cual establece que la masa que entra a un sistema debe salir del sistema o acumularse dentro del él, excluyendo las reacciones nucleares o atómicas.
<b>Calor</b>	Energía que se transfiere de un sistema y sus alrededores como consecuencia de una diferencia de temperatura.
<b>Eficiencia</b>	Capacidad de cumplir con un objetivo fijado, en el menor tiempo posible y con el mínimo uso posible de los recursos.
<b>Energía interna</b>	Energía total de las moléculas individuales de un sistema, depende de la temperatura, la fase y la estructura molecular, la presión.
<b>Gas de combustión</b>	productos gaseosos que salen de un horno de combustión.

<b>Materia prima</b>	Materia extraída de la naturaleza que es transformada para la elaboración de bienes de consumo.
<b>Pan</b>	Alimento básico que se elabora con una mezcla de harina, generalmente de trigo, agua, sal y levadura, que se amasa y se cuece en un horno en piezas de distintas formas y tamaños; su sabor, color y textura pueden variar según el tipo de harina empleado y los ingredientes secundarios añadidos, como leche, mantequilla, frutos secos, etc
<b>Productividad</b>	Cociente que se obtiene de dividir la cantidad de recursos utilizados dentro de la cantidad de bienes y servicios producidos.
<b>Productividad total</b>	Razón entre la producción total y la suma de todos los factores de insumo.
<b>Transferencia de calor</b>	Estudio de las velocidades a las cuales ocurre un intercambio del calor entre las fuentes de calor y los receptores.

## INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se analizará la productividad de la panificadora “La Corona” situada en la zona 1 ciudad de Guatemala, la cual no posee un sistema de verificación, control y gestión de procesos. Tampoco se le ha realizado ningún análisis de rendimiento, eficiencia y costos del proceso de panificación por esto, se realizará un análisis de la eficiencia y rendimiento del proceso, a través de un balance energético en el horno de bóveda de la línea de producción de pan popular de la panadería y un balance del material del proceso, con la finalidad de determinar la eficiencia y rendimiento del mismo, y proponer e implementar una mejora del proceso, con lo que se espera lograr un aumento de la productividad de la panificadora.

La implementación de mejora de los procesos y el aumento de la productividad beneficia principalmente a la empresa, ya que se incrementará la calidad de sus procesos y producto, se mejorará su sistema de producción y se reducirán los costos del mismo. Con esta investigación se benefician también los consumidores, ya que el control de los procesos de manufactura, les garantizará un producto de mayor calidad a un mejor precio. Se beneficiará también a la industria alimenticia del mercado guatemalteco, al tener un ambiente de competencia sano dentro del gremio, impulsando a otras pequeñas y medianas empresas a realizar estudios de sus procesos e implementar mejoras de sus procedimientos para aumentar así la competitividad del mercado y contribuir a un mayor crecimiento económico del país. El estudio de este problema es viable, ya que se poseen los recursos necesarios para realizar la investigación y se cuenta con la autorización y el acceso a los datos técnicos de los procesos internos de la panificadora objeto de estudio.

Esta investigación, se trabajará en fases, la primera será la recolección de datos históricos de producción para determinar la productividad actual de la empresa. En la segunda fase se realizará la determinación del balance energético y de material dentro del proceso de elaboración del pan. La tercera fase será de implementación de las propuestas de mejora y por último la verificación del éxito o fracaso de dichas propuestas, con base en el aumento o no de la productividad de la panificadora. Se hará una investigación de campo utilizando el análisis documental para la recolección de datos de los procesos de panificación con un método de observación científica directa a través de una lista de cotejo, que incluyan los datos necesarios para determinar la productividad de la empresa y los balances de energía y masa.

En el primer capítulo se presentará una breve descripción de la panificadora en estudio, una reseña histórica de la misma, sus clientes, productos, su estructura laboral y administrativa y sucursales actuales. En el segundo capítulo se explica el procedimiento de elaboración de pan en general, materia prima, materiales, equipo mínimo a utilizar dentro del proceso y el proceso básico para la elaboración de pan. En el tercer capítulo se detalla sobre la productividad, definiciones, tipos y como se determina la productividad dentro de un proceso de producción, para este caso de la elaboración de pan. Finalmente, en el cuarto capítulo se expone el balance de energía y masa para un proceso, la definición y concepto teórico de un balance, el procedimiento para realizarlo y los datos necesarios que cada balance requiere para su determinación.

## 1. ANTECEDENTES

La medición, mantenimiento y aumento de la productividad aplicadas a las industrias de bienes y servicios es una parte fundamental que toda empresa debe manejar e implementar dentro de sus procesos. A lo largo del tiempo se han desarrollado y utilizado varias herramientas que al ser implementadas dentro de los procesos han logrado aumentar la productividad de las industrias. El análisis, desarrollo e implementación de las nuevas tendencias para aumentar la productividad han sido pasos fundamentales para que las empresas aumenten su competitividad, calidad, mejor uso de recursos disponibles, mayor utilidades, mano de obra más eficiente y bienestar para el cliente y trabajadores.

Según el diccionario de la Real Academia Española (RAE), la productividad es un concepto que describe la capacidad o el nivel de producción por unidad de superficies de tierras cultivadas, de trabajo o de equipos industriales. Sumanth (1999) indica que la palabra productividad se menciona por primera vez en 1766. Theran (2008) argumenta que en 1950 la Organización para la Cooperación Económica Europea (OCEE) ofrece una definición más formal de la productividad “Productividad es el cociente que se obtiene al dividir la producción por uno de los factores de producción”.

A finales del siglo XX Sumanth (1979) la definió como una productividad total, siendo este un sistema de control de gestión de proceso donde la producción e insumos se utilizan en términos medibles. Jhon G. Belcher (1987) proporciona una definición simple del término productividad la cual dice “El concepto de productividad es bastante simple: se trata de la relación entre lo

que produce una organización y los recursos requeridos para tal producción”. A lo largo de los años se han establecido varios conceptos del término productividad, y con variaciones en cada uno de ellos, todos estos conceptos recalcan la importancia de la misma, y que su medición e implementación dentro de los procesos productivos, tendrán nada más que beneficios para la empresa.

En tema de diseños de investigación, se han planteado varios usos de herramientas y la implementación de las mismas en los procesos de manufactura y servicios para aumentar la productividad de los procesos. En la tesis *Actualización del balance energético del ingenio los tarros* (Landaverry Villeda, 1996) se utilizó la determinación de un balance energético en los equipos utilizados en el proceso de fabricación de azúcar, y con los resultados obtenidos se propuso e implementó una mejora al proceso para aumentar la eficiencia y capacidad de producción de los equipos y comercializar un porcentaje de energía eléctrica producida. Al realizar estos cambios se disminuyen costos de energía, se aumenta la eficiencia del proceso y se tiene un aumento de utilidades al vender la energía eléctrica, es decir un aumento de su productividad.

En la tesis *Análisis en el rendimiento actual y propuestas de mejora para aumentar la productividad en las líneas de producción (Microcel y Kickers) en la hulera Centro Americana S. A.* (Solís Marroquín, 2001). Se realizó un estudio para determinar el rendimiento de las líneas de producción en una hulera y realizar las propuestas de mejora que logren aumentar la productividad. En esta tesis se demuestra que es de suma importancia realizar un análisis del proceso que se está estudiando, antes de realizar algún cambio en los mismos. Es por eso que en esta investigación, primero se determinará la productividad actual

de la panificadora y, partiendo de ese punto, se realizarán las mejoras respectivas.

Otro caso de análisis de la productividad se tiene en la tesis *Medición de la productividad en la industria de bebidas no alcohólicas* (Tejeda Ayala, 1999) donde se desarrolló un modelo para determinar la productividad en diferentes monedas para una empresa de la industria de bebidas no alcohólicas con base en el modelo de productividad total, calculando los indicadores parciales de insumos, ventas, flotilla, terreno, planta e inventario; con la información de varios períodos de medición, se logró evaluar la gestión operacional de la empresa y se propusieron las mejoras al sistema. En esta tesis se demuestra que la productividad, no es cuestión de un solo factor, sino de varios, y que se deben analizar todos para verificar cual se debe mejorar y así traer un beneficio a la empresa, ya sea de calidad, monetario o de tiempo.

Para aumentar la productividad en cualquier sistema de producción o servicios se debe pensar específicamente en el tipo de empresa que se está analizando y que parte del proceso traería mayor beneficio para la empresa al aumentar su productividad, como un paso inicial de mejoras. En la tesis *Aplicación del control de inventarios como herramienta de productividad en la gerencia de construcción, planta interna de una empresa de telecomunicaciones* (Molina Herrera, 2006) se desarrolló un modelo de control de inventarios para mejorar la eficiencia en el control de las mercaderías, el manejo de la información de las bodegas y que los trabajadores tuvieran las herramientas para laborar con mayor facilidad. Esta investigación se encaminó en aumentar la productividad por medio del control de inventarios, parte de su cadena de logística que no tenía la eficiencia y control necesario, con lo que se enfocó en la parte del proceso más débil, se mejoró el proceso tanto en

materias primas como en factor tiempo y así se logró aumentar la productividad de la empresa.

Para el caso de una industria panificadora se realizó un estudio de investigación titulado *Aumento de la productividad y cálculo del costo unitario en una panadería del municipio de San Miguel Petapa* (Sanic Maguirre, 2011) en donde se realizó un análisis de los procesos que tenía la panadería y se implementó mejoras en la conservación y almacenamiento de la materia prima, distribución del producto terminado, el mezclado de los insumos, uso adecuado de los equipos, y el boleado y figurado del pan; adicional a eso se determinó el costo unitario del producto para obtener la utilidad y sus porcentajes sobre el precio costo y el de venta. Con este estudio se comprende la necesidad de implementar una mejora de procesos como un todo, analizando desde la materia prima, hasta la determinación del precio de venta del producto, para poder entender mejor el proceso, y definir así las mejoras necesarias, para reducir el costo de manufactura y con esto aumentar la productividad de la empresa.

En la tesis *El ingeniero industrial como ejecutivo financiero y su aporte directo en el establecimiento de estructuras de calidad y productividad en la industria panificadora* (Navarro Almengor, 2003) se realizó un diagnóstico en el campo de la productividad de una panificadora, resaltando la importancia de la implementación de la misma y los resultados de trabajar con calidad y el impacto que tiene en el ámbito financiero. El aporte de este estudio es la importancia de trabajar con calidad y de la relación que tiene la misma con la productividad total de la empresa, al momento de realizar los análisis de cualquier proceso para su mejora, se debe tener muy en cuenta que el costo de la mala calidad es un precio alto y permanente hasta que no se trabaje en el mismo.

En la tesis *Estudio del reciclado de desperdicio en una panificadora industrial* (Reyes Muñoz, 1999) se realizó un análisis del desperdicio del proceso de pan y su utilización para el reproceso evaluando si afecta la calidad del pan por medio de pruebas organolépticas y microbiológicas. Se concluyó que el reproceso para las migas de pan no afecta en sabor y calidad del mismo, y que genera ganancias a la empresa. Con este estudio se demuestra que los “desperdicios” de un proceso, no necesariamente tienen que ser pérdidas para la empresa, ya que con el debido estudio para el aprovechamiento de los desperdicios, se pueden generar ganancias. Esto es lo que se pretende realizar en esta investigación con la determinación del balance de masa del proceso de panificación, que buscará establecer la cantidad de desperdicio producido, y la forma de utilizarlo para que produzca ganancias en la empresa.

De esta manera se puede mencionar una gran cantidad de trabajos de investigación que se han realizado con el objeto de estudiar y aumentar la productividad dentro de sus procesos, enfocándose en diferentes áreas del proceso para diferentes tipos de industrias, pero siempre llegando a la misma conclusión: el aumento de la productividad de una empresa, desde cualquier parte del proceso que se mejore, genera una mayor utilidad y competitividad para la empresa; mismo objetivo que se busca realizar en esta investigación.



## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para aumentar la competitividad de una empresa se deben desarrollar, mantener y adoptar procedimientos que logren el uso óptimo de los recursos de la empresa para producir la mayor cantidad de producto, conservando los mejores estándares de calidad. El sistema actual de elaboración de pan en la panificadora en estudio se realiza de forma semiartesanal, en donde no poseen un sistema de verificación, control y gestión de procesos y no se ha realizado ningún análisis de rendimiento, eficiencia y costos del proceso de panificación; por lo que se hace necesario realizar un análisis de la eficiencia y rendimiento del proceso para que por medio de un balance energético y de material del proceso se logre implementar una mejora dentro de los procedimientos, con el objetivo de aumentar la productividad del proceso de elaboración del pan.

La pregunta central de la investigación es:

¿Si se determina un balance de masa y energía para establecer la eficiencia y el rendimiento dentro del proceso de manufactura de la línea de pan popular de la panificadora La Corona, se logrará aumentar la productividad?

Las preguntas auxiliares son:

¿Cuál es la productividad actual de la panificadora?

¿Se podrá determinar el rendimiento del proceso de panificación, mediante la determinación de un balance de material del proceso?

¿Se podrá determinar la eficiencia del proceso mediante un balance de energía en el horno de cocción de la panadería?

¿Se podrá aumentar la eficiencia del proceso de panificación?

¿Se puede aumentar la productividad dentro del proceso de panificación?

El estudio de esta investigación se realizará en la zona 1 de la ciudad de Guatemala en la panificadora La Corona, a partir de agosto 2013 a diciembre 2014. Esta investigación es viable ya que se poseen los recursos necesarios para realizar la investigación. Se tiene el acceso a la información de los procesos, documentos actuales que maneja la panificadora, procedimientos de producción, acceso al personal que trabaja dentro de las instalaciones, acceso a datos de los equipos y material con que trabajan en la panificadora y el permiso y compromiso de la fábrica en estudio para realizar esta investigación.

Se cuenta con los recursos financieros para realizar el estudio de investigación, tanto de parte del investigador, como de parte de la fábrica si se necesita realizar una inversión para mejora de sus procesos, siempre con la respectiva evaluación. Se cuenta también con acceso a material, equipo didáctico e insumos necesarios para la realización del proyecto.

El aumento de la productividad dentro de cualquier proceso tiene sus beneficios para la empresa en muchos aspectos dependiendo a que se enfoque la mejora. Para aumentar la productividad dentro de una empresa de alimentos, se puede analizar diferentes áreas de la misma, como su materia prima, la utilización de los desperdicios del proceso, el costo, la eficiencia de los equipos utilizados, etc. Para esta investigación se estudiará la eficiencia y rendimiento del proceso por medio de un balance energético y de material, para implementar mejoras dentro del sistema de producción que logren aumentar la productividad del proceso de panificación.

Las consecuencias de esta investigación se verán reflejadas principalmente para la panadería en estudio, ya que al aumentar su productividad tendrá una mejor utilización de sus recursos energéticos y materiales, lo cual se traduce en una reducción de costos y un aumento de utilidades. La investigación traerá consigo un aumento de la calidad dentro de sus procesos y la optimización de sus recursos. Tendrá consecuencias también para los clientes de la empresa, ya que la optimización y control de los procesos de manufactura les garantizará un producto de calidad.

La investigación tendrá consecuencias también para los trabajadores de la empresa, quienes tendrán procedimientos claros para cumplir mejor con su trabajo y al aumentar la productividad dentro de la empresa con el cumplimiento de sus actividades los hará sentir identificados con la misma y comprometidos para continuar con las mejora continua de sus procedimientos.

Otra consecuencia de esta investigación será para la industria panificadora del mercado guatemalteco, ya que se mejorará el nivel competitivo de las empresas aumentando las probabilidades y opciones para expandirse y buscar un mercado internacional a largo plazo.



### **3. JUSTIFICACIÓN**

La línea de investigación del presente estudio es una metodología de producción enfocado a la productividad total. Se conoce que en el mercado global actual existen una infinidad de industrias en las cuales uno de sus principales factores es la productividad de sus procesos, ya que este factor reúne varios aspectos importantes dentro del proceso que permite una mayor ganancia para la empresa, un aumento de calidad de su producto o servicio, un ahorro de costos y una oportunidad de crecimiento la empresa.

El nuevo enfoque mundial acerca de la productividad está exigiendo a todas las empresas realizar las respectivas mejoras de sus procesos para lograr aumentar su productividad. Para alcanzar esto, las empresas manufactureras y/o de servicios pueden utilizar muchas herramientas para lograr la mejora de sus procesos, comenzando con una evaluación de sus procesos y procedimientos, como la calidad y cantidad de la materia prima, los equipos y la eficiencia de los mismos, la mano de obra, servicio al cliente, gastos operacionales, etc.; sin embargo, mucho de estos estudios se centran en resolver problemas pero no en sus posibles causas, dando como resultado un desarrollo de planes para atacar el problema en sí y no para resolver las causas del mismo.

En Guatemala, muchas de las empresas nacionales no han realizado una evaluación de sus procesos y mucho menos una implementación de mejoras a los mismos, muchas veces por ser pequeñas y medianas empresas que no cuentan con el presupuesto para realizar dicho estudio o empresas que al tener procesos artesanales, no han dado ese paso tan importante de automatización

e implementación de modelos de gestión de procesos para aumentar su productividad; puede ser también debido a desconocimiento de los mismos, falta de inversión, y falta de compromiso de la gerencia y empleados de las empresas. El no tener implementados modelos de gestión disminuye la eficiencia de sus procesos, compromete la calidad e inocuidad de sus productos, y baja su competitividad en el mercado, trayendo consigo consecuencias monetarias, de servicio al cliente y del posicionamiento de su empresa.

Los hornos forman parte de los equipos más utilizados por la industria, son los responsables del mayor porcentaje de consumo de combustibles en este sector, por lo que mantenerlas trabajando con una alta eficiencia, trae consigo beneficios importantes para las empresas. Al razonar la importancia y la necesidad de realizar estudios de productividad dentro de las empresas y sus procesos, se decide realizar un análisis de productividad dentro de la panadería en estudio para encontrar las causas a los problemas que existen y utilizar las herramientas que la ingeniería proporciona para implementarlas dentro de los procesos y aumentar la productividad de los mismos.

Para esto se utilizará un balance energético y de material para eficientar la cantidad y calidad de la materia prima, el manejo de los residuos y la eficiencia del proceso para así obtener las mejoras tanto de producción, calidad y costos, lo cual representa que la panadería pueda tener una mayor competitividad en el entorno globalizado en el que se encuentran.

La implementación de mejora de los procesos y un aumento de la productividad beneficia principalmente a la empresa, ya que el análisis de sus procesos logrará aumentar la calidad de sus procesos y producto, mejorar su sistema de producción y reducir los costos del mismo. Segundo, beneficiará a

los consumidores, ya que el control de los procesos de manufactura, les garantizará un producto de calidad.

También tendrá un beneficio para los trabajadores de la empresa, ya que al desarrollar estas mejoras dentro de los procesos se tendrán procedimientos claros para cumplir mejor con su trabajo y aumentar su productividad y calidad en su desempeño. Y como último, beneficiará también a la industria alimenticia del mercado guatemalteco, ya que al tener una empresa más que cuenta con un modelo de gestión de procesos y un aumento de productividad, se mejora el nivel competitivo de las empresas, creando un ambiente de competencia sana dentro del gremio, impulsando a otras pequeñas y medianas empresas a realizar estudios dentro de sus procesos e implementar mejoras de sus procedimientos, para aumentar así la competitividad del mercado y contribuir a un mayor crecimiento económico del país.



## **4. OBJETIVOS**

### **General**

Describir en qué medida se incrementa la productividad a partir de la determinación del balance de energía y masa en la línea de pan popular de la panificadora La Corona.

### **Específicos**

1. Describir la productividad actual de la panificadora La Corona.
2. Determinar el rendimiento de la producción por medio del cálculo de un balance de material dentro del proceso de la panificadora, y de ser necesario, proponer una mejora del mismo.
3. Determinar la eficiencia en el horno de cocción del pan por medio del cálculo de un balance de energía, y de ser necesario, proponer una mejora para aumentar la misma.
4. Diagnosticar el porcentaje de aumento de productividad luego de implementar los cambios propuestos.



## 5. ALCANCES

En la presente investigación se busca analizar el sistema actual de la panadería para determinar la productividad que tiene la empresa, se realizará un balance energético en el horno de la panadería para definir su eficiencia, de ser necesario, proponer e implementar una mejora para aumentarla. Se determinará el balance del material del proceso, para definir el rendimiento del mismo y proponer e implementar un procedimiento de manejo de sólidos para el aprovechamiento de los desperdicios que surgen de la elaboración del pan. Una vez implementadas las mejoras dentro del proceso de elaboración de pan, se determinará de nuevo la productividad de la empresa para verificar si existió un aumento de la misma. Para comprobar que los balances energéticos y de material utilizados, se usaron como herramienta para optimizar los procesos de producción de la panificadora.

Desde la perspectiva investigativa, el estudio tendrá un enfoque metodológico mixto, el cual permita evaluar la situación actual de la empresa en sus procedimientos y documentación y proponer una serie de mejoras basada en los balances energéticos y de material realizados. Esto se define bajo un alcance descriptivo, donde se pretende como primer paso analizar la situación actual del proceso de la panificadora, controles, recursos y desechos, y cómo está capacitado su personal para garantizar la inocuidad del producto.

Este estudio también posee un alcance correlacional, ya que se busca la relación entre la utilización de los balances de energía y material dentro del proceso de la panificadora para proponer e implementar mejoras y el efecto que

estas tendrán en sus procesos de producción, es decir, si se logra optimizar los procesos de producción dentro de la panificadora aumentando su productividad.

Para esta investigación, los resultados estarán divididos en fases, la primera será la recolección de datos históricos de la panificadora para establecer la productividad actual de la empresa y de sus procedimientos, la segunda fase será la determinación del balance energético y de material dentro del procedimiento de elaboración del pan; la fase de implementación de las propuestas de mejora y por último la verificación del éxito o fracaso de dichas propuestas, las cuales se comprobarán a través de un aumento de la productividad de la empresa.

Dicho balance de masa y energía se realizará únicamente en una línea de producción, la línea de pan popular, en la cual se fabrica pan francés, pan pirujo, pan para *hot dog* y pan para hamburguesas. El estudio se realizará únicamente en esta línea, ya que representa el 50 % de ventas para la panadería, y debido a que cada producto tiene su formulación, ingredientes, temperaturas y grado de complejidad, para lograr un promedio de los datos, se utilizarán únicamente panes similares y que se produzcan en la misma línea.

## 6. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

### 6.1. Historia del pan

Se cree que el descubrimiento del pan sucedió de manera casual cuando un antepasado del hombre comenzó a triturar y mezclar las semillas y cereales que se cultivan con agua; lo que formó una especie de papilla que al secar se convirtió en una torta aplastada, considerada como el primer pan elaborado por el hombre. “El trigo tiene sus orígenes en la Antigua Mesopotámica. Las más antiguas evidencias arqueológicas del cultivo de trigo vienen de Siria, Jordania, Turquía e Irak.” Instituto Profesional DuocUC. (2008 pág. 4).

Según Heinrich E., Reinhart, P. (2007) la tradición del oficio de la panadería fue en Egipto 4000 A. C., los egipcios fabricaron los primeros hornos y descubrieron la fermentación; utilizaban el pan como alimento para el pueblo, en rituales y ceremonias religiosas.

Gracias al comercio existente entre Grecia y Egipto, en Grecia se logra perfeccionar la panadería. Los griegos comienzan a probar diferentes masas utilizando el trigo, la cebada, avena, centeno y masa de arroz, a lo que le agregaban especias, miel, aceites, frutos secos, etc., creando así, más de 70 panes diferentes. Capel (1944) informa la posibilidad que se importara trigo desde Egipto para cubrir la demanda de la metrópolis. Martínez (1989) indica que en un museo de Suiza, se conserva la torta más antigua, conocida como "torta de Corcelles" aproximadamente del año 2800 A.C.

Davidson et al. (2006) afirman que la importancia del pan en la cultura griega se debía a que se utilizaba como un alimento ritual y de origen divino, ya que existían rituales de sacrificio en los que se ofrecían a los dioses los tres alimentos básicos: pan, aceite y vino. El escritor del siglo II Ateneo de Náucratis menciona en sus obras casi 72 formas distintas de hacer pan. De la misma forma, Aristófanes, Antífanos y Platón mencionan a un panadero denominado Theanos, lo cual indica la importante posición que tenía la profesión de panadero.

Según Toussaint (1994), los griegos tomaron la idea de los egipcios de emplear hornos de precalentamiento en forma de cúpulas y abiertos frontalmente para poder introducir el pan dentro del horno. Este pan elaborado a base de cebada lo denominaba maza, se podía servir únicamente en los días señalados de fiesta.

En el año 30 A. C. Roma cuenta con más de 300 panaderías dirigidas por profesionales griegos cualificados. Gómez Arana (2006) afirma que en el año 100, durante el mandato del emperador Trajano, el precio estaba regulado por los magistrados, se constituye la primera asociación de panaderos: el Colegio Oficial de Panaderos de carácter privilegiado, el cual estaba exento de impuestos, la profesión se reglamentaba estrictamente y era heredada obligatoriamente de padres a hijos. Los romanos mejoraron los molinos, las máquinas de amasar y los hornos, de tal manera que, hoy en día, se denomina "horno romano" al horno de calentamiento directo.

Los panaderos distinguían los panes según su composición, forma y función, se creó un pan especialmente fabricado para los soldados que tenía una larga duración, el pan de harina blanca era más valorado que el pan

moreno, por lo que el pan de harina blanca era para clases sociales altas y el pan moreno era para los pobres y esclavos.

Davidson Eaton, A. Jaine, T. Saberi, H. Vannithone, S. (2006) afirman que durante la edad media se oficializa el arte de la panadería en los pueblos europeos, donde era frecuente que en cada pueblo, un señor tuviese una panadería, que en realidad era un horno público. El pan blanco, es un signo de prestigio social, siendo únicamente para clases ricas y pudientes.

Heinrich et al (2007) afirma que durante la edad media, por regla general, había una persona dedicada exclusivamente a una labor de horneado, otra persona al mantenimiento funcional del horno y su carga de combustible; el panadero medieval estaba exento de todas estas labores y poseían privilegios. Los aprendices a panaderos tenían que pasar largos periodos de tiempo, aproximadamente siete años, para poder recibir el título de maestro (*maître*). Para adquirir el pan, el cliente debía entregar previamente la harina necesaria para hacerlo. Las mejoras de la molienda, con la entrada del molino de viento, hicieron que la disponibilidad del pan fuese creciendo poco a poco. Se tenía como regla, que si al panadero se le proporcionaban cinco libras de harina, él debía proporcionar al cliente tras la panificación siete libras de pan.

Las ciudades en la Edad Media empiezan a cobrar importancia y en el siglo XII surgen los primeros gremios de artesanos de todo tipo de profesionales. El gremio panadero se asocia y se constituyen como profesionales del pan. Al ser el pan alimento base de la población, su producción y distribución estaban reguladas por el gobierno.

Davidson (2006) indica que Antoine Augustin Parmentier fue uno de los primeros nutricionistas, el cual afirmó que la salud de una nación puede medirse

por la calidad de la harina. En el siglo XVIII los hornos de panadería adquieren la tecnología que los hace más productivos, ya que ahora se puede controlar la humedad durante su horneado, tener un limpiado eficiente entre cargas así como mayores tamaños de los panes y una producción en serie. La agricultura y las investigaciones sobre la harina progresan y se aumenta la producción del trigo con una mayor calidad de harina. El precio del pan baja al aumentar la oferta y el pan blanco es para todas las clases sociales.

En Nápoles, Italia, a finales del siglo XVII, aparece por primera vez un alimento nuevo, en el cual se emplea una antigua variante de pan plano denominada *focaccia*, a la que se le aplica una salsa de tomate y que con el tiempo se le denominó *pizza*. Satrumino (1994) afirma que en 1830 se comenzó a vender pizza en establecimientos al aire libre, así como por vendedores callejeros.

En el siglo XIX fueron evolucionando los sistemas de panificación y se añade una nueva fase a la elaboración del pan: la aireación de la masa; aparece un nuevo tipo de levadura y surgen técnicas mecánicas para amasar el pan. En época de la Revolución Francesa, emergen métodos refinados de horneado que dan lugar a las masas hojaldradas y libros de recetas que contienen fórmulas para elaborar panes, pasteles y galletas.

“La revolución industrial trajo varias mejoras en los molinos que permitieron incrementar la producción de pan, aunque también se comenzaron a adulterar las harinas introduciendo blanqueadores como la alúmina y rellenos elaborados a base de polvo de huesos de animales. Este proceso de industrialización hizo que la elaboración doméstica decayera, sobre todo en las áreas urbanas” Heinrich et al (2007, pág. 416).

Pickering (2002) informa que debido a la revolución industrial se comienzan a utilizar fertilizantes y probar mejoras en los cultivos de cereal, se incorporan las máquinas de vapor en los procesos de panificación y de transporte, así como en los de recolección. Las nuevas trilladoras, cosechadoras, tractores, entre otras, mejoran notoriamente las técnicas de producción del pan.

Desde inicios del siglo XX, el pan se comienza a unir a la producción de un nuevo tipo de alimentación, demandada por una sociedad industrial y urbana: denominada comida rápida y se caracteriza por la ausencia de un servicio de mesa, lo que abarata costos y mejora las prestaciones de los consumidores. Debido a esto, aparecen los *hot dogs*, hamburguesas, bocadillos, entre otras.

En la actualidad se puede encontrar todo tipo de panes, que se han producido con diferentes tipos de harinas y con una gran variedad de ingredientes complementarios que aportan sabores, olores y colores diferentes; esto ha logrado que la industria panadera evolucione en los procedimientos para fabricar el pan, intentando hacer que el pan sea un alimento mucho más completo y saludable.

## **6.2. Definición del pan**

En el *Reglamento Técnico Centroamericano* punto 3.1 se define al alimento como “toda sustancia procesada, semiprocada o no procesada, que se destina a la ingesta humana incluidas las bebidas, goma de mascar y cualesquiera otra sustancia que se utilicen en la elaboración, preparación y tratamiento del mismo, pero no incluye los cosméticos, el tabaco ni las sustancias que se utilizan como medicamentos.”

En el *Manual de Calidad de panadería, bollería y pastelería* (2012, pág. 17), se define el concepto de pan como el “producto perecedero resultante de la cocción de una masa obtenida por la mezcla de harina, sal comestible y agua potable, fermentada por especies de microorganismos propias de la fermentación panaria, como el *Saccharomyces cerevisiae* o los lactobacilos y que posteriormente puede ser o no sometido a un proceso de conservación autorizado.”

El pan es un alimento básico que forma parte de la dieta tradicional en América Latina. Heinrich et al, (2007) afirman que el pan ha sido tan importante en la alimentación humana que se considera como sinónimo de alimento en muchas culturas, es una profesión fundamental en la sociedad.

Lo esencial en la industria panificadora es convertir la harina en pan, este proceso no ha sufrido alteraciones sensibles desde sus inicios; de tal manera que en la actualidad la elaboración del pan se prepara utilizando las mismas manipulaciones que hace siglos.

El pan es un producto alimenticio muy representativo en la canasta básica de Guatemala y es uno de los ingredientes más diversos y variados de la cocina a nivel mundial. La elaboración del pan surge a partir del horneado de una masa elaborada principalmente de harina, sal, agua y levadura; sin embargo se puede utilizar también la cebada, el centeno, maíz y arroz. Con el tiempo se han agregado nuevos ingredientes en la elaboración del pan, desde diferentes tipos de grasas, frutas, frutas secas, semillas e incluso algunas verduras como cebolla por ejemplo. Adicional a los diferentes sabores, al pan se le puede dar diferentes formas a través del empleo de diversos moldes y técnicas de amasado. Por ser un alimento básico para la alimentación, ha sido elaborado de una manera artesanal desde hace mucho, pero ha ido cobrando tal importancia

que con la industrialización han surgido técnicas y maquinas especializadas para elaborar el pan de una forma industrial.

### **6.3. Materia prima utilizada**

Para elaborar pan tradicional de panadería se utiliza harina (55 - 90 %), agua (puede llegar a representar el 30 %), materia grasa de origen animal y/ o vegetal (hasta el 4,5 %), sal (2 %) y aditivos como insumos principales. En cambio, para la elaboración de pan industrial resulta imprescindible el agregado de conservantes para que el producto tenga mayor durabilidad, Lezcano, A. (2011, p. 31).

#### **6.3.1. Ingredientes básicos**

Para la elaboración de pan se requiere de una serie de ingredientes básicos, los cuales son esenciales y no pueden faltar para la preparación, estos son:

##### **6.3.1.1. Harina**

La harina de trigo es el principal ingrediente en la composición del pan. “La harina de trigo posee constituyentes aptos para la formación de masas (proteína – gluten), pues la harina y agua mezclados en determinadas proporciones, producen una masa consistente. Esta es una masa tenaz, con ligazón entre sí, que en nuestra mano ofrece una determinada resistencia, a la que puede darse la forma deseada para obtener el levantamiento de la masa y un adecuado desarrollo de volumen” Instituto Profesional DuocUC. (2008, p. 8).

La harina debe ser uniforme, con buena tenacidad y elasticidad, alta absorción y color brillante. La calidad de la misma es de suma importancia para el proceso, ya que determinará la calidad del producto final.

Las harinas se clasifican según el porcentaje de proteína que contenga.

- Harina extra fuerte: “posee un alto porcentaje de proteína, alrededor del 13 %.” Instituto Profesional DuocUC. (2008, pág 10). Contienen un alto contenido de gluten el cual requiere un amasado con más fuerza. Se utiliza para preparar pastas y fideos.
- Harina fuerte “porcentaje de proteínas entre 10 y 13 %, se destinan a panificación.” Instituto Profesional DuocUC. (2008, p. 10).
- Harinas Débiles “porcentaje de proteína entre 7 a 8 %.” Instituto Profesional DuocUC. (2008, p. 10). Tienen bajo contenido de gluten que proporciona una masa mucho más fácil de manipular. Se usa para la elaboración de bizcochería y galletas.
- Harinas especiales: estas son harinas para usos en específico, como la harina morena que es más oscura debido a presencia de partículas de salvado de trigo; la harina integral la cual contiene todas las partes del grano por lo que es un alimento muy nutritivo y harina de centeno para la elaboración de panes especiales y regionales.

Para la elaboración del pan, se debe contar con una harina de buena calidad, la cual depende del tipo del trigo del cual fue elaborada y el tratamiento recibido durante la molienda. Algunas características a tomar en cuenta deben ser:

- Color: debe tener un color blanco o cremoso. “El porcentaje de extracción también determina el color de la harina. Mientras más alta es la

extracción, mayor cantidad de partículas de salvado tendrá y por lo tanto será más oscura.” Instituto Profesional DuocUC. (2008, p. 9).

- Fuerza: depende de la cantidad y calidad de proteína que posea la harina; según su fuerza, representará mayor o menor capacidad para resistir el trabajo mecánico que se da durante la elaboración de la masa. La fuerza logra dar un pan de buen volumen y presentación, con la elasticidad, resistencia y estabilidad necesaria para obtener un producto de buena calidad.
- Tolerancia: capacidad para soportar fermentaciones largas.
- Absorción: capacidad para absorber y retener agua.

Figura 1. **Ficha descriptiva de la harina**

DEFINICIÓN	
Producto finamente triturado obtenido de la molturación del grano de trigo	
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Humedad &lt; 15 %</li> <li>▪ Cenizas &lt; 0,65 % sobre materia seca</li> <li>▪ Gluten ≥ 5,5 %</li> <li>▪ Acidez de la grasa ≤ 50 % en mg de potasa</li> <li>▪ Proteína ≥ 9 %</li> </ul>	
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS <sup>1</sup>	
MICROORGANISMO	LIMITE (ufc/g)
Aerobios mesofilos [31°C ± 1°C]	< 10 g
Mohos	< 10 g
<i>Escherichia Coli</i>	< 10 g
<i>Salmonella</i>	Ausencia en 25 g
CARACTERES ORGANOLÉPTICOS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tacto suave</li> <li>- Color blanco ligeramente amarillento</li> <li>- Ausencia de sabor a rancio, moho, ácido, amargo o dulce</li> <li>- Superficie de aspecto mate por compresión</li> <li>- Ausencia de objetos como pelos de roedores, restos de insectos</li> </ul>	

Fuente: Asociación Española de la industria de Panadería, Bollería y Pastelería ASEMAC. (2012, p. 19).

### 6.3.1.2. Agua

Compuesto químico de fórmula  $H_2O$ , líquido, incoloro e inodoro, que contiene sustancias orgánicas y minerales en suspensión. El agua es el segundo ingrediente principal para la elaboración del pan. La cantidad del agua utilizada en el proceso, influye en las cualidades finales del pan.

El tipo de agua a utilizar es muy importante, ya que dependiendo de sus propiedades, la masa obtendrá ciertas características:

Tabla I. **Tipos de agua y su efecto en la masa**

TIPO	EFEECTO	TRATAMIENTO
BLANDA	Ablanda el gluten, Masa suave y pegajosa.	Utilizar alimentos para la Levadura o aumentar la sal en la fórmula.
DURA	En cantidades excesivas retarda la fermentación, endurece el gluten.	Utilizar más levadura , Reducir el alimento para la levadura.
SALINAS	Alteración del sabor Retarda la fermentación, en exceso debilita el gluten.	Reducir la sal en la fórmula
ALCALINAS	Reduce la fermentación	Más levadura Usar Ácidos ( vinagre)

Fuente: *Instituto Profesional DuocUC. p. 15.*

“Para la elaboración de pan, se recomienda el uso de agua potable con dureza de 150 a 200 partes por millón (ppm).” Instituto Profesional DuocUC. (2008, p. 15).

El agua se utiliza para la panificación con 3 objetivos:

- Formación de la masa: sirve como transporte para mezclar los ingredientes. Hidrata el almidón que junto con el gluten dan por resultado la masa plástica, suave y elástica.
- Fermentación: se necesita agua para el proceso de fermentación de los azúcares. El agua es la que hace posible la propiedad de plasticidad y extensibilidad de la masa, de modo que pueda crecer por la acción del gas producido en la fermentación.
- Sabor y frescura: el agua hace posible la porosidad y el buen sabor del pan.

#### **6.3.1.3. Sal**

Compuesto químico formado por cloro y sodio, llamado también cloruro de sodio. Se obtiene de salinas, lagos subterráneos y de minas. Para la elaboración de pan, la sal debe de ser apta para alimentos, de preferencia fina para que se logre disolver bien en el agua, y su pureza debe ser mayor al 99,5 %.

“La sal tiene la función de mejorar el sabor, fortalecer el gluten, controla la actividad de la levadura, resalta los sabores de otros ingredientes y ejerce una acción bactericida al impedir fermentaciones indeseables dentro de la masa.” Instituto Profesional DuocUC. (2008, p. 15).

#### **6.3.1.4. Levadura**

“Son organismos, unicelulares y microscópicos, que pertenecen a la familia de los hongos. Se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza

y para uso industrial se seleccionan razas especiales para su uso en panificación” Instituto Profesional DuocUC. (2008, p. 11). Para la elaboración del pan, se utiliza la levadura *Sacharomice cerevisea*, la levadura pasa por el proceso de fermentación, en el cual se transforman los azúcares presentes en la harina, en gas carbónico, alcohol y una serie de sustancias aromáticas, esto hace que la masa aumente de volumen y le da un valor nutritivo al proporcionar proteínas de muy buena calidad al pan.

La levadura necesita azúcares para “alimentarse”, los cuales se encuentran en forma natural en la harina, pero si estas son insuficientes, se deberá agregar azúcar o aditivos que la contengan, durante el proceso del amasado. El agua es necesaria para absorber los azúcares y mejorar el proceso de fermentación. “La temperatura de la levadura se debe controlar, ya que si es muy baja se retarda su actividad fermentadora, y si es muy elevada se acelera el proceso de fermentación, produciendo en corto tiempo sustancias que dan olor y sabor desagradable al pan.” Instituto Profesional DuocUC. (2008, p. 12).

La levadura debe ser de color crema claro o blanco, inodora y con sabor agradable con una consistencia firme plástica, nunca blanda ni pegajosa.

Figura 2. **Ficha descriptiva de la levadura**

<b>DEFINICIÓN</b>
La levadura líquida para panificación, es un productos alimenticio constituido por una suspensión de células vivas de levadura, fabricado a partir de cepas puras seleccionadas de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>
<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estabilidad: manteniendo el bloque de levadura en termostato a 30°C, durante un mínimo de 3 días, no debe descomponerse ni desprender olores desagradables</li> <li>- Actividad fermentativa: será capaz de fermentar los azúcares presentes en la masa y en un tiempo de tres a cuatro horas. En la reglamentación correspondiente se indicará el método "standard" de determinación</li> <li>- Humedad: no superior al 75 %</li> <li>- Pureza: no contendrá microorganismos patógenos, no contendrá cargas amiláceas, n o contendrá otras materias extrañas a la levadura</li> <li>- Presentación: toda pastilla, bloque o recipiente que contenga levadura deberá llevar las indicaciones mencionadas en el capítulo IV y además la fecha de envasado en fábrica</li> </ul>
<b>PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS</b>
<i>Coliformes fecales</i> < 1000 <i>Staphylococcus aureus</i> < 10/g <i>Salmonella</i> : Ausencia en 25 g
<b>CARACTERES ORGANOLÉPTICOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Color: crema claro o blanco</li> <li>- Olor: ausencia</li> <li>- Gusto: sabor agradable</li> <li>- Textura: consistencia firme plástica, ni blanda ni pegajosa</li> <li>- Utilización: debe diluirse sin formar grumos</li> </ul>

Fuente: *Asociación Española de la industria de Panadería, Bollería y Pastelería ASEMAC*. (2012, p. 22).

### 6.3.2. **Ingredientes secundarios**

Los ingredientes secundarios son aquellos que se añaden a la mezcla ya sea para mejorar la calidad del pan, o para agregarle diferentes características al mismo, estos pueden ser:

#### 6.3.2.1. **Azúcar**

Compuesto químico formado por carbón, hidrógeno y oxígeno. Las funciones del azúcar en la panificación son ayudar a la fermentación como

alimento de la levadura, formación de la corteza del pan debido a la caramelización del azúcar, evitan la pérdida de agua ya que el azúcar es higroscópico, es decir que absorbe la humedad, aumentar el valor nutritivo, y ayudar a la conservación del producto. Para el proceso de panificación se utiliza la sacarosa o azúcar de caña.

#### **6.3.2.2. Materias grasas**

De acuerdo a su fuente de origen se clasifican en grasas animales y grasas vegetales. Para la panificación se utiliza grasas de origen animal, principalmente la manteca hidrogenada, mantequilla y margarina. Se usa para aumentar el valor nutritivo ya que constituyen la principal fuente de energía al suministrar calorías; mejora el sabor de y aroma y mejora el volumen y la conservación de la masa.

#### **6.3.2.3. Leche**

Mayormente se utiliza leche en polvo ya que su almacenamiento es más fácil y no necesita refrigeración, además tiene un manejo más fácil para su pesado y control. La leche funciona dentro de la panificación dándole color a la corteza ya que la lactosa se carameliza dentro del proceso. Según el Instituto Profesional DuocUC (2008) la leche sirve para proporcionar una miga más suave, mejora el color de la cáscara, el sabor y la conservación del pan, además de a aportarle valor nutritivo.

#### **6.3.2.4. Huevos**

Se emplean principalmente en la elaboración de masas dulces y pastelerías ya que tiene la “capacidad para formar emulsiones de las yemas

del huevo, formar espuma con la clara del huevo y yema, ayuda a ligar el agua y estabilizar la corteza al coagularse sus proteínas durante el horneado. “Instituto Profesional DuocUC. (2008, p. 17). Al aplicar el huevo sobre la masa antes del horneado mejora el color y brillo de la cáscara.

### **6.3.3. Ingredientes alternativos**

La industria del pan ha crecido de tal manera, que se usan muchos ingredientes alternativos tanto naturales como químicos; dentro de este grupo de ingredientes alternativos se puede mencionar:

#### **6.3.3.1. Aditivos**

En el Manual de Calidad de panadería, bollería y pastelería (2012) se entiende por aditivo alimentario, toda sustancia que normalmente no se consume como alimento en sí misma ni se use como ingrediente característico de los alimentos, tenga o no valor nutritivo, y cuya adición intencionada a un alimento durante su fabricación, transformación, preparación, tratamiento, envasado, transporte o almacenamiento tenga por efecto que el propio aditivo o sus subproductos se conviertan directa o indirectamente en un componente del alimento.

Los aditivos deben ser de uso permitido y contar con un rotulado que lo avale. Se deben conservar en un lugar seco y fresco. Se utilizan en la panificación para mejorar las características de la absorción del agua, reforzar el gluten, mejorar la conservación y el color. Los aditivos que normalmente se utilizan son los colorantes y edulcorantes.

### **6.3.3.2. Enzimas**

“Son catalizadores orgánicos de naturaleza coloidal, termolábiles, de alto peso molecular, específicos, producidos por un ser vivo y que pueden actuar dentro o fuera del organismo que los produce.” Lezcano, A. (2011, p. 32). El uso de las enzimas en la panificación mejora el volumen y aspecto organoléptico del pan.

### **6.3.3.3. Ácido Ascórbico**

Se utiliza para mejorar las características de la harina para obtener una mayor tolerancia en el amasado y los tiempos largos de fermentación, mejorar el volumen y la presentación del pan.

### **6.3.3.4. Harina de malta**

Se usa para darle a la levadura un alimento extra en azúcares, esto con el objetivo de intensificar la producción de gas durante la fermentación, mejorando el volumen del pan. Se debe tener cuidado con la dosis utilizada, ya que un exceso produce masas pegajosas y difíciles de manipular.

### **6.3.3.5. Emulsionantes**

“Se utiliza para aumentar el período de conservación del pan, ya que mejora la retención de la humedad. Se utiliza para la elaboración de pan de hamburguesas, pan para hot dog y pan de pascua.” Instituto Profesional DuocUC. (2008, p. 19).

### **6.3.3.6. Ingredientes alternativos naturales**

Estos se refieren a todos los ingredientes de origen vegetal que se le agregan a la masa para darle un diferente sabor, aroma y presentación. Dentro de estos se puede mencionar la fruta confitada, pasas, nueces, semilla de anís, sésamo, amapolas, especias, ajo, cebolla, esencias, cremas de relleno, etc.

### **6.4. Equipo utilizado**

El equipo que se utiliza en la elaboración de pan depende del tipo de pan que se está fabricando, los ingredientes, las formas, y los usos que se le va a dar, se dará una breve descripción de los mismos, pero se estudiará con más atención el horno, ya que es el objeto de estudio para esta investigación. Según el Instituto Nacional de Cooperación Educativa (2005), de manera general se puede mencionar:

- Cucharones y cucharas: utilizados para transportar, vaciar y medir proporciones de ingredientes o sustancias líquidas y sólidas.
- Bandejas: utilizadas para colocar la masa previo y posterior a su cocción.
- Amasadora: máquina de alta velocidad, donde se mezclan los ingredientes y se realiza el moldeado de la masa de una manera uniforme. Se debe amasar con bajas velocidades para no recalentar la masa. En este equipo se trabaja la masa para airearla y hacerla flexible y elástica.
- Mesa de trabajo: donde se realiza el alistamiento de los ingredientes que se van a utilizar para cada preparación.
- La pala: utilizada para colocar y extraer el pan del horno, fabricada de madera o metal.
- Ovilladora: separa la masa y formar ovillo homogéneo.

- Máquina de rodillos: su función es darle la textura a la masa del pan para que alcance el nivel deseado por el cliente.
- Moldeadoras: maquina utilizada para moldear la masa con el objeto de darles la forma final dependiendo del tipo de pan que se esté realizando.
- Tajadora: se utiliza para cortar la masa del pan.
- Gramera o balanza: se utiliza para pesar los ingredientes utilizados
- Refrigerador: para almacenar y mantener fríos los ingredientes que deben estar fríos.
- Cuarto de crecimiento: cuartos donde se controlan las condiciones de ambiente para que pueda crecer el pan. Se debe controlar la temperatura y la humedad, si la temperatura es excesiva se produce una actividad violenta de la levadura, si es muy baja se demora el crecimiento. Si la humedad es muy alta se produce una corteza gruesa y gomosa y si es baja, la superficie de la masa se reseca y se torna dura y gruesa.
- Rejillas para enfriamiento: lugar donde se deja por un tiempo el pan después de horneado.

#### **6.4.1. Hornos**

Pueden ser eléctricos o de gas. Son intercambiadores de calor que permiten que en su interior circule uniformemente el calor para obtener una cocción de la masa, de forma rápida y pareja. Normalmente se dividen en 3 partes:

Tabla II. **Partes de un horno y su transmisión de calor**

Parte	Área del horno	Transmisión de calor
Sección radiante	Los tubos están en presencia de la llama.	Aproximadamente: 80 % por radiación 20 % por convección de la circulación de gases calientes alrededor de los tubos.
Sección convección	Los tubos están fuera del alcance de la llama. Los tubos poseen aletas para mejorar la transmisión de calor.	Por radiación del CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> O en los gases calientes además del calor por convección.
Sección de blindaje	Las primeras filas de tubos son la zona de choque.	Calor por convección.

Fuente: elaboración propia.

La forma del horno tiene mucha importancia para la transmisión de calor. Los hornos con forma curva facilitan la convección del aire dentro del horno, impidiendo que en el interior se tengan espacios menos fríos que otros. Las formas curvas aseguran que el calor absorbido por la masa estructural del horno, se entregue de manera constante y uniforme sobre toda la superficie de la comida puesta en el horno y en cualquier parte del mismo.

En contraste, los hornos con bases cuadradas o rectangulares y con paredes verticales, son menos eficientes que los curvos.

## **6.5. Proceso de elaboración de pan**

La elaboración del pan es un conjunto de varios procesos en cadena. Dependiendo de los panaderos y del tipo de pan que se está preparando, se añaden más o menos procesos a la elaboración.

### **6.5.1. Pesaje de los ingredientes**

En esta etapa se toman los ingredientes a utilizar y con base en la receta a elaborar, se realiza los pesajes de los mismos, esto se debe realizar con una balanza adecuada y calibrada para obtener los pesajes correctos; así como los contenedores necesarios y en buen estado para mantener la calidad e inocuidad del proceso.

### **6.5.2. Mezcla y amasado**

Una vez pesados los ingredientes como el agua, harina, sal y levadura; se mezclan de forma homogénea para formar un tipo de masa que se procede a amasar, es decir trabajar la mezcla formada a fin de airearla y hacerla flexible y elástica. La fermentación comienza en el amasado.

### **6.5.3. Primera fermentación o reposo inicial**

“La masa se deja reposar por 10 a 30 minutos, esto se hace para que la masa se recupere del trabajo mecánico a la que ha sido sometida” Instituto Profesional DuocUC. (2008, p. 24), y para hacer que el trabajo de la levadura comience.

#### **6.5.4. Corte y ovillado**

Cuando la masa ha alcanzado su punto de acondicionamiento adecuado, se procede a cortar la masa en pequeños bastones con un peso determinado según el gramaje deseado. “El ovillado o boleado consiste en cerrar las superficies de los bastones, dándole una forma esférica a los mismos, esto para reorientar la estructura del gluten al dar la forma de bola y lograr así un manejo más fácil para las operaciones siguientes.” Instituto Profesional DuocUC. (2008, p. 24).

#### **6.5.5. Segunda fermentación**

Una vez se ha ovillado la pieza, se debe dejar reposar unos minutos para que adquiera flexibilidad y poder darle su forma definitiva. Generalmente la flexibilidad se consigue dejando que la masa repose, recorriendo un circuito de una cámara durante unos minutos. La duración de este proceso depende de las características de maduración de la masa necesarias en cada caso, según el tipo de proceso de elaboración.

“Los ovillos se colocan para que reposen en bandejas o tablas, adecuadamente protegidos de corrientes de aire y en un lugar tibio de preferencia en cámaras de fermentación. Este reposo puede durar un promedio de 25 a 50 minutos.” Instituto Profesional DuocUC. (2008, p. 26).

#### **6.5.6. Moldeado**

También llamado modelado de la pieza, radica en darle a la pieza su forma concreta y definitiva según la variedad de pan que se esté elaborando.

Según el Instituto Profesional DuocUC (2008) para un formado mecánico se debe someter la masa a 3 fases, la primera el laminado, donde la bola de masa ya formada pasa por 2 rodillos que aplastan la masa para evitar que se desgarre, los rodillos deben abrirse y cerrarse, dependiendo del tamaño o del volumen de la pieza. La segunda fase es el enrollado, el cual consiste en plegar la torta de masa por una malla metálica, y la última fase es un alargamiento donde la masa enrollada pasa por distintas planchas de presión o por entre 2 tapices que dan vueltas en sentido inverso, asegurando así, la longitud deseada de la barra.

#### **6.5.7. Tercera fermentación**

Se dejan las piezas formadas por 24 horas, para que la fermentación siga ocurriendo dentro de la masa. “Esto ocurre cuando las levaduras de la harina han degradado los azúcares en gas carbónico y alcohol, el gas carbónico atrapado dentro de la masa, permanece en su interior en forma de pequeñas burbujas, por lo que la masa se hincha.” Instituto Profesional DuocUC. (2008, p. 28).

#### **6.5.8. Horneado**

Esta etapa tiene como principal papel transformar la masa fermentada en pan. La cocción permite el paso del estado semilíquido del producto (masa) al estado sólido (pan). Las temperaturas del horno dependerán del tamaño de la pieza de masa, del tipo de receta y de los ingredientes básicos utilizados, el tiempo de cocción también dependerá de estos factores. “En general se puede resumir que a mayor tamaño, menor temperatura y tiempos de cocción más largos; a menor tamaño, mayor temperatura y tiempo de cocción más corto”. Instituto Profesional DuocUC. (2008, p. 29). Tras el horneado se deja reposar el

pan hasta que alcance la temperatura ambiente. Cada paso del proceso permite tomar decisiones acerca de la textura y sabor final que se quiera dar al pan. En la industria panadera existen hoy en día procesos estandarizados que permite elaborar pan industrial a gran rapidez debido a las veloces fermentaciones que realiza (del orden de los 20 minutos).

#### **6.5.9. Rendimiento de una receta**

El rendimiento está directamente relacionado con la perdida de humedad que experimenta la masa cruda durante todo el proceso de fabricación, especialmente durante el horneado. El rendimiento de una receta se puede expresar en unidad de medida (kg) o en número de unidades. La pérdida promedio se sitúa entre un 10 a un 15 %. Para determinar el rendimiento es necesario establecer el peso de la masa cruda (peso de todos los ingredientes mezclados en la mesa) y el peso del pan luego de una hora salida del horno.

Para la obtención del rendimiento de la receta por peso, se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$Rendimiento = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

Dónde:

$P_i$  = Peso inicial (masa cruda)

$P_f$  = Peso final (pan horneado)

## 6.6. Definición de productividad

La productividad es un concepto que describe la capacidad o el nivel de producción por unidad de trabajo o de equipos industriales. De acuerdo a la perspectiva con la que se analice, este término puede hacer referencia a diversas cosas. Por medio de la productividad se pone a prueba la capacidad de una estructura para desarrollar los productos y el nivel en el cual se aprovechan los recursos disponibles. La mejor productividad supone una mayor rentabilidad en cada empresa, razón por la cual, muchas empresas buscan aumentar su productividad.

A menudo se puede confundir la productividad con producción, se piensa que mientras mayor producción exista, mayor será la productividad; lo que no es necesariamente acertado. Producción se refiere a la acción de elaborar bienes y servicios, mientras que productividad es la utilización eficiente y eficaz de los recursos utilizados en el proceso.

Es frecuente confundir también productividad, eficiencia y eficacia, por lo que se definirán a continuación:

- Eficiencia: es la forma en la que se utilizan los recursos, el producir a mayor cantidad, sin importar la calidad.
- Efectividad: grado en el que se logran los objetivos, producir en grandes cantidades y con buena calidad.
- Productividad: es la combinación de realizar el proceso con eficiencia y efectividad.

$$Productividad = \frac{efectividad}{eficiencia}$$

Existen 3 tipos básicos de productividad:

- Productividad parcial: razón entre la cantidad producida y un tipo de insumo.
- Productividad de factor total: razón entre la cantidad neta producida y la suma de los factores de insumos.
- Productividad total: razón entre la producción total y la suma de todos los factores de insumos.

### **6.7. Modelo de productividad total**

En una empresa, la productividad es fundamental para crecer o aumentar su utilidad y rentabilidad. La forma en la que las empresas pueden medir la productividad es a través de una comparación entre los insumos y los productos, donde la eficiencia es lo que representa el costo por unidad de cada producto. Es necesario tener en cuenta una serie de elementos que pueden variar a lo largo del tiempo, como los terrenos y edificios, materiales, recursos humanos, energía, máquinas y equipo.

Sumanth (1979) desarrollo un modelo de “Productividad total – Razón de producción tangible entre insumos tangibles”, refiriéndose a factor tangible todos aquellos factores que se pueden medir directamente, tanto de resultados como de insumos. Este modelo de productividad total proporciona índices de productividad total y parcial a través de las microoperaciones que se requieran, dentro del proceso.

“La administración de la productividad total de Sumanth es una filosofía formal de la administración y un proceso que sigue las cuatro fases del ciclo de la productividad, con el fin de incrementar la productividad total y reducir los

costos unitarios totales de bienes o servicios, pero con el nivel de calidad más alto posible”. D.J. Sumanth. (1984, p. 63)

El modelo de la productividad total de Sumanth define a la productividad total así:

$$\text{Valor de la Productividad Total} = \frac{\text{Resultado tangible}}{\text{Insumo tangible}}$$

$$\text{Índice de Productividad Total} = \frac{\text{Valor de la productividad total (t)}}{\text{Valor de la productividad Total (o)}}$$

t= medición del período de medición

o= período base

Este modelo de productividad total presenta un diagnóstico del estado de la empresa y sus tendencias de productividad a través de los índices de productividad parciales, señala también los recursos de insumos que no se utilizan con efectividad y eficiencia. Este modelo también es universal, ya que se puede adaptar a cualquier entidad económica, empresa manufacturera o de servicios, hoteles, gobiernos, instituciones educativas etc.

Los insumos tangibles considerados por este modelo de productividad total son:

Figura 3. **Insumos tangibles mostrados por el modelo de la productividad de Sumanth**

HUMANOS	CAPITAL	MATERIALES	ENERGÍA	OTROS
Trabajadores	Fijo como terrenos, edificios, maquinaria, etc.	Materias primas	Petróleo	Viajes
Administradores		Partes adquiridas fuera de la planta	Gas	Impuestos,
Profesionales			Carbón	Servicios profesionales
Personal general			Agua, etc.	Suministros de oficina
	De trabajo como inventarios, efectivo, documentos y notas por cobrar.			Administración general.

Fuente: D.J. Sumanth (1980, p. 68).

### 6.8. **Ventajas del modelo de productividad total**

- Es global, ya que incluye todos los factores tangibles e intangibles de insumos y resultados, independientemente del proceso que se esté analizando.
- Muestra cómo la rentabilidad es afectada por las operaciones y las funciones administrativas. Muestra el impacto de las decisiones del pasado y el presente, por lo que se puede utilizar como una herramienta vital para la planeación estrategia de la empresa.

- Señala con precisión las áreas de mejoramiento en la empresa.
- Proporciona los medios para enlazar las utilidades con la productividad total de la empresa.
- Puede ser una valiosa herramienta para fomentar el trabajo en equipo.
- Las tareas de asignación de recursos se facilitan si se considera la necesidad de aumentar ciertas actividades, mientras se limitan otras.

## **6.9. Fases de implementación del modelo de productividad total**

El ciclo de mejoramiento de la productividad desarrollado por David J. Sumanth consta de 4 fases para la implementación, las cuales se describen a continuación.

### **6.9.1. Medición de la productividad**

La primera fase es la medición de la productividad, la cual se hace en base a lo escrito anteriormente.

### **6.9.2. Evaluación de la productividad**

La segunda fase es la evaluación de la productividad la cual incluye la medición y planeación. En la evaluación se comparan los niveles actuales de la productividad total entre dos períodos. Para medirlo se utiliza la siguiente fórmula:

$$PT = \left( \frac{PT_t}{PT_{t-1}} - 1 \right) * 100$$

Dónde:

PT= productividad total

$PT_t$ = productividad total para el período t

$PT_{t-1}$ = productividad total para el período t-1

La evaluación ayuda a la empresa a determinar el grado y la tendencia de variación de la productividad total en dos periodos de tiempo para poder fijar objetivos reales en cuanto a la productividad total para periodos futuros.

### **6.9.3. Planeación de la productividad**

La tercera fase es la planeación y es la determinación de objetivos para la productividad. El objetivo de la productividad total para cierto período debe fijarse por lo menos un período antes del presente. Una buena planeación de la productividad ayuda a la empresa a competir de manera más inteligente en el mercado.

### **6.9.4. Mejoramiento y control de la productividad**

La cuarta y última fase es el mejoramiento y control de la productividad total. Existen cerca de 70 técnicas para lograr mejorar y controlar la productividad entre los cuales se pueden mencionar el control de inventarios, *Just in Time*, control de calidad, incentivos financieros, rotación de puestos, curvas de aprendizaje, capacitación, reconocimiento, círculos de calidad, *benchmarking*, medición del trabajo, reingeniería, etc.

Para la selección de las técnicas de mejora, se debe de considerar el manejo del sentido común respaldado por la experiencia, las metodologías o modelos cuantitativos y métodos semicuantitativos.

#### **6.9.4.1. Mejora de la productividad**

Según D.J. Sumanth (1980) esencialmente se pueden trabajar bajo las siguientes ideologías:

- Aumentar la producción, utilizando el mismo nivel de insumos.
- Aumentar la producción y disminuir los insumos.
- Para el mismo nivel de producción, disminuir los insumos.
- Aumentar la producción a una tasa más rápida que los insumos.
- Disminuir los insumos a una tasa más rápida que la producción.

#### **6.9.4.2. Factores que influyen en la mejora de la productividad**

Para mejorar la productividad se debe trabajar en varios aspectos de la empresa y el proceso de producción, entre estos factores se puede mencionar:

- Calidad: un producto se debe fabricar con la mejor calidad posible según su precio y se debe fabricar bien a la primera, o sea, sin reprocesos.
- Entradas: mano de obra, materia prima, maquinaria, energía, capital, capacidad técnica.
- Salidas: productos o servicios.

#### **6.10. Definición de balance de masa**

El balance de materia es un método matemático utilizado principalmente en ingeniería química. Se basa en la “ley de conservación de la masa, la cual establece que la masa no se crea ni se destruye” Felder Richard, Rousseau Ronald (2007, p. 83), esto quiere decir que la masa de un sistema cerrado

permanece siempre constante y la masa que entra a un sistema debe salir del sistema o acumularse dentro del él, excluyendo las reacciones nucleares o atómicas.

La mayoría de los procesos industriales son continuos, con un mínimo de alteraciones o paradas. En este tipo de procesos, a excepción de los periodos de puesta en marcha y paradas, el tiempo no es una variable a considerar, por lo que las variables intensivas dependen solamente de la posición, siendo el régimen estacionario.

#### **6.11. Utilización del balance de masa en procesos**

“Un proceso es cualquier operación o serie de operaciones por las cuales se logra un objetivo particular” Felder Richard, et al, (2007, p. 43). Los balances de materia pueden ser integrales o diferenciales. El balance integral se enfoca en el comportamiento global del sistema, mientras que el diferencial lo hace en los mecanismos dentro del sistema (los cuales, a su vez, afectan al comportamiento global). En cualquier proceso la materia que está entrando en el mismo se le conoce como alimentación o material de entrada, y al que sale se le denomina producto o material de salida. “A menudo los procesos constan de múltiples pasos y cada uno de ellos se lleva a cabo en una unidad de proceso, cada una de las cuales está asociada a un conjunto de corrientes de procesos de entrada y salida” Felder Richard, et al. (2007, p. 84). Para poder determinar un balance de materia, primero se deben identificar los límites del sistema, es decir, cómo el sistema está conectado al resto del mundo y cómo el resto del mundo afecta al sistema; por lo que los procesos se clasifican en:

- Proceso intermitente o por lotes: no existe una transferencia de masa más allá de los límites del sistema, desde la alimentación hasta la descarga.

- Proceso continuo: la alimentación y descarga fluyen de manera continua durante todo el proceso
- Proceso semicontinuo: cualquier proceso que no sea intermitente o continuo.

También pueden clasificarse de la siguiente forma:

- Balances diferenciales: se aplica a un proceso continuo, indican lo que ocurre en un sistema en un instante determinado.
- Balances integrales: se aplica a procesos intermitentes, indican lo que ocurre en un sistema en dos instantes determinados

Si las variables del proceso como la temperatura, volumen, presión, velocidades de flujo, etc., no cambian con respecto al tiempo, es un proceso en estado estacionario; si alguna de las variables cambia con el tiempo, es un proceso en estado transitorio o no estacionario.

La ecuación general de balance de materia es:

Figura 4. **Ecuación general de balance de materia**

Entrada acumulación	+	generación	-	salida	-	consumo	=
(Entra a través del sistema)		(Se produce dentro del sistema)		(sale a través de las fronteras del sistema)		(se consume dentro del sistema)	(se dentro)

Fuente: Felder Richard, Rousseau Ronald (2007, p. 85)

Para simplificar esta ecuación, se aplican las siguientes reglas:

- Generación y consumo es igual a 0 si la cantidad balanceada es la masa total; a excepción de las reacciones nucleares, es imposible crear o destruir la masa.
- Generación y consumo es igual a 0 si la sustancia balanceada es una especie no reactiva.
- Acumulación es igual a 0 si un sistema se encuentra en estado estacionario, sin importar que se esté balanceando. “Por definición, en un sistema en estado estacionario nada cambia con el tiempo” Felder Richard, Rousseau Ronald (2007, p. 84).

Quedando así que para el balance de un proceso continuo en estado estacionario, la ecuación de balance general se simplifica:

$$\text{Entrada} + \text{generación} = \text{salida} + \text{consumo}$$

Y para un balance de un proceso integral intermitente o por lotes, la ecuación de balance general es:

$$\text{Entrada inicial} + \text{generación} = \text{salida final} + \text{consumo}$$

## **6.12. Procedimiento general para determinar el balance de materia**

- Elegir como base de cálculo una cantidad o velocidad de flujo de una de las corrientes del proceso.
- Dibujar un diagrama de flujo y anotar los valores de todas las variables conocidas y marcar en el diagrama las variables desconocidas.

- Expresar lo que el enunciado del problema pide en términos de las variables marcadas.
- Si el problema tiene unidades mixtas de masa y molares para una corriente, transformar todas las cantidad a una misma base
- Determinar los grados de libertad.
- Si el número de incógnitas es igual al número de ecuaciones que las relacionan, escribir las ecuaciones en un orden eficiente.
- Resolver las ecuaciones.
- Calcular las cantidades que se soliciten en el enunciado del problema en caso de que no las haya calculado con anterioridad. Felder Richard, Rousseau Ronald (2007, p. 101).

### **6.13. Transferencia de calor**

“La ciencia de la transferencia de calor está relacionada con la razón de intercambio de calor entre cuerpos calientes y fríos llamados fuente y receptor.”  
KERN (1999, p. 13).

Al colocar 2 objetos en contacto térmico a temperaturas diferentes, el calor fluirá desde el objeto con la temperatura más elevada, hacia el objeto con la temperatura más baja. El flujo de calor siempre se produce en el sentido de la temperatura decreciente. La transferencia de calor es el estudio de las velocidades a las cuales ocurre el intercambio del calor entre las fuentes de calor y los receptores. Se debe considerar que cada intercambio de calor posee sus propias características. Existen 3 mecanismos de calor:

#### **6.13.1. Calor por conducción**

Es aquella transferencia de calor que sucede a través de un material fijo, como una pared estacionaria por ejemplo. El flujo de calor es proporcional al

cambio de temperatura a través de la pared y al área de la misma, y la transferencia de calor que se da, se determina por medio del gradiente de temperatura  $dt$  que impulsa el calor a través de la pared de espesor  $dx$ . Se debe tomar en cuenta también, el material del cual está hecha la pared por la cual se está transfiriendo el calor, la cual se conoce como constante de proporcionalidad  $k$  conocida como la conductividad térmica del material.

### **6.13.2. Calor por convección**

La convección es la transferencia de calor entre partes relativamente calientes y frías de un fluido por medio de una mezcla. Por ejemplo cuando se tiene un líquido en un recipiente y este se coloca sobre una llama caliente. “El líquido que se encuentra en el fondo del recipiente se calienta y se vuelve menos denso que antes, debido a su expansión térmica. El líquido adyacente al fondo también es menos denso que la porción superior fría y asciende a través de ella, transmitiendo su calor por medio de mezcla conforme asciende.” KERN (1999, p. 15).

### **6.13.3. Calor por radiación**

“Este mecanismo de transferencia de calor se debe a la propiedad que tienen los cuerpos a emitir permanentemente radiaciones que se propagan a la velocidad de la luz y pueden ser absorbidas por otro cuerpo.” Castells (2012, p. 158), donde la transmisión de energía es por medio de ondas electromagnéticas a través del espacio. La radiación se emite desde una fuente hacia un receptor, parte de la energía se absorbe por el receptor y parte es reflejada por él, solamente la energía absorbida es la que aparece como calor.

Para resolver un problema de transferencia de calor se debe analizar ciertas características del sistema, como las cantidades y las razones de calor que pueden transferirse debido a la naturaleza de los cuerpos, la diferencia de potencial, la extensión y arreglo de las superficies que separan la fuente y el receptor, y la cantidad de energía mecánica que debe disiparse para facilitar la transferencia de calor. Debido a que la transferencia de calor se analiza para un sistema, la pérdida de calor por un cuerpo deberá ser igual al calor absorbido por otro dentro de los confines del mismo sistema.

#### **6.14. Definición del balance de energía**

“El balance de energía se basa en la Ley de la Conservación de la Energía, la cual expresa que en el curso de un proceso, la energía no se puede crear ni destruir; solo se puede cambiar las formas”. (Cengel, 2007. p. 72). El balance de energía para cualquier sistema se puede expresar como:

$$\begin{array}{rcl} \text{Energía total que} & - & \text{Energía total que} = \text{Cambio en la energía} \\ \text{entra en el sistema} & & \text{sale del sistema} & \text{total del sistema} \end{array}$$

#### **6.15. Energía**

La energía es una magnitud abstracta ligada al estado dinámico de un sistema cerrado que permanece invariable con el tiempo. La energía se representa en unidades de fuerza por distancia, por ejemplo joules (J). Kern (1999, p. 576). La energía total de un sistema corresponde a la sumatoria de todos los tipos de energía, los cuales son:

- Energía cinética: energía debida al movimiento traslacional del sistema considerado como un todo, respecto a una referencia.

- Energía potencial: energía debida a la posición del sistema en un campo potencial (gravitatorio o electromagnético).
- Energía interna: toda energía que posee un sistema que no sea cinética ni potencial, como por ejemplo la energía de la vibración de las moléculas, la energía producto de las interacciones electromagnéticas de las moléculas e interacciones entre los átomos y/o partículas subatómicas que constituyen las moléculas.
- Calor: energía que fluye como resultado de una diferencia de temperatura entre el sistema y sus alrededores. La dirección de este flujo es siempre de la mayor temperatura a la menor. Por convención, el calor es positivo cuando la transferencia es desde los alrededores al sistema (o sea, el sistema recibe esta energía). Se determinara como Q.
- Trabajo: energía que fluye como consecuencia de cualquier fuerza impulsora diferente a un gradiente de temperatura, como una fuerza, una diferencia de voltaje, etc. El trabajo será definido como positivo cuando es realizado por los alrededores sobre el sistema. Se determinara como W.
- Entalpía: la entalpía no tiene un valor absoluto, solo se miden los cambios de entalpía. Se define por  $H = U + PV$ , donde E es la energía interna, P es presión y V es volumen. La entalpía es una función de estado y sólo depende de los estados inicial y final y no del camino recorrido

#### **6.16. Balance de energía en sistemas cerrados**

Como se mencionó con anterioridad, el principio que rige los balances de energía es la ley de conservación de la energía, conocida también como primer principio o ley de la termodinámica.

- Sistema abierto: cuando existe transferencia de masa a través de la frontera o límite del sistema durante el periodo de tiempo que ocurre el proceso.
- Sistema cerrado: cuando no existe transferencia de masa a través de la frontera o límite del sistema durante el periodo de tiempo que ocurre el proceso.

El balance de energía de un sistema cerrado debe ser planteado entre dos instantes de tiempo. En un sistema cerrado, la energía puede ser transferida en los límites del sistema como calor o trabajo. Por lo que el balance de energía de un sistema cerrado será:

$$\text{Energía final del sistema} - \text{Energía inicial del sistema} = \text{Energía neta transferida al sistema}$$

Fuente: Felder Richard, et al, (2007, pág. 318).

La energía inicial del sistema será:  $U_i + E_{ci} + E_{pi}$

La energía final del sistema será:  $U_f + E_{cf} + E_{pf}$

La energía neta transferida será:  $Q + W$

Donde los subíndices “i” y “f” se refieren a estados iniciales y finales del sistema.

Reescribiendo la ecuación del balance general, quedaría de la siguiente manera:

$$(U_f - U_i) + (E_{cf} - E_{ci}) + (E_{pf} - E_{pi}) = Q + W$$

Empleando el símbolo “ $\Delta$ ” para representar (final-inicial), la ecuación quedaría:

$$\Delta U + \Delta E_c + \Delta E_p = Q + W$$

Para aplicar esta ecuación a un proceso cerrado deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- La energía interna de un sistema depende de su composición química (sólido, líquido o gas) y de la temperatura del sistema. Es independiente de la presión en caso de manejar gases ideales y prácticamente independientes de la presión para líquidos y sólidos. Si no hay cambios de temperatura, cambios de fase y presión ni reacción química en el sistema cerrado entonces  $\Delta U \approx 0$ .
- Si un sistema no se está acelerando (o retardando),  $\Delta E_c = 0$ .
- Si un sistema no está ascendiendo ni cayendo, entonces  $\Delta E_p = 0$
- Si un sistema o sus alrededores están a la misma temperatura o el sistema está perfectamente aislado, entonces  $Q = 0$ . Este proceso se denomina adiabático.
- Si no hay partes móviles, corrientes eléctricas ni radiación en los límites del sistema, entonces  $W = 0$ . Felder Richard, et al (2007, p. 319).

#### **6.17. Determinación de la eficiencia del horno a través del balance de energía**

Se tienen 2 tipos de procesos, el continuo donde la producción se mide en kg/h o en t/h y el proceso intermitente donde la carga introducida en cada operación es en kilogramos o en tiempo. Es importante definir el proceso, para poder realizar el análisis de la manera correcta.

La temperatura en los hornos continuos es constante en cada zona a lo largo del tiempo, y la carga varía a lo largo del horno desde la entrada hasta la salida. En los hornos intermitentes la temperatura de la carga varía a lo largo del tiempo, pero se mantiene relativamente constante en todo el horno en un instante dado.

Para el caso de esta investigación, el proceso es intermitente; por lo que las mediciones se realizarán por ciclos completos de producción. Es fundamental que las condiciones de medición al inicio, sean las mismas al final del período.

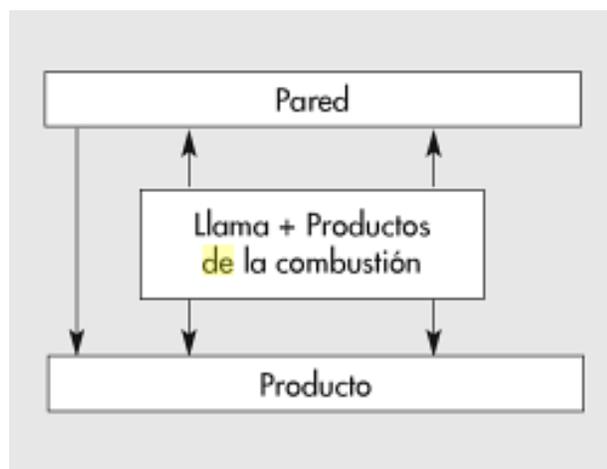
Para la puesta en marcha del proceso es necesario un aporte de calor inicial para calentar las paredes, este calor se produce a partir de la quema inicial del combustible, “cuando el gas generado entra en contacto con el oxígeno se produce la llama y los gases productos de la combustión liberan gran cantidad de calor. Este calor liberado se invierte en mantener las paredes calientes, en el calentamiento de los residuos que entran en el proceso y en los gases calientes de combustión.” Castells (2012, p. 158).

Es importante analizar la calidad y preparación del combustible que se utiliza, ya que de esto dependerá el aporte de calor que se suministre al proceso, si es un combustible de mala calidad, se gastará mucha cantidad del mismo para poder producir la cantidad de calor que el sistema requiere, afectando la eficiencia y el costo del proceso.

Los intercambios de calor que suceden en el horno, básicamente son:

- Transmisión de calor por convección y radiación de la llama y sus productos de combustión a la masa de pan y a las paredes del horno.
- Transmisión de calor por radiación de las paredes del horno hacia el producto, debido a que la temperatura de las paredes del horno, son elevadas a una temperatura superior a la del producto a calentar (masa de pan).
- Parte del calor generado por la combustión sale con los gases calientes del horno.

Figura 5. **Transferencia de calor en el horno**



Fuente: Castells (2012, p. 156).

Para determinar la eficiencia del horno de bóveda se realizará un balance de energía del sistema, calculando la transferencia de calor que se da en el proceso. La eficiencia de un horno es el porcentaje del calor liberado en la llama, que es absorbido por el sólido o fluido calentado. “Los quemadores son los dispositivos que permiten realizar la combustión entre el combustible y el

comburente de manera controlada, asegurando el aporte adecuado de ambos para alcanzar la potencia calorífica especificada.” Castells (2012, p. 163). La función principal de los quemadores es la de transferir el calor y de homogeneizar las temperaturas en el interior del horno, de modo que se transfiera el calor al producto, de la manera más eficiente posible.

Sin embargo, como en todo proceso, la eficiencia no puede ser del 100 %, estas normalmente van de 70 al 95 %. Los hornos de usualmente contienen superficie radiante y de transferencia de calor por convección.

Para determinar la eficiencia en el horno de bóveda se plantea primero la ecuación general del balance de energía para un sistema cerrado estacionario y sin interacciones de trabajo a través de su frontera, donde el calor disponible es igual a la suma del calor útil más las pérdidas de calor:

$$Q_D = Q_1 + \sum Q_i$$

Dónde:

$Q_D$  = calor disponible

$Q_1$  = calor útil

$Q_i$  = sumatoria de las pérdidas de calor

Fuente: Valverde, A., Sarria, B., Monteagudo, J. (2007, pág. 177)

### **6.17.1. Calor disponible**

La energía inicial que ingresa al horno está dado por el calor que ingresa con el combustible, para este caso diésel. El calor de combustión generado por la quema del diésel, está relacionado a la capacidad calorífica del mismo. “La capacidad calorífica o calor específico se define como la energía requerida

para elevar en un grado la temperatura de una unidad de masa de una sustancia” Cengel (2007, p. 281). La capacidad calorífica se expresa en kcal/kg.

Existen dos tipos de poderes caloríficos para cada combustible:

- La capacidad calorífica superior: comprende todo el calor producido, incluyendo el requerido para vaporizar la humedad que contiene el mismo.
- La capacidad calorífica inferior: no considera las calorías consumidas para vaporizar la humedad que contiene el combustible, por consiguiente este es que él nos da las calorías que realmente son aprovechables en un proceso térmico. Universidad De Valladolid, Combustión (2011).

La capacidad calorífica no define la cantidad de calor suministrado, ya que esta tiene que ver con la velocidad con la que el combustible arde, la cantidad de oxígeno en la quema del diésel, la eficiencia del quemador entre otros.

Para determinar la energía suministrada por el combustible, se utiliza la siguiente ecuación:

$$E_{combs} = Cp_{combs} * Combustible$$

Dónde:  $E_{combs}$  = energía del combustible alimentado al horno (kcal)

$Cp_{combs}$  = capacidad calorífica del combustible (kcal/kg)

Combustible = combustible total alimentado (kg)

Fuente: Evaluación del desempeño térmico de un horno cerámico tipo bóveda. (2011. p. 8)

### 6.17.2. Calor útil

Para la elaboración de la masa de pan, uno de sus principales ingredientes, es el agua. La humedad es un obstáculo para la cocción del pan, ya que se requiere de cierto aporte de calor, solo para lograr evaporar el agua contenida en la masa; a este calor necesario se le conoce como consumo útil. Para determinar el calor útil suministrado para la cocción del pan, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q_{util} = M_{pf} * C_{pan} * (T_{quema} - T_{ambiente})$$

Dónde:

$M_{pf}$  = masa del pan sin humedad (kg)

$C_{pan}$  = calor específico del pan (kcal/kg°C)

$T_{quema}$  = temperatura de quema del pan (°C)

$T_{ambiente}$  = temperatura del ambiente (°C)

Fuente: Evaluación del desempeño térmico de un horno cerámico tipo bóveda (2011, pág 8)

### 6.17.3. Pérdidas de calor del proceso

Para este estudio no se tienen en cuenta las pérdidas ocasionadas por los gases de escape y la combustión incompleta del combustible. Las pérdidas de calor del proceso son:

#### 6.17.3.1. Pérdida de calor por conducción

Para determinar la pérdida del calor por conducción de las paredes del horno, hacia el sistema, se determina de la siguiente manera:

$$Q_{pared} = -kA \frac{T_i - T_e}{L}$$

Donde:

$Q_{pared}$  = pérdida del calor de las paredes del horno (W)

K = conductividad térmica (W/m\*°C)

A = área de transferencia de calor m<sup>2</sup>

T<sub>i</sub> = temperatura interior (°C)

T<sub>e</sub>=temperatura exterior (°C)

L=espesor (m)

Fuente: Cenguel (2007, pág. 92).

### 6.17.3.2. Transferencia de calor por radiación

En el caso de la cocción del pan en un horno, cierta parte del calor transferido es por radiación. Para determinar la razón neta de la transferencia de calor por radiación del sistema se da por:

$$Q_{rad} = \varepsilon \alpha A(T_1^4 - T_{pared}^4)$$

Donde:

$Q_{rad}$  = calor transferido por radiación (W)

$\varepsilon$  = emisividad de la superficie

$\alpha$  = absortividad (W/m<sup>2</sup>\*K<sup>4</sup>)

A = área superficial (m<sup>2</sup>)

T<sub>1</sub>= temperatura interior (K)

T<sub>pared</sub>= temperatura de la pared (K)

#### 6.17.4. Energía neta transferida al sistema

En régimen estacionario, la cantidad de calor total Q aportado al horno es igual a la que sale de el:

$$Q_t = Q_{\text{pared}} + Q_{\text{util}} + Q_{\text{rad}}$$

Dónde:

$Q_t$  = calor total aportado al horno

$Q_{\text{pared}}$  = pérdida de calor a través de las paredes

$Q_{\text{util}}$  = calor útil para evaporación de agua

$Q_{\text{rad}}$  = transferencia de calor por radiación

#### 6.17.5. Eficiencia térmica del horno

Para determinar la eficiencia del horno se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia térmica} = \frac{Q_t}{Q_d} * 100$$

Donde:

$Q_t$  = calor total

$Q_d$  = calor disponible

Fuente: Evaluación del desempeño térmico de un horno cerámico tipo bóveda. (2011, pág. 13)

Según Castells (2012) se mencionan ciertas consideraciones a seguir para un correcto funcionamiento del horno:

- Estimar con precisión las pérdidas por las paredes del horno, ya que esto requiere el uso de más combustible para aportar más calor.

- Utilizar materiales aislantes en las paredes, para evitar las pérdidas por conducción del calor hacia el entorno.
- Disminuir el exceso de aire y utilizar un combustible de buena calidad, para evitar que al generarse los gases productos de la combustión, se arrastre una gran cantidad de calor sensible, ya que el mismo se pierde emitiéndolo a la atmósfera.
- Disminuir al máximo las pérdidas de calor por fugas de gases.



## 7. CONTENIDO DEL INFORME

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. HISTORIA DEL PAN
2. DEFINICIÓN DEL PAN
3. MATERIA PRIMA UTILIZADA
  - 3.1. Ingredientes básicos
    - 3.1.1. Harina
    - 3.1.2. Agua
    - 3.1.3. Sal
    - 3.1.4. Levadura
  - 3.2. Ingredientes secundarios
    - 3.2.1. Azúcar
    - 3.2.2. Materias grasas
    - 3.2.3. Leche
    - 3.2.4. Huevos

- 3.3. Ingredientes alternativos
  - 3.3.1. Aditivos
  - 3.3.2. Enzimas
  - 3.3.3. Ácido ascórbico
  - 3.3.4. Harina de malta
  - 3.3.5. Emulsionantes
  - 3.3.6. Ingredientes alternativos naturales
- 3.4. Equipo utilizado
  - 3.4.1. Hornos
- 3.5. Proceso de elaboración de pan
  - 3.5.1. Pesaje de los ingredientes
  - 3.5.2. Mezcla y amasado
  - 3.5.3. Primera fermentación o reposo inicial
  - 3.5.4. Corte y ovillado
  - 3.5.5. Segunda fermentación
  - 3.5.6. Moldeado
  - 3.5.7. Tercera fermentación
  - 3.5.8. Horneado
  - 3.5.9. Rendimiento de una receta

#### 4. DEFINICIÓN DE PRODUCTIVIDAD

#### 5. MODELO DE PRODUCTIVIDAD TOTAL

#### 6. VENTAJAS DEL MODELO DE PRODUCTIVIDAD TOTAL

#### 7. FASES DE IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE PRODUCTIVIDAD TOTAL

- 7.1. Medición de la productividad

- 7.2. Evaluación de la productividad
- 7.3. Planeación de la productividad
- 7.4. Mejoramiento y control de la productividad
  - 7.4.1. Mejora de la productividad
  - 7.4.2. Factores que influyen en la mejora de la productividad
  
- 8. DEFINICIÓN BALANCE DE MASA
  
- 9. UTILIZACIÓN DEL BALANCE DE MASA EN PROCESOS
  
- 10. PROCEDIMIENTO GENERAL PARA DETERMINAR EL BALANCE DE MATERIA
  
- 11. TRANSFERENCIA DE CALOR
  - 11.1. Calor por conducción
  - 11.2. Calor por convección
  - 11.3. Calor por radiación.
  
- 12. DEFINICIÓN DEL BALANCE DE ENERGÍA
  
- 13. ENERGÍA
  
- 14. BALANCE DE ENERGÍA EN SISTEMAS CERRADOS
  
- 15. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL HORNO A TRAVÉS DEL BALANCE DE ENERGÍA
  - 15.1. Calor disponible
  - 15.2. Calor útil

- 15.3. Pérdidas de calor del proceso
  - 15.3.1. Pérdidas de calor por conducción
  - 15.3.2. Transferencia de calor por radiación
- 15.4. Energía neta de transferencia al sistema
- 15.5. Eficiencia térmica del horno

## 16. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

## 8. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo es una investigación aplicada con un enfoque cuantitativo, utilizando un método de estudio descriptivo y correlacional de tipo no experimental y transversal. Se tendrá una investigación de campo, donde se tomará como herramienta el registro ordenado de datos, utilizando como técnica de recolección la observación científica directa de los procesos de panificación dentro de la planta y el análisis documental de datos históricos de producción. Dichos datos darán origen a los cálculos para la determinación del balance energético, el balance de material del proceso y a la determinación de la productividad total del proceso de panificación. Estos datos serán utilizados también para describir las condiciones del proceso y cualquier fenómeno que ocurra dentro de los mismos. Es una investigación aplicada ya que se utilizarán conocimientos adquiridos en la maestría para su uso en la resolución del problema, con este estudio no se pretende formular nuevas teorías ni modificar las ya establecidas.

La variable dependiente de este estudio es la productividad total y las variables independientes serán las productividades parciales que se determinarán durante el proceso de panificación, estas variables serán de carácter cuantitativas.

El universo de la investigación está conformado por la línea de producción de pan popular, (pan francés, pirujo, pan de *hot dog* y pan de hamburguesa), esto debido a que presenta el 50 % del nivel de producción de la panificadora. Para determinar la muestra y la población, se especificará en cada uno de los pasos que tendrá este estudio.

Como instrumentos para recoger y almacenar la información se tendrá fichas de datos y tablas con información de los procesos internos de panificación.

Para la medición del cumplimiento de las mejoras propuestas al sistema de panificación y su impacto en la productividad de la panificadora, se utilizará variables cualitativas en forma de indicadores de productividad; los cuales determinarán el aumento o disminución de la eficiencia del proceso.

El desarrollo de esta investigación está dividido en las siguientes fases:

### **8.1. Fase I: recopilación de información histórica de producción**

Con el objetivo de medir la productividad promedio con la que la panificadora ha estado trabajando, se hará un muestreo estadístico de los datos históricos registrados dentro de la empresa para el proceso de producción. Para determinar el tamaño de la muestra de los datos históricos, se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N\sigma^2Z^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2Z^2}$$

Fuente: Montenegro, 2010

Donde:

n = tamaño de muestra

N = tamaño de la población

Debido a que la recopilación de información, según el cronograma (ver marco administrativo, punto 8.1), será a partir de julio, se tomará los primeros 6 meses del 2014, es decir 24 semanas.

$\sigma$  = desviación estándar de la población, cuando no se tiene su valor, se suele utilizar un valor constante de 0,5.

Z = valor obtenido mediante niveles de confianza. Se tomará con relación al 95 % de confianza que equivale a 1,96.

e = límite aceptable de error muestral que, se tomará 0,05.

Calculando el tamaño de muestra con los valores asignados:

$$n = \frac{(24 \text{semanas})(0.5^2)(1.96^2)}{(24 \text{semanas} - 1)(0.05^2) + (0.5^2)(1.96^2)}$$
$$n = 22.64$$
$$n \approx 23 \text{semanas}$$

Por lo que la recopilación de información de datos históricos de producción, se tomarán de las últimas 23 semanas a partir de la fecha que se inicie la recolección de datos. La información que se necesita recopilar es:

- Producción semanal final (quintales de pan producido)
- Horas de producción semanales
- Consumo de energía eléctrica semanal
- Consumo de agua semanal
- Cantidad de materia prima utilizada semanal
- Cantidad de desechos del proceso (miga de pan), semanal

Para analizar estos datos se utilizará la estadística descriptiva (media, moda, mediana, desviación estándar). Adicional a esto, se elaborara el diagrama de flujo del proceso.

## **8.2. Fase II: determinación de indicadores de productividad actual de la panificadora**

Con la recopilación de información histórica de producción de la planta, se podrá determinar la productividad total con la que la panificadora está trabajando. Para esto se medirá la productividad en función del insumo utilizado, para poder tener una mayor información del proceso y seguido a esto, se determinara una productividad total. Los indicadores de productividad parcial serán:

$$\textit{Productividad de energia electrica} = \frac{\textit{Produccion total}}{\textit{Energia electrica empleada}}$$

Dónde:

Producción total = kg totales de pan elaborado

Energía eléctrica = kw utilizados

$$\textit{Productividad laboral} = \frac{\textit{Produccion total}}{\textit{Costo de mano de obra directa}}$$

Dónde:

Producción total = kg totales de pan elaborado

Costo de mano de obra = Quetzales gastados en mano de obra directa

$$\textit{Productividad de agua} = \frac{\textit{Produccion total}}{\textit{Agua consumida}}$$

Dónde:

Producción total = kg totales de pan elaborado

Agua consumida = litros consumidos de agua para el proceso de panificación.

$$\textit{Productividad materia prima} = \frac{\textit{Produccion total}}{\textit{materia prima consumida}}$$

Dónde:

Producción total = kg totales de pan elaborado

Materia prima consumida = kg totales de materia prima consumida (harina, sal, levadura)

$$\textit{Productividad de desechos} = \frac{\textit{Produccion total}}{\textit{desecho del proceso}}$$

Dónde:

Producción total = kg totales de pan elaborado

Desecho del proceso = kg totales de miga de pan, originada como desecho del proceso

$$\textit{Productividad Total} = \frac{\textit{Produccion total}}{\textit{Insumos utilizados}}$$

Dónde:

Producción total = kg totales de pan elaborado

Recursos utilizados = humanos + materiales + capital + energía + otros gastos

### 8.3. Fase III: determinación del balance energético

Se evaluará el desempeño térmico y el consumo energético del horno de bóveda, utilizado en la línea de pan popular. Se utilizará como unidad kcal/kg. Se medirán ciclos completos de producción, durante 15 días.

Se determinará el balance energético del horno mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

Fuente: Felder, R., 2007

Para los datos de entrada del sistema se considerarán:

- La cantidad de diésel alimentado al proceso, con lo que se determinará la energía térmica alimentada en el horno (kcal), teniendo la capacidad calorífica del mismo.
- La carga total procesada (kg de pan) a lo largo del ciclo de producción. Con esto se determinara el calor útil demandado por el proceso.

Para los datos de salida del sistema se considerarán:

- Carga total elaborada (kg de pan cocido) para determinar la pérdida en el calor de evaporación del agua contenida en la masa del pan.
- Se determinará el contenido en volumen de dióxido de carbono en los gases de escape a través de un balance molar de la combustión del gas, para determinar la pérdida de calor por combustión.

- Pérdidas por radiación (en las paredes del horno), las cuales se determinarán con la medición de la temperatura en las paredes del mismo, a través de un termómetro laser/infrarrojo.
- Pérdidas de calor en los gases de escape (base de la chimenea) a través de los medidores fijos del horno.

Para la recolección de datos se tendrán que medir:

- El peso inicial del pan a ingresar al horno
- El peso final del pan al salir del horno
- Temperatura externa
- Temperatura de la chimenea

Para determinar el número de muestras, para la recolección de datos, se utilizará la misma fórmula utilizada para el muestreo de datos históricos. Se tendrá 15 días hábiles para la recolección de datos para el balance energético, por medio de la observación directa. Esto implica que con 8 horas de producción al día, el tamaño de muestra es de 120 horas, se establece que una hora es igual a una lectura de datos, quedando el tamaño de muestra de la siguiente manera:

$$n = \frac{(120 \text{ horas})(0.5^2)(1.96^2)}{(120 \text{ horas} - 1)(0.05^2) + (0.5^2)(1.96^2)}$$

$$n = 91.62 \text{ horas}$$

$$n \approx 92 \text{ horas}$$

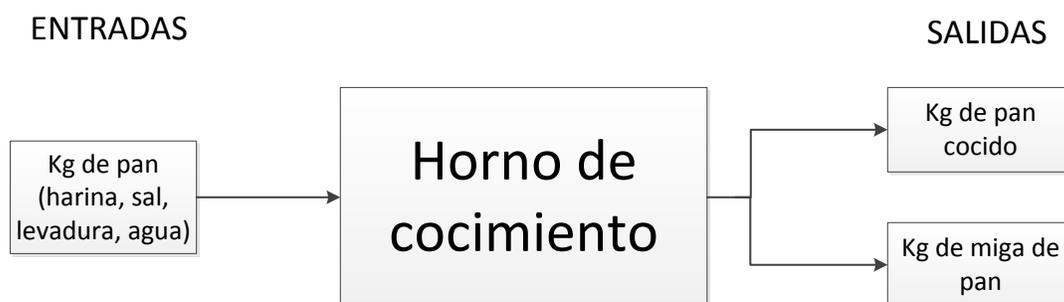
Esto quiere decir, 92 datos para tabular, tomando en cuenta que son 15 días hábiles, serían 6 datos diarios durante una corrida de producción en los 15 días establecidos para la toma de datos.

#### 8.4. Fase IV: determinación del balance de material

El balance de masa se realizara para la línea de producción de pan popular, lo cual incluye, francés, pirujo, *hot dog* y hamburguesas. Se tomará una corrida de producción por 15 días, período establecido para la toma de datos para el balance de masa, por lo que se tendrán 15 datos para tabular.

Como primer paso se debe determinar un diagrama de flujo del proceso, esto para determinar las entradas y salidas del mismo. Como datos de entrada se tomara el peso total en kilogramos de los ingredientes utilizados para preparar el pan. Como datos de salida se tomara el peso total en kilogramos del pan ya cocido, y la cantidad de miga producida como desecho del proceso. Para la toma de datos, ver el anexo 3.

Figura 6. Diagrama del balance de materia para el cocimiento del pan



Fuente: Elaboración propia

### 8.5. Fase V: determinación de la productividad total

Al tener un estudio de la situación actual de los procesos de la panificadora, y realizar el balance energético y de material, se realizará un análisis para sugerir mejoras al proceso e implementar las acciones y correcciones necesarias. Luego, se medirá la productividad parcial y total, para verificar si dichos cambios aumentaron, disminuyeron o no tuvieron significancia alguna sobre la productividad total de la línea de producción de pan popular para la panificadora La Corona.

Para medir la productividad, se tomará el número de datos utilizados para la realización del balance de masa y energía (92 datos) y se determinará las productividades parciales y totales promedio, de la misma manera que en el inciso 3.

Para realizar la comparación entre la productividad inicial y final del estudio de investigación, se determinará un porcentaje de aumento o disminución entre ambas, utilizando la fórmula:

$$\% \text{ Productividad} = \frac{P_f - P_o}{P_f} * 100$$

Dónde:

$P_o$  = productividad inicial de la panificadora

$P_f$  = productividad final de la panificadora

Esta fórmula se aplicará tanto los indicadores de productividad parcial y como a la productividad total.



## **9. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

Se utilizará la estadística descriptiva (media, moda, mediana, polígono de frecuencias y desviación estándar) para presentar los datos recopilados de la población completa. El análisis de la información se hará con el universo de la información previamente determinada.

### **9.1. Recolección y ordenamiento de la información**

Para la recolección tabulación, ordenamiento y procesamiento de los datos se utilizará:

- Computadora: para el ingreso de datos y generar la información.
- Herramientas de Microsoft Excel para que analizar los datos.

### **9.2. Procesamiento primario de datos**

En el procesamiento primario de datos se elaborarán archivos de datos recopilados en el estudio para depurarlos y editarlos. Para esto se seguirán los siguientes pasos:

- Ingresar en un archivo Excel de Microsoft Office todos los datos recopilados de la observación inicial del proceso de panificación, con esto se elaboran los indicadores de productividades parciales a analizar, así como los datos para determinar el balance de masa y energía.
- Revisar la estructura del archivo de datos al finalizar cada sesión de trabajo de campo.

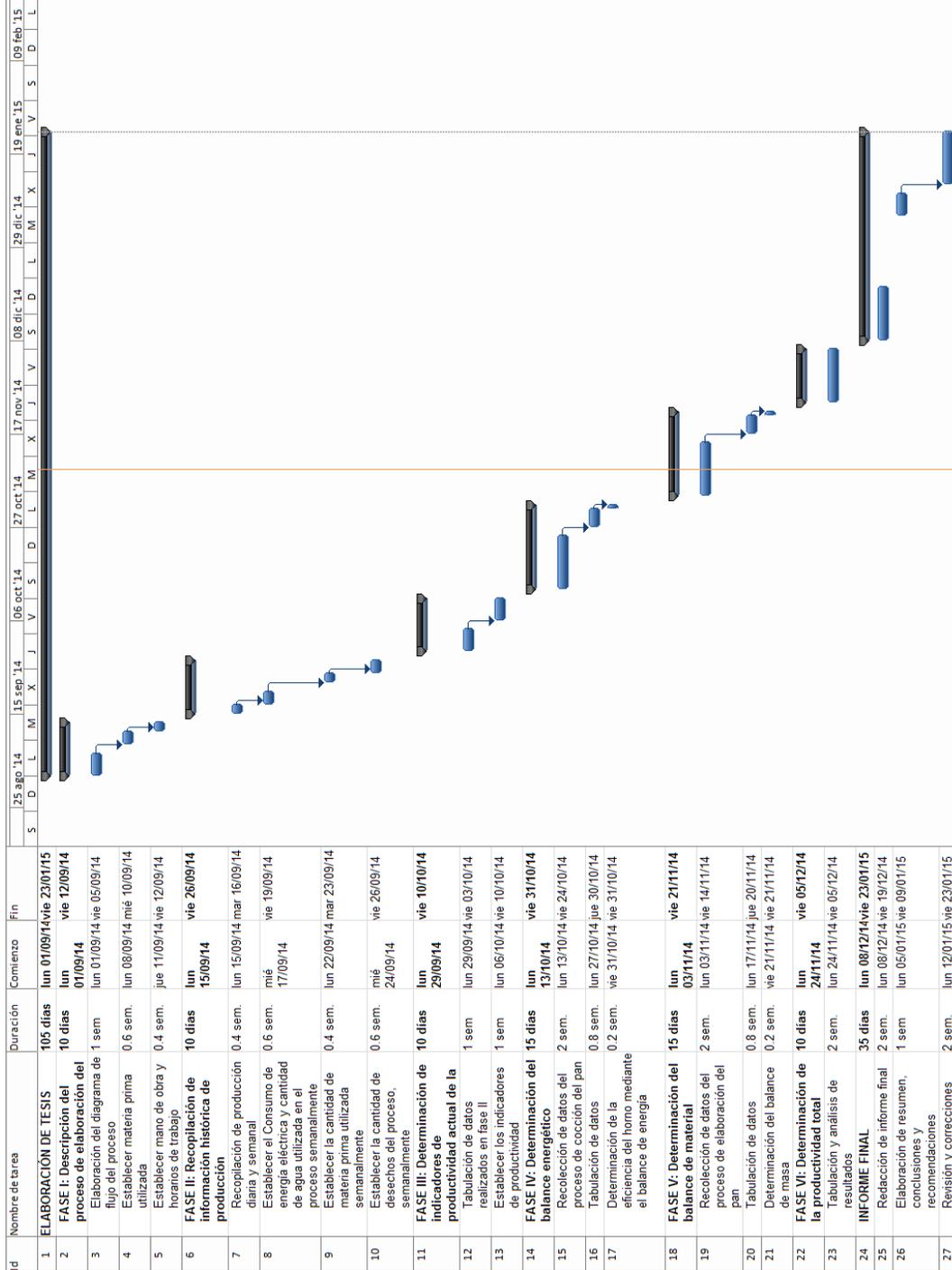
- Realizar una copia de respaldo del el archivo de datos ya revisado en un medio alternativo de resguardo de información.

### **9.3. Procesamiento secundario de datos**

En el procesamiento secundario de datos se producirán archivos de análisis de datos para crear las tablas y gráficas en el programa de cómputo seleccionado. Para esto se seguirán los siguientes pasos:

- Relacionar todos los archivos de datos de las muestras.
- Determinar los factores estadísticos.
- Establecer las tablas necesarias para el análisis de los datos.
- Crear las tablas de resumen de la información obtenida del análisis y trabajo de campo.

# 10. CRONOGRAMA





## 11. RECURSOS DISPONIBLES

### 11.1. Recurso humano

Las personas necesarias para el desarrollo de la investigación son:

Tabla III. Recurso humano

Descripción	Personas
Estudiante investigador	1
Asesor de la investigación	1
Gerente de panadería, que proporcionará los permisos para el acceso a la información	1
Jefe de planta	1
Jefe de turno de la línea de pan popular	1
Hornero	1

Fuente: elaboración propia

### 11.2. Recurso material

Para el desarrollo de la investigación se necesitará del recurso material, descrito a continuación:

Tabla IV. **Recurso material**

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Resma de hojas	1
Lapiceros	3
Tabla Shawn	1
Computadora portátil para la tabulación de datos y análisis estadístico	1
Impresora	1
Cartucho de tinta negra y de colores	1
Software Microsoft Office 2010	1
Horno de bóveda de panadería La Corona	1
Medidores infrarrojo de temperatura	1

Fuente: elaboración propia.

### **11.3. Factibilidad del estudio y fuente de financiamiento**

Se tiene el permiso y consentimiento de la Gerencia General de la panadería La Corona para el desarrollo del este trabajo de investigación, así como la disponibilidad del recurso humano para ofrecer todo el apoyo y la información necesaria para la toma de datos de la investigación. Los recursos materiales serán proporcionados por la panadería y cualquier otro gasto que requiera el proyecto.

Tabla V. **Presupuesto del proyecto**

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
Uso de vehículo para desplazamiento (Q. 35 por 40 galones)	Q. 1 400,00
Alimentación	Q. 1 200,00
Pago asesor de tesis	Q. 2 500,00
Gastos varios de librería (hojas, lapiceros, tinta, tabla Shawn)	Q. 1 200,00
Gastos varios	Q. 1 000,00
<b>Total Estimado</b>	<b>Q. 7 300,00</b>

Fuente: elaboración propia.



## 12. BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Española de la industria de Panadería, Bollería y Pastelería ASEMAC. *Manual de Calidad de panadería, bollería y pastelería*, 2012. Madrid, España. Editorial Agrícola Española S.A. Recuperado de: <http://www.asemac.es/docus/130102%20Manual%20de%20Calidad.pdf>
2. Belcher G. J. (1987). *Productividad Total*. Argentina, Editorial Granica.
3. Castells, X. (2012). *La combustión Factores endógenos y exógenos*. Madrid. Recuperado de: [http://books.google.com.gt/books?id=t5bN39rw5fUC&pg=PA156&lpg=PA156&dq=transmisi%C3%B3n+de+calor+en+un+horno+de+boveda&source=bl&ots=Z8s6qJKq\\_N&sig=zJwAB22bzhYcftK8rbu3Y6H7dA&hl=es&sa=X&ei=2jYJVLOpIYq1sQSYmoCgDw&ved=0CD8Q6AEwBg#v=onepage&q=transmisi%C3%B3n%20de%20calor%20en%20un%20horno%20de%20boveda&f=false](http://books.google.com.gt/books?id=t5bN39rw5fUC&pg=PA156&lpg=PA156&dq=transmisi%C3%B3n+de+calor+en+un+horno+de+boveda&source=bl&ots=Z8s6qJKq_N&sig=zJwAB22bzhYcftK8rbu3Y6H7dA&hl=es&sa=X&ei=2jYJVLOpIYq1sQSYmoCgDw&ved=0CD8Q6AEwBg#v=onepage&q=transmisi%C3%B3n%20de%20calor%20en%20un%20horno%20de%20boveda&f=false)
4. Cengel, Y., Ghajar, A. (2007) *Transferencia de calor y masa*. México. Tercera edición. Editorial McGrawhill.
5. Calleja Pardo, G;., García Herruzo, F., de Lucas Martínez, A., Prats Rico, D,. Rodríguez Maroto, J. (1999). *Introducción a la Ingeniería Química*. Síntesis.

6. Capel, J.C. (1998). *El pan nuestro*. Editorial Oria.
7. Davidson Eaton, A. Jaine, T. Saberi, H. Vannithone, S. (2006). *Enciclopedia de los alimentos. El alimento y su compañía*. Publicado por Oxford University Press.
8. Felder. R.M. (2007). *Principios elementales de los procesos químicos*. México: tercera edición, Editorial Limusa Wiley.
9. Gómez Arana, J. (2006). *Aplicación de un plan de procedimientos operativos estándar de saneamiento para una industria panificadora*. (Tesis ingeniería mecánica industrial). Universidad de San Carlos de Guatemala.
10. Heinrich, E., Reinhart, P. (2007). *Seis mil años de pan: Su Historia sagrada y pagana*. Nueva York: Editorial Skyhorse Publishing.
11. Heizer, J., Render, B. (2004). *Principios de administración de operaciones*. México: V edición, Pearson Education.
12. Instituto Nacional de Cooperativa Educativa, Gerencia regional Ince Aragua. *Panadería*. 2005. Venezuela. Recuperado de <http://www.scribd.com/doc/6801393/PANADERIA>
13. Instituto Profesional DuocUC. (2008). *Manual de Panadería*. Viña del Mar, Chile. Recuperado de [http://biblioteca.duoc.cl/bdigital/Documentos\\_Digitales/600/640/38435.pdf](http://biblioteca.duoc.cl/bdigital/Documentos_Digitales/600/640/38435.pdf)

14. Kern, Q., Donald. (1999). *Procesos de Transferencia de Calor*. México: primera edición, trigésima primera reimpresión, compañía editorial continental, S.A de C.V.
15. Landaverry Villeda, C. (1996). *Actualización del balance energético del ingenio los tarros Santa Lucia Cotzumalguapa-Escuintla*. (Tesis informe final de ejercicio final supervisado). Universidad de San Carlos de Guatemala.
16. Lezcano, A. (2011). *Productos panificados*. Alimentos Argentinos. Recuperado de [http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/revista/ediciones/51/productos/r51\\_06\\_Panificados.pdf](http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/revista/ediciones/51/productos/r51_06_Panificados.pdf)
17. Martínez, M. (1989). *Historia de la gastronomía española*. Madrid: Alianza Editorial. Primera edición (en español).
18. Molina Herrera, A. (2006). *Aplicación del control de inventarios como herramienta de productividad en la gerencia de construcción, planta interna de una empresa de telecomunicaciones*. (Tesis ingeniería industrial). Universidad de San Carlos de Guatemala.
19. Montenegro, M., Escobar, John. (2010). *Estadística Descriptiva*. Colombia.
20. Navarro Almengor, J. (2003). *El ingeniero industrial como ejecutivo financiero y su aporte directo en el establecimiento de estructuras de calidad y productividad en la industria panificadora*. (Tesis ingeniería industrial). Universidad de San Carlos de Guatemala.

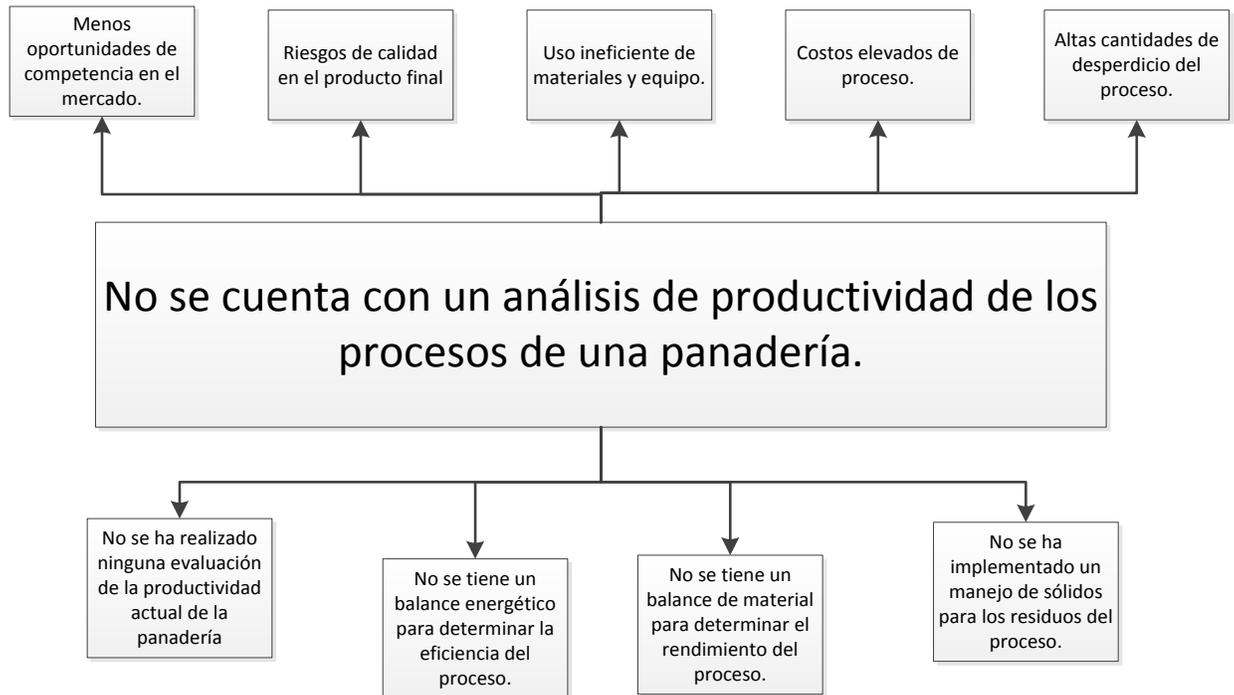
21. Pickering, P., Tyrell, A. (2002). *The People's Bread: A History of the Anti-Corn Law League*. Oxford. University Press.
22. Programa de eficiencia energética en ladrilleras artesanales de América-EELA. Evaluación del desempeño térmico de un horno cerámico tipo bóveda. Septiembre 2011. Rio de Janeiro, Brasil. Recuperado de: [http://www.redladrilleras.net/documentos\\_galeria/Informe%20desempeño%20termico%20horno%20tipo%20boveda.pdf](http://www.redladrilleras.net/documentos_galeria/Informe%20desempeño%20termico%20horno%20tipo%20boveda.pdf)
23. Sanic Maguirre, R. (2011). *Aumento de la productividad y cálculo del costo unitario en una panadería del municipio de San Miguel Petapa*. Universidad San Carlos de Guatemala.
24. Saturnino, R., Mitra, A. (1994). *Scholastic: Pizza*, Australia. Primera edición (en inglés).
25. Solis Marroquin, L. (2001). *Análisis en el rendimiento actual y propuestas de mejora para aumentar la productividad en las líneas de producción (Microcel y Kickers) en la hulera entro Americana S.A.* (Tesis Ingeniería industrial) Universidad San Carlos de Guatemala.
26. Sumanth, D.J. (2005). *Administración para la productividad total*. México: Tercera reimpresión, Compañía Editorial Continental.
27. Tejeda Ayala, A. (199). *Medición de la productividad en la industria de bebidas no alcohólicas*. Universidad Francisco Marroquín.

28. Toussaint, S. (1994). *Historia de los Alimentos*. Nueva York. Primera Edición. Editorial Blackwell.
29. Universidad De Valladolid. (2011). Calculo relativo a la combustión. En combustión-Universidad de Valladolid. Recuperado de [https://www5.uva.es/guia\\_docente/uploads/2011/375/51405/1/Documento1.pdf](https://www5.uva.es/guia_docente/uploads/2011/375/51405/1/Documento1.pdf)
30. Valverde, A., Sarna,B., Monteagudo, J. (diciembre, 2007) Scientia et Technica. *Evaluación de la eficiencia de un horno que utiliza como combustible cascarilla de arroz*. Universidad tecnológica de Pereira. Año XIII. No. 37



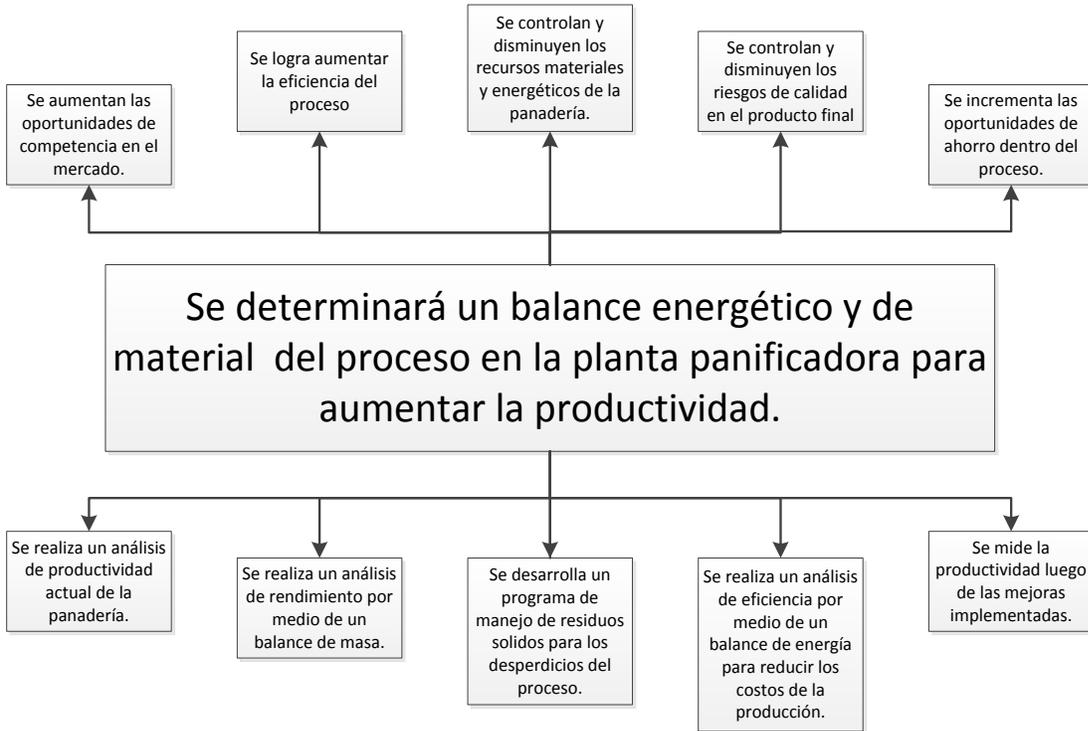
## 13. APÉNDICE

### Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.

## Árbol de objetivos



Fuente: elaboración propia.

## Matriz de coherencia

TEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	INDICADORES
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <p>En la panificadora no se ha realizado un análisis de eficiencia y rendimiento de los procesos de manufactura.</p> <p><b>PROBLEMA SECUNDARIO</b></p> <p>¿Se están realizando los procedimientos de manufactura de pan de la manera más eficiente y con un control de calidad?</p> <p>¿Se estarán utilizando las herramientas, materiales y equipo del proceso de la manera más eficiente?</p> <p>¿Se estará trabajando con productividad dentro de la panadería?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Describir en qué medida se incrementa la productividad de una empresa panificadora al determinar el balance de energía y masa en la línea de pan popular.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Describir la productividad actual de la panadería.</li> <li>• Determinar el rendimiento de la producción por medio del cálculo de un balance de material dentro del proceso de la panificadora, y de ser necesario, proponer una mejora del mismo.</li> <li>• Determinar la eficiencia en el horno de cocción del pan por medio del cálculo de un balance de energía, y de ser necesario, proponer una mejora para aumentar la misma.</li> <li>• Determinar el porcentaje de aumento de productividad luego de implementar los cambios propuestos.</li> </ul>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b></p> <p>Productividad del proceso</p> <p><b>VARIABLE DEPENDIENTE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Energía eléctrica utilizada en el proceso</li> <li>- Costo de mano de obra directa</li> <li>- Agua consumida en el proceso</li> <li>- Materia prima</li> <li>- Desperdicios del proceso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Productividad de energía eléctrica.</li> <li>- Productividad laboral</li> <li>- Productividad de agua</li> <li>- Productividad de materia prima</li> <li>- Productividad de desechos</li> <li>- Productividad total de la panificadora.</li> <li>- Costos totales de producción.</li> <li>- Eficiencia del proceso.</li> <li>- Rendimiento del proceso.</li> </ul>

### Toma de datos para balance energético

Fecha de medición	Combustible alimentado (Kcal)	Número de dato	Peso bandeja (Kg)	Peso inicial bandeja + pan (Kg)	Peso final bandeja + pan (Kg)	Temperatura externa (°C)	Temperatura de la chimenea (°C)
Día 1		1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					
Día 2		1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					
Día 3		1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					
Día 4		1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					
Día 5		1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					
Día 6		1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					
Día 7		1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					

Continuación tabla de toma de datos para balance energético

Fecha de medición	Combustible alimentado (Kcal)	Número de dato	Peso bandeja (Kg)	Peso inicial bandeja + pan (Kg)	Peso final bandeja + pan (Kg)	Temperatura externa (°C)	Temperatura de la chimenea (°C)
Día 8		1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					
Día 9		1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					
Día 10		1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					
Día 11		1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					
Día 12		1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					
Día 13		1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					
Día 14		1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					
Día 15		1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					

Fuente: elaboración propia.

## Toma de datos para balance de material

### DATOS BALANCE DE MASA

Fecha	No de dato.	datos de entrada				datos de salida	
		Kg de harina	kg de levadura	kg de sal	m3 de agua	Kg totales producidos	kg de miga de pan de residuo
	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	11						
	12						
	13						
	14						
	15						

Fuente: elaboración propia.