



**UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL**

**PROPUESTA PRÁCTICA DEL EXAMEN DE GRADO O DE FIN DE
CARRERA (DE CARÁCTER COMPLEXIVO)
INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL**

TEMA:

**“MODELAMIENTO MATEMÁTICO EN EL PROCESO DE COCCIÓN
DEL PAN”**

Autores:

IRVIN FERNANDO PARRA MUÑOZ

VÌCTOR HUGO HOYOS MACÌAS

TUTOR: MSC. LUIS BUCHELI CARPIO

Milagro, mayo del 2018

ECUADOR

DERECHOS DE AUTOR

Ingeniero.

Fabrizio Guevara Viejó, PhD.

RECTOR

Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Nosotros, **PARRA MUÑOZ IRVIN FERNANDO, HOYOS MACÍAS VICTOR HUGO**, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de la propuesta práctica de la alternativa de Titulación – Examen Complexivo: Investigación Documental, modalidad presencial, mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedemos hacer entrega de la Cesión de Derecho del Autor de la propuesta practica realizado como requisito previo para la obtención de nuestro Título de Grado, como aporte a la Temática “**MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE PROCESOS INDUSTRIALES**” del Grupo de Investigación de **AUTOMATIZACIÓN Y EL CONTROL INDUSTRIAL (GIACI)** de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedemos a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservamos a nuestro favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizamos a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de esta propuesta practica en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Los autores declaran que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, a los 16 días del mes de mayo del 2018



IRVIN FERNANDO PARRA MUÑOZ
CI: 131494130-1



VICTOR HUGO HOYOS MACÍAS
CI: 094012781-4

APROBACIÓN DEL TUTOR DE LA INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL

Yo, **LUIS ÀNGEL BUCHELI CARPIO** en mi calidad de tutor de la Investigación Documental como Propuesta práctica del Examen de grado o de fin de carrera (de carácter complejo), elaborado por los estudiantes **PARRA MUÑOZ IRVIN FERNANDO, HOYOS MACÍAS VICTOR HUGO**; cuyo tema es: **MODELAMIENTO MATEMÁTICO EN EL PROCESO DE COCCIÓN DEL PAN** que aporta a la Línea de Investigación de **SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL** previo a la obtención del Grado de **INGENIERO INDUSTRIAL**; considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios en el campo metodológico y epistemológico, para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo **APRUEBO**, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Examen de grado o de fin de carrera (de carácter complejo) de la Universidad Estatal de Milagro.

En la ciudad de Milagro, a los 16 días del mes de mayo del 2018.



MSC. LUIS ÀNGEL BUCHELI CARPIO

C.I.: 091762993-3

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR

El tribunal calificador constituido por:

ING. BUCHELI CARPIO LUIS ANGEL

ING. ZAMBRANO BURGOS VELASCO RIGOBERTO

ING. ALCÁZAR ESPINOZA JAVIER ALEXANDER

Luego de realizar la revisión de la Investigación Documental como propuesta práctica, previo a la obtención del título (o grado académico) de INGENIERO INDUSTRIAL presentado por el señor. PARRA MUÑOZ IRVIN FERNANDO.

Con el título:

“MODELAMIENTO MATEMÁTICO EN EL PROCESO DE COCCIÓN DEL PAN”

Otorga a la presente Investigación Documental como propuesta práctica, las siguientes calificaciones:

Investigación documental	[80]
Defensa oral	[20]
Total	[100]

Emite el siguiente veredicto:(aprobado/reprobado) Aprobado

Fecha: 16 de mayo de 2018.

Para constancia de lo actuado firman:

	Nombres y Apellidos
Presidente	ING. LUIS BUCHELI
Secretario /a	ING. RIGOBERTO ZAMBRANO
Integrante	ING. JAVIER ALCÁZAR

Firma



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR

El tribunal calificador constituido por:

ING. BUCHELI CARPIO LUIS ANGEL

ING. ZAMBRANO BURGOS VELASCO RIGOBERTO

ING. ALCÁZAR ESPINOZA JAVIER ALEXANDER

Luego de realizar la revisión de la Investigación Documental como propuesta práctica, previo a la obtención del título (o grado académico) de INGENIERO INDUSTRIAL presentado por el señor. HOYOS MACIAS VICTOR HUGO.

Con el título:

“MODELAMIENTO MATEMÁTICO EN EL PROCESO DE COCCIÓN DEL PAN”

Otorga a la presente Investigación Documental como propuesta práctica, las siguientes calificaciones:

Investigación documental	[80]
Defensa oral	[20]
Total	[100]

Emite el siguiente veredicto:(aprobado/reprobado) Aprobado

Fecha: 16 de mayo de 2018.

Para constancia de lo actuado firman:

Nombres y Apellidos		Firma
Presidente	ING. LUIS BUCHELI	
Secretario /a	ING. RIGOBERTO ZAMBRANO	
Integrante	ING. JAVIER ALCÁZAR	

5

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo de investigación a **DIOS** todo poderoso, a nuestros padres por ser la base fundamental de nuestro apoyo, a nuestros hermanos y familia. Nuestros amigos quienes siempre nos dieron esa voz de aliento para continuar estudiando y ser nuestros firmes competidores, a nosotros mismos por no dejar de trabajar en ningún momento y ser fieles a nuestros ideales de superación.

Parra Muñoz Irvin Fernando, Hoyos Macías Víctor Hugo.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a **DIOS** por darnos salud y vida y permitirnos lograr unos de los muchos objetivos en nuestras vidas, a nuestras familias por estar siempre ahí apoyándonos, por paciencia compañía durante nuestro proceso de formación profesional, siendo nuestra principal fuente de motivación para cumplir con una meta más en nuestras vidas.

Expresamos nuestra gratitud a la UNEMI, a los docentes que compartieron sus conocimientos; a nuestros compañeros con quienes compartimos las aulas Universitarias y fueron testigo de nuestra dedicación y esfuerzo constante.

Al Ing. Luis Bucheli Carpio quien fue nuestro tutor, que con sus conocimientos nos guio en este trabajo de titulación.

Parra Muñoz Irvin Fernando, Hoyos Macías Víctor Hugo.

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTOR	2
APROBACIÓN DEL TUTOR DE LA INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL	3
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR	4-5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTO	7
ÍNDICE GENERAL	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
RESUMEN.....	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN.....	12
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	15
HISTORIA DEL PAN	15
INGREDIENTES QUE SE UTILIZAN PARA LA ELABORACIÓN DEL PAN COMÚN... 16	
AGUA	16
SAL.....	16
LEVADURA	16
AZUCAR.....	17
HUEVO.....	17
HARINA.....	17
Equipo utilizado en el proceso de elaboración del pan.....	18
HORNOS	19
PARTES DE UN HORNO Y SU TRANSMISIÓN DE CALOR	19
La cocción	20
PRIMERA ETAPA.....	20
SEGUNDA ETAPA	21
TERCERA ETAPA:.....	22
INFLUENCIA DEL VAPOR.....	22

CAUSAS PROVOCADAS POR UN EXCESO O DEFECTO DE VAPOR.	23
MODELACIÓN MATEMÁTICA EN PROCESOS INDUSTRIALES	23
DESCRIPCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO.....	23
Modelación Matemática y el Proceso Científico	25
Identificación del modelo matemático	28
DESARROLLO	30
CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE LA ELABORACIÓN DEL PAN.....	30
DIAGRAMA DE OPERACIONES PANADERÍA.....	31
DIAGRAMA DE PROCESO DE HORNEADO DEL PAN.....	32
Modelos matemáticos existentes.....	33
CONCLUSIÓN.....	37
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.PARTES DE UN HORNO Y SU TRANSMISION DE CALOR.....	2
FIGURA 2. DESCRIPCIÓN ESQUEMÁTICA DEL MODELO.....	2
FIGURA 3. ESQUEMA REPRESENTATIVO DE LA SECUENCIA DE IDENTIFICACIÓN DEL PROCESO	2
FIGURA 4.CARACTERIZACION DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL PAN	2
FIGURA 5.DIAGRAMAS DE OPERACIONES PANADERIA.....	2
FIGURA 6.DIAGRAMA DE PROCESO DE HORNEADO	2

MODELAMIENTO MATEMATICO EN EL PROCESO DE COCCIÓN DEL PAN

RESUMEN

Esta investigación con el tema: Modelamiento Matemático en el Proceso de cocción del Pan, basado en la problemática, mejora de la calidad en el proceso de cocción del pan.

Mediante esta investigación hemos comprendido que el pan ha tenido muchos cambios a medida que ha pasado el tiempo en sus procesos de elaboración, ingredientes, contextura, horneado. En las pequeñas y medianas industrias del pan incluidos los procesos a mayor escala se ha verificado que unos de los principales objetivos es la calidad.

Entonces mediante investigaciones se ha analizado la baja productividad, mala calidad, altos costos, desperdicios de materia prima en proceso, alto consumo de energía, esto llevaría según estudios realizados que unas de las posibles causas de aquello sería una mala manipulación de maquinarias o equipos, mal estado de la misma una mala sincronización en el proceso de cocción del pan. Dado el caso mediante esta investigación documental hemos estudiado modelos matemáticos para ser eficiente en el proceso de cocción del pan, el cual ayudara a los panificadores obtener una producción eficaz y eficiente en el proceso estudiado.

Esto también ayudaría a los maestros artesanos o panificadores de pequeñas y medianas industria del pan que logren un aumento en la productividad mediante la mejora de la calidad del proceso de cocción del pan y satisfacer la demanda.

PALABRAS CLAVE: Modelamiento Matemático, Procesos, Cocción, Mejora, Calidad.

MATHEMATICAL MODELING IN THE PROCESS OF ELABORATING THE BREAD

ABSTRACT

This research with the theme: Mathematical Modeling in the Bread Process, based on the problem, improves the quality of the bread baking process.

Through this research we have understood that bread has had many changes as time has passed in its processes of preparation, ingredients, texture, baked. In the small and medium-sized bread industries, including the processes on a larger scale, it has been verified that one of the main objectives is quality.

Then mediating research has analyzed the low productivity, poor quality, high costs, waste of raw material in process, high energy consumption, this would lead according to studies conducted that one of the possible causes of that would be a bad manipulation of machinery or equipment, bad state of the same a bad synchronization in the processes of baking bread. Given the case through this documentary research, we have studied mathematical models to be efficient in the process of cooking the bread, which will help the bakers obtain an efficient and efficient production in the process studied.

This would also help master craftsmen or breadmakers of small and medium-sized bread industries to achieve an increase in productivity by improving the quality of the bread cooking process and meeting the demand.

KEY WORDS: Mathematical Modeling, Processes, cooking, improvement, quality.

INTRODUCCIÓN

El pan al principio era una pasta plana, no fermentada, elaborada con una masa de granos machacados groseramente y cocida, muy probablemente sobre piedras planas calientes. Parece que fue en Egipto donde apareció el primer pan fermentado, cuando se observó que la masa elaborada el día anterior producía burbujas de aire y aumentaba su volumen, y que, añadida a la masa de harina nueva, daba un pan más ligero y de mejor gusto (Mesas, J.M.;Alegre, 2012).

Este mismo es un elemento dietético básico que se remonta a la época neolítica, que se prepara mediante cocción que se lleva a cabo en el horno. Control de la producción y distribución de pan se ha utilizado como un medio para ejercer influencia política sobre la población durante al menos los últimos dos milenios (Arpita,M. A. K, 2008).

El pan es el alimento básico en Europa. Culturas derivadas de Europa, como las Américas, Oriente Medio y el Norte de África, en oposición a Asia Oriental, cuyo alimento básico es el arroz. (P. Gelinas y Carole m, 2006). En muchas casas, especialmente en Nigeria, el pan se usa como desayuno. El pan se hace generalmente con una masa de harina de trigo que se cultiva con levadura que se deja crecer y finalmente se hornea en un horno (Andest & Dalatu, 2013).

(Mesas, J.M.;Alegre, 2012) dicen que existen bajorrelieves egipcios (3000 años a. de J.C.) sobre la fabricación de pan y cerveza, que sugieren que fue en la civilización egipcia donde se utilizaron por primera vez los métodos bioquímicos de elaboración de estos alimentos fermentados (Aleixandre, 1996). Los galos, después de Plinio, utilizaron la espuma de la cerveza para elaborar pan. Esta técnica fue olvidada y redescubierta en el siglo XVII convirtiéndose en práctica habitual en Europa hasta 1800. En el siglo XIX las levaduras de las cervecerías fueron remplazadas por las procedentes de las destilerías de alcohol de cereales.

A finales del siglo XIX, a raíz de los trabajos de Pasteur, se desarrolla una industria específica para la producción de levaduras que culmina en 1920 con un moderno método de producción de levaduras de panadería (*Saccharomyces cerevisiae*), inventado por el danés Soren Sak y denominado «Método Zero» Durante los siglos XIX y XX los oficios familiares dan paso a la construcción de fábricas que incrementan la capacidad de producción de alimentos básicos, entre ellos el pan y los productos de panadería, llegándose en nuestros días a dos tendencias hasta cierto punto contrapuestas (Mesas, J.M.;Alegre, 2012).

Por un lado, los cambios en el estilo de vida y la difusión de los congeladores y de los hornos microondas han conllevado un aumento de la demanda de alimentos (entre ellos el pan) de más cómoda preparación y adecuados para su almacenamiento en congeladores. Por otro lado, existe también una cierta demanda de alimentos lo más parecidos posible al alimento tradicional (Mesas, J.M.;Alegre, 2012).

El pan ha tenido muchos cambios a medida que ha pasado el tiempo en sus elaboraciones: procesos, ingredientes, contextura, en las pequeñas y medianas industrias del pan, incluidos los procesos a mayor escala se ha verificado que unos de los principales objetivos es la calidad total mediante la mejora continua.

Entonces mediante investigaciones se ha analizado la baja productividad, altos costos, desperdicios de materia prima en proceso productivo, alto consumo de energía, esto llevaría según estudios realizados que unas de las posibles causas de una mala manipulación de maquinarias o equipos en mal estado, Dado el caso mediante análisis e investigaciones documentales, hemos encontrado modelos matemático para ser eficiente en el proceso de cocción del pan, el cual ayudara a los panificadores obtener una producción eficaz y eficiente.

Esto también ayudaría a los maestros artesanos o panificadores de pequeñas y medianas industria del pan que tengan un aumento en la productividad mediante la mejora de la calidad del proceso de cocción del pan y satisfacer la demanda.

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

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 (Liliana, 2014).

“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) (Liliana, 2014).

El almidón, que representa alrededor del 70% del peso de la harina, se presenta en forma de gránulos que poseen dos moléculas claramente diferenciadas: amilosa y amilopectina, que se encargan de absorber el agua poco a poco y de repartirla de manera uniforme y homogénea hasta dar una estructura semisólida a la masa (José, 2011).

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 (Liliana, 2014).

El pan dentro de sus múltiples formas es uno de los alimentos más antiguos y ampliamente consumidos por la humanidad; su aparición no se conoce a ciencia cierta, pero se presume que fue en el oriente medio, lugar donde empezó a cultivarse el trigo (Liliana, 2014).

Debido a su evolución en las diferentes culturas han sido muchos los desarrollos tecnológicos e industriales; sin embargo, todos los procesos que han sido diseñados para la fabricación del pan han tenido una finalidad común y simple: la conversión de la harina de trigo en un alimento esponjoso y apetitoso (Quintero Gil & Quijano, 2008).

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 (Liliana, 2014).

Para la elaboración del pan es importante tener en cuenta que la calidad de harina y la cantidad adecuada de estos elementos influyen en la obtención de un pan de buena calidad.

Cada ingrediente es indispensable ya que cumplen funciones específicas que luego repercutirán en el producto final (Josè, M.Gabriela, 2010).

INGREDIENTES QUE SE UTILIZAN PARA LA ELABORACIÓN DEL PAN COMÚN

AGUA

Es el segundo componente mayoritario de la masa y es el que hace posible el amasado de la harina. El agua hidrata la harina facilitando la formación del gluten, con ello y con el trabajo mecánico del amasado se le confieren a la masa sus características plásticas: la cohesión, la elasticidad, la plasticidad y la tenacidad o nervio (Calvel, 1983). La presencia de agua en la masa también es necesaria para el desarrollo de las levaduras que han de llevar a cabo la fermentación del pan (Mesas, J.M.;Alegre, 2012).

SAL

Es un producto natural que se encuentra en forma de cristales (sal de mina) o en el agua del mar (sal marina). Se compone de cloro y sodio y es antiséptica. Anejo I, se refiere a Materias primas Independientemente de su aportación al sabor del pan, la sal desempeña otros papeles de gran importancia en su elaboración. Actúa como regulador del proceso de fermentación, simultáneamente mejora la plasticidad de la masa, aumentando la capacidad de hidratación de la harina y en consecuencia, el rendimiento de la panificación (Anejo, 2012).

También favorece la coloración y finura de la corteza, teniendo como contrapartida el aumento de la higroscopicidad (Anejo, 2012).

Además, la sal restringe la actividad de las bacterias productoras de ácidos y controla la acción de la levadura, regulando el consumo de azúcares y dando por ello una mejor corteza. La proporción de la sal a agregar será como máximo 2% sobre materia seca. La proporción de sal se recomienda que sea mayor con harinas recién molidas o débiles (Anejo, 2012).

LEVADURA

Las levaduras son organismos vivos, eucariotas, unicelulares, que se encuentran en la naturaleza. Viven en el aire, en la tierra, en frutas o sobre las hojas de algunas plantas. Son hongos que fermentan azúcares simples para producir alcohol y dióxido de carbono. El nombre científico de la levadura de panadería es *Saccharomyces cerevisiae*. Actualmente se produce en diversas formas y para cubrir necesidades específicas. Se diferencian principalmente en el contenido de humedad y en su forma física. Entre las diversas formas se encuentran la levadura comprimida, granular, en crema, en forma de pellet deshidratado,

instantánea, encapsulada o congelada. Las formas deshidratadas, congeladas o encapsuladas se desarrollaron para poder conservar la levadura durante largos periodos de tiempo. Los fabricantes han diseñado distintos medios de cultivo de levaduras según el uso que se les vaya a dar. Existen muchos tipos de pan en el mundo y cada uno requiere unas características particulares en las levaduras. Dependiendo de cada medio de cultivo y formas de crecimiento se verán afectadas las propiedades de las levaduras. Como por ejemplo, su tolerancia a la acidez, su actividad, tolerancia a la sal, estabilidad térmica, respuesta a inhibidores fúngicos o su vida útil (Moreno, Tutor, Jesús, & González, 2014).

AZUCAR

La adición de azúcar, en masas de trigo estimula tanto a levaduras como a BAL, potenciando su crecimiento y las producciones de acético y láctico (Rehman et al, 2007). Las levaduras, preferentemente, consumen glucosa y fructosa hasta agotamiento (Martín Ordoñez, Callejo González, & Morata Barrado, 2015).

También afectarán el potencial redox (provoca reducción de cofactores de la masa, generando nueva actividad) y pH (debido a acidificación de las propias BAL) (Martín Ordoñez et al., 2015).

HUEVO

Los huevos contribuyen en la estructura, emulsión, volumen, textura, color, sabor y valor nutritivo. Cuando se agrega la cantidad óptima a una mezcla de grasa y azúcar formaran una emulsión estable mejorando la retención de aire y, aumentando el volumen del cake final, en contraste, la adición de demasiados huevos produce una miga dura, parecida a la goma (Bennion, 1995). Este ingrediente es altamente funcional cuenta con tres principales atributos: formación de espuma (incorporación de aire a la masa), emulsión (estabilización de la suspensión de un líquido en otro) y coagulación (conversión del huevo líquido a solido o semi-sólido, la proteína del huevo coagula sobre rangos de temperaturas) (Kiosseoglou, 2004). Durante el proceso de mezclado e integración de la masa este actuar como disolvente del azúcar logrando formar una emulsión estable (Pyler, 1988),(Rojas, P.Wilder, 2016).

HARINA

En la recepción de la harina lo primero que se debe hacer es controlar el peso de cada unidad o por muestreo. Conservar en un lugar fresco y seco (armar las estibas a 10 cm de las paredes y sobre tarima), tener siempre en cuenta su vida útil. Observar que el fabricante cumpla con la ley de fortificación de harinas. Los recipientes donde se coloca la harina para el polveo deben ser de fácil limpieza y desinfección. Deben mantenerse tapados y es necesario

someterlos a una limpieza semanal profunda para evitar el desarrollo de insectos o la acumulación de harina vieja que pueda estar en mal estado (Alim, 2010).

Equipo utilizado en el proceso de elaboración del pan

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 moldeo 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: máquina 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 (Liliana, 2014).

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:

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 ₂ y H ₂ 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.

FIGURA 1. PARTES DE UN HORNO Y SU TRANSMISION DE CALOR

Fuente: (Liliana, 2014).

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 (Liliana, 2014).

En contraste, los hornos con bases cuadradas o rectangulares y con paredes verticales, son menos eficientes que los curvos (Liliana, 2014).

El horno 1, este horno es analógico y presenta los controles de temperatura, tiempo y vaporizador; es un horno estático con capacidad para introducir 33 latas x 24 panes, la medida de temperatura empleada es de 200 grados centígrados sostenidos por aproximadamente 25 minutos (Alexander, Z.Christian, 2012).

El horno 2, es un horno de control digital y regulador automático de temperatura, presenta sostenimiento de bandejas rotatorio hasta por 50 latas x 24 panes, es empleado a una temperatura de 150 grados centígrados por aproximadamente 40 minutos. El crecimiento

aproximado de un pan en ambos hornos bajo condiciones normales es de 1cm tanto de 17 largo como de ancho, para tener un pan con dimensiones aproximadas a 12 cm de largo por 14 de perímetro (Alexander, Z.Christian, 2012).

La cocción

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), (Liliana, 2014).

Cocción del pan puede ser definida como el proceso que transforma una masa básicamente hecha de harina, agua y agentes de fermentación en un producto de alta calidad con características sensoriales únicas. En particular, el pan francés o el blanco es el tipo más popular de pan, y se distingue por tener una corteza crujiente y marrón, una esponja y miga de luz con textura suave y de humedad intermedia, y un sabor típico (Purlis & Salvadori, 2009).

Según (Manuel, 2015) la fase que cierra el ciclo del proceso de elaboración del pan y se considera una de las etapas claves, ya que de una buena cocción obtendremos un pan con un conjunto de cualidades organolépticas que definirán su calidad final. Una cocción mal regulada o llevada a cabo en condiciones desfavorables de temperatura, tiempo y humedad puede echar a perder todo el trabajo que meticulosamente antes se había realizado. La cocción trasforma la masa fermentada en pan y es a partir de ahí cuando este alimento se convierte en digerible por el cuerpo humano. La cocción del pan resulta del intercambio calorífico entre el calor del horno y la masa. En el curso de este la masa sufre numerosas transformaciones que cabe reagrupar en tres importantes etapas:

PRIMERA ETAPA

Diferencia de la temperatura de la masa 26-28° C y la del horno 200-240°C y la buena conductividad de la masa debido a su riqueza acuosa frena la elevación de la temperatura en

la superficie del pastón le protege del calor y facilita su desarrollo. Simultáneamente se manifiesta un periodo de fermentación intensa que lleva consigo una aceleración de la producción de gas carbónico seguida de una fuerte dilatación y todo ello combinado engendra el empuje gaseoso que provoca un desarrollo espectacular del pastón. Los cortes facilitan el empuje gaseoso y mejoran el aspecto del pan y favorecen igualmente el alveolado de la miga. Esta acción se desarrolla hasta que, bajo los efectos del calor, la temperatura interna del pastón alcanza 50-60° C temperatura a que las levaduras son destruidas. Entonces se llega al final de la producción de gas carbónico y de esta primera etapa (Manuel, 2015). La transferencia de calor se produce a través de convección y radiación. Modelización de la radiación requiere las masividades de pan, gas, superficie del horno, y la computación de las relaciones geométricas entre pan y un horno (Zhang, Datta, & Mukherjee, 2005). (Zhang & Datta, 2006) dice que una temperatura de cocción más alta que la normal reduce el volumen de pan horneado.

El análisis de las variaciones de temperatura como una función del tiempo muestra que la temperatura del aire en el horno permanece sustancialmente constante alrededor 203 -t 1 ° C. Después de unos minutos, una temperatura más alta que 100 ° C, que asintóticamente tiende a la temperatura del aire, se alcanza en la superficie superior de la muestra, que está directamente expuesta al aire. La temperatura en la superficie inferior muestra una variación similar, con valores inferiores en aproximadamente 20 ° C debido a la resistencia a la transferencia de calor del fondo del molde (Zanoni, Peri, & Pierucci, 2012).

A Profundidad de 1cm desde la superficie superior y en el centro geométrico de la muestra, es decir, en la porción de miga del pan, la temperatura aumenta a tasa más baja y tiende asintóticamente hacia 100 ° C (Zanoni et al., 2012).

SEGUNDA ETAPA

La masa aún plástica bajo el empuje combinado del vapor de agua que nace y de la dilatación del gas carbónico que se amplifica continúa desarrollándose todavía. Pero simultáneamente el aumento de temperatura progresa hacia el centro y la verificación del almidón, así como la coagulación del gluten va a marcar a partir de 70° C el fin de la plasticidad de la masa y de su desarrollo. De este modo se llega al final de la segunda etapa. El pan ha alcanzado entonces su volumen definitivo (Manuel, 2015).

TERCERA ETAPA:

La fuerte evaporación de la pared externa disminuye en tanto que su temperatura aumenta. La corteza se forma, se espesa y la caramelización de los azúcares residuales presente en la masa provoca su coloración. Cabe subrayar por último que la temperatura interior de los panes durante la cocción alcanza a duras penas y no sobrepasa prácticamente los 100° C en tanto que la temperatura exterior de la corteza soporta un calor medio de 225° C (Manuel, 2015).

INFLUENCIA DEL VAPOR

El vapor de agua se inyecta inmediatamente después de la entrada de pan en el horno o justamente antes de su entrada. El vapor se instala sobre la superficie de la masa, enfriándola, humedeciéndola y retardando su secado y deshidratación, que en condiciones de ausencia de vapor sería consecuencia de un aumento brusco y repentina de la temperatura (Manuel, 2015).

Al estar húmeda, la superficie de la masa no pierde flexibilidad necesaria para ceder al empuje del gas carbónico que se produce durante los primeros minutos de cocción. Todo ello se traduce de manera evidente en un aumento del volumen del pan. La corteza retarda su formación, quedando más fina y brillante debido a un aumento del proceso de coloración. Gracias a la atmósfera que se produce en la cámara de cocción saturada de vapor, el pan pierde menos humedad y peso. Los hornos de solera refractaria, bien sean giratorios o de pisos, el vapor solo se inyecta al inicio de la cocción de los primeros panes y no cada vez que se introduce un nuevo pan (Manuel, 2015).

La razón es que, durante la cocción, el pan va desprendiendo su propia humedad y va saturando la cámara de cocción de vapor de agua. Éste servirá para humedecer los panes introducidos posteriormente. La apertura del tiro de la cámara de cocción provoca la salida de vapor de la misma. Se realiza normalmente cuando faltan 10 minutos para finalizar el horneado. Comporta un ambiente de cocción más seco que produce una desecación en la corteza, aunque también una ligera bajada de la temperatura del horno y, consecuentemente, una menor cocción del pan. Esta operación suele realizarse en zonas geográficas húmedas para conseguir una corteza más gruesa, que soporte mejor el paso de las horas sin mostrar reblandecimiento (Manuel, 2015).

CAUSAS PROVOCADAS POR UN EXCESO O DEFECTO DE VAPOR.

El vapor en exceso provoca una corteza excesivamente fina, frágil y brillante, sin greña y de aspecto no apetecible. Se dice en estos casos que la greña es ciega, aunque no siempre recibe este apelativo es por causa de un exceso de vapor, el tiempo, al igual que la temperatura de cocción, deben aumentarse al cocer en una atmosfera saturada de vapor (Manuel, 2015).

Por el contrario, un defecto de vapor aporta unos panes con corteza gruesa, mate o sin brillo, que en el caso de algunos panes grandes de formato redondo es muy apreciable, pero en el caso de barras largas es claramente perjudicial ya que en los cortes aparecen desgarrados, el volumen es inferior y la corteza excesivamente gruesa. La temperatura de cocción debe disminuirse ligeramente (Manuel, 2015).

MODELACIÓN MATEMÁTICA EN PROCESOS INDUSTRIALES

Muchos fenómenos o sistemas que desarrollan determinada actividad en la naturaleza o la industria necesitan ser estudiados, para determinar sus causas, su evolución o para ser controlados (Saúl & Castillo, 2016).

Por ello la necesidad de representar dichos sucesos mediante una herramienta (Saúl & Castillo, 2016).

Es así que surge la modelación matemática permitiendo representar y predecir la realidad de manera rápida y a bajos costos mediante algoritmos lógicos, leyes físicas y químicas (Saúl & Castillo, 2016).

Trabajar con del proceso el modelo matemático industrial permite estudiar de forma segura, rápida y económica las propiedades del proceso productivo en cualquier situación imaginable tal como lo enuncia (Saúl & Castillo, 2016).

Además, es también necesario para poder implementar estrategias de control al proceso estudiado (Saúl & Castillo, 2016).

Uno de los casos más representativos de éste método fue implementado por los gobiernos de Estados Unidos y la Unión Soviética en los años 40 y 50 del siglo XX para la creación de escudos de defensa antiaérea contra misiles nucleares donde la modelación matemática alcanzó todos los intereses esperados (Saúl & Castillo, 2016).

DESCRIPCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

Cabe mencionar que un buen modelo matemático hallado no es necesariamente una representación precisa, sin embargo, lo suficientemente conciso para brindar resultados valiosos (Saúl & Castillo, 2016).

(Dimitrio, H, 2015) había indicado que el modelo matemático permite definir una formulación que da una aceptabilidad óptima, pero a través de la superficie de respuesta y curvas de contornos, en lugar de valores puntuales.

Además, existen otros métodos como el método de identificación, a parte de la modelación, mediante el cual se puede obtener un modelo matemático (Saúl & Castillo, 2016).

Se fundamenta en un registro de datos que contengan los valores de las entradas y salidas del sistema, sin importar las leyes que gobiernen la dinámica del sistema, es decir, toma al sistema como si fuera una caja negra. Por ello, los experimentos realizados para el registro de datos desempeñan una tarea fundamental (Saúl & Castillo, 2016).

(Melina, 2017) un modelo matemático es una función donde se acopla a un proceso en términos matemáticos que permite entender de una manera clara, examina y hace predicciones sobre ellos. Un modelo matemático es de forma general, realista (basado en hipótesis correctas), preciso, exacto. Nunca puede ser una representación precisa de un proceso, ya que sería muy difícil, se tornaría confuso o imposible de explicar el sistema completo con una formulación matemática exacta (Ozilgen, 2011).

Los modelos matemáticos pueden ser clasificados como modelos de los primeros principios y los de caja negra (análogos).

Un modelo análogo puede ser propuesto para un proceso poco conocido, teniendo en cuenta su analogía como un proceso bien conocido, es decir, pueden ser utilizados de manera de modelado en los procesos de transmisión de calor en un producto. Los modelos de primeros principios utilizan un enfoque donde se basan en la conservación de la masa, la energía, cantidad de movimiento, así alternativamente para proponer la forma del modelo matemático. Se pueden incluir muchos tipos. La comparación del modelo matemático con los datos experimentales es el periodo final de la modelación. Si no se puede adquirir dicho acuerdo, todas las etapas del modelado, se repetirán hasta conseguir una representación satisfactoria.

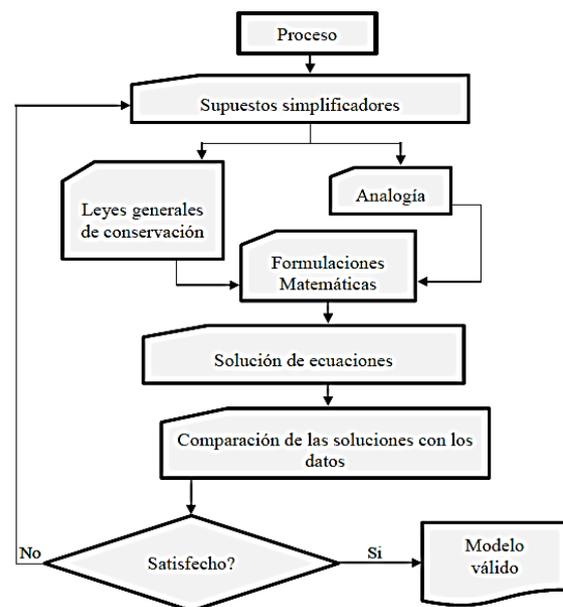


FIGURA 2. DESCRIPCIÓN ESQUEMÁTICA DEL MODELO

Habitualmente éste es el método más utilizado para el control de procesos reales, mientras que la modelación es más empleada para estudiar los comportamientos y propiedades de los sistemas (Saúl & Castillo, 2016).

Modelación Matemática y el Proceso Científico

Antes de ahondar en una discusión de cómo se han utilizado modelos para avanzar en nuestra comprensión, vale la pena abordar brevemente el enfoque global utilizado en el modelado. Al igual que en estudios experimentales, modelización matemática comienza con una hipótesis bien formulada sobre la base de las observaciones anteriores (Glynn, Unudurthi, & Hund, 2014).

De hecho, el modelo matemático realmente debe ser visto como una expresión cuantitativa de una hipótesis central. Por lo tanto, uno de los aspectos más difíciles del proceso de modelado es la traducción de una hipótesis en un conjunto de ecuaciones matemáticas (“modelo de formulación”). Aquí, tendrá que ser hecho con respecto a los componentes (por ejemplo, vías, reacciones, reactivos, etc.) que deben ser incluidos en el modelo de determinación (Glynn et al., 2014).

Factores tales como la precisión, la disponibilidad de datos y tiempo de cálculo / recursos darán forma a las decisiones tomadas en este paso. Además, esta etapa se realiza a menudo de forma iterativa mediante el desarrollo de un modelo inicial, comparando los resultados a experimentar, y ajustando el modelo basado en la validez (Glynn et al., 2014).

Una vez que un modelo se ha posado sobre (al menos inicialmente), el siguiente paso es el modelo de parametrización del caso estudiado. Aquí, se seleccionarán los parámetros del modelo (por ejemplo, las conductancias de canal, las concentraciones de iones, las tasas de reacción) sobre la base de los datos experimentales disponibles (ya sea publicado u original). En algunos casos, un valor para un parámetro de modelo puede ser asignada sobre la base de una medición experimental directa (Glynn et al., 2014).

A menudo, puede ser difícil de medir directamente un parámetro y en su lugar el valor debe ser estimado para generar un acuerdo entre el modelo y experimentar con respecto a un resultado que es directamente medible (“parámetro de ajuste”). Tras la parametrización del modelo, optimización puede llevarse a cabo donde se pueden determinar valores para los parámetros relacionados con la resolución de las ecuaciones que rigen (por ejemplo, paso de tiempo, el tamaño de la red), (Glynn et al., 2014).

Una vez que se ha completado parametrización del modelo / optimización, una etapa de validación es importante evaluar precisión del modelo. En este paso crítico, salida del modelo se compara con un conjunto de datos experimentales que no se utilizó en el proceso

de parametrización. Como se mencionó anteriormente, los pasos descritos anteriormente es probable que se repitan para llegar a un modelo final (Glynn et al., 2014).

Una vez que el modelo final se ha desarrollado y validado, que ahora está listo para la simulación / análisis para generar predicciones con respecto al proceso de cocción del pan. Idealmente, la predicción del modelo ayuda a informar el diseño de un nuevo experimento que se puede utilizar para probar la predicción y seguir avanzando en el desarrollo del modelo (Glynn et al., 2014).

(Luis, 2016) dice que La función más importante de un modelo para el propósito del control es servir de base para el diseño del sistema de control, el cual cumplirá con las especificaciones dadas a pesar de las limitaciones inherentes del modelo.

El modelo matemático del desempeño de un proceso de cocción del pan que se encuentra bajo la influencia de perturbaciones degradantes de las variables de control puede determinarse por tres vías correspondientes a tres enfoques.

- Teórica, el comportamiento del sistema se da por un sistema de ecuaciones, generalmente diferenciales, obtenidas a partir de las leyes que rigen el proceso. Este sistema de ecuaciones es el modelo matemático buscado.
- Experimental, el comportamiento del sistema es estimado y formulado a partir de los datos recopilados en un experimento diseñado con ese objetivo. La formulación que resulte válida es el modelo buscado.
- La combinación de ambas.

La vía del análisis del sistema involucra la deducción de una ecuación diferencial o sistema de ecuaciones diferenciales como modelo aplicando las leyes físicas y(o) químicas a los componentes internos del sistema, así como formulando los supuestos apropiados de modelación (Universidad de Salamanca, 2017).

Una vez que el modelo ha quedado definido se calculan o estiman sus parámetros.

En general algunos de éstos pueden ser definidos con exactitud y otros estimados de forma menos exacta. La inexactitud de esta estimación se reflejará en los índices de comportamiento del sistema de forma desfavorable. Las circunstancias y el tipo de proceso determinan qué enfoque emplear. Si los procesos físicos involucrados son muy complicados la mejor vía es la experimental (Universidad de Salamanca, 2017).

Si se obtiene un modelo bien ajustado entonces los datos experimentales podrán emplearse para la estimación de los valores de los parámetros. Este enfoque experimental es

precisamente la Identificación de Sistema. A partir de la identificación se obtiene un modelo como instrumento metodológico (Universidad de Salamanca, 2017).

Se identifican los objetivos específicos que se afirman mediante el análisis del proceso de cocción de pan. Así con el objetivo de emplear un modelo matemático como parte de un algoritmo de control asiendo como función de predecir salidas futuras del proceso de cocción del pan (Universidad de Salamanca, 2017).

Según (Luis, 2016) dice que existen clase de modelo matemático lineales y no lineales, La aplicación matemática en proyectos industriales, involucra modelos comúnmente constituidos por variables complejas al momento de resolver, con el fin de manipular la temperatura de cocción del pan en grandes o pequeñas industrias de la elaboración del pan se usan controladores predictivos como lo son los modelos matemáticos.

Es posible construir modelos teóricos (no lineales) y ajustarlos a datos experimentales de manera que se obtengan modelos más exactos y confiables, u obtener indirectamente parámetros del sistema aplicando métodos matemáticos o heurísticos. Con base en dichos modelos se puede:(Universidad de Salamanca, 2017).

- Construir sistemas de control automático con excelentes prestaciones.
- Diseñar estimadores de estado que funcionan como sensores virtuales.
- Desarrollar rápidamente programas de computador en tiempo real que permitan estudiar las características básicas del diseño esperado (Universidad de Salamanca, 2017).

Según (Luis, 2016) los recursos, las informaciones disponibles y los objetivos planteados a la identificación, se emplean diferentes métodos, ellos son Identificación Analítica, Identificación Experimental mediante Señales Especiales e Identificación Recursiva. El primer método tiene como inconveniente principal el requerimiento de un conocimiento muy especializado sobre la tecnología del proceso, el cual no siempre está disponible.

El segundo es el más directo y produce resultados a corto plazo. En él se emplean señales del tipo escalón y las secuencias binarias pseudo-aleatorias.

En la práctica se realizan observaciones periódicas de las variables y el procesamiento de los datos se realiza fuera de línea. El tercer método se basa en alguna modificación del método de los mínimos cuadrados (Luis, 2016).

Generalmente se supone una estructura fija para el modelo, reflejado en una ecuación en diferencias lineales. Por razones de conveniencia práctica se emplea para estudios de

simulación del comportamiento del proceso. Los modelos que se identifican son modelos discretos (Luis, 2016).

Según existen diferentes métodos de Identificación Paramétrica. En dependencia del criterio de identificación y del algoritmo de cálculo empleado los métodos reciben diferente denominación. Una breve relación de ellos y la información a que necesitan se ofrece en la tabla. Las razones para ello son, sobre todo, que proporciona una forma recursiva muy simple (Luis, 2016).

Ellos han alcanzado gran popularidad con el desarrollo de los sistemas de control digital (Luis, 2016).

Identificación del modelo matemático

Para determinar el modelo (estructura y sus parámetros) se realizan los pasos siguientes:

- Diseño del experimento, que involucra el plan del experimento,
- Recogida de los datos de entrada y salida del proceso
- Identificación no Paramétrica, que involucra su procesamiento primario para determinar el orden y la estructura del modelo.
- Identificación Paramétrica, que involucra el cálculo de los parámetros del modelo definido por orden y estructura.
- Validación del modelo obtenido, que involucra la verificación del grado de coincidencia del modelo (de su comportamiento) con el proceso a modelar (el comportamiento del proceso real), (Luis, 2016).

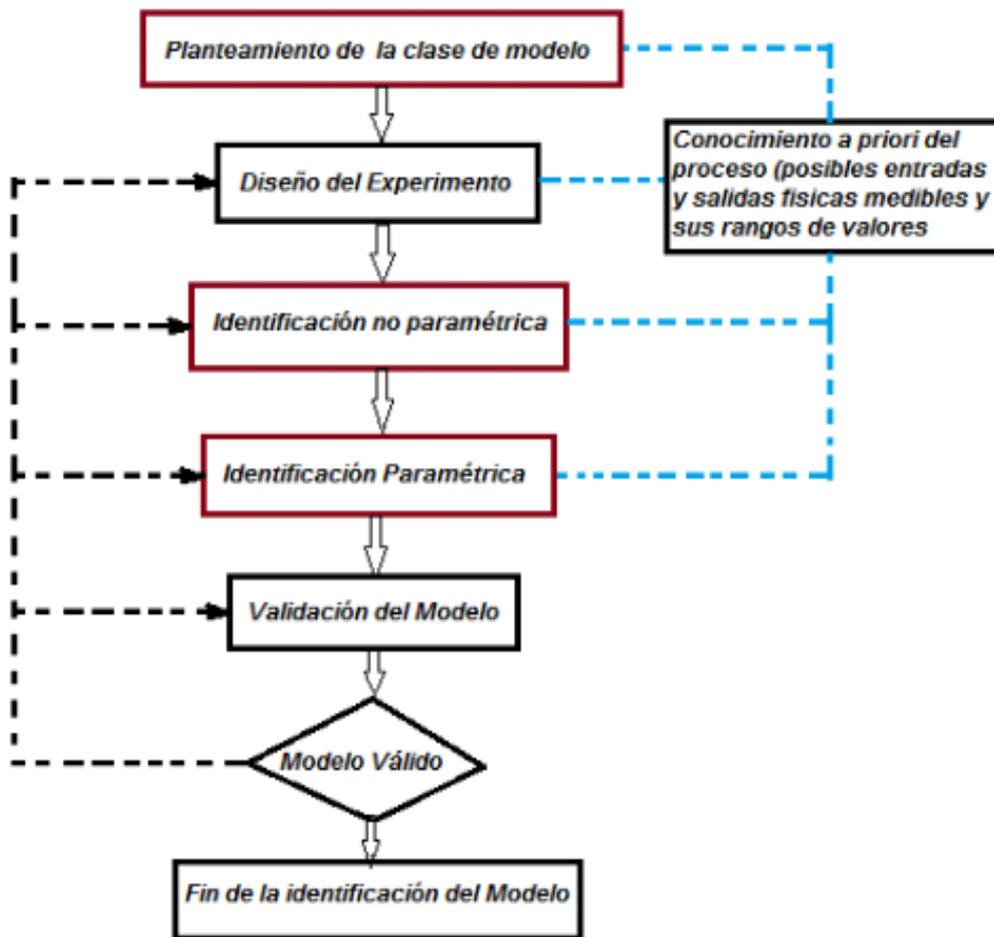


FIGURA 3. ESQUEMA REPRESENTATIVO DE LA SECUENCIA DE IDENTIFICACIÓN DEL PROCESO

Fuente: Esquema representativo de la secuencia de identificación del proceso (Luis, 2016).

DESARROLLO

CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE LA ELABORACIÓN DEL PAN

Para diseñar o parametrizar un modelo matemático es necesario, estudiar

, analizar, comprender los procesos de elaboración del caso estudiado.

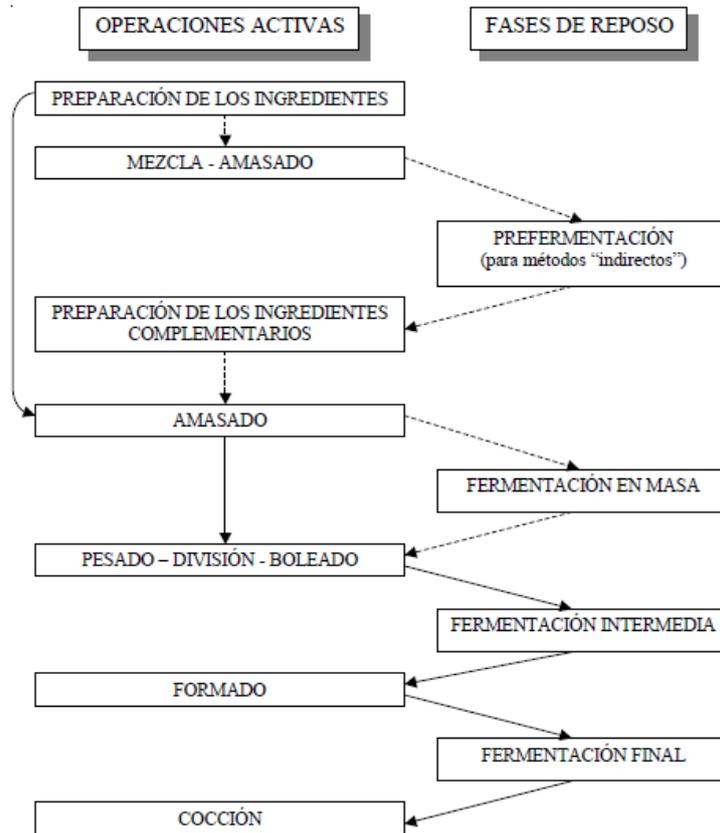


FIGURA 4. CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL PAN

Fuente: (Mesas, J.M.; Alegre, 2012).

DIAGRAMA DE OPERACIONES PANADERÍA

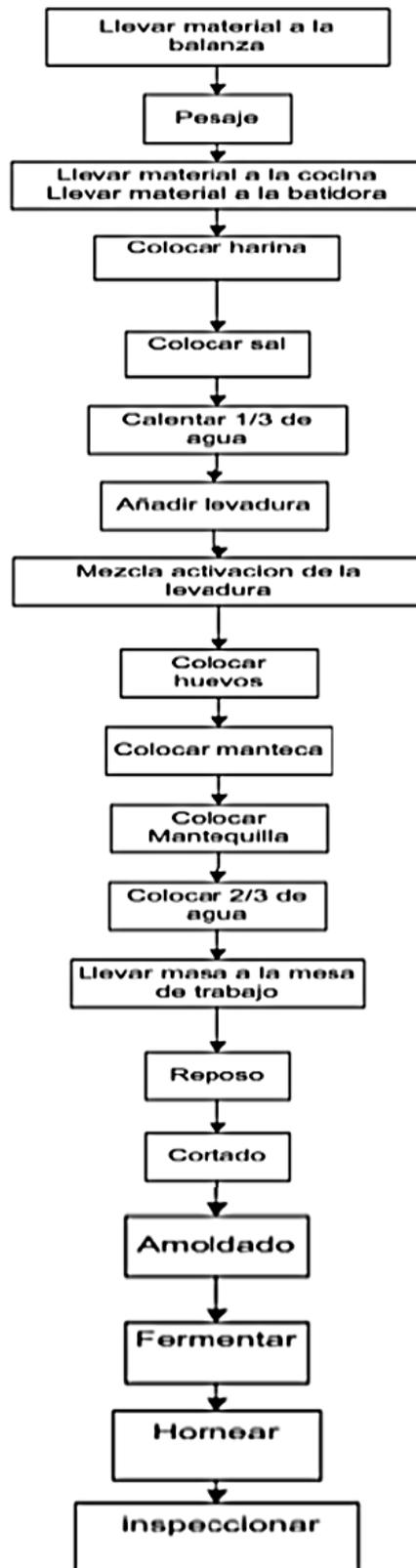


FIGURA 5. DIAGRAMAS DE OPERACIONES PANADERIA

Fuente: (Ingrid, 2014).

La figura anterior describen las actividades que inician al llevar material a la balanza seguido de pesaje, de llevar material a la cocina, llevar material a la batidora, colocar harina y sal, calentar 1/3 de agua, añadir la mezcla de la levadura, colocar huevos, manteca, mantequilla, 2/3 de agua, llevar masa a la mesa de trabajo, reposo, cortado, amoldado, fermentar, hornear y por último se inspecciona, proceso indicado (Ingrid, 2014).

DIAGRAMA DE PROCESO DE HORNEADO DEL PAN

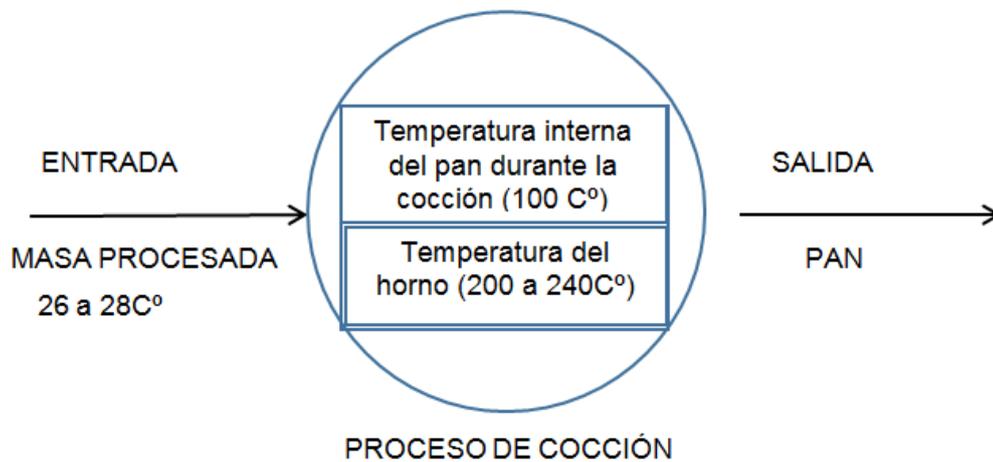


FIGURA 6. DIAGRAMA DE PROCESO DE HORNEADO

Fuente: Elaboración propia.

Los modelos estudiados aplicada al proceso de cocción convencional del pan y se resuelve utilizando ecuaciones de gobierno, ley de Darcy, método de elementos finitos (métodos numéricos generales que sirven para dar aproximación a soluciones de ecuaciones diferenciales tomados en cuenta en la ingeniería y física). Resultados del modelado concuerdan con las observaciones experimentales en términos de temperatura, humedad, cambios de volumen y oscurecimiento de la superficie, conservación de energía, conservación del CO₂ (Zhang & Datta, 2006).

Modelos matemáticos existentes

MODELOS

Nomenclatura

- c_p = Capacidad calorífica específica, J/kg K
- C = Densidad molar de la mezcla de gases, mol/ m^3
- D_{cff} = Difusividad efectiva, m^2/s
- D_{vc} = Difusividad binaria estándar entre vapor y CO_2 , m^2/s
- D_w = Coeficiente de difusión para agua líquida, m/s^2
- H = Coeficiente de transferencia de calor superficial, W/m k
- H_0 = Altura inicial, m
- H_t = Altura en el tiempo t, m
- I_c = CO_2 Tasa de producción de, kg/ m^3 s
- I_v = Tasa de evaporación, kg/ m^3 s
- K = Parámetros de conductividad, W/m k; permeabilidad, m/s
- M = Contenido total de humedad, kg de agua / kg de material seco
- n = Dirección normal cuando sin subíndices, la masa de reflujos cuando con subíndices, en kg/s
- r = El calor de evaporación, J/kg
- p = Presión parcial, Pa
- R = Constante de gas universal, 8,314 J / mol k
- S = Saturación de agua, %
- t = Tiempo, s
- T = Temperatura, K
- T_a = Temperatura del horno, K
- T_{air} = Temperatura del aire circundante, K
- T_c = Temperatura de colapso, K
- T_r = Temperatura de la fuente de radiación, K
- T_s = Temperatura de la superficie, K
- T_o = Temperatura inicial de la muestra, K
- U = Vector de incremento de desplazamiento, m
- U = El volumen del colapso de la burbuja por unidad sin colapsar volumen de burbujas, sin dimensiones; velocidad, m / s
- V = Volumen, m^3
- W = El contenido de agua líquida en agua kg / kg de producto
- x = coordenadas espaciales, m; fracción molar con subíndice

x_L = Altura del producto, m

SIMBOLOS GRIEGOS

ρ = Densidad aparente en kg / m^3

P_m = Densidad de masa libre de gas, kg / m^3

P_o = Densidad colapso, kg / m^3

ϵ = Porosidad, %

α = Difusividad térmica, m^2 / s

τ =Tiempo de relajación, s

ϕ_o = Porosidad al inicio de la cocción, %

ξ_o = Distribución de diámetros de burbuja, m

λ = Calor latente, J/kg

LOS SUBÍNDICES

c = CO2

c = Convección

g = Gas, incluyendo el aire y otros componentes gaseosos

i = índices ficticios

r = radiación

s = sólido

v = Vapor de agua

w =Agua líquida

Fuente: (Arpita,M. A. K, 2008).

Hornear implica cambios de temperatura, contenido de humedad y de volumen que están fuertemente acoplados. La porción de modelado se ha desarrollado en la cocción teniendo en cuenta los fenómenos individuales que tienen lugar durante la cocción (Arpita,M. A. K, 2008).

Zhang y Datta (2006) desarrollaron un modelo teniendo en cuenta el transporte de calor y humedad que está completamente acoplado con un gran cambio de volumen.

Los autores desarrollaron ecuaciones de gobierno para el transporte de múltiples fases en un medio poroso basado en la conservación de la energía y tres especies de masa de agua líquida, vapor de agua y CO₂ gas como sigue: (Arpita,M. A. K, 2008).

Para ahorrar energía:

$$\frac{\partial(\sum \rho_i c_{\rho i})T}{\partial t} + \sum \rho_i c_{\rho i} \nabla \cdot (v_i T) = \nabla \cdot (k \nabla T) - \lambda I_v$$

Para la conservación de agua líquida:

$$\rho_s \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\rho_M}{\partial t} \frac{\partial(\nabla \cdot u)}{\partial t} = -\nabla \cdot n_w - I_v$$

Para la conservación de vapor de agua:

$$\epsilon(1-s) \frac{\partial \left(\frac{\rho_v M_v}{RT} \right)}{\partial t} + \frac{(1-s)\rho_v}{\partial t} \frac{\partial(\nabla \cdot u)}{\partial t} = -\nabla \cdot n_v + I_v$$

Para conservación CO 2

$$\epsilon(1-S) \frac{\partial \left(\frac{p_c M_c}{RT} \right)}{\partial t} + \frac{(1-S)\rho_c}{\partial t} \frac{\partial(\nabla \cdot u)}{\partial t} = -\nabla \cdot n_c + I_c$$

El flujo de vapor (nv) y el flujo de CO2 (nc) se deben a la presión total

Gradiente y difusión binaria

$$n_v = -\rho_v \frac{k_g}{\mu_g} (\nabla \rho_v + \nabla p_c) - M_v CD_{eff,g} \nabla x_v$$

$$n_c = -\rho_c \frac{k_g}{\mu_g} (\nabla \rho_v + \nabla p_c) - M_a CD_{eff,g} \nabla x_c$$

El transporte de agua líquida se debe al gradiente de presión del agua y puede describirse usando la Ley de Darcy.

$$n_w = -\rho_w \frac{k_w}{\mu_w} \nabla p_w = -\rho_w \frac{k_w}{\mu_w} \nabla (p_v + p_c) - \rho_w D_w \nabla M$$

(Arpita, M. A. K, 2008) también llevaron a cabo análisis de sensibilidad para cierto material propiedades para mostrar sus influencias relativas en la cocción.

Oportunidad existe para que estas ecuaciones acopladas sean resueltas utilizando métodos de diferencia finita o elemento finito mediante la aplicación condiciones iniciales y de frontera.

Del mismo modo, la mayoría de los modelos de simulación de difusión para el secado de alimentos consideran la difusión de agua líquida y vapor de agua como un fenómeno único (Arpita, M. A. K, 2008).

Desarrollaron una aparente difusión coeficiente que es una función del gradiente de concentración como resultado de la disminución del contenido de agua en la superficie.

Thorvaldsson y Janestad (1999) sugirieron que gradiente de concentración se produce no solo por el secado de superficie, pero también como resultado de la difusión de agua vapor hacia el centro. Ellos correlacionaron la difusión con la temperatura por la presión de vapor de agua parcial saturada (Arpita, M. A. K, 2008).

Desarrollaron un modelo matemático basado en Fourier y la ley de Fick para determinar la temperatura usando ecuaciones de transferencia de calor siguientes: (Arpita, M. A. K, 2008).

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \left(\frac{1}{\rho c_p} \right) \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{1}{c_p} \lambda \frac{\partial W}{\partial t}$$

$$\text{when } 0 < x < \frac{x_L}{2}, \quad t > 0$$

Se aplicaron las siguientes condiciones de contorno:

$$-k \left[\frac{\partial T}{\partial x} \right]_{x=0} = h_r (T_r - T_s) + h_c (T_{air} - T_s) - \lambda \rho_w D_w \left[\frac{\partial W}{\partial x} \right]_{x=0}$$

$$\left[\frac{\partial T}{\partial x} \right]_{x=x_L/2} = 0, \quad T(x, 0) = T_0(x), \quad 0 \leq x \leq x_L/2$$

CONCLUSIÓN

Esta investigación documental sobre el modelamiento matemático en el proceso de cocción del pan permite sacar las siguientes conclusiones.

- El modelo matemático para el proceso de cocción del pan, son mayormente utilizados en las pequeñas y medianas industrias panificadoras, con el fin de aumentar la calidad en el proceso de cocción del pan y en sí en el producto terminado, manteniendo sus aportes alimenticios además de ser eficiente en el proceso productivo.
- El modelo matemático en el proceso de cocción del pan estudiado analiza los parámetros que intervienen mediante la cocción, en esta investigación se encontraron variables de entrada y salida además de las perturbaciones que intervienen en el proceso de cocción, teniendo como resultado, que una cocción inadecuada de las mismas influye en la calidad del producto final.
- Para el modelamiento matemático es necesario analizar las variables y perturbaciones que intervienen en el proceso de cocción del pan con el objetivo de predecir el comportamiento del proceso de cocción de la misma, como la temperatura, humedad, volumen, conservación de energía, conservación del CO₂.
- Un buen modelo matemático en el proceso de cocción del pan, no es necesariamente una representación precisa, sin embargo, lo suficientemente conciso para brindar resultados valiosos y así libraría de incertidumbre a los panificadores.
- Este modelo matemático en la cocción del pan ayudaría en ser eficiente en el proceso de cocción del pan, el cual beneficiara a los panificadores obtener una producción eficaz y eficiente en el proceso estudiado y así tener una mejora de la calidad.
- Es posible brindar a la industria panificadora la ejecución de modelos matemáticos, que permitan analizar, estudiar la mayoría de parámetros y perturbaciones que interviene en el proceso de cocción del pan. El empleo del modelo matemático sería de gran ayuda para la toma de decisiones en cuanto al mejoramiento de la calidad del producto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Martín Ordoñez, G., Callejo Gonzáles, M. J., & Morata Barrado, A. (2015). *Tecnologías de elaboración de panes con masas madre: diseño y dimensionamiento de una línea de elaboración de pan con masa madre a escala piloto TRABAJO FIN DE GRADO.*
- Luis, B. (2016). ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL, 215.
- Rojas, P. Wilder, N. (2016). Wilder_Tesis_bachiller_2016, 142.
- Saúl, P., & Castillo, G. (2016). MODELACIÓN Y CONTROL DE UN SISTEMA DE CUATRO TANQUES ACOPLADOS, 119.
- Moreno, L., Tutor, P., Jesús, M., & González, C. (2014). DISEÑO DE UNA LINEA DE ELABORACIÓN DE PANES ESPECIALES: Revalorización del residuo la industria azucarera rico en fibra TRABAJO FIN DE GRADO, 116.
- Manuel, F. (2015). PROCESOS Y TECNICAS DE PANIFICACION, 87.
- Arpita, M. A. K, D. (2008). Bread baking - A review. *Journal of Food Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.11.014>
- Glynn, P., Unudurthi, S. D., & Hund, T. J. (2014). Mathematical modeling of physiological systems: An essential tool for discovery. *Life Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2014.07.005>
- Alim, L. (2010). Manual de Buenas Prácticas de Manufactura en Panaderías y Confiterías. *MINISTRO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA DE LA NACIÓN.*, 104.
- Universidad de Salamanca. (2017). Grupo de Investigación BESITE. Retrieved from <https://bisite.usal.es/es/investigacion/lineas-investigacion/robotica>
- ANEJO, I. (2012). Anejo I: Materias primas, 414.
- DIMITRIO, H, D. (2015). DIONICIO HERNANDEZ DILMER, 23.
- Andest, J. N., & Dalatu, P. I. (2013). Mathematical Model On Bread Baking. *International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES) ISSN (Online)*, 2(1), 2319–183. Retrieved from www.irjes.com
- Liliana, C. (2014). Universidad de San Carlos de Guatemala. *TESIS*, 122. Retrieved from http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1466_Q.pdf
- Mesas, J.M.;Alegre, M. T. (2012). Ciencia y Tecnología Alimentaria EL PAN Y SU PROCESO DE ELABORACIÓN. *Cienc. Tecnol. Aliment*, 3(5), 307–313. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72430508>
- Ingrid, A. (2014). Universidad Tecnológica Equinoccial, 126. Retrieved from http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5084/1/56814_1.pdf
- Melina, S. (2017). Modelamiento matemático en proceso industrial de producción de leche en polvo, 25.
- Zhang, J., & Datta, A. K. (2006). Mathematical modeling of bread baking process. *Journal of Food Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.058>
- Zhang, J., Datta, A. K., & Mukherjee, S. (2005). Transport processes and large deformation during baking of bread. In *AICHE Journal*. <https://doi.org/10.1002/aic.10518>

- Zanoni, B., Pierucci, S., & Peri, C. (2012). Study of the bread baking process - II. Mathematical modelling. *Journal of Food Engineering*, 16. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(94\)90057-4](https://doi.org/10.1016/0260-8774(94)90057-4)
- Purlis, E., & Salvadori, V. O. (2009). Bread baking as a moving boundary problem. Part 1: Mathematical modelling. *Journal of Food Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.09.037>
- Josè, M. (2011). Alimentación en España, 17.
- Alexander, Z.Christian, P. (2012). MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PAN MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS ESTADISTICAS EN LA PANIFICADORA ÉXITO EN EL MUNICIPIO DE DOSQUEBRADAS, 93. Retrieved from <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/3069/658151Z35.pdf;jsessionid=75A22C28EC50B8B3FAD3E66AB3AF4B6A?sequence=1>
- Quintero Gil, C. M., & Quijano, H. R. (2008). OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE LA ESPONJA LÌQUIDA DE PAN DE MOLDE A TRAVÈS DE UN DISEÑO FACTORIAL DE EXPERIMENTOS.
- Josè, M.Gabriela, R. (2010). UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE. “ESTUDIO DE LA INCIDENCIA DE INCORPORACIÓN DE PAPA DE VARIEDAD SUPERCHOLA (*solanium tuberosum*), COMO SUSTITUTO PARCIAL DE HARINA DE TRIGO (*triticum spp*) EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE PAN,” 15.