



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL MODELO DE ESTANDARIZACIÓN DEL
PARÁMETRO DE TEMPERATURA DE MASA PARA FABRICAR PAN A NIVEL INDUSTRIAL
UTILIZANDO CORRELACIONES TERMODINÁMICAS EN UNA EMPRESA PANIFICADORA**

Juan Luis Fuentes Ureta

Asesorado por la Inga. Kresly Carlota Aguirre Chinchilla

Guatemala, febrero de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL MODELO DE ESTANDARIZACIÓN DEL
PARÁMETRO DE TEMPERATURA DE MASA PARA FABRICAR PAN A NIVEL INDUSTRIAL
UTILIZANDO CORRELACIONES TERMODINÁMICAS EN UNA EMPRESA PANIFICADORA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JUAN LUIS FUENTES URETA

ASESORADO POR LA INGA. KRESLY CARLOTA AGUIRRE CHINCHILLA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Dina Lissette Estrada Moreira
EXAMINADOR	Ing. José Manuel Tay Oroxom
EXAMINADOR	Ing. Víctor Herbert de León Morales
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 PARA EL MODELO DE ESTANDARIZACIÓN DEL
PARÁMETRO DE TEMPERATURA DE MASA PARA FABRICAR PAN A NIVEL INDUSTRIAL
UTILIZANDO CORRELACIONES TERMODINÁMICAS EN UNA EMPRESA PANIFICADORA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 5 de junio de 2019.



Juan Luis Fuentes Ureta

Ref. AGS-MGIPP-025-2019

Guatemala, 05 de junio de 2019.

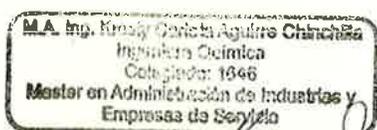
Director:
Carlos Salvador Wong Davi
Escuela de **Ingeniería Química**
Facultad de Ingeniería
Su despacho. -

Distinguido 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 **Juan Luis Fuentes Ureta** carné número **200312711**, 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 en Artes en 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,



Maestra. Inga. Kresly Aguirre Chinchilla
Asesor(a)

"Id y Enseñad a Todos"

Doctora Inga. Alba Maritza Guerrero S.
Coordinadora de Área
Gestión de Servicios



Maestro Ing. Edgar Darío Álvarez Cor
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



No. de Asesoramiento registrado en EEP. 1

Ce archivo/L.Z.L.A.

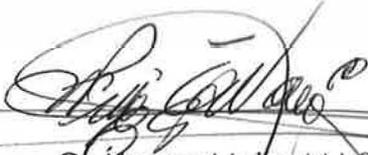
RESOLUCIÓN DE JUNTA DIRECTIVA: Proceso de Graduación aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011.



Ref.EIQ.TG.007.2020

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 del estudiante, **JUAN LUIS FUENTES URETA**, 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 PARA EL MODELO DE ESTANDARIZACIÓN DEL PARÁMETRO DE TEMPERATURA DE MASA PARA FABRICAR PAN A NIVEL INDUSTRIAL UTILIZANDO CORRELACIONES TERMODINÁMICAS EN UNA EMPRESA PANIFICADORA"**. Procede a **VALIDAR** el referido informe, ya que reúne la coherencia metodológica requerida por la Escuela.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Williams G. Alvarez Mejia; M.I.Q., M.U.I.E
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, febrero de 2020

Cc: Archivo
WGAM/ale

DTG.090-2020

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 PARA EL MODELO DE ESTANDARIZACIÓN DEL PARÁMETRO DE TEMPERATURA DE MASA PARA FABRICAR PAN A NIVEL INDUSTRIAL UTILIZANDO CORRELACIONES TERMODINÁMICAS EN UNA EMPRESA PANIFICADORA**, presentado por el estudiante universitario: **Juan Luis Fuentes Ureta**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, febrero de 2020

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por estar siempre a mi lado y darme la fuerza para vencer todas las pruebas en el camino hasta cumplir esta meta.
- Mis padres** Edwin Fuentes y María del Pilar Ureta. Por haberme brindado toda su paciencia, confianza y apoyo en todo momento. Los valores que me inculcaron son la base de este logro. Son un gran ejemplo e inspiración para mi vida. Es un orgullo ser su hijo.
- Mis hermanos** María Fernanda y José Daniel Fuentes. Por todos los momentos en los que han sido el apoyo que necesitaba para seguir adelante, en especial, por las reprimendas que sustentaron mi avance. No podría pedir mejores confidentes que ustedes.
- Mi prometida** Paula Góngora de León. Por ser la compañera ideal para disfrutar la vida y enfrentar cualquier obstáculo. Eres una gran motivación para ser mejor cada día.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la <i>alma mater</i> que me ha brindado la educación y habilidades necesarias para desempeñarme profesionalmente.
Facultad de Ingeniería	Por proveer todos los conocimientos necesarios para alcanzar una formación académica de calidad.
Mi familia	Por todo el apoyo brindado a lo largo de mi vida. De ustedes he recibido todo el aprecio que podría desear.
Mis amigos	Juan Fernando Andrino, Carlos Sánchez, Julio Guerra, Juan Zacarías y Sergio Surám. Por todas las vivencias y haberme acompañado durante este camino. Cada uno de ustedes ha sido un valioso soporte y compañía en diferentes etapas de mi vida.
Mis catedráticos	Por su paciencia y entusiasmo al compartir sus conocimientos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Descripción del problema	9
3.2. Delimitación	11
3.3. Formulación del problema	11
3.3.1. Pregunta central	12
3.3.2. Preguntas de investigación.....	12
3.4. Viabilidad.....	12
4. JUSTIFICACIÓN	15
5. OBJETIVOS	17
5.1. General.....	17
5.2. Específicos	17
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	19

7.	MARCO TEÓRICO	21
7.1.	Industria panificadora	21
7.1.1.	Harina.....	22
7.1.2.	Agua.....	25
7.1.3.	Levadura	26
7.1.4.	Sal	27
7.2.	Mezclado de ingredientes	29
7.2.1.	Formación de cavernas de aire	30
7.2.2.	Hidratación de los componentes	31
7.2.3.	Oxidación	32
7.3.	Influencia del amasado en la reología de la masa	33
7.4.	Equipos industriales para mezclado.....	36
7.4.1.	Tipos de mezcladoras	36
7.4.1.1.	Mezcladora vertical	37
7.4.1.2.	Mezcladora tipo espiral.....	39
7.4.1.3.	Mezcladora horizontal	40
7.4.2.	Velocidades de amasado	41
7.4.3.	Tiempo de amasado.....	41
7.4.4.	Factor de fricción de la amasadora	43
7.5.	Métodos de mezclado	43
7.5.1.	Método directo.....	44
7.5.2.	Método de esponja.....	44
7.6.	Control de la temperatura de la masa para pan	45
7.6.1.	Modelos empíricos para controlar la temperatura de la masa.....	46
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO	49

9.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	51
9.1.	Enfoque	51
9.2.	Diseño	51
9.3.	Tipo	52
9.4.	Alcance.....	52
9.5.	Variables e indicadores	52
9.6.	Fases.....	54
9.6.1.	Fase 1: Revisión documental.....	54
9.6.2.	Fase 2: Efecto de la temperatura de los ingredientes	54
9.6.3.	Fase 3: Efecto del ambiente	55
9.6.4.	Fase 4: Efecto del calor generado por la acción del equipo	55
9.7.	Población y muestra	56
9.8.	Resultados esperados.....	57
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	59
11.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	61
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	63
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
14.	APÉNDICE	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura del grano de trigo	24
2.	Corteza y miga del pan	30
3.	Factores que influyen en la formación de la masa	35
4.	Mezcladora vertical	37
5.	Accesorios de mezclado	38
6.	Mezcladora tipo espiral	39
7.	Mezcladora horizontal	40
8.	Cronograma	61

TABLAS

I.	Operativización de variables	53
II.	Recursos necesarios para la investigación	63

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
m	Metro
min	Minuto
%	Porcentaje
RPM	Revoluciones por minuto

GLOSARIO

Amasado	Proceso de distribución homogénea de todos los ingredientes asegurando el desarrollo de la estructura deseada a la masa para pan. También se conoce como mezclado.
Endospermo	Núcleo del grano de trigo, compuesto principalmente por almidones. Al separarse del germen y el pericarpio durante la molienda se obtiene la harina blanca.
Factor de fricción	Aumento de temperatura sobre la masa generado por la acción mecánica de la amasadora al contacto con la misma.
Farinógrafo	Aparato que permite probar dinámicamente las propiedades de amasado, con el fin de evaluar la calidad de la harina y el procesamiento de la masa.
Fermentación	Proceso de degradación de azúcares por medio de un agente leudante para generar dióxido de carbono. Es utilizado para el crecimiento del pan.
Germen	Embrión del grano de trigo, compuesto principalmente por aceites por lo que es muy frecuente descartarlo en la elaboración de masas.

Pericarpio

Capa exterior del grano de trigo que posee un alto contenido en fibra. También se conoce como afrecho o salvado.

Prefermento

Mezcla básica de harina, agua y levadura preparada con antelación, utilizada en el método de esponja para acentuar el sabor y mejorar el control del proceso.

Reología

Estudio de la manera en que se deforma y fluye la materia. En masas se utiliza para determinar características como viscosidad, plasticidad y elasticidad.

RESUMEN

A través de este estudio, se encontrará un modelo de estandarización del parámetro de temperatura de masa para fabricar pan a nivel industrial utilizando correlaciones termodinámicas en una empresa panificadora. Entre las ventajas del estudio se encuentra la mejora del proceso de manipulación en etapas siguientes, puesto que las masas contarán con las características reológicas deseadas. También se eliminarán los retrasos provocados por las variaciones de temperatura y se reducirán diferencias perceptibles en sabor y textura, con lo que se aumentará la calidad del producto final.

Esto se logrará a partir de la recolección de datos de temperatura de masa, temperatura de los ingredientes principales, temperatura del ambiente y el calor generado por la fricción de la masa con el equipo utilizado. Con la información obtenida, se encontrará un modelo de correlación entre las variables mencionadas a través de un análisis de regresión multivariable. Se espera una correlación lineal representativa para cada una de las variables citadas, debido a información empírica existente.

La única variable manipulable es la temperatura del agua. La temperatura del ambiente debe ser tomada en consideración directamente en el modelo por las limitaciones para controlar la temperatura del lugar.

1. INTRODUCCIÓN

Esta investigación propone la estandarización de la temperatura final de las masas para pan utilizando correlaciones termodinámicas en una empresa panificadora.

El problema radica en la ausencia de un modelo estándar para predecir la temperatura final de las masas para la elaboración de pan. Esta temperatura debe ser controlada para lograr las características deseadas del producto final y facilitar su proceso de elaboración.

Los procedimientos para controlar la temperatura de las masas en la industria de panificación se basan en deducciones empíricas que provienen de la experiencia de profesionales dedicados al rubro. Es importante mencionar que las deducciones empíricas que se mencionan tienden a ser muy inexactas, perjudicando el producto final al presentar características variables que son fáciles de identificar por los clientes.

La importancia radica en mantener el estándar de calidad que los clientes esperan pues variaciones significativas en las características del pan podrían dañar la percepción de los consumidores y afectar el posicionamiento de la marca en el mercado.

Se encontrará un modelo de relación entre la temperatura de la masa para pan y las variables que la afectan. De esta forma, será posible mantener la temperatura de las masas dentro de un rango aceptable al lograr establecer las relaciones correctas.

Entre los beneficios se encuentra la mejora del proceso de manipulación en etapas siguientes, pues las masas contarán con las características reológicas deseadas. También se eliminarán los retrasos provocados por las variaciones de temperatura y se reducirán variaciones en sabor y textura, con lo que se aumentará la calidad del producto final.

Para estandarizar la temperatura de las masas debe determinarse la relación existente entre los factores que intervienen en el amasado y ésta. Las variables para controlar la temperatura final de la masa serán delimitadas al efecto de los ingredientes, el efecto del ambiente y al equipo utilizado.

El esquema de solución propuesto se inicia con la revisión documental, que proveerá los fundamentos teóricos para la investigación. Luego, se realizará un diagnóstico para recabar información acerca del proceso. Se manipularán y medirán las variables involucradas para adquirir los datos necesarios. Se procederá, entonces, a realizar un análisis por medio de correlaciones parciales entre la temperatura de la masa y cada una de las variables, evaluando el efecto de cada una de ellas. Finalmente, se propondrá una correlación total que involucre todas las variables que presenten una relación con la temperatura final de la masa.

Esta investigación presentará los resultados obtenidos a través de tres capítulos. En el primer capítulo se presentará toda la base teórica necesaria para sustentar y fundamentar los resultados obtenidos. Se incluirá toda la información necesaria para comprender el proceso de mezclado de masas en la industria panificadora y la repercusión de la temperatura de la masa en el proceso y la calidad del producto.

El segundo capítulo corresponderá a la presentación de resultados, donde se detallarán las correlaciones obtenidas para estandarizar la temperatura final de la masa para pan.

Finalmente, en el tercer capítulo, se realizará la discusión de los resultados donde se analizará el efecto de la utilización del modelo encontrado y su relación con la información existente.

2. ANTECEDENTES

El proceso de panificación a nivel industrial tiende a ser muy complejo por la gran cantidad de fenómenos fisicoquímicos que modifican la masa, desde que se mezclan los ingredientes hasta llegar al horno. En todas las etapas intermedias: amasado, formado, fermentación y horneado, la masa está grandemente influenciada por la temperatura; afectando la calidad del producto final. La temperatura de las masas es importante pues incide en la capacidad de retener gases, el desarrollo de proteínas, la fuerza de la masa y su consistencia.

En este trabajo, la temperatura final del amasado se supondrá influenciada por la temperatura de los ingredientes principales, la temperatura del ambiente y el aumento de temperatura debido a la acción mecánica de la mezcladora sobre la masa (fricción).

La influencia de estas variables ha sido objeto de estudio en la fabricación de diferentes masas, como en el caso de la masa para tortillas de harina. Srinivasan, Waniska y Rooney (2000) afirman que algunos ingredientes y condiciones del proceso como un mezclado óptimo y control de la temperatura de amasado afectan la consistencia de la masa.

En este artículo se demuestra la importancia del control de la temperatura de la masa y los efectos de la variación de algunos ingredientes como la cantidad de agua, grasa y gluten para lograr una consistencia adecuada de la masa. El enfoque está orientado a determinar la relación entre variaciones en las propiedades reológicas de la masa y las condiciones de trabajo e ingredientes.

Por su parte, Collar, Bollain y Rosell (2007) analizan la aplicación de una nueva tecnología denominada MIXOLAB para calcular las propiedades reológicas de las masas manteniendo constante las condiciones de mezclado y la temperatura final de la mezcla.

Al tratarse de un equipo específico para este propósito, el control de la temperatura final se realiza modificando los tiempos de mezclado para que el factor de fricción varíe hasta lograr la temperatura deseada. Estos resultados indican que el factor de fricción está relacionado con el tiempo de mezclado, aunque al aplicarlo al proceso productivo, es necesario tomar en cuenta que esta variable no puede manipularse libremente pues se presentarían mayores complicaciones en el proceso productivo y el producto final al tener una masa con muy poco o demasiado desarrollo.

Utilizando la misma tecnología mencionada en el artículo anterior, Gulia y Khatkar (2013) realizaron una investigación para determinar una correlación entre la calidad de fideos y las propiedades termomecánicas de las masas utilizadas para producirlos. Sus resultados indican que la mejor calidad de fideos se obtiene de masas con mayor tiempo de desarrollo y mayor estabilidad.

Con los resultados descritos, se cuenta con el respaldo de las dos investigaciones anteriores para contar el tiempo de amasado como un factor importante que afecta directamente las temperaturas de las masas mezcladas.

En otro artículo publicado por Camacho, González-Tello y Guadix (1998), se formula un modelo cinemático que caracteriza la hidrólisis enzimática en función de la acidez, temperatura de la masa y la mezcla de enzimas. La importancia radica en encontrar la temperatura óptima que permita la hidrólisis deseada.

Este artículo se diferencia de los mencionados, pues propone desarrollar la propuesta de un modelo estándar que permita obtener una temperatura final de amasado consistente. El estudio toma en consideración el efecto de la temperatura de los ingredientes de la mezcla, la temperatura de la mezcla y la temperatura provocada por la acción mecánica de la amasadora.

Además de los estudios anteriores, también se ha evaluado el efecto del contenido de humedad, temperatura y tiempo durante el proceso de amasado. Este estudio permite determinar que el tratamiento de calor en la masa de harina de trigo causa la formación de agregados de gluten, resultando en una disminución de la solubilidad de la proteína y menor fuerza de la masa (Mann, Schiedt, Baumann, Conde-Petit y Vilgis, 2013).

Con estos resultados puede comprobarse que un aumento considerable de temperatura puede provocar una mala calidad en la masa utilizada. Además, se menciona que esta pierde fuerza, por lo que se perjudica su estructura y consistencia. Estos cambios en la consistencia son la causa principal de retrasos en tiempo de producción al complicar su manipulación durante la etapa de formado. También se aumenta el tiempo de fermentación necesario, teniendo incidencia directa en la calidad del producto final al modificar su sabor, tamaño y consistencia.

Finalmente, es importante establecer los avances que se han realizado para controlar la temperatura de las masas en el proceso productivo de la empresa objetivo del estudio.

Para alcanzar una temperatura de masa cercana a la deseada, se necesita de la habilidad del encargado de amasado. Esta habilidad depende de su experiencia, por lo que un control estricto del parámetro de temperatura es difícil de mantener durante el día.

En este caso, se considera la temperatura de la harina, el coeficiente de fricción de la amasadora y la temperatura ambiente como variables en las que no se puede ejercer control, por lo que la única variable que puede manipularse es la temperatura del agua. Siendo esta la variable clave, el encargado de realizar el mezclado debe contar con herramientas adecuadas para tomar una decisión y procurar una temperatura de agua apropiada para que la masa final tenga la temperatura deseada.

Hamelman (2013) propone el uso de factores genéricos para respaldar la temperatura a la cual debe agregarse el agua (págs. 446-449). Esta relación es una aproximación empírica que ha resultado en mayor desviación de la temperatura final de la masa en relación con la decisión del encargado de mezclado. Se ha comprobado que el resultado tiende a ser muy variable y no puede ser aplicada para todos los casos y tipos de masa.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

No se realiza un control de la temperatura en las masas para la elaboración de pan para lograr las características deseadas del producto final y facilitar su proceso de elaboración.

3.1. Descripción del problema

La empresa donde se llevará a cabo la investigación tiene amplia experiencia en la elaboración de pan tipo rodaja y posee una visión hacia la calidad de sus productos y la salud de sus consumidores. La empresa nace al identificar la necesidad de suplir la demanda de productos naturales con un alto contenido nutricional.

Aunque en sus inicios el enfoque de la empresa estaba orientado a panes 100% naturales y del tipo artesanal, el volumen de ventas se ha incrementado hasta hacer necesaria la implementación de maquinaria especializada, por lo que se mantiene en su lugar una calidad superior orientada a clientes exigentes y con especial atención en su nutrición.

Este modelo de negocios requiere de un estricto control de las variables principales que afectan al proceso para evitar alteraciones al producto y a la percepción del cliente. Una de las más importantes es la temperatura de las masas, puesto que tiene incidencia directa en la facilidad de manipulación, su comportamiento durante el proceso, el cumplimiento de los tiempos de proceso y la calidad del producto final.

La variación en la temperatura de la masa para pan provoca complicaciones en el proceso, variabilidad del producto, cambios en sabor y textura y una mayor cantidad de defectos de apariencia como burbujas en la superficie.

Esta variación de temperatura en las masas afecta directamente el proceso de producción. Al no estar estandarizado, pues provoca inconsistencias en las masas muy variables y retrasos en el procedimiento que complican la optimización de la maquinaria utilizada. También se afecta directamente al cliente, pues se obtienen variaciones en sabor en relación a lo que este espera del producto y se facilita la formación de defectos visibles en la superficie del pan.

El sabor es uno de los principales efectos de una temperatura variable en las masas para pan. Esto se debe a que la producción de ácido láctico y acético, los ácidos orgánicos más relevantes en la industria panificadora, también varía con la temperatura. Por lo general, los ambientes cálidos favorecen la producción de ácido láctico, que es más agradable para el paladar al simular un gusto lácteo. Esto se debe a la mayor actividad de los lactobacilos a temperaturas de alrededor de 32 °C. También es importante tomar en cuenta que se debe evitar superar esta temperatura pues la actividad de la levadura cesa a partir de los 33 °C.

La temperatura óptima de las masas es constante y está cerca de la temperatura ideal para la formación de lactobacilos, para optimizar la producción de ácido láctico al máximo. Sin el control de la influencia de cada una de las variables en el proceso, se corre el riesgo de sobrepasar el límite de acción de la levadura o facilitar la formación de ácido acético, lo que cambiará drásticamente el resultado final.

El control de la temperatura de la masa puede delimitarse a la correlación entre los factores que intervienen en el amasado. Las variables para delimitar el control de la temperatura se dividen en tres grupos: temperatura ambiental, temperatura de los ingredientes y el factor de fricción debido a la amasadora.

La temperatura del ambiente no es constante durante el día, pues no se cuenta con un ambiente controlado. La temperatura de los ingredientes se refiere principalmente a la temperatura de harina y agua, los dos ingredientes con mayor proporción en la mezcla. El factor de fricción es específico para cada amasadora y se refiere a la cantidad de calor provocada en la masa por la acción mecánica de la máquina sobre ella durante el tiempo de amasado.

La fricción de la amasadora es directamente proporcional al tiempo de amasado y este es variable en función del tipo de pan y las propiedades reológicas de la harina utilizada.

3.2. Delimitación

Este estudio se realizará en el transcurso de un año, desde noviembre de 2018 hasta noviembre de 2019, con mediciones constantes de todas las variables propuestas en una empresa panificadora. Se utilizará una amasadora tipo espiral con dos velocidades de mezclado.

3.3. Formulación del problema

El problema descrito anteriormente permite formular las interrogantes siguientes:

3.3.1. Pregunta central

- ¿Qué correlación termodinámica puede utilizarse con precisión para estandarizar la temperatura de masas para la fabricación de pan?

3.3.2. Preguntas de investigación

- ¿Qué componentes y condiciones tienen incidencia en la temperatura final de amasado en una mezcladora tipo espiral?
- ¿Por qué es importante un modelo termodinámico que relacione la temperatura de las masas con las variables involucradas?
- ¿Cuál es la influencia del calor generado por la fricción de la mezcladora sobre la temperatura final?
- ¿Cómo se relaciona la temperatura de las masas para la elaboración de pan con la temperatura de las variables involucradas?

3.4. Viabilidad

Debido a la importancia del control de la temperatura de las masas en la fabricación de pan, la empresa tiene la disponibilidad de darle prioridad a esta investigación para lograr la estandarización del proceso.

Se cuenta con las herramientas para recabar la información necesaria y determinar el efecto de las variables que serán analizadas para encontrar el modelo que pueda relacionarlas. Además, también se tiene acceso a datos históricos de las variables involucradas que permitirán obtener una mejor delimitación del efecto que cada una representa en el parámetro a estandarizar.

Por motivos de confidencialidad, se referirá a la institución como empresa de panificación industrial.

En el ámbito financiero, se cuenta con los recursos materiales y económicos para realizar la investigación. Además, la empresa ofrece su respaldo para soportar gastos inherentes e imprevistos.

4. JUSTIFICACIÓN

La línea de investigación en la que se realizará el trabajo es optimización de operaciones y procesos. Se utilizarán correlaciones matemáticas y termodinámicas para lograr la estandarización de un proceso productivo a nivel industrial. También se genera la oportunidad de lograr la optimización del proceso y la gestión de calidad del producto, al conseguir las cualidades correctas.

La importancia radica en mantener una calidad óptima en el producto para proyectar la imagen que la empresa desea ofrecer a sus clientes, puesto que variaciones significativas en las características del pan podrían dañar la percepción de los consumidores y afectar el posicionamiento de la marca en el mercado.

La necesidad a cubrir con esta investigación es asegurar una temperatura constante en las masas para la fabricación de pan que ofrezca beneficios para los clientes internos y asegure el cumplimiento de los requisitos de calidad del producto acorde a las expectativas del cliente final. Se busca optimizar el proceso de elaboración de pan al estandarizarse sus puntos clave, logrando un control respaldado por esta investigación que pueda ser aplicable al proceso y procedimiento específicos para la empresa objetivo del estudio.

Los procedimientos para controlar la temperatura de las masas en la industria de panificación se basan en deducciones empíricas que provienen de la experiencia de profesionales dedicados al rubro. Es importante mencionar que las deducciones empíricas que se mencionan tienden a ser muy inexactas, perjudicando el producto final al presentar características variables que son fáciles de identificar por los clientes.

La motivación para la empresa al realizar esta investigación es asegurar la satisfacción de los clientes, tanto internos como externos, que han sido afectados por los efectos que conlleva mantener la temperatura de las masas sin controlar.

El beneficio directo para la empresa será la estandarización de sus procesos y aumentar la calidad del producto final, acorde a las expectativas del cliente.

Los beneficiarios serán la empresa, los clientes internos y los clientes externos. La empresa logrará reducir costos de fabricación al disminuir tiempos improductivos, pues el tiempo de fermentación se ve afectado directamente por la temperatura de la masa. Los clientes internos serán beneficiados al recibir un producto en proceso que facilite su manipulación en las etapas posteriores y minimice la posibilidad de retrasos o variaciones significativas en las cualidades requeridas. Los clientes externos se beneficiarán al tener acceso a un producto de calidad, manteniendo el estándar que exigen.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Estandarizar el parámetro de temperatura de masas para fabricar pan formulando una correlación termodinámica en una empresa de panificación industrial.

5.2. Específicos

- Identificar la incidencia de la temperatura de los componentes evaluados en la temperatura final de la masa para pan.
- Evaluar el efecto de la temperatura del ambiente en la temperatura final de la masa para pan utilizando correlaciones parciales.
- Determinar la influencia del calor generado por la fricción de la mezcladora sobre la masa en la temperatura final.
- Modelar la relación entre la temperatura de la masa para pan con la temperatura de los ingredientes, ambiente y el calor generado por el equipo a través de una correlación total de las variables involucradas.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La empresa en la que se realizará el estudio tiene como objetivo lograr una presencia significativa en Latinoamérica para el año 2025. Este ambicioso objetivo está limitado por la capacidad de la empresa a replicar los procesos y procedimientos establecidos en cualquier lugar.

Para trasladar los procedimientos utilizados en Guatemala a los demás mercados, es necesario contar con un respaldo que asegure que pueden lograrse los mismos resultados que en la planta de producción existente. Esto implica la estandarización de todos los procedimientos de trabajo, incluyendo la temperatura de la masa para la fabricación de pan. La estandarización de la temperatura de las masas se planteará por medio de un modelo termodinámico que correlacione de forma precisa todas las variables involucradas.

Esta estandarización es necesaria también para corregir las complicaciones en los procesos siguientes que la variación de temperatura ocasiona al modificarse la consistencia final de la masa. Esta variación de temperatura también es la causa de incrementos en los tiempos de fermentación y la presencia de defectos como burbujas en el producto final.

El esquema de solución consta de cuatro etapas: contextualización del problema y búsqueda de información, diagnóstico de la situación actual, análisis exhaustivo de todas las variables involucradas y su relación con la temperatura final de las masas, y propuesta de un modelo que correlacione la temperatura de la masa con las variables que la afectan.

En la etapa de contextualización y búsqueda de información se encontrarán estudios e investigaciones anteriores y se realizará una búsqueda bibliográfica de toda la información pertinente.

El diagnóstico de la situación actual estará orientado a delimitar las variables que tienen efecto en la temperatura de la masa y su clasificación en variables influenciadas y no influenciadas.

Durante el análisis se evaluará el efecto de las temperaturas de los ingredientes, ambiente y maquinaria en la temperatura final de la masa. Se definirán los recursos necesarios para la recopilación de los datos que respalden esta información y la posible inclusión de factores como cualidades de la harina utilizada, peso de los ingredientes y tiempo de amasado. Además, se delimitará el efecto del tipo de pan (blanco e integral) en los datos obtenidos.

La propuesta del modelo de correlación será realizada en la última etapa del proceso, luego de haber delimitado el campo de estudio y las variables involucradas.

7. MARCO TEÓRICO

En este apartado se realiza un estudio de la industria panificadora en Guatemala, con énfasis en producciones controladas. El enfoque principal será el proceso de mezclado de ingredientes, en donde se presentarán los diferentes parámetros y variables que repercuten en la calidad del producto final. Además, se detallarán procedimientos empíricos propuestos para el control de la temperatura final de las masas, que luego serán utilizados como marco conceptual durante la investigación.

7.1. Industria panificadora

La industria panificadora en Guatemala puede dividirse en pequeñas, medianas y grandes empresas. En 2010, Gómez Rodas estableció que alrededor del 90% de este sector son pequeñas y medianas empresas, con una producción diaria de entre cinco y siete mil panes. El 10% restante son grandes empresas con una producción aproximada de hasta 20 mil panes diarios. (pág. 31).

Esta industria ha sido considerada desde sus inicios como una empresa familiar, pues así era desempeñada en sus inicios en el país, alrededor de los años 70. Con el desarrollo de la tecnología, muchos de los procesos han sido modificados para adecuarse a maquinarias con mejor tecnología, convirtiéndose así en un proceso menos artesanal y más industrializado.

De acuerdo con Brenes y Morales (2014), en Guatemala se estima el consumo de pan en 39.7 kg al año por habitante. (párr. 12). Este nivel de consumo implica que los guatemaltecos incluyen este producto como un componente principal de su alimentación diaria.

La materia prima utilizada para la elaboración de pan es muy cuantiosa debido a la gran variedad de panes existentes. De cualquier forma, todos los panes comparten al menos cuatro ingredientes principales: harina, agua, levadura y sal. (Buehler, 2014, pág. 6).

7.1.1. Harina

La harina es el polvo o partículas que resultan de la trituración o molienda de semillas, granos, tubérculos o legumbres con algún contenido de almidón. (DiMuzio, 2010, pág. 14).

El trigo es el grano más representativo para producir harina a través de su molienda. El trigo, además del arroz y la cebada en menor medida, tiene la cualidad de crear una membrana capaz de retener las burbujas de aire formadas durante la fermentación. (DiMuzio, 2010, pág. 15).

La molienda tritura las bayas de trigo en diferentes niveles hasta formar un polvo. Este puede ser utilizado en su conjunto como harina integral o puede separarse por la diferencia de densidades entre los componentes del trigo para obtener harina blanca y afrecho. La harina obtenida posee un color beige que puede tratarse posteriormente con blanqueadores para proporcionar su color blanco característico.

Además de la apariencia distinta que tiene la harina integral y la harina blanca, también difieren en su contenido nutricional. Una harina integral retiene el afrecho, compuesto por fibra y minerales; mientras que la harina blanca no cuenta con este valor nutricional. Adicionalmente, su principal diferencia radica en la absorción de agua. Según Chattman (2011), la absorción de la harina integral es mayor por lo que necesita un mezclado mucho más largo e intensivo y una fermentación prolongada para lograr un crecimiento óptimo. (pág. 14).

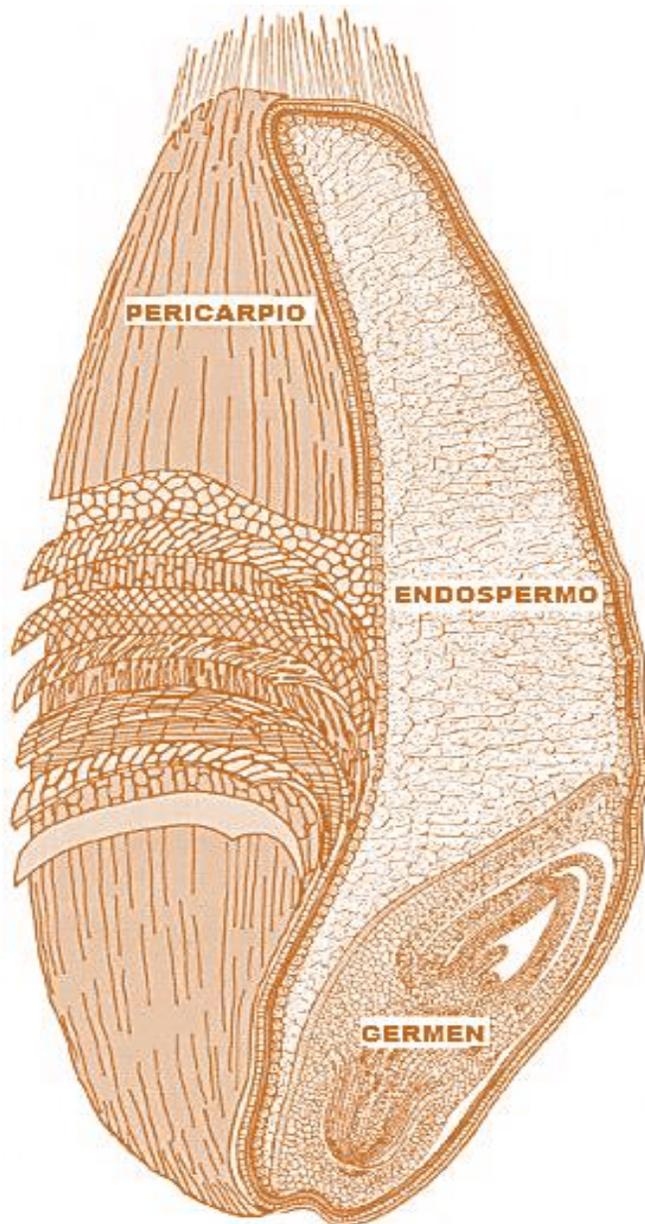
El grano de trigo está integrado por tres componentes principales: pericarpio, germen y endospermo.

El pericarpio, comúnmente conocido como afrecho o salvado, está compuesto por capas de fibras de celulosa y carbohidratos, minerales y vitaminas. El afrecho es la principal fuente de fibra en la harina y representa el 14 o 15% del total del grano. (Reinhart, 2007, pág. 28).

Reinhart (2007) establece que el endospermo es la parte mayoritaria del grano de trigo, comprendiendo entre el 75 y 80% de su total. Alrededor del 75% del endospermo es almidón, el resto es proteína y humedad. El almidón cumple dos funciones en el pan: sabor y estructura. (págs. 28-31).

El germen es el núcleo de la semilla, donde habita el embrión y está rodeado de vitaminas, minerales y aceites esenciales. Debido a que está compuesto principalmente por aceite, el germen es la parte más volátil del grano y puede estropearse con mucha facilidad al volverse rancio. De acuerdo con Reinhart (2007), el germen representa aproximadamente el 3% del grano de trigo. (págs. 28, 33). La figura 1 muestra la estructura del grano de trigo.

Figura 1. Estructura del grano de trigo



Fuente: Reinhart, P. (2016). *The Bread Baker's Apprentice: mastering the art of extraordinary bread.*

7.1.2. Agua

El agua es de vital importancia para la elaboración de masa para pan. Sus contribuciones más importantes en panificación son:

- Propicia la hidratación de la harina, resultando en la formación del gluten.
- Es utilizada como solvente y agente dispersante para la sal, azúcar y levadura.
- Es necesaria para la fermentación y reproducción de la levadura.
- Su cantidad repercute en la consistencia adecuada de la masa para su posterior manipulación durante el proceso.
- Su temperatura puede variarse para conseguir la temperatura correcta de la masa.

El aspecto más importante del agua es la cantidad óptima para lograr la consistencia deseada de la masa. El contenido de agua en las masas se expresa usualmente como un porcentaje del peso de la harina. Esta característica puede facilitar o complicar la manipulación de la masa durante los procesos siguientes. Solo en presencia de agua, las proteínas de la harina se formarán para construir la red de gluten característica de un pan leudado. (Chattman, 2011, pág. 23).

Para asegurar esta cantidad ideal de agua, es necesario determinar el grado de absorción de agua de la harina. La absorción de agua es una característica inherente de cada harina y debe ser ajustada para lograr la misma consistencia en todas las masas.

En términos generales, Cauvain y Young (2008) establecen una relación directamente proporcional entre la absorción de agua de la harina y su contenido de proteína, cantidad de almidón dañado, contenido de afrecho y nivel de pentosano. Además, también detallan la relación inversamente proporcional entre la absorción de agua de la harina y su contenido de humedad y la actividad enzimática. (pág. 43). Todas estas características de la harina pueden determinarse con un análisis utilizando un farinógrafo de Brabender.

De acuerdo con Stevens (2008), la dureza del agua no tendrá efectos significativos en la masa. La levadura trabaja mejor en un medio ácido y el agua dura es más alcalina, pero también tiene un mayor contenido mineral, particularmente de calcio y magnesio, favoreciendo el refuerzo y fortalecimiento del gluten. (pág. 20).

7.1.3. Levadura

La levadura es un organismo unicelular perteneciente al reino Fungi, que requiere de condiciones adecuadas para prosperar. Estas condiciones incluyen humedad, oxígeno, comida y temperaturas apropiadas. Al ser proporcionadas, el ciclo de vida de la levadura se activa resultando tanto en su reproducción como en fermentación alcohólica. (Hamelman, 2013, pág. 46).

Matz (1992), establece que el gas es generado durante la fermentación como resultado de la acción metabólica de la levadura. Muchos microorganismos pueden fermentar azúcares para producir dióxido de carbono, pero el que provee los mejores resultados en masas para pan es *Saccharomyces cerevisiae*. Cepas especiales de esta especie han sido desarrolladas por fabricantes a través de los años por su particular aptitud para el leudado de masas (pág. 54).

La levadura utilizada en panificación puede tener diferentes presentaciones: sólido húmedo como la levadura fresca o comprimida, una crema líquida, o en gránulos secos como la levadura seca instantánea. La decisión de la levadura a utilizar dependerá del precio, tiempos y condiciones de almacenamiento y de la funcionalidad específica acorde a cada caso.

De acuerdo con Stevens (2008), la temperatura de la masa es un factor importante en la actividad de la levadura: entre 25 y 30 °C será razonablemente intensa. Temperaturas superiores a estas aumentaran la intensidad, resultando en una masa que crece más rápido, aunque también pueden producir sabores amargos indeseables. Arriba de 45 °C la levadura estará incómoda, para finalmente morir alrededor de los 60 °C. Del lado contrario, la actividad de la levadura se reduce a ritmo constante, volviéndose lenta alrededor de los 20 °C y parando completamente por debajo de 2 °C. (pág. 24).

7.1.4. Sal

Aunque la cantidad utilizada en términos de peso es insignificante, la sal es considerada un ingrediente principal en el pan, pues cumple con varias funciones importantes. De acuerdo con Lilleberg (2012), la sal intensifica el sabor del pan y sus cualidades sensoriales. También refuerza la estructura del gluten, por tanto, mejora su elasticidad y sus características de manipulación, promoviendo un volumen adecuado. La sal también extiende el tiempo de vida del producto final al inhibir el crecimiento microbiano. Por otro lado, cantidades elevadas de sal provocan retrasos en el proceso de fermentación, por lo que es posible utilizar esta característica para controlar dicho proceso (pág. 83).

Un pan sin sal tendrá un sabor simple e insípido. Al contrario, un pan con un exceso de sal será desagradable al paladar pues provoca un sabor agrio. (Hensperger, 2013, pág. 39).

Según Hamelman (2013), la cantidad correcta de sal en la masa para pan se encuentra entre el 1.8 y el 2% del peso de la harina utilizada (pág. 44).

La sal también refuerza la estructura del gluten. Esto permite que la masa pueda contener y mantener el dióxido de carbono generado durante la fermentación por la acción de la levadura. Al mismo tiempo, también mejora el control sobre la fermentación al absorber cierta cantidad de humedad de la masa y retardar el efecto de la levadura.

Indirectamente, la sal contribuye a la coloración de la corteza del pan. Esto es el resultado de la característica de la sal de retardar la fermentación, ya que también ralentiza el consumo de azúcar. De esta forma, en el pan habrá mayor cantidad de azúcar residual que favorecerá la coloración de su corteza durante el horneado. Al no haber sal, la levadura consume rápidamente los azúcares disponibles y la corteza del pan será pálida y sin brillo.

Finalmente, la sal también ayuda a preservar el color y sabor de la harina. Tiene un efecto positivo en la preservación de carotenoides, pigmentos presentes de forma natural en la harina de trigo, pues retrasa la oxidación de la masa.

Hamelman (2013) indica que los tipos de sal más utilizados en la producción de pan son los siguientes: sal granular no yodada, sal de mar (sal mineral), sal *kosher* y, ocasionalmente, sal yodada (pág. 46). Debido a las diferencias en el tamaño de partícula de los diferentes tipos de sal, ésta debe pesarse siempre para mantener la cantidad consistente.

7.2. Mezclado de ingredientes

El mezclado se refiere a la distribución uniforme de ingredientes para lograr su dispersión pareja a través de toda la masa. También se conoce como amasado, principalmente cuando se realiza de forma manual.

La acción mecánica del amasado, combinada con las reacciones químicas entre los diferentes ingredientes, crea una red tridimensional de gluten a partir de las dos fracciones principales de proteína en el trigo: glutenina y gliadina. (Whitley, 2011, pág. 93).

El amasado es un proceso complejo que requiere más que simplemente la unión de los ingredientes. De acuerdo con Reinhart (2016), se requiere de tres fases para el mezclado en la producción de masas: distribución de ingredientes, desarrollo del gluten y activar la fermentación (pág. 88). Estas fases se traslapan unas con otras. La masa se empieza a formar y desarrollar antes de que los ingredientes se mezclen completamente.

Durante el mezclado, ocurren tres procesos que afectan directamente el resultado de la masa: formación de cavernas de aire, hidratación de los componentes y oxidación (Gisslen, 2013, pág. 96).

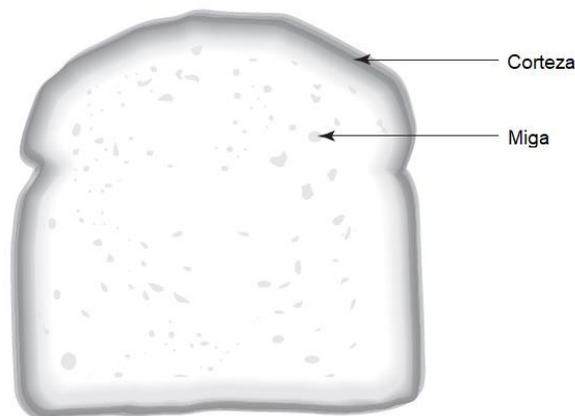
7.2.1. Formación de cavernas de aire

La formación de cavernas de aire está condicionada por la retención de gas dentro de la masa. De acuerdo con Buehler (2014), la creencia general de la retención de gas en la masa es que el gluten atrapa dióxido de carbono producido por la fermentación. En descubrimientos recientes en cambio, se ha determinado que los lípidos y las proteínas trabajan conjuntamente para retener el gas en la masa. (pág. 73).

Las células o cavernas de aire son visibles en la superficie del pan al cortarlo. Estas células de aire forman una textura porosa en el interior del producto.

Una rodaja de pan está compuesta por dos partes, la corteza y la miga. La corteza es la parte exterior y expuesta del pan, mientras que la miga es la parte interna. La figura 2 muestra esta estructura.

Figura 2. **Corteza y miga del pan**



Fuente: Gisslen, W. (2013). *Professional Baking*.

La formación de cavernas juega un papel muy importante en el proceso de leudado, que permite el crecimiento de la masa por la acción de la levadura. Las burbujas consisten en espacios abiertos rodeados de proteínas como el gluten. Cuando los gases se forman por la acción de la levadura, se depositan en estas cavernas. Cuando los gases se expanden durante el horneado, las paredes de las cavernas se estiran y se expanden. Eventualmente, el calor del horneado les da firmeza a las paredes celulares, resultando en la estructura y soporte del producto horneado.

Es importante aclarar que no hay formación de nuevas cavernas de aire durante el horneado. Gisslen (2013) asegura que todos los depósitos de aire que permiten el leudado son formados durante el mezclado y empiezan a formarse tan pronto como se inicia el proceso de mezclado (pág. 96).

Al inicio del mezclado las cavernas de aire son relativamente grandes, aunque durante el mezclado, se dividen en espacios más pequeños condicionados por la formación de gluten y otras proteínas. Es así como el tiempo de amasado determina la textura final del producto, por lo que es necesario un mezclado adecuado para lograr la textura deseada.

7.2.2. Hidratación de los componentes

La hidratación es el proceso de absorción de agua. Todos los ingredientes incluidos en la masa para pan absorben agua o reaccionan con ella de diferentes maneras.

La interacción del agua con los distintos ingredientes en la masa para pan es muy variada. Aporta estructura al producto por su gelatinización con los almidones presentes, provoca la unión de proteínas permitiendo el desarrollo de moléculas de gluten, asegura la activación de la levadura que provocará la fermentación y crecimiento de la masa, entre otros (Cauvain & Young, 2008, págs. 20-21).

Además, el agua también tiene muchas otras funciones. Al controlar la temperatura del agua es posible controlar la temperatura de la masa, al ajustar su cantidad se controla la consistencia o suavidad de la masa.

7.2.3. Oxidación

La oxidación es el proceso que ocurre cuando el oxígeno del aire reacciona con las proteínas y los demás componentes de la masa durante el mezclado. Esta aumenta cuando los tiempos de amasado son largos.

Los efectos más importantes de la oxidación se observan en el desarrollo del gluten y los pigmentos de la harina. Durante el mezclado, el oxígeno se combina con el gluten y lo hace más fuerte. El resultado es una mejor estructura de la masa para pan. Al continuar el mezclado, el efecto se transfiere a los pigmentos de la harina y los aclara, consiguiendo un pan más blanco. Sin embargo, este proceso reduce parte del sabor y aroma del producto final. (Gisslen, 2013, pág. 97).

La oxidación es necesaria para lograr una mejor estructura del gluten, aunque es importante evitar su exceso para preservar el sabor. La cantidad de oxidación en la masa para pan se ajusta al controlar el tiempo de amasado.

7.3. Influencia del amasado en la reología de la masa

El propósito principal del amasado es obtener una mezcla homogénea de todos los ingredientes involucrados y, al mismo tiempo, obtener masas con la estructura y las propiedades deseadas.

Como se mencionó en la página 30, el amasado genera cierta cantidad de aire, que es muy importante para las propiedades reológicas de la masa y para la calidad del producto final.

Durante el amasado también se genera calor por fricción que ocasiona el aumento de la temperatura de la masa. Para controlar la temperatura de la masa, la temperatura del agua debe ser ajustada.

El orden en que los ingredientes son agregados también es muy importante. Debe asegurarse una buena hidratación de los componentes de la masa, principalmente de la proteína en la harina.

Osella, Sánchez y de la Torre (2007), también aseguran que la calidad de la masa es controlada por la composición de los ingredientes utilizados y las variables del mezclado. Estas variables incluyen el diseño de la mezcladora, tiempo y velocidad de mezclado, y cantidad de agua (pág. 70).

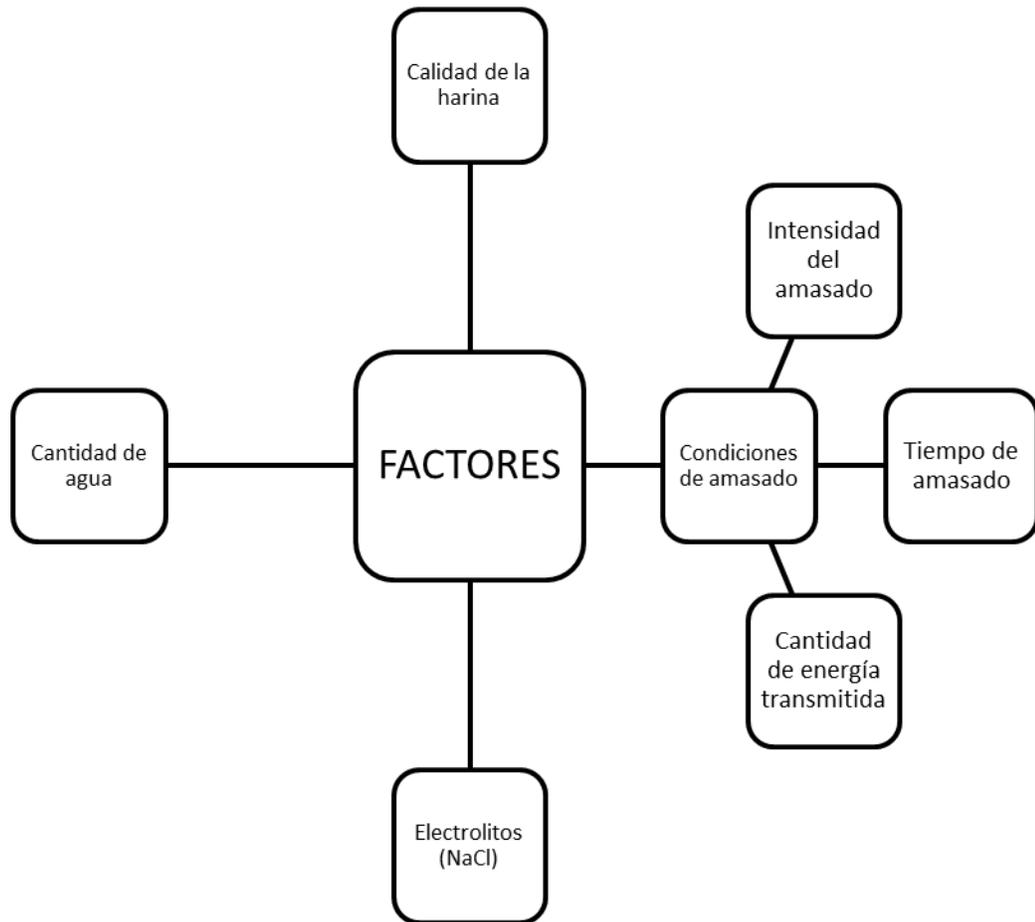
Muchas mediciones han sido realizadas para determinar las propiedades reológicas de la masa. Dichas mediciones deben ser sensibles al contenido de agua debido a que las propiedades mecánicas óptimas son resultado de una relación harina-agua adecuada.

La calidad de la harina también influye en la calidad de la masa y el pan. En masas obtenidas de harinas de baja calidad, las proteínas se rompen con facilidad, aún antes de distribuirse uniformemente en la masa.

El aumento de la cantidad de agua en la masa provoca la reducción de las propiedades elásticas y la viscosidad de la masa. Una humedad menor al 44% no permite la formación óptima del gluten. (Canja, Lupu y Tăulea, 2014, pág. 80).

La adición de electrolitos, especialmente la sal (NaCl), cambia la naturaleza e intensidad de las interacciones hidrofóbicas entre las proteínas del gluten. Una vez la sal es agregada, la fuerza iónica aumenta y esto reduce la capacidad de las proteínas de retener agua. (Canja *et al.*, 2014, pág. 80).

Figura 3. Factores que influyen en la formación de la masa



Fuente: Canja, Lupu y Tăulea (2014). *The Influence of Kneading Time on Bread Dough Quality*.

La figura 3 muestra un resumen de la descripción detallada en los párrafos anteriores.

El final del amasado es determinado a partir de análisis sensoriales. Una masa bien amasada debe ser homogénea, compacta, consistente, elástica y fácil de remover del brazo de la amasadora y de las paredes del tazón. Una masa con amasado insuficiente puede ser homogénea, aunque también será pegajosa y viscosa. DiMuzio (2010), estipula que el sobreamasado produce una masa que ha sido amasada por demasiado tiempo y pierde su elasticidad. (pág. 43).

7.4. Equipos industriales para mezclado

A continuación, se describen los equipos industriales para el mezclado de los ingredientes y la formación de la masa para pan.

7.4.1. Tipos de mezcladoras

Las máquinas de mezclado varían considerablemente desde las que imitan la acción de mezclado a mano hasta máquinas de alta velocidad capaces de trabajar la mezcla para formar la masa con las condiciones requeridas en pocos minutos. Muchas máquinas de mezclado trabajan la masa como se hacía originalmente a mano, realizando una serie de operaciones de compresión y estiramientos (amasado), mientras que otras realizan plegados a altas velocidades junto con movimientos mecánicos intensos para impartir el trabajo necesario a la masa.

Las mezcladoras más utilizadas en panificadoras pequeñas y medianas son las de tipo espiral y las mezcladoras verticales. Las mezcladoras horizontales son utilizadas por panificadoras industriales donde es necesario trabajar grandes volúmenes de masa.

7.4.1.1. Mezcladora vertical

También llamadas mezcladoras planetarias, son el tipo de mezcladora más utilizado. El término planetaria hace referencia al movimiento del accesorio mezclador instalado, que imita la rotación del planeta alrededor del sol. En la figura 4 se observa una mezcladora vertical.

Figura 4. Mezcladora vertical

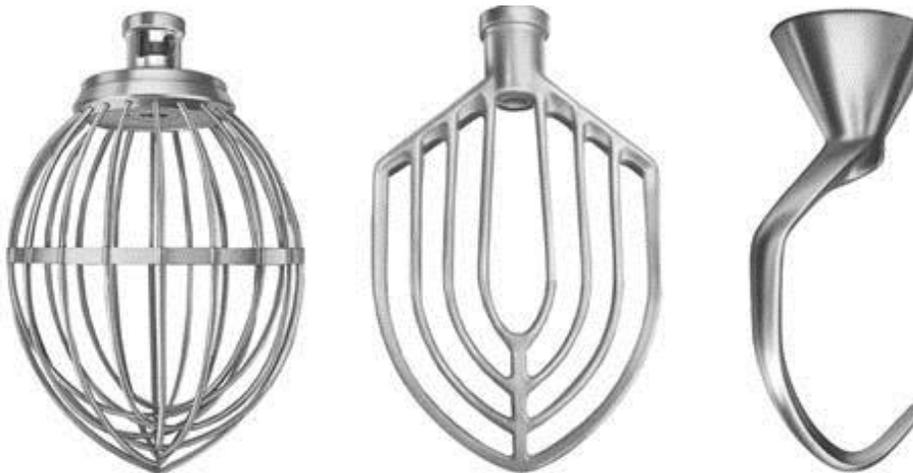


Fuente: Gisslen, W. (2013). *Professional Baking*.

Gisslen (2013, pág. 43) asegura que las mezcladoras verticales tienen tres tipos de accesorios de mezclado principales:

- La paleta es una hoja plana usada para mezclado general.
- El batidor de alambre es usado para batir huevos y cremas.
- El brazo de masa o gancho es usado para mezclar masas leudadas.

Figura 5. **Accesorios de mezclado**



Fuente: Gisslen, W. (2013). *Professional Baking*.

La figura 5 muestra los accesorios mencionados para la mezcladora vertical. De izquierda a derecha aparece el batidor de alambre, la paleta y el gancho de masa.

7.4.1.2. Mezcladora tipo espiral

Las mezcladoras tipo espiral fueron diseñadas para masas y batidos pesados y son usadas principalmente para hacer grandes cantidades de masas para pan. A diferencia de las mezcladoras verticales, las de tipo espiral no utilizan diferentes accesorios. El brazo agitador tiene la forma de un espiral y tanto este como el tazón giran para desarrollar la masa de forma rápida y eficiente (Gisslen, 2013, pág. 43).

Figura 6. Mezcladora tipo espiral



Fuente: Gisslen, W. (2013). *Professional Baking*.

7.4.1.3. Mezcladora horizontal

Las mezcladoras horizontales son máquinas grandes, de tamaño industrial, capaces de manejar grandes cantidades de masa a la vez.

Matz (1992) asegura que estas mezcladoras son muy populares, pues son diseñadas específicamente para mezclar masas extensibles y son muy robustas, ya que pueden soportar el uso constante durante décadas (pág. 553).

Figura 7. Mezcladora horizontal



Fuente: Gisslen, W. (2013). *Professional Baking*.

7.4.2. Velocidades de amasado

Casi todas las mezcladoras tienen un motor de dos velocidades que permite realizar tanto un amasado lento como uno rápido. Usualmente las velocidades lenta y rápida de la amasadora son referidas como primera y segunda velocidad, respectivamente.

En un procedimiento de mezclado típico se utiliza la velocidad lenta para la primera fase, cuando los ingredientes se mezclan. Posteriormente se cambia a la segunda velocidad para desarrollar la masa. Se utilizan temporizadores en las máquinas con controles automáticos para regular cada etapa del mezclado. (Gisslen, 2013, pág. 44).

Según Hamelman (2013), cuando la masa para pan es mezclada lentamente, únicamente en primera velocidad, se desarrolla poca fuerza debido a la reducida acción mecánica de la mezcladora. Esta falta de fuerza es compensada por medio de una fermentación más larga. Por otra parte, cuando la masa es mezclada intensivamente a velocidad rápida hasta desarrollar completamente el gluten, esta estará tan desarrollada que no soportará una fermentación larga (pág. 12).

7.4.3. Tiempo de amasado

En 2014, Canja *et al.*, concluyeron que el tiempo de amasado afecta las propiedades físicas y químicas de la masa y la calidad del producto final. (pág. 82).

Wang, Tweed y Carson (2008) aseguran que los parámetros de tiempo de amasado y energía de entrada son usados normalmente para reflejar propiedades de la mezcla de masa. La creencia general es que para lograr una masa más fuerte se requiere de un tiempo de mezclado mayor y más energía. (párr. 3).

Para aumentar las características reológicas de la masa, como su elasticidad, cohesión y adhesión, el tiempo de mezclado debe ser extendido. En contraste, la aparente viscosidad extensiva y consistencia pueden ser aumentadas al reducir los tiempos de mezclado. (Zhou & Nantawan, 2007, pág. 267).

Es imposible generalizar el tiempo de mezclado, ya que depende de la consistencia deseada, los ingredientes, la cantidad de masa a elaborar, el equipo utilizado y sus parámetros de velocidad escogidos.

A mayor cantidad de masa, ésta fermenta más rápido al mezclarse, aunque el desarrollo del gluten tiene lugar con mayor rapidez cuando hay una cantidad de masa menor en el tazón. Esto se debe a que una mayor proporción de masa es procesada con cada revolución, comparada con volúmenes de masa mayores. (Hamelman, 2013, pág. 11).

Al utilizar un tipo de mezcladora diferente, las características de la masa también variarán. Puede realizarse el mezclado de masas idénticas en diferentes tipos de mezcladora y, aun manteniendo el tiempo igual para todas, siempre se obtendrá una masa diferente de cada equipo.

7.4.4. Factor de fricción de la amasadora

Cuando la masa gira en la amasadora, calor es generado por la fricción causada por la acción mecánica del gancho y el tazón sobre la masa. En el transcurso del mezclado, una cantidad considerable del aumento de temperatura de la masa se debe a la fricción generada, la cual es lo suficientemente significativa para ser considerada al calcular la temperatura de la masa.

De hecho, para masas con un tiempo de mezclado de 3 minutos en primera velocidad y entre 3 y 4 minutos en segunda, el factor de fricción para la mayoría de las amasadoras se encuentra entre 24 y 28 °F, un aumento sustancial de la temperatura. (Hamelman, 2013, pág. 447).

Es importante mencionar que el factor de fricción disminuye al aumentar la cantidad de la masa contenida en el tazón. Además, las masas más húmedas también generan menor fricción que las masas secas.

7.5. Métodos de mezclado

El mezclado puede realizarse de forma directa o indirecta, dependiendo del tipo de masa y la aplicación que se le dará. Diferentes tipos de masa requerirán la selección del proceso adecuado, las propiedades del producto deseado y el tiempo que se desea invertir en el proceso.

7.5.1. Método directo

En su forma más simple, el método directo consiste únicamente de un paso: combinar todos los ingredientes en el tazón y mezclar. De acuerdo con Gisslen (2013), el inconveniente principal de este método es el riesgo de tener una mala distribución de alguno de los ingredientes, en especial la levadura (pág. 108).

De acuerdo con Reinhart (2016), el sabor de los panes elaborados con este método depende principalmente de los ingredientes y no de los sabores desarrollados durante la fermentación. También debe notarse que este método utiliza una cantidad suficiente de levadura para lograr el leudado necesario en una cantidad de tiempo mínima (pág. 88).

Gisslen (2013) propone que, al trabajar masas dulces, el método directo debe modificarse para asegurar la distribución homogénea de la grasa y el azúcar. En este método, la grasa, azúcar, huevos y otros aditivos son mezclados hasta lograr su uniformidad antes de desarrollar la masa (pág. 108).

7.5.2. Método de esponja

El método de esponja es utilizado para preparar masas en dos etapas. Por esta razón, este procedimiento es usualmente llamado el método de esponja y masa.

Gisslen (2013) se refiere a la primera etapa como esponja, iniciador de fermentación o prefermento. En esta etapa se prepara una masa básica a base de harina, agua y levadura que se deja fermentar (pág. 121). La segunda etapa consiste en la adición y mezclado de los ingredientes restantes a la esponja formada.

Según Reinhart (2016), el método de esponja es particularmente efectivo cuando se necesita desarrollar sabor o textura en base a tiempos de fermentación extendidos. (pág. 88).

7.6. Control de la temperatura de la masa para pan

El control de la temperatura final de la masa en la producción de pan es de vital importancia para lograr un producto consistente y de calidad. Por esta razón, es común controlar la temperatura de la masa al final del mezclado. Sin embargo, no hay una temperatura correcta de la masa, y en cada proceso debe seleccionarse para lograr la consistencia y calidad requerida.

Cauvain y Young (2008) afirman que la temperatura de la masa al final del mezclado influye en muchas características de la masa y en la calidad del producto (pág. 57). Entre las características que se ven afectadas se pueden mencionar las siguientes:

- Desarrollo de la masa mediante comportamientos químicos: el ácido ascórbico es sensible a la temperatura y hay menos oxidación cuando la temperatura de la masa se reduce.
- La actividad enzimática se acelera cuando la temperatura de la masa aumenta.
- La levadura actúa con mayor rapidez al aumentar la temperatura, por lo que el tiempo de fermentación se reducirá.
- La consistencia y reología de la masa cambian con variaciones de temperatura: las masas se vuelven más suaves y menos resistentes al aumentar la temperatura.
- La tolerancia de la masa a retrasos en el proceso se ve afectada al elevar la temperatura.

En la producción de pan es de vital importancia tomar en cuenta los incontables microorganismos que forman parte del proceso y adecuar el medio para hacerlos prosperar. Esto se logra proveyéndoles de una temperatura que favorezca la buena producción de gas por la levadura y, al mismo tiempo, desarrolle el sabor requerido por la acción de los lactobacilos. (Hamelman, 2013, pág. 447).

Las condiciones ambientales varían en diferentes temporadas, por lo que la temperatura del ambiente y la de los ingredientes se ven afectadas. Puesto que la temperatura de la masa es tan importante para lograr la calidad del producto final, deben modificarse las temperaturas de los ingredientes para lograr temperaturas consistentes en todas las masas.

En la producción de productos de panificación, únicamente dos ingredientes son usados en la cantidad suficiente para afectar la temperatura final de la masa: harina y agua. La harina está sujeta a los cambios de temperatura del ambiente y es un mal conductor de calor, por lo que en la práctica se debe ajustar la temperatura del agua para controlar la temperatura de las masas. (Cauvain & Young, 2008, pág. 58).

7.6.1. Modelos empíricos para controlar la temperatura de la masa

El control de la temperatura de la masa es un aspecto muy importante en el proceso de fabricación de pan y como se menciona en la sección anterior, debe ajustarse la temperatura del agua para lograr el resultado esperado.

Lamentablemente, no existe un procedimiento comprobado para determinar la temperatura óptima de masa. Debido a la importancia del cálculo de la temperatura requerida del agua, diferentes autores proponen algunas fórmulas y ecuaciones basadas en su experiencia profesional; aunque debido a diferencias de clima y equipos disponibles no son adecuadas para cualquier situación.

Cauvain y Young (2008) estipulan que la temperatura requerida del agua para una serie de condiciones de amasado y temperatura de harina específica puede ser calculada usando la siguiente ecuación (pág. 58).

$$T_w = 2(T_m - T_f) - T_h \quad [\text{Ec. 1}]$$

Donde,

T_w = temperatura requerida del agua (°C)

T_m = temperatura de la masa (°C)

T_f = factor de fricción de la amasadora (°C)

T_h = temperatura de la harina (°C)

La constante 2 se debe a que la harina tiene aproximadamente la mitad de la capacidad calorífica del agua. Además, los autores consideran la temperatura ambiente como una variable con aporte insignificante, por lo que no es parte de la ecuación.

Tanto Gisslen (2013) como Hamelman (2013) proponen que el cálculo de la temperatura requerida del agua puede determinarse a partir de la siguiente ecuación (pág.122; pág. 448).

$$T_w = 3T_m - T_h - T_a - T_f \quad [\text{Ec. 2}]$$

Donde,

T_a = temperatura del ambiente (°F)

Si se trabaja con el método de esponja, Hamelman (2013) establece que debe incluirse el efecto del prefermento en el cálculo de la temperatura del agua. De esta forma, la ecuación queda como sigue:

$$T_w = 4T_m - T_h - T_a - T_e - T_f \quad [\text{Ec. 3}]$$

Donde,

T_e = temperatura de la esponja o prefermento (°F).

Es importante recalcar que las ecuaciones contenidas en los párrafos anteriores son de carácter empírico, por lo que en la práctica tienden a presentar variaciones considerables.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Industria panificadora

1.1.1. Harina de trigo

1.1.2. Agua

1.1.3. Levadura

1.1.4. Sal

1.2. Mezclado de ingredientes

1.2.1. Formación de cavernas de aire

1.2.2. Hidratación de los componentes

1.2.3. Oxidación

1.3. Influencia del amasado en la reología de la masa

1.4. Equipos industriales para mezclado

1.4.1. Tipos de mezcladoras

1.4.2. Velocidades de amasado

1.4.3. Tiempo de amasado

- 1.4.4. Coeficiente de fricción
- 1.5. Métodos de mezclado
 - 1.5.1. Método directo
 - 1.5.2. Método de esponja
- 1.6. Control de la temperatura de la masa para pan
 - 1.6.1. Modelos empíricos para controlar la temperatura de la masa

2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APÉNDICE

ANEXOS

9. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

9.1. Enfoque

El enfoque seleccionado para la presente investigación será de carácter mixto. Es del tipo cuantitativo porque la temperatura de los componentes que inciden en el resultado final es susceptible a medición. Este enfoque será el principal, pues se deben realizar análisis estadísticos de las variables para determinar el grado de correlación existente con la temperatura final de la masa para pan.

Por otra parte, el enfoque cualitativo será de importancia al realizar el análisis de las características de la masa. En este punto, será muy importante determinar el grado de implicación de otras variables como la concentración y su efecto en el resultado final.

9.2. Diseño

El diseño será del tipo experimental, puesto que se parte de la idea de que la variable con mayor incidencia en la temperatura final de la masa es la temperatura del agua, por lo que se realizarán variaciones controladas para determinar su efecto en el resultado y en las demás variables.

Además, la temperatura del agua es la única variable que puede modificarse en este estudio pues los otros ingredientes de la mezcla son sólidos y su temperatura es más difícil de controlar. Estas variables se considerarán únicamente de forma descriptiva por su naturaleza.

9.3. Tipo

Esta investigación es catalogada como tipo correlacional, pues se estudiará la relación entre la temperatura final de la masa y las variables involucradas que presentan un efecto en ella.

9.4. Alcance

El alcance de la investigación será explicativo, pues se busca demostrar la incidencia de una o varias variables en la temperatura final de la masa para pan. De esta forma, se determinará la importancia de cada una de las variables involucradas al momento de especificar la temperatura necesaria del agua para alcanzar el resultado deseado.

9.5. Variables e indicadores

Las variables principales en el desarrollo de esta investigación serán del tipo cuantitativo. Se busca encontrar una relación comprobada entre la temperatura final de la masa para pan y la temperatura de sus ingredientes, proponiendo variables dependientes e independientes, respectivamente.

Por otro lado, la presencia de variables cualitativas es necesaria pues la evaluación en la calidad del producto final será contrastada con el resultado al evaluar su color, forma, olor y sabor.

Tabla I. Operativización de variables

Objetivo	Variable	Tipo de Variable	Indicador	Técnicas	Plan de Tabulación
Identificar la incidencia de la temperatura de los componentes evaluados en la temperatura final de la masa para pan	Temperatura de masa	Cuantitativa continua Variable dependiente	Temperatura de masa	Observación Medición directa Experimentación Termodinámica de mezclas	Tabulación de datos Análisis de datos discordantes
	Temperatura de harina	Cuantitativa continua Variable independiente			
	Temperatura de agua	Cuantitativa continua Variable independiente			
Evaluar el efecto de la temperatura del ambiente en la temperatura final de la masa para pan al incidir en sus componentes	Temperatura ambiente	Cuantitativa continua Variable independiente	Efecto en la temperatura de los ingredientes	Medición directa Experimentación Análisis de regresión	Tabulación de datos Análisis de datos discordantes
	Concentración de harina	Cuantitativa continua Variable independiente	Variación de temperatura de masa final	Experimentaciones Correlaciones	Tabulación de datos Análisis de datos discordantes
Concentración de agua	Cuantitativa continua Variable independiente				
Modelar la relación entre la temperatura de la masa para pan con la temperatura de los ingredientes, ambiente y el calor generado por el equipo	Calor generado por el equipo	Cuantitativa continua Variable independiente	Relación de temperaturas	Correlación termodinámica	Análisis de datos discordantes

Fuente: elaboración propia.

9.6. Fases

Para asegurar el cumplimiento de los objetivos de este trabajo, la investigación debe dividirse en las fases descritas a continuación.

9.6.1. Fase 1: Revisión documental

La primera fase consiste en la revisión de la documentación necesaria para sustentar el fenómeno estudiado. Todo lo relevante de esta fase de documentación se verá reflejado en el marco teórico y antecedentes.

9.6.2. Fase 2: Efecto de la temperatura de los ingredientes

Durante esta fase se documentará la temperatura de los ingredientes utilizados y los resultados obtenidos para la temperatura final de la masa. Los termómetros utilizados serán siempre calibrados para asegurar la mayor precisión posible.

Los principales ingredientes de la masa para pan son harina y agua, por lo que se medirán las temperaturas de ambos para su posterior análisis.

Es importante establecer que una correlación en este punto carecería de sentido pues únicamente reflejaría una dependencia parcial al dejar de lado el efecto de las demás variables involucradas.

La recolección de datos será realizada utilizando un formato de tabulación como el propuesto en el apéndice 3, que será entregado al encargado de amasado de la empresa y supervisado directamente por el experimentador.

9.6.3. Fase 3: Efecto del ambiente

El efecto del ambiente se considera una influencia menor, aunque significativa, en la temperatura de los ingredientes sólidos. Esta también será registrada utilizando el formato de tabulación mencionado anteriormente.

Se prevé una variación considerable en la temperatura del ambiente durante el día, por lo que se analizará su efecto en la temperatura final de la masa para pan.

A partir de este punto es posible establecer una correlación entre la temperatura de la masa y sus ingredientes y el ambiente. Se espera una correlación con desviación debido a la concentración y la variable de calor del equipo.

9.6.4. Fase 4: Efecto del calor generado por la acción del equipo

El efecto de fricción es directamente proporcional al tiempo de amasado. Cada amasadora tiene un factor de fricción propio, por lo que se medirá el aumento de temperatura de la masa debido exclusivamente a la acción de fricción del equipo.

La fricción generada por el equipo se considerará como una relación entre el aumento de temperatura de la masa por minuto de amasado. De esta forma, aun cuando se modifiquen los tiempos de amasado, siempre será posible calcular el calor generado por la fricción.

Posteriormente, es importante determinar cualquier incidencia en este factor de fricción debido a la cantidad de masa que se está procesando, por lo que se realizarán mediciones y tabulaciones de datos con diferentes tamaños de masas para aceptar o descartar su efecto.

En este punto se puede generar la correlación entre la temperatura de la masa y las variables que inciden en ella. Puesto que la fricción se tratará como una variable constante, únicamente será sumada a la correlación inicial para corregir la posible desviación obtenida al no tomar en cuenta estos descriptores.

Como resultado se presentará la relación matemática obtenida del análisis de todas las fases anteriores, el efecto y el peso de cada variable independiente y el grado de correlación que conlleva la ecuación propuesta.

9.7. Población y muestra

Se trabajará directamente con toda la población para contar con suficientes datos y posteriormente realizar un análisis estadístico para descartar datos discordantes. Se realizarán al menos 10 mediciones de todas las variables al día durante los 3 meses que durará la investigación de campo para aumentar la confiabilidad del modelo propuesto.

Utilizando la ecuación para calcular la muestra propuesta por Benassini (2009, pág. 196) como sigue:

$$n = \frac{NZ^2(p)(1-p)}{e^2(N-1) + Z^2(p)(1-p)} \quad [\text{Ec. 4}]$$

Donde,

n = tamaño de la muestra

N = tamaño de la población universo (660 lotes en 3 meses de trabajo)

Z = valor obtenido mediante niveles de confianza. Para 95%, el valor será de 1.96

p = Probabilidad de éxito del evento: 90% (0.9)

e = límite aceptable de error, para este caso será del 2% (0.02)

$$n = \frac{660(1.96)^2(0.9)(1 - 0.9)}{(0.02)^2(660 - 1) + (1.96)^2(0.9)(1 - 0.9)} = \frac{228.1910}{0.2636 + 0.3457}$$

$$n = 374.49 \approx 375 \text{ mediciones}$$

Tomando en cuenta 22 días laborales al mes y 3 meses de trabajo, se tiene:

$$\frac{375 \text{ muestras}}{66 \text{ días laborales}} = 5.68 \approx \mathbf{6 \text{ muestras diarias}}$$

9.8. Resultados esperados

Se encontrará un modelo de relación entre la temperatura de la masa para pan y las variables que la afectan. Se debe asegurar una alta confiabilidad en esta ecuación para asegurar que el resultado obtenido sea siempre el deseado.

De esta forma, será posible mantener la temperatura de las masas dentro de un rango aceptable al lograr establecer las relaciones correctas. Es importante resaltar que la ecuación presentada será exclusiva para el tipo de pan analizado en este estudio, pues es importante considerar la diferencia entre una masa elaborada en base a harina integral y otra con harina blanca.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Para lograr los objetivos propuestos por la investigación, es necesario contar con datos obtenidos por medio de la observación y mediciones directas de las variables involucradas. También será imperativa la revisión documental necesaria para mantener el rumbo correcto de la investigación.

Al estar trabajando con una muestra relativamente grande de datos (375 mediciones de cada variable), será necesario cumplir con al menos seis mediciones diarias durante tres meses de trabajo. Se medirán todas las variables involucradas, incluyendo la temperatura final de las masas, para completar el diagnóstico de la situación actual y contar con los suficientes valores para establecer las relaciones correspondientes. Estos valores serán recopilados con la ayuda del registro de control de temperatura de masas propuesto en el apéndice 3.

El análisis de los datos obtenidos se realizará de forma sistemática utilizando estadística descriptiva e inferencial. Se establecerán correlaciones parciales entre la temperatura final de la masa y cada una de las variables involucradas. Todas las variables independientes que presenten una correlación matemática con la variable dependiente serán entonces agregadas a un modelo preliminar basado en correlaciones múltiples.

Algunas variables requerirán el tratamiento de los datos por medio de un análisis de datos discordantes, basado en la teoría de sesgo y curtosis, para suprimir los valores que se encuentren fuera de rango y afecten las relaciones obtenidas.

Herramientas como gráficas y análisis de regresión, usando el método de mínimos cuadrados, serán los fundamentos para completar este paso. Es imperativo mantener un nivel de significancia arriba del 95% para clasificar el modelo obtenido como adecuado, para lo que se utilizarán los coeficientes de correlación como medida argumental.

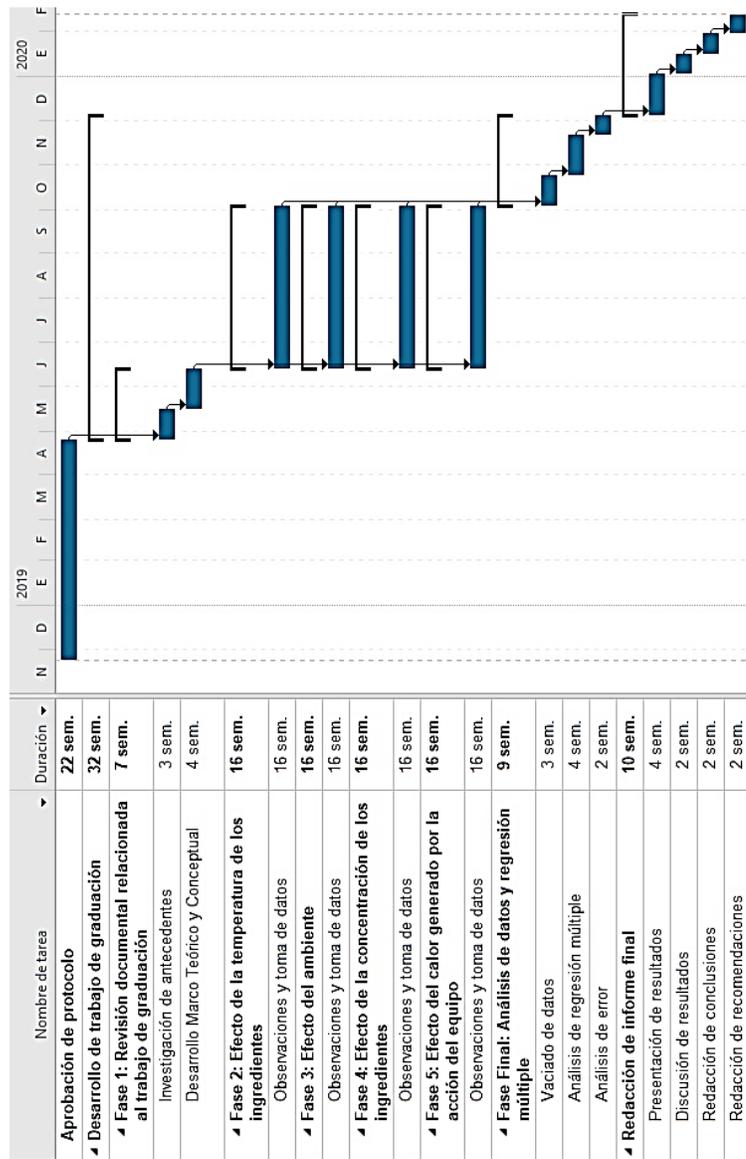
Se espera encontrar una correlación matemática compleja y no lineal, por lo que es necesario realizar simplificaciones en base a puntos críticos para conseguir una relación fácil de utilizar y que pueda ser aplicada en el ambiente de trabajo.

Las correlaciones obtenidas serán evaluadas en base a un análisis de error que involucrará todas las desviaciones introducidas directa e indirectamente durante el proceso, para garantizar la precisión de las ecuaciones obtenidas.

Los resultados encontrados serán presentados y analizados para determinar el efecto de su utilización en el ambiente productivo y su incidencia en el proceso a optimizar.

11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Figura 8. Cronograma



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Project.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

La factibilidad del estudio está asegurada, pues se cuenta con los recursos necesarios para desarrollar todas las fases involucradas y alcanzar los objetivos propuestos.

La empresa autoriza la realización de este estudio de investigación y asegura el acceso a la información requerida para su desarrollo.

La financiación de la investigación será del tipo mixto, compartiendo los gastos entre la empresa y el investigador. La empresa aportará recursos humanos, materiales y tecnológicos necesarios para alcanzar los objetivos. Los recursos restantes serán cubiertos por el investigador.

Tabla II. **Recursos necesarios para la investigación**

Tipo de Recurso	Cantidad	Descripción	Costo Unitario	Subtotal	Aporte
Humano	1	Investigador	Q 10,000.00	Q 10,000.00	Investigador
	1	Asesor	Q 2,500.00	Q 2,500.00	Investigador
	1	Ayudante	Q 10,000.00	Q -	Empresa
Materiales	400	Lotes de masa	Q 1,800.00	Q -	Empresa
		Papelería		Q 300.00	Investigador
Tecnológico	1	Amasadora tipo espiral	Q 295,900.00	Q -	Empresa
	16	Termómetros digitales	Q 220.00	Q 3,520.00	Investigador
	1	Computadora	Q 5,000.00	Q -	Investigador
		Servicios		Q 1,000.00	Investigador
Transporte		Combustible		Q 2,400.00	Investigador
		Depreciación		Q 2,100.00	Investigador
Varios		Imprevistos		Q 1,000.00	Investigador
Total				Q 22,820.00	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla II se muestra un desglose de los recursos necesarios para la investigación. Además, también se detalla el origen de la financiación para delimitar las responsabilidades de las partes involucradas.

Algunos de los recursos descritos se encuentran disponibles, por lo que no será necesario realizar este gasto y aparecen con sin costo en la tabla II. Es necesario tomar las mediciones correspondientes en el ambiente productivo real, por lo que la materia prima a utilizar será aportada con base al calendario de producción a seguir por la empresa.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Benassini, M. (2009). *Introducción a la Investigación de Mercados: Enfoque para América Latina*. México: Pearson Educación.
2. Brenes, C. y Morales, S. (2014). *Panificadora Panifresh, del grupo familiar Paiz de Guatemala, abrió planta en Costa Rica*. Recuperado de <https://www.elfinancierocr.com/negocios/panificadora-panifresh-del-grupo-familiar-paiz-de-guatemala-abrio-planta-en-costarica/PDVH3XMXWZAJJN2NYYAVQPCXR4/story/>.
3. Buehler, E. (2014). *Bread Science: The Chemistry and Craft of Making Bread*. Estados Unidos: Two Blue Books.
4. Camacho, F., González-Tello, P. y Guadix, E. (1998). *Influencia de las enzimas, pH y temperatura en la cinética de la hidrólisis de las proteínas del lactosuero*. *Food Science and Technology International*, 4(2), 79-84.
5. Canja, C., Lupu, M. y Tăulea, G. (2014). *The Influence of Kneading Time on Bread Dough Quality*. *Bulletin of the Transylvania University of Braşov • Series II*, 7(56), 79-84.
6. Cauvain, S. y Young, L. (2008). *Bakery Food Manufacture and Quality: Water Control and Effects*. Estados Unidos: John Wiley & Sons Ltd.

7. Chattman, L. (2011). *Bread Making: A Home Course: Crafting the Perfect Loaf, From Crust to Crumb*. Estados Unidos: Storey Publishing.
8. Collar, C., Bollain, C. y Rosell, C. (2007). *Rheological Behaviour of Formulated Bread Doughs During Mixing and Heating*. *Food Science and Technology International*, 13(2), 99-107.
9. DiMuzio, D. (2010). *Bread Baking: An Artisan's Perspective*. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.
10. Gisslen, W. (2013). *Professional Baking*. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.
11. Gómez, C. (2010). *Estrategias de Mercadotecnia para el Crecimiento en el Mercado en una Mediana Empresa Panificadora, en Amatitlán*. (Tesis de Administración de Empresas). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
12. Gulia, N. y Khatkar, B. (2013). *Relationship of dough thermomechanical properties with oil uptake, cooking and textural properties of instant fried noodles*. *Food Science and Technology International*, 20(3), 171-182.
13. Hamelman, J. (2013). *Bread: A Baker's Book of Techniques and Recipes*. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.
14. Hensperger, B. (2013). *The Bread Bible: 300 Favorite Recipes*. Estados Unidos: Chronicle Books.

15. Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill.
16. Lilleberg, K. (2012). *An Ideal Bread: A Literature Review*. Oslo and Akershus University College. Norway: Faculty of Health, Nutrition and Management.
17. Mann, J., Schiedt, B., Baumann, A., Conde-Petit, B. y Vilgis, T. (2013). *Effect of heat treatment on wheat dough rheology and wheat protein solubility*. *Food Science and Technology International*, 20(5), 341-351.
18. Matz, S. (1992). *Bakery Technology and Engineering*. Estados Unidos: Van Nostrand Reinhold.
19. Osella, C., Sánchez, H. y de la Torre, M. (2007). *Effect of Dough Water Content and Mixing Conditions on Energy Imparted to Dough and Bread Quality*. *Cereal Foods World*, 52(2), 70-73.
20. Reinhart, P. (2007). *Whole Grain Breads: new techniques, extraordinary flavor*. Estados Unidos: Ten Speed Press.
21. Reinhart, P. (2016). *The Bread Baker's Apprentice: Mastering the Art of Extraordinary Bread*. Estados Unidos: Ten Speed Press.
22. Srinivasan, M., Waniska, R. y Rooney, L. (2000). *Efecto de los ingredientes y del proceso sobre la reología de la masa para tortillas de harina de trigo*. *Food Science and Technology International*, 6(4), 331-338.

23. Stear, C. (1990). *Handbook of breadmaking technology*. Estados Unidos: Elsevier Science Publishing Co, Inc.
24. Stevens, D. (2008). *Bread: River Cottage Handbook No. 3*. Reino Unido: Bloomsbury Publishing PLC.
25. Wang, M., Tweed, A. y Carson, G. (2008). *How Dough Mixing Properties Affect Bread-Making Performance*. (AACC International Annual Meeting, September 2008). Estados Unidos: Canadian International Grains Institute.
26. Whitley, A. (2011). *Bread Matters: The State of Modern Bread and a Definitive Guide to Baking Your Own*. Estados Unidos: Andrews McMeel Publishing.
27. Zhou, W. y Nantawan, T. (2007). *Manufacturing of Bread and Bakery Products*. En Y. H. Hui (Ed.), *Handbook of Food Products Manufacturing*. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.

Apéndice 2. Matriz de consistencia

TEMA	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>Título: Modelo de estandarización del parámetro de temperatura de masa para la fabricación de pan a nivel industrial utilizando correlaciones termodinámicas en una empresa panificadora.</p>	<p>Pregunta central: ¿Qué correlación termodinámica puede utilizarse con precisión para estandarizar la temperatura de masas para la fabricación de pan?</p> <p>Preguntas de investigación: ¿Qué componentes y condiciones tienen incidencia en la temperatura final de amasado en una mezcladora tipo espiral? ¿Por qué es importante un modelo termodinámico que relacione la temperatura de las masas con las variables involucradas? ¿Cuál es la influencia del calor generado por la fricción de la mezcladora sobre la masa en la temperatura final? ¿Cómo se relaciona la temperatura de las masas para la elaboración de pan con la temperatura de las variables involucradas?</p>	<p>General: Estandarizar el parámetro de temperatura de masas para la elaboración de pan formulando una correlación termodinámica en una empresa de panificación industrial.</p> <p>Específicos: Identificar la incidencia de la temperatura de los componentes evaluados en la temperatura final de la masa para pan. Evaluar el efecto de la temperatura del ambiente en la temperatura final de la masa para pan al incidir en sus componentes. Determinar la influencia del calor generado por la fricción de la mezcladora sobre la masa en la temperatura final. Modelar la relación entre la temperatura de la masa para pan con la temperatura de los ingredientes, ambiente y el calor generado por el equipo.</p>	<p>Variable dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de la masa <p>Variables independientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura del ambiente • Temperatura de los ingredientes • Factor de fricción 	<p>Fase 1: Revisión documental.</p> <p>Fase 2: Efecto de la temperatura de los ingredientes por correlación parcial.</p> <p>Fase 3: Efecto de la temperatura del ambiente por correlación parcial.</p> <p>Fase 4: Efecto del calor generado por el equipo por medición directa.</p> <p>Fase final: Correlación total entre la temperatura de la masa y las variables involucradas.</p>

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Formato de recolección de datos

LOTE	TIPO DE MASA	CANTIDAD DE AGUA (%)	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	TEMPERATURA HARINA (°C)	TIEMPO DE AMASADO (min)		FACTOR DE FRICCIÓN	TEMPERATURA AGUA (°C)	TEMPERATURA MASA (°C)
					VELOCIDAD BAJA	VELOCIDAD ALTA			
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

FECHA:

Fuente: elaboración propia.

