



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA ANÁLISIS Y
SELECCIÓN DE TORTILLA DE MAÍZ FABRICADA EN LA INDUSTRIA UTILIZANDO
PROCESAMIENTO DE IMÁGENES**

Diego Antonio Dávila Fuentes

Asesorado por M.A. Noé Josué Villegas de León

Guatemala, marzo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA ANÁLISIS Y
SELECCIÓN DE TORTILLA DE MAÍZ FABRICADA EN LA INDUSTRIA UTILIZANDO
PROCESAMIENTO DE IMÁGENES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DIEGO ANTONIO DÁVILA FUENTES
ASESORADO POR M.A. NOÉ JOSUÉ VILLEGAS DE LEÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, MARZO DE 2022

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	Inga. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
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 DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE TORTILLA DE MAÍZ FABRICADA EN LA INDUSTRIA UTILIZANDO PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 12 de enero de 2022.

Diego Antonio Dávila Fuentes



EEEFI-

Guatemala, 12 de enero de 2022

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE SISTEMA ELECTRÓNICO PARA ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE TORTILLA DE MAÍZ FABRICADA EN LA INDUSTRIA UTILIZANDO PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Análisis de datos - Análisis de datos**, presentado por el estudiante **Diego Antonio Dávila Fuentes** carné número **200914918**, quien optó por 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 Ingeniería Para La Industria Con Especialidad En Ciencias De La Computación.

Y 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 Décimo, 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.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Mtro. Noé Josué Villegas De León
Asesor(a)




Mtro. Mario Renato Escobedo Martinez
Coordinador(a) de Maestría




Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIME-0143-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE SISTEMA ELECTRÓNICO PARA ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE TORTILLA DE MAÍZ FABRICADA EN LA INDUSTRIA UTILIZANDO PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.**, presentado por el estudiante universitario **Diego Antonio Dávila Fuentes**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica

Guatemala, enero de 2022

LNG.DECANATO.OI.195.2022

La Decana 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 Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE TORTILLA DE MAÍZ FABRICADA EN LA INDUSTRIA UTILIZANDO PROCESAMIENTO DE IMÁGENES**, presentado por: **Diego Antonio Dávila Fuentes**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, marzo de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser el pilar fundamental en mi formación, carrera y familia.
Mis padres	Marco Dávila e Ileana de Dávila. Por ser la guía, ejemplo de perseverancia y disciplina. Por su amor y apoyo constante.
Mi esposa	Melissa de Dávila. Por su amor, apoyo y ser una importante influencia en mi vida y carrera.
Mi hijo	Joaquín Dávila. Por su amor y ser mi nueva fuente de inspiración y motivación.
Mi hermana	María Dávila. Por su amor, ejemplo, apoyo y motivación en mi vida y carrera.
Mis abuelitos	Eduardo Fuentes y Floridalma de Fuentes. Por su gran amor, consejos y apoyo durante mi vida y mi carrera.
Mis tíos	José y Jorge Fuentes, Rolando Dávila y Gustavo Sierra. Por su constante apoyo y consejos en mi vida y carrera.
Mis tías	Isabel de Sierra, Carmen y Sandra Dávila.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme las herramientas necesarias para poder desarrollarme en el área profesional.
Facultad de Ingeniería	Por ser el pilar del conocimiento adquirido durante mi formación académica universitaria.
Mis amigos de la Facultad	Jorge Top, Daniel Oxom, José Ruano, Silvio Urizar, Edgard Castañeda. Por su valiosa amistad.
M.A. Noe Villegas	Por su apoyo

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
4. JUSTIFICACIÓN.....	11
5. OBJETIVOS.....	13
5.1. General.....	13
5.2. Específicos.....	13
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN.....	15
7. MARCO TEÓRICO.....	19
7.1. Tortilla de maíz.....	19
7.2. Definición.....	19
7.3. Tipos de procesos para elaborar la tortilla de maíz.....	20
7.4. Nixtamalización.....	20
7.5. Proceso artesanal.....	20

7.6.	Proceso industrial.....	21
7.7.	Tipos de máquinas tortilladoras.....	22
7.8.	Tortilladora manual	22
7.9.	Tortilladora semiautomática	23
7.10.	Tortilladora automática industrial.....	24
7.11.	Partes de una tortilladora industrial	26
7.12.	Cabezal.....	26
7.13.	Cortador o troquel	27
7.14.	Columpio.....	28
7.15.	Comales.....	29
7.16.	Quemador	30
7.17.	Deslizadera	31
7.18.	Chasis.....	31
7.19.	Regulador de gas.....	32
7.20.	Carburador de gas	33
7.21.	Caja reductora.....	34
7.22.	Acomodador automático de tortilla	35
7.23.	Otros equipos utilizados durante para la fabricación de la tortilla de maíz.....	36
7.24.	Amasadora.....	36
7.25.	Fundamentos físicos y electrónicos de transductores eléctricos, señales análogas, digitales y su procesamiento	37
7.26.	Circuito eléctrico.....	37
7.27.	Corriente eléctrica	38
7.28.	Corriente alterna	39
7.29.	Corriente directa.....	40
7.30.	Voltaje	41
7.31.	Resistencia	41
7.32.	Potencia.....	42

7.33.	Luz	42
7.34.	Capacitancia	42
7.35.	Inductancia	42
7.36.	Transductor eléctrico	43
7.37.	Señales análogas	43
7.38.	Señales digitales	43
7.39.	Procesamiento de imágenes digitales.....	44
7.40.	Definición.....	44
7.41.	Imagen	44
7.42.	Data.....	45
7.43.	Análisis de datos/ data analytics	45
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	47
9.	METODOLOGÍA	51
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	57
11.	CRONOGRAMA.....	61
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	63
	REFERENCIAS	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama conceptual	16
2.	Diagrama conceptual	17
3.	Diagrama conceptual	17
4.	Diagrama conceptual	18
5.	Tortilladora manual	23
6.	Tortilladora semiautomática	24
7.	Tortilladora automática industrial.....	25
8.	Cabezal.....	26
9.	Cortador número 11	27
10.	Columpio.....	28
11.	Banda de comal	29
12.	Quemador	30
13.	Chasis.....	31
14.	Regulador de gas.....	32
15.	Carburador de gas	33
16.	Reductora	34
17.	Acomodadores de tortilla.....	35
18.	Amasadora.....	36
19.	Circuito eléctrico.....	38
20.	Corriente eléctrica	39
21.	Corriente alterna	40
22.	Corriente directa.....	41
23.	Tortilla en transportador de columpio	57

24.	Tortillas de maíz saliendo del cabezal hacia la banda de comales. Izquierda imagen a color, derecha imagen tratada con bordes de Canny	58
25.	Tortilla de maíz en transportador de columpio. Izquierda imagen a color, derecha imagen tratada con bordes de Canny	59
26.	Imagen de tortillas en transportador del columpio tratadas con bordes de Canny	60

TABLAS

I.	Cronograma de actividades	61
II.	Distribución de las fechas para las fases establecidas	64

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
(I)	Corriente eléctrica
(m)	Metro
(mm)	Milímetro
(nm)	Nanómetro
(W)	Potencia
(P)	Presión
(R)	Resistencia eléctrica
(V)	Voltaje

GLOSARIO

Bacteria	Organismo microscópico unicelular, carente de núcleo, que se multiplica por división celular sencilla o por esporas.
Envasado	Acción de envasar.
Envasar	Introducir en un envase alimentos líquidos, sólidos u otra cosa para guardarlos o para transportarlos de un lugar a otro.
Mantenimiento	Hecho de mantener una cosa en determinado estado o situación.

RESUMEN

El diseño de un sistema electrónico para el análisis y selección de tortilla de maíz fabricada en la industria utilizando el procesamiento de imágenes, tiene como fin describir los diferentes componentes que se deben utilizar para su implementación y de esta manera poder mejorar los procesos en la industria de alimentos, específicamente para la tortilla de maíz.

La implementación del procesamiento de imágenes digitales en el proceso de fabricación de la tortilla de maíz busca ser un sistema que sea capaz de adquirir grandes cantidades de información durante la producción de la tortilla, la cual debe de ser procesada en tiempo real para la toma de decisiones según corresponda el caso. La industria para la tortilla de maíz está en crecimiento y la maquinaria utilizada no suele ser con avances tecnológicos. Durante los procesos de fabricación se suelen realizar procesos manuales los cuales comprometen la integridad del producto y posibles fuentes de contaminación para los consumidores.

En una imagen obtenemos una gran cantidad de información la cual se puede procesar y comparar con patrones previamente establecidos. Los cuales se pueden utilizar para tomar decisiones en función de las imágenes constantemente captadas. Estas imágenes deben de ser tratadas con técnicas digitales para lograr una correcta interpretación según las variables físicas a observar cómo lo son: forma, tamaño, color, borde.

1. INTRODUCCIÓN

Esta investigación busca resolver el problema de costos elevados en la elaboración de tortilla de maíz en la industria tortillera de Guatemala, diseñando un sistema capaz de poder reducir la mano de obra operativa y eficientizar el proceso de fabricación de la tortilla, mediante la ayuda del análisis de datos en procesamiento de imágenes digitales con sistemas electrónicos, que permitan tomar decisiones automáticas en función de lo observado por el sistema. En promedio actualmente se obtiene un 2 % de merma por mala manipulación, defectos o sobrantes de masa durante la producción. Adicional en el proceso de producción se encuentra la limitante de la cantidad del personal disponible para conteo y empaque.

Se propone el diseño de un sistema electrónico que tenga la capacidad de monitorear las tortillas que salen crudas de la máquina tortilladora a través de tomas de imágenes de las tortillas, procesar la información y determinar mediante su forma si es apta para conteo y empaque.

De tal manera que el proceso de producción sea fluido, con menos manipulación e incremente su producción diaria. Se estudiarán sistemas electrónicos para toma de imágenes en movimiento, procesamiento de imágenes digitales y análisis de datos para toma de decisiones. Los retos principales que se conocen previo a esta investigación suelen ser: posicionamiento del objeto a estudiar, ya que este se mantiene en constante movimiento, velocidad de movimiento sobre la banda de transporte y temperatura del medio ambiente donde será instalado.

2. ANTECEDENTES

Herrera, *et al.*, (2017), realizan el estudio que consiste en diseñar un sistema automático de selección de limón persa, basado en discriminación por color. Los datos se recolectan a través de una cámara web. Los objetivos son seleccionar limones de forma automática utilizando la discriminación por color. La cámara utilizada para la inspección establece las condiciones necesarias para el procesamiento de imágenes, realizando el análisis y segmentación color y forma, el cual determina sus características y calidad. La relación de este estudio con el propuesto es la utilización de un sistema electrónico, el cual analiza y procesa con la ayuda de un software las imágenes, para luego determinar mediante una toma de decisiones, la tortilla que sea aceptada para la venta.

Moreno, Trejo, Lizárraga, Cabal y Carrillo (2017), realizaron un estudio para determinar el punto de madurez en cerezas aplicando procesamiento de imágenes digitales, presentan la propuesta de un algoritmo que segmenta las imágenes de cerezas, a través de operaciones matemáticas, logrando detectar bordes y círculos. Este trabajo busca ser una base en el entorno industrial, para las aplicaciones de clasificación y detección de cerezas. Este tiene una relación con el diseño propuesto debido a que se basan en el procesamiento digital de imágenes mediante detección de bordes y círculos, siendo la tortilla de forma circular.

Suarez y Villavicencio (2017), realizaron un estudio de detección de contornos utilizando algoritmos Canny, las autoras se enfocan en el análisis de imágenes de distintos espectros fusionados y el uso de filtros morfológicos.

Buscaron reducir el ruido en las imágenes utilizando GQM por sus siglas del inglés (goal-question-metrics) y corroborar la calidad de los bordes detectados al aplicar el filtro morfológico. Este estudio se relaciona debido a que se busca utilizar los bordes canny para el procesamiento de las imágenes, y considerar si para su aplicación se debe tener algún filtro que ayude a minimizar los errores de lectura.

Viera (2017) elaboró un trabajo donde estudia la clasificación del cacao, y también busca establecer los conceptos básicos para el desarrollo de la visión artificial en el campo de la agroindustria. El objetivo principal es desarrollar un sistema de visión artificial que pueda clasificar los granos de cacao según características externas como la fase final de secado y su tamaño. Este trabajo de investigación hace referencia y establece los conceptos básicos para el desarrollo de la visión artificial, aplicado al cacao. La relación que este tiene con el diseño propuesto es que utiliza las mismas bases y conceptos a utilizar para lograr la detección de la tortilla y analizar mediante software para toma de una decisión.

Gamboa y Campañone (2018) hicieron un estudio de análisis digital de imágenes para evaluar el encogimiento de fresas sometidas a tecnologías emergentes de procesamiento. Este estudio tiene relación directa con el diseño propuesto ya que su área de estudio es el análisis digital de imágenes.

Jerónimo y Sossa (2018) en su estudio para reconocer objetos cuasi planos a través de un sistema de procesamiento de imágenes digitales que son procesadas con una Raspberry Pi. También describen un sistema embebido para el reconocimiento de objetos cuasi planos. El sistema combina técnicas estándar de tratamiento digital de imágenes. La detección de objetos a través de la cámara del sistema utiliza un clasificador típico de distancia euclidiana. El sistema tiene

una cámara conectada hacia una plataforma tipo Raspberry Pi. Este estudio tiene relación con el diseño propuesto ya que las tortillas son objetos cuasi planos.

Vélez (2018), en el cual realizó un trabajo de investigación basado en el procesamiento de Imágenes digitales, con el objetivo de analizar de forma matemática haciendo uso de computadoras. Su estudio se enfoca en imágenes a color, en blanco y negro y superposición de dos imágenes. Define las herramientas a utilizar como lo es la relación entre pixeles, color, conectividad, distancia, ruido en imágenes, procesamiento espacial. También una descripción de las operaciones aritméticas, lógicas y transformaciones geométricas. Procesamiento en el dominio de la frecuencia, series y transformadas de Fourier. En el proyecto propuesto parte del análisis de imágenes utilizando herramientas matemáticas las cuales están también descritas en esta investigación y forman parte de la base para poder realizar el diseño propuesto.

Acuña (2020) expone un estudio sobre la clasificación de limón utilizando visión artificial con una Raspberry pi, donde se busca reducir los costos del proceso y mejorar la calidad del producto.

Esta investigación utiliza visión artificial y análisis de imágenes como datos para luego con estos tomar decisiones o realizar una función en específico, lo cual será analizado en esta investigación.

Castillo (2020) sistema seleccionador de botellas mediante visión artificial haciendo uso de Raspberry pi, en el cual estudia el análisis y selección de botellas con diferentes niveles de líquido, con o sin tapa. Desarrolla y explica una aplicación de la visión artificial en el ámbito industrial. Basándose en utilizar equipos de bajo costo y lenguajes de programación “open source” para lograr el control de una cámara industrial y el desarrollo de una interfaz para el usuario

que le permita configurar el sistema de forma sencilla. También detalla los materiales requeridos para la fabricación de un prototipo que funcione controlado por una Raspberry pi. Este tiene una relación con el diseño propuesto ya que se busca realizar un análisis mediante visión artificial haciendo uso de dispositivos de bajo costo.

Nivia, Zulema, Mendoza y Castillo (2021) llevaron a cabo un estudio basado en una aplicación del algoritmo de detección de bordes Canny en procesos alimentarios, la detección de bordes mediante Canny para la estimación del tamaño de productos en una faja transportadora. Una aplicación evalúa continuamente imágenes de una cámara y al estímulo de un sensor de varilla o similar hace el cálculo de área. Este tiene una relación con el estudio propuesto ya que la elaboración de tortilla es un proceso alimentario el cual puede ser evaluado mediante Canny y sale de la máquina en una banda transportadora.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- Contexto general

Actualmente en la fabricación de tortillas, se utilizan 3 personas para la operación de una máquina tortilladora, que fabrica un aproximado de 3500 tortillas por hora, la distribución del personal es el siguiente: una persona que alimenta con masa y verifica que la tortilla cruda que sale de los rodillos cortadores sale con la forma correcta y sin defectos. Una segunda persona encargada de recibir la tortilla ya cocinada y colocarla de forma ordenada para su posterior conteo realizado por una tercera persona quien también empaca en bolsas de 25 o 50 unidades según el caso. Se ha realizado un estudio para encontrar un tipo de medición indirecta en el conteo de tortilla a través del peso, sin embargo, no ha sido satisfactorio debido a que cada tortilla tiene un peso diferente, lo cual da una desviación estándar de 4 tortillas por cada 25 tortillas o 16 por cada 100.

- Descripción del problema

El incremento en los costos de producción debido a la alta cantidad de operadores es uno de los puntos críticos en el factor costo del producto final. Adicional la manipulación del producto y procesos manuales son factores que comprometen la vida útil e integridad del producto, esto genera alto desperdicio y vuelve más lento el proceso, provocando que la producción diaria sea más baja que la capacidad de producción de la maquinaria, por consecuencia los costos por tortilla se elevan, y bajan la competitividad en el mercado.

- Formulación del problema

- Pregunta central

¿Cómo disminuir el costo de operación de una máquina para fabricar tortilla de maíz en la industria, implementando sistemas electrónicos y análisis de datos?

- Preguntas auxiliares

- ¿Cómo identificar algún defecto en la tortilla de manera automática con el uso de dispositivos electrónicos y software?
 - ¿Cómo se reduce la manipulación de la tortilla al utilizar dispositivos electrónicos que cuenten y procesen la información para que dispositivos mecánicos la apilen previo a su empaque?
 - ¿Cómo simplificar procesos de producción de tortilla de maíz con dispositivos electrónicos y mecánicos?
 - ¿Cuáles dispositivos de bajo costo pueden cumplir con las características para ser utilizados en el procesamiento de imágenes en una máquina para fabricar tortillas de maíz?

- Delimitación del problema

El trabajo de investigación se realizará en una empresa dedicada a la fabricación de tortilla de maíz ubicada en la zona 11 de Mixco de la ciudad de Guatemala. Esta será para una máquina tortilladora de rodillos con capacidad de 3500 tortillas por hora, 3 comales y un enfriador lateral utilizando moldes No. 12, 14 y 16 cm de diámetro.

El estudio se enfocará en buscar defectos de forma automática en la forma de la tortilla de maíz blanca de 11 cm de diámetro, con grosor aproximado de 1mm.

4. JUSTIFICACIÓN

Esta investigación busca contribuir en establecer las bases para la automatización de las máquinas para fabricar tortillas de maíz en la industria guatemalteca, mejorando los procesos de higiene durante la producción e inocuidad de los alimentos.

El análisis de datos en el procesamiento de imágenes es utilizado frecuentemente como herramienta en la industria, para entender, simplificar procesos y toma de decisiones. La tortilla y algunos otros productos derivados del maíz forman parte de los alimentos diarios en nuestra sociedad, estos alimentos son diariamente procesados de formas artesanales e industriales.

Dado a que el proceso que típicamente se realiza es artesanal estos usualmente no cumplen con los estándares apropiados de higiene, como por ejemplo la manipulación constante de los mismos durante su elaboración. En el caso de la elaboración de la tortilla de maíz en la industria se utiliza maquinaria encargada de fabricar este alimento en altas cantidades, el proceso no es completamente automático lo que significa que conlleva una manipulación, provocando que al igual que su proceso artesanal este se exponga a contaminación por operadores al momento de su seleccionar y apilamiento. En este punto se depende de la constante y buena higiene de manos para evitar contaminaciones en el producto que puedan afectar al consumidor o dañar los alimentos dentro de su empaque. En procesos industriales como lo son formadores de objetos plásticos, colocadores de tapas en envases, seleccionadoras de productos entre muchos otros, se han implementado sistemas de visión artificial que monitorean los productos para su análisis y

selección de manera automática, simplificando los procesos de fabricación reduciendo en gran medida la manipulación de ellos y bajando los costos de operación. Sin embargo, en la actualidad no se cuenta con un sistema que realice esta tarea en la industria de la fabricación de tortilla.

Con esta investigación se busca diseñar un sistema capaz de monitorear de manera automática las tortillas al salir de la máquina tortilladora utilizando una cámara para la toma de imágenes y luego ser procesada para toma de decisiones. Existe la posibilidad de analizar variables y verificaciones como, por ejemplo: formación correcta, existencia de algún agujero y color de la tortilla para verificación de la cocción sin exponer el producto a manipulaciones que lo puedan contaminar y dañar. Con esto se busca reducir los costos de producción al fabricar la tortilla, ya que, de 3 personas necesarias para la fabricación en procesos estándares y apilamiento de tortilla, se estima que se reduzca a 1 persona, esto permite incrementar la competitividad en el mercado. En el proceso actual, una persona es la encargada de alimentar una máquina con la masa para elaborar 3000 tortillas por hora y verificar que las que entren a los comales no tengan algún desperfecto, la segunda persona es la encargada de retirar la tortilla de la máquina ya cocida y apilarla de manera ordenada para su conteo y empaque. La tercera persona es la encargada de contar y empacar, en bolsas con 25 unidades cada una.

Dado a que actualmente es un proceso semiautomático la producción diaria con 3 personas en una jornada de 8 horas es en promedio de 6000 tortillas ya empacadas, en un proceso automático hasta su empaque se estima que la producción diaria puede llegar a ser de 18,000 tortillas diarias utilizando 1 persona para su producción.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar un sistema electrónico que reduzca el costo de operación para la producción de tortilla de maíz hecha con maquinaria industrial haciendo uso de IOT y machine learning.

5.2. Específicos

- Analizar técnicas en procesamiento de imágenes y datos, con el uso de dispositivos electrónicos y software, para identificar defectos en tortillas de maíz.
- Proponer una alternativa electrónica para reducir la alta manipulación de la tortilla de maíz durante su fabricación y su empaque.
- Proponer una alternativa electrónica para reducir costos operativos en el proceso de operación de la máquina tortilladora.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN

En los procesos alimenticios, existe la necesidad de mantener buenas prácticas de manufactura, para no exponer la salud del consumidor. En el proceso de producción de la tortilla igualmente que otros procesos comerciales, es necesario reducir costos para ser competitivos en el mercado.

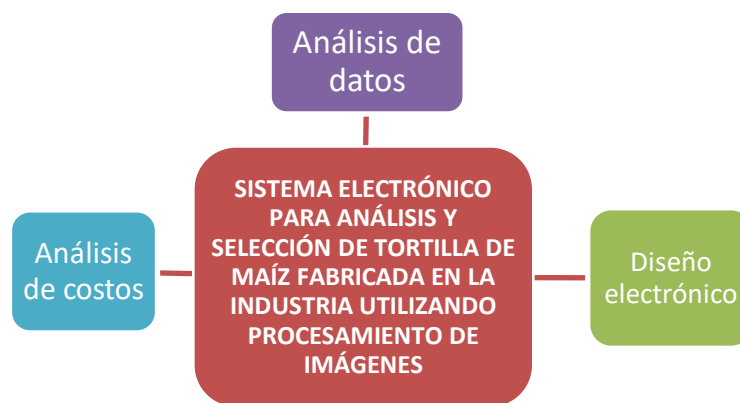
El proceso de la investigación consta de la fase de análisis de los dispositivos electrónicos a utilizar para la adquisición de datos, que sean económicamente viables y funcionales para el objetivo de la investigación. En este análisis también se estudiarán las herramientas factibles, como softwares para procesamiento de datos y las diferentes técnicas para el procesamiento de imagen y toma de decisiones según la información obtenida.

Es necesario estudiar la cantidad y tipo de señales electrónicas de entradas y salidas, como lo son el tipo de cámara fotográfica a utilizar, tipo de computadora o dispositivos electrónico para su procesamiento. El software de apoyo para el procesamiento de imágenes. Los diferentes sensores necesarios para entradas en el sistema y componentes necesarios para manejo de las salidas del sistema. En base a la investigación realizada, proponer un diseño de sistema electrónico para análisis y selección de tortilla de maíz fabricada en la industria utilizando procesamiento de imágenes.

Para cubrir la solución para este problema se dividirá de la siguiente manera:

- **Diseño electrónico:** diseño del sistema electrónico encargado del manejo de los sensores, entradas y salidas del sistema. En principio se considera el uso de una cámara web para toma de fotografías, un controlador Raspberry-pi para conexión con sensores, cámara y procesamiento de imágenes, sensores ópticos como identificadores de objetos para toma de fotografía y para contar la tortilla, relevadores para control de componentes de mando, tipo electromecánicos.
- **Análisis de datos:** procesamiento de cada imagen capturada, esta debe de ser un aproximado de 50 imágenes por minuto, la cual debe ser comparada con un patrón previamente establecido, y tomar la decisión si dejar pasar o eliminar de la ruta de producción.
- **Análisis de costos:** análisis de costos del sistema, desde su implementación, uso y mantenimiento. Con relación a los costos operativos de producción de la máquina con operadores.

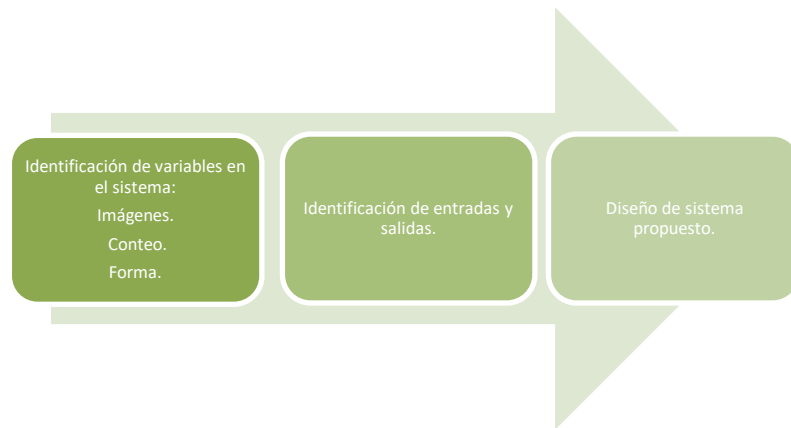
Figura 1. **Diagrama conceptual**



Fuente: elaboración propia.

- Diseño electrónico

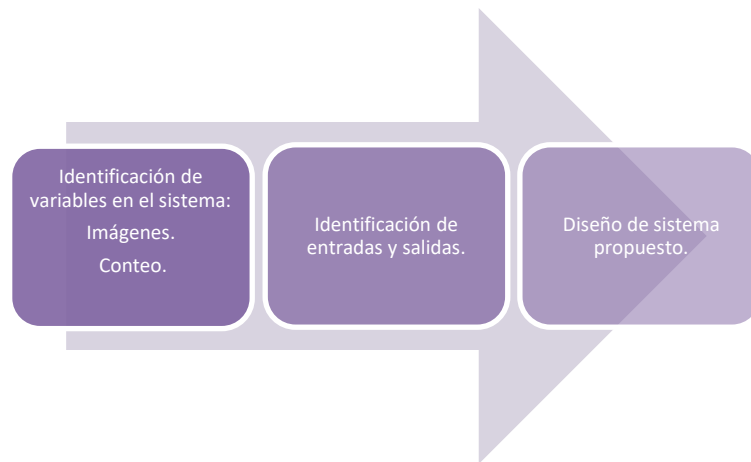
Figura 2. **Diagrama conceptual**



Fuente: elaboración propia.

- Análisis de datos

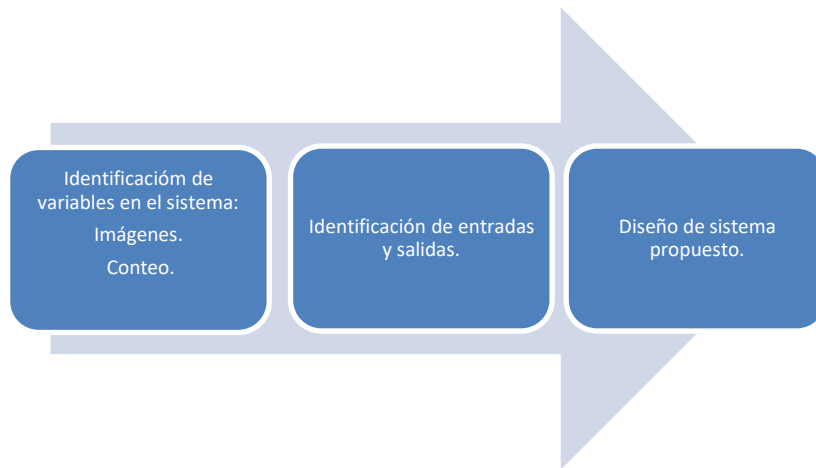
Figura 3. **Diagrama conceptual**



Fuente: elaboración propia.

- Análisis de costos

Figura 4. **Diagrama conceptual**



Fuente: elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Tortilla de maíz

Este es considerado como uno de los alimentos con mayor consumo y aceptación por la sociedad guatemalteca, en su mayoría con fabricación artesanal y no industrial, esta tendencia ha ido cambiando principalmente para los departamentos de Huehuetenango y Quetzaltenango quienes han aceptado el consumo de tortilla fabricada con máquina por su mejora de calidad y forma práctica de adquirir, así como su alta demanda.

7.2. Definición

Alimento a base de maíz plano, de aproximadamente 3 mm de grosor, redondo y suave que forma parte del alimento diario en la cultura guatemalteca y otras culturas en la región de Centro América y México. Se cocina al fuego mediante el uso de comales y suele comerse sola o rellena de algún acompañamiento.

7.3. Tipos de procesos para elaborar la tortilla de maíz

La elaboración de la tortilla de maíz inicia en la preparación de la masa de maíz. Esto se puede realizar de dos maneras: mediante el proceso de Nixtamalización o a través del uso de harina de maíz.

7.4. Nixtamalización

La nixtamalización es el proceso de cocción del maíz en el cual pasa por un tratamiento a una concentración de 0,17 % - 0,58 % con hidróxido de calcio (agua y cal viva) a una temperatura de 85 °C – 90 °C, por aproximadamente 15 minutos, la cantidad de agua suele ser de 355 litros por cada tonelada de maíz, para luego dejarlo reposar por un aproximado de 12 a 14 horas.

Al finalizar este tiempo se lava de 2 a 3 veces para remover residuos de cáscara y cal, para luego ser molido utilizando una piedra de moler o un molino de cuchillas y obtener la masa nixtamalizada utilizada como base para la elaboración de las tortillas y otros alimentos derivados del maíz.

7.5. Proceso artesanal

Se coloca la masa junto al área de cocción conocido como comal. Personas toman manualmente una porción de masa buscando formar una esfera y luego palmearlas para moldear discos de forma circular con un grosor aproximado a 3 mm. Esto se coloca sobre un comal precalentado y preparado previamente con antiadherente, cociendo primero un lado y luego manualmente voltearlas hacia la otra cara y lograr una cocción total de la masa.

Usualmente en este proceso se involucran de 1 a 4 personas según la demanda de elaboración con una capacidad de entrega aproximada de 3 tortillas por minuto por cada persona.

Al cocinarlas estas suelen ser entregadas para su transporte en una manta que cada persona lleva consigo hacia el punto de venta conocido como tortillería o en su defecto en bolsa plástica.

Negocios particulares son ubicados en varios puntos de las comunidades, estos suelen ser abundantes ya que están al alcance de la mayoría de los hogares a una distancia que se alcanza fácilmente caminando.

7.6. Proceso industrial

La producción de la tortilla de maíz industrial inicia con el proceso de nixtamalización o bien con el uso de harinas de maíz. El proceso utilizado en el campo de estudio ha sido a partir del uso de harina de maíz.

La harina debe de ser hidratada para lograr una consistencia pastosa, lo cual se conoce como masa de maíz, esta suele tener una proporción de hidratación definida por el fabricante de la harina, la cual está en promedio en 42 litros de agua por cada 100 libras de harina. Una vez obtenida la masa se coloca en porciones de aproximadamente 2 libras en la máquina tortilladora.

Se aplica antiadherente y se precalientan los comales de la máquina tortilladora a 305 °C, se coloca la masa en la tolva o rodillos según sea el tipo de maquinaria, se ajusta el tamaño y grosor de la tortilla que se desea fabricar y luego se inicia la alimentación de las tortillas crudas hacia los comales.

Esta pasa a través de tres comales donde automáticamente se voltea la cara para que salgan correctamente cocinadas.

Salen hacia un transportador enfriador el cual las lleva a un punto de recolección, según sea el caso la máquina puede tener un equipo opcional para recibir la tortilla y ordenarla automáticamente. Esta se apila y se empaca en bolsa plástica para su traslado y venta.

7.7. Tipos de máquinas tortilladoras

La industria de tortilla se ha desarrollado a lo largo del tiempo buscando lograr un incremento en su producción haciendo uso de maquinaria para la elaboración de esta. En el mercado actual se pueden encontrar máquinas de diferentes materiales y tecnologías según la demanda necesaria de cada comercio.

7.8. Tortilladora manual

Esta es una máquina que se caracteriza por realizar el movimiento de sus mecanismos a través de fuerza manual. La velocidad de producción es dependiente de la persona que mueve la maquinaria, sus costos de energía son mínimos pero su capacidad de producción es baja.

Figura 5. **Tortilladora manual**



Fuente: Industrias Verduzco. (2021). *Tortilladora manual*. Consultado el 10 de octubre de 2021.
Recuperado de <https://arisa.mx/tienda/tortilladora-manual-gonzalez-tm-g/>

Máquina de rodillos fabricada de aluminio la cual tiene como fuente de energía una manivela que realiza el movimiento hacia sus mecanismos para sacar la masa en forma de disco plano y luego manualmente ser colocada en un comal independiente. Esta puede realizar una producción aproximada de 14 tortillas crudas por minuto. Suelen ser utilizadas en negocios pequeños que tienen un consumo regular de tortilla.

7.9. Tortilladora semiautomática

La tortilladora semi automática es una máquina de producción más alta que la manual, pero más baja que una automática, esta no cuenta con sistema de comales, por lo que la tortilla debe de colocarse manualmente en los comales para su cocción.

Figura 6. **Tortilladora semiautomática**



Fuente: Grupo Tortimax. (2021). *Tortilladora semiautomática*. Consultado el 10 de octubre de 2021. Recuperado de <http://www.máquinastortilladorasmanuales.com/semiautomaticas.html>

Máquina que tiene como fuente de movimiento un motor eléctrico, esta tiene una capacidad aproximada de producción de 20 tortillas crudas por minuto, la tortilla debe de ser trasladada manualmente hacia los comales, donde se cocinará de forma manual. Cuenta con un motor monofásico de 0.5 HP, con alimentación eléctrica 110V-220V. Puede encontrarse en restaurantes donde tienen un consumo elevado de tortilla.

7.10. Tortilladora automática industrial

Es una máquina con capacidad de producción alta, la cual cuenta con un conjunto de sistemas para elaborar la tortilla de forma automática, esta cuenta con un sistema de comales para la cocción automática de la tortilla.

Figura 7. **Tortilladora automática industrial**



Fuente: Tortilladoras Lenin. (2021). *Tortilladora industrial*. Consultado el 11 de octubre de 2021.
Recuperado de <https://tortilladoraslenin.com/productos/tortilladoras-maíz/rodillos/>

Máquina para elaborar tortillas de maíz de diferentes medidas, según tamaño de molde este puede ser desde 5 cm hasta 20 cm de diámetro, con capacidad de producción de 3000 tortillas por hora, el grosor de la tortilla puede ser calibrado entre 0.6 mm. a 3 mm.

Especificaciones técnicas:

- Temperatura mínima del horno 80 °C
- Temperatura máxima del horno 380 °C
- Suministros: GLP, energía eléctrica.
- Alimentación eléctrica: 220 VAC monofásico.
- 24 quemadores de gas.
- 3 comales.
- Capacidad máxima: 3000 tortilla por hora.
- Velocidad variable: No.
- Encendido electrónico: No.

7.11. Partes de una tortilladora industrial

La tortilladora industrial cuenta con diferentes dispositivos para su correcto funcionamiento, cada uno de ellos realiza una función específica en la máquina. Estos dispositivos pueden variar según el modelo y tipo de máquina.

7.12. Cabezal

El cabezal es una de las partes fundamentales de la tortilladora, ya que en él se encuentran componentes que tienen como función recibir la masa cruda y dar forma circular con superficie plana, a la tortilla para luego ser recibida por el columpio.

Figura 8. Cabezal



Fuente: Tortilladoras Lenin. (2020). *Cabezal*. Consultado el 11 de octubre de 2021. Recuperado de <https://tortilladoraslenin.com/productos/tortilladoras-maíz/rodillos/>

Sección de máquina tortilladora que consta de 2 rodillos alimentadores y 1 tercer rodillo troquelador. En esta sección también se encuentra la caja de transmisión mecánica, para el control del abastecimiento de tortilla para los comales.

7.13. Cortador o troquel

El corte y forma de la tortilla se logra a través de cortador o troquel. El cual tiene como función girar de manera sincronizada con los rodillos del cabezal, estos existen en diversas formas y tamaños según sea el producto que se necesite elaborar.

Figura 9. Cortador número 11



Fuente: [Fotografía de Diego Antonio Dávila Fuentes]. (Mixco, Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

Rodillo plástico no adherible utilizado para cortar y dar forma al producto que se desea fabricar en la máquina tortilladora, este puede variar de tamaños y formas ya que también podría fabricarse productos triangulares o rectangulares.

7.14. Columpio

La transferencia de la tortilla desde los cabezales hacia las bandas de comales se logra a través de este componente, el cual está conformado por dos rodillos y una sección plana los cuales trabajan de manera sincronizada con el cortador y los rodillos del cabezal, con el objetivo de recibir y transferir la tortilla hacia la banda de comales.

Figura 10. **Columpio**



Fuente: Industrias Verduzco. (2020). *Columpio*. Consultado el 11 de octubre de 2021.

Recuperado de <https://www.tortilladoras.com.mx/producto/columpio/>

Sección de la máquina donde se transporta la tortilla formada en el cabezal hacia los comales, esto lo realiza haciendo uso de una banda transportadora metálica, la cual tiene sincronía con la velocidad del cabezal.

7.15. Comales

Para la cocción de la tortilla se hace uso de los comales, estos pueden ser fijos o móviles. Para el caso de la elaboración de la tortilla manual o semi automática se hace uso de los comales fijos, y los comales móviles se utilizan en las máquinas automáticas.

Figura 11. **Banda de comal**



Fuente: Industrias Verduzco, (2020). *Banda de comal*. Consultado el 11 de octubre de 2021.
Recuperado de <https://www.tortilladoras.com.mx/producto/bandas-metalicas-comales-bc/>

Bandas metálicas unidas con bisagras entre sí, estos tienen como función principal transmitir la energía térmica hacia la tortilla y dar la cocción de una

manera controlada a ambos lados de la tortilla, la máquina consta de 3 comales que se mueven a la misma velocidad, estos se encuentran instalados en cascada con el fin de dar la vuelta a la tortilla y cocer ambos lados.

7.16. Quemador

En los sistemas de calefacción de gas se utilizan los dispositivos llamados quemadores, estos pueden variar en cuanto a forma y tamaño según sea la necesidad del diseño requerido, también pueden variar en función del tamaño del objeto a calentar y la temperatura que se desea alcanzar.

Figura 12. **Quemador**



Fuente: Industrias Verduzco. (2020). *Quemador*. Consultado el 11 de octubre de 2021.

Recuperado de <https://www.tortilladoras.com.mx/producto/boquillas/>

Dispositivo que facilita la mezcla del gas con oxígeno para generar una llama la cual se utiliza para calentar los comales, esta llama debe tener una coloración específica para lograr una máxima transferencia de energía.

7.17. Deslizadera

Componente mecánico de la tortilladora, utilizada para transferir la tortilla de un comal hacia otro de manera controlada. Este suele trabajar a una temperatura alta para lograr un mejor control en la transferencia de la tortilla.

7.18. Chasis

Estructura metálica utilizada para dar rigidez y soporte a las diferentes partes que componen la tortilladora. Esta parte también funciona como medio de conducto del gas hacia los quemadores desde la entrada de gas.

Figura 13. **Chasis**



Fuente: [Fotografía de José Julián Contreras]. (Monterrico, Santa Rosa. 2021). Colección particular. Guatemala.

El tamaño del chasis varía según el diseño del fabricante, este suele tener 3 niveles para la instalación de 3 bandas de comales.

7.19. Regulador de gas

Dispositivo que se utiliza como segunda etapa de regulación para controlar la presión del suministro de gas hacia la máquina tortilladora. Este es conocido como regulador de baja presión de alto consumo, se instala a la entrada del suministro de gas de la tortilladora.

Figura 14. Regulador de gas



Fuente: Catálogo Rego. (2020). *Regulador de gas*. Consultado el 11 de octubre de 2021.

Recuperado de <https://www.regoproducts.com/PDFs/L-102SV.pdf>.

Especificaciones:

- Conexión de entrada $\frac{3}{4}$ "HNPT.
- Conexión de salida $\frac{3}{4}$ "HNPT.
- Rango de ajuste 9-13" wc.
- Ajuste de presión 11 "wc.
- Capacidad 1,600,000 btu/h.

7.20. Carburador de gas

El gas debe de mezclarse con oxígeno para lograr ser eficiente en su combustión, el carburador de gas es un dispositivo mecánico el cual se mueve con el motor principal de la máquina para inyectar aire del exterior a la entrada de gas. Este permite regular la cantidad de aire en la entrada de la mezcla.

Figura 15. Carburador de gas



Fuente: Industrias Verduzco. (2020). *Carburador de gas*. Consultado el 11 de octubre de 2021.
Recuperado de [https://www.tortilladoras.com.mx/valvulas-carburadoras-1/#iLightbox\[postimages\]/0](https://www.tortilladoras.com.mx/valvulas-carburadoras-1/#iLightbox[postimages]/0)

Dispositivo mecánico encargado de realizar la mezcla de aire y gas para regular la combustión de la llama en los quemadores.

7.21. Caja reductora

La máquina realiza su movimiento a través de un motor eléctrico monofásico, el cual rota a una alta velocidad con relación a lo necesario en la máquina, por tal motivo se utiliza una caja reductora la cual reduce la velocidad angular y aumenta el torque, de tal manera que se pueda utilizar un motor eléctrico como fuente de movimiento.

Figura 16. Reductora



Fuente: Industrias Verduzco. (2020). *Reductor*. Consultado el 11 de octubre de 2021.

Recuperado de <https://www.tortilladoras.com.mx/0reductoras>

Dispositivo mecánico que realiza la función de transferir el movimiento rotacional de forma síncrona entre los diferentes mecanismos de la máquina, esto lo hace transformando el movimiento que le transfiere el motor eléctrico de alta velocidad a una baja velocidad y mayor torque.

7.22. Acomodador automático de tortilla

La tortilla sale de forma independiente de la banda de comales, para su venta es necesario apilarla y ordenarla. Esto se logra a través del uso de un acomodador de tortilla automático, este suele ser un accesorio opcional ya que algunas industrias apilan la tortilla de forma manual.

Figura 17. Acomodadores de tortilla



Acomodador de banco



Acomodador aéreo

Fuente: Industrias Verduzco. (2020). *Acomodadores de tortilla*. Consultado el 11 de octubre de 2021. Recuperado de <https://www.tortilladoras.com.mx/acomodador-especial-1/>

Accesorio utilizado en las tortilladoras para apilar de forma automática la tortilla. Este consta de una deslizadora y un sistema vibrador que centra la tortilla dentro de un contenedor conocido como vaso. Se dividen en dos tipos de acomodadores, aéreo y de banco.

7.23. Otros equipos utilizados durante para la fabricación de la tortilla de maíz

Durante el proceso para elaborar la tortilla de maíz es necesario utilizar otros equipos, los cuales sirven para poder trabajar la materia prima a la misma o superior velocidad de fabricación de las tortillas, con el objetivo de lograr una línea de producción constante.

7.24. Amasadora

En la industria se suele utilizar harina de maíz para elaborar la masa necesaria que la tortilladora consume durante el proceso de producción de la tortilla. La harina debe ser hidratada de manera homogénea para lograr buenos resultados durante la producción de la tortilla. Esto se logra a través de la amasadora.

Figura 18. **Amasadora**



Fuente: Industrias Verduzco. (2020). *Amasadora*. Consultado el 11 de octubre de 2021.
Recuperado de <https://www.tortilladoras.com.mx/producto/amasadora-de-acero-inoxidable/>

Amasadora automática de acero inoxidable con capacidad de amasar 10 - 50 libras de harina de maíz por ciclo de preparación, su capacidad puede variar según el modelo. Esta utiliza paletas, generalmente de aluminio para el movimiento constante de la mezcla. Permite tener la higiene necesaria al realizar la masa ya que no es necesario manipular directamente la masa con las manos.

Especificaciones técnicas:

- Alimentación eléctrica: 110 VAC.
- Motor monofásico de $\frac{3}{4}$ hp.
- Capacidad máxima: 50 lb de harina.

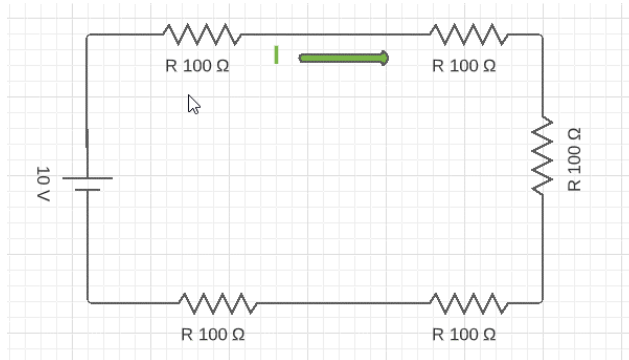
7.25. Fundamentos físicos y electrónicos de transductores eléctricos, señales análogas, digitales y su procesamiento

Los sensores son parte fundamental de los sistemas electrónicos, ya que a través de estos logramos interpretar fenómenos físicos hacia señales eléctricas, estas señales eléctricas luego se interpretan como información para toma de decisiones.

7.26. Circuito eléctrico

El circuito eléctrico, es aquel que permite el flujo de electrones en una o varias direcciones, a través de un medio de propagación cerrado el cual es conocido como conductor eléctrico.

Figura 19. **Circuito eléctrico**



Fuente: elaboración propia, empleando lucidchart.com.

Sus partes principales son:

- La fuente de energía
- El conductor o medio
- Carga

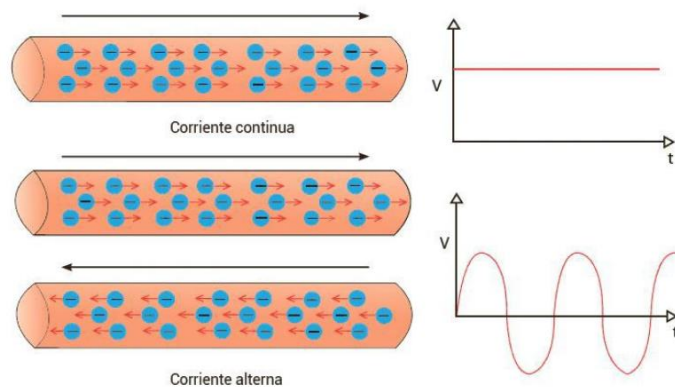
7.27. **Corriente eléctrica**

La corriente eléctrica se conoce como el flujo de electrones que pasa a través de un conductor o medio conductor, su unidad de medida es denominada como amperios (A), esta se divide como corriente alterna y directa, según sea su aplicación.

La corriente eléctrica es uno de los pilares en el funcionamiento los circuitos eléctricos y electrónicos teniendo aplicaciones en la vida cotidiana desde los hogares, hospitales hasta en maquinarias industriales. Este tipo de energía

se aprovecha y se convierte en movimientos mecánicos, o formas de energía diferentes como luz, calor, entre otros.

Figura 20. **Corriente eléctrica**

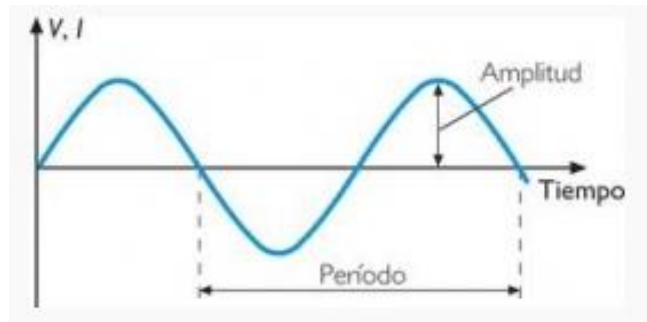


Fuente: ABC. (2018). *Corriente eléctrica*. Consultado el 12 de octubre de 2021. Recuperado de <https://www.abc.com.py/edicion-impres/suplementos/escolar/corriente-eléctrica-1700735.html>

7.28. **Corriente alterna**

Es la corriente eléctrica que cambia el sentido de flujo de los electrones, gráficamente es conocida como la corriente que cambia de signo y se denomina con la abreviatura (AC). Suele utilizarse en aplicaciones de alta potencia, transmisión de energía eléctrica entre otras. Esta tiene ventajas como el uso de conductores más delgados para su transporte, aplicaciones en motores diseñados para trabajar con corriente alterna, transformación a voltajes más altos y bajos con componentes que permiten mayor transferencia de potencia.

Figura 21. **Corriente alterna**

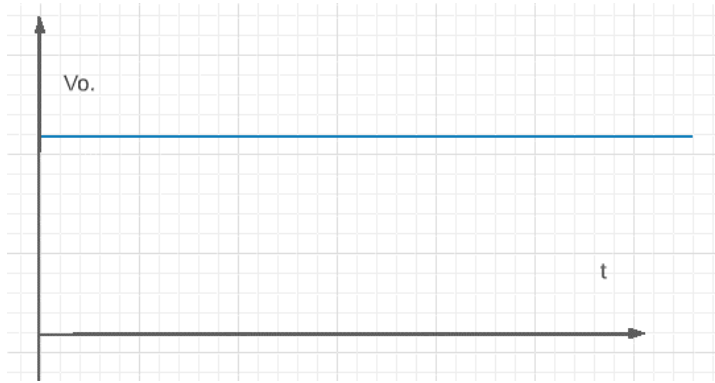


Fuente: Máquinas eléctricas. (2018). *Corriente alterna*. Consultado el 12 de octubre de 2021. Recuperado de <https://máquinaseléctricastecnind.wordpress.com/2015/04/20/tipos-de-motores-de-corriente-alterna/>

7.29. **Corriente directa**

Es la corriente eléctrica que no cambia el sentido de flujo de los electrones, se denomina con la abreviatura (DC) y es utilizada en aplicaciones electrónicas de control, principalmente con el uso de semiconductores. Entre las ventajas que tiene esta la capacidad de almacenar la energía en acumuladores y se utiliza usualmente en aplicaciones donde el usuario final se puede ver expuesto a que accidentalmente pueda tener contacto con el circuito eléctrico, a voltajes bajos se considera seguro para los usuarios.

Figura 22. **Corriente directa**



Fuente: elaboración propia, empleando lucidchart.com.

7.30. **Voltaje**

El voltaje es conocido como la diferencia de potencial entre dos cargas eléctricas, se denomina con la abreviatura (V) y su unidad de medida es el voltio. El voltaje tiene relación directa con la magnitud de la corriente eléctrica multiplicada por la magnitud de la resistencia eléctrica en un circuito.

7.31. **Resistencia**

La resistencia eléctrica es la oposición al paso de la corriente eléctrica, esta se denomina Ohm y su abreviatura es con el símbolo omega (Ω). La resistencia eléctrica es dependiente de las características resistivas de los materiales conocida como resistividad. Esta tiene aplicaciones como la limitación del paso de la corriente y poder permitir que algunos componentes electrónicos funcionen correctamente.

7.32. Potencia

La potencia eléctrica es la proporción por unidad de tiempo, con la cual la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico, esta se denomina watts o vatios y su abreviatura es (W).

7.33. Luz

Propiedad física conocida como el desprendimiento de paquetes de energía llamados fotones, debido a la propagación del campo eléctrico y magnético oscilando en un medio. Esta puede llegar a verse por el ojo humano si su radiación se encuentra dentro del espectro visual del ser humano.

7.34. Capacitancia

La capacitancia es la capacidad de un componente eléctrico de poder almacenar energía, en forma de carga eléctrica. Este consta de dos placas conductoras separadas paralelamente entre si divididas en un medio dieléctrico.

Su unidad de medida es el Faraday y se conoce que

1 Faraday es = 1 coulomb/volt

7.35. Inductancia

La inductancia es la propiedad de un circuito eléctrico para resistirse al cambio de la corriente. Este almacena la energía como un campo magnético.

Físicamente esto se logra enrollando un conductor alrededor de un núcleo. El cual cuando es sometido a una corriente eléctrica variable crea un campo magnético variable que a su vez genera un campo eléctrico variable, por lo que se genera que el voltaje tenga una caída en su valor.

7.36. Transductor eléctrico

Es un dispositivo capaz de poder convertir una señal eléctrica en otro medio físico o viceversa. Entre estos tenemos transductores, fotoeléctricos, piezoeléctricos, neumáticos, electromagnéticos, de temperatura, capacitivos, inductivos, de desplazamiento, gas, vibración, entre otros.

7.37. Señales análogas

Son aquellas señales las cuales son de naturaleza continua y no tienen salto en su muestreo o adquisición a través del tiempo, varían en su amplitud y periodo, estas pueden ser representadas de forma matemática.

La señal de un sensor de temperatura es una señal análoga, ya que su respuesta es en función de la temperatura del medio a la que está expuesto, esta respuesta no se interrumpe y tiene un comportamiento análogo al fenómeno medido.

7.38. Señales digitales

Son aquellas señales que varían entre dos estados lógicos uno y cero, nivel alto y bajo, estas son señales discretas, que se interrumpen a través del tiempo. Estas señales ya que representan dos estados, son utilizadas para

almacenar y procesar información digital y son parte base y fundamental de la electrónica digital.

7.39. Procesamiento de imágenes digitales

En los procesos industriales se suele utilizar el procesamiento de imágenes digitales para mejorar la calidad y autonomía de los equipos. Estos traen ventajas económicas en los procesos industriales. Se suelen utilizar en la industria alimenticia para colocar o inspeccionar elementos como tapas, entre otros usos.

7.40. Definición

El procesamiento digital de imágenes se puede describir como el conjunto de técnicas que se aplican con el objetivo de analizar la información de una imagen y de esta manera poder realizar mejoras para la vista humana o interpretaciones numéricas para aplicaciones diversas.

7.41. Imagen

Una imagen es la representación gráfica de un objeto, este busca representar de forma gráfica una realidad. Esta puede o no tener colores y detalles realistas.

Se captan a través del uso de cámaras fotográficas o de video, para luego ser mostradas de forma digital en pantallas o de forma física a través de las impresiones.

7.42. Data

De su traducción del idioma inglés como “datos”, es un conjunto de información que se obtiene de un sistema para poder ser procesada e interpretada con la finalidad de analizar y obtener estadísticas para entender comportamientos o fenómenos en la naturaleza. Actualmente es uno de los núcleos principales para el estudio del análisis en el comportamiento de los sistemas.

Los datos se pueden dividir en numéricos los cuales se subdividen en números enteros, con signo (positivos o negativos), números decimales, cadenas alfanuméricas, booleano, hexadecimales y fechas entre otros.

7.43. Análisis de datos/ data analytics

Proceso en el cual los datos o información obtenida de un sistema, se estudia mediante análisis matemáticos y estadísticos, que permiten comprender el comportamiento y tendencia de los diferentes sistemas. En la actualidad los análisis de datos nos ayudan a entender y mejorar continuamente nuestros diferentes procesos en la industria y también para poder anticiparse a situaciones permitiendo tomar acciones previas para reducir los riesgos que se pueden presentar.

Revisión de la literatura relacionada con el problema que se busca resolver. Incluye la base de fundamentación teórica y práctica de la temática de la maestría que sustenta la propuesta técnica de solución. Citar las fuentes de la información con normas APA. Principalmente se estructuran teorías, conceptos, definiciones, y métodos. La estructuración que se realiza en la sección 8, sirve de referencia. Citar 10 fuentes bibliográficas consultadas, tener sumo cuidado

con las citas textuales de menos de 40 palabras o más de 40, consultar para ello la norma APA que corresponde. Las nuevas fuentes consultadas, se agregan a la lista de referencias elaborada en seminario 1 y con ello se tendrá lista la sección 13 de este documento.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

JUSTIFICACIÓN

OBJETIVOS

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LOS SISTEMAS DE ELABORACIÓN DE LA TORTILLA DE MAÍZ.

1.1 Tortilla de maíz

1.1.1 Definición

1.1.2 Tipos de procesos para elaborar la tortilla de maíz

1.1.3 Nixtamalización

1.1.4 Proceso artesanal

1.1.5 Proceso industrial

1.2 Tipos de máquinas tortilladoras

1.2.1 Tortilladora manual

1.2.2 Tortilladora semiautomática

1.2.3 Tortilladora automática Industrial

1.3 Partes de una tortilladora industrial

1.3.1 Cabezal

1.3.2 Cortador o troquel

- 1.3.3 Columpio
- 1.3.4 Comales
- 1.3.5 Quemador
- 1.3.6 Deslizadera
- 1.3.7 Chasis
- 1.3.8 Regulador de gas
- 1.3.9 Carburador de gas
- 1.3.10 Caja reductora
- 1.3.11 Acomodador automático de tortilla
- 1.4 Otros equipos utilizados durante para la fabricación de la tortilla de maíz
 - 1.4.1 Amasadora

2 FUNDAMENTOS FÍSICOS Y ELECTRÓNICOS DE TRANSDUCTORES ELÉCTRICOS, SEÑALES ANÁLOGAS, DIGITALES Y SU PROCESAMIENTO

- 2.1 Circuito eléctrico
- 2.2 Corriente eléctrica
- 2.3 Corriente alterna
- 2.4 Corriente directa
- 2.5 Voltaje
- 2.6 Resistencia
- 2.7 Potencia
- 2.8 Luz
- 2.9 Capacitancia
- 2.10 Inductancia
- 2.11 Transductor eléctrico
- 2.12 Señales análogas
- 2.13 Señales digitales

3 PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DIGITALES

3.1 Definición

3.2 Imagen

3.3 Data

3.4 Análisis de datos/ *data analytics*

4. DOCUMENTACIÓN Y PROPUESTA DEL DISEÑO PARA SISTEMA ELECTRÓNICO PARA ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE TORTILLA DE MAÍZ FABRICADA EN LA INDUSTRIA UTILIZANDO PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

4.1 Características eléctricas del sistema

4.2 Diseño del sistema electrónico

4.3 Programa de control

4.4 Diseño del prototipo para análisis y selección de tortilla de maíz fabricada en la industria utilizando procesamiento de imágenes

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

El estudio consiste en el diseño no experimental de un sistema con capacidad de analizar mediante imágenes a través de la técnica de detección de bordes de Canny la forma de la tortilla, durante su fabricación industrial a una velocidad de 3000 tortillas por hora, con el objetivo de seleccionar de forma automática previa a su empaque.

Será necesario realizar un trabajo de campo en una máquina tortilladora industrial para detectar las variables que pueden afectar al sistema.

Como instrumentos de recolección se busca utilizar una cámara con conexión USB hacia un dispositivo Raspberry Pi, para el procesamiento de imágenes y conexión a internet para recolectar y analizar los datos a través de un sistema Cloud.

- Características del estudio

El estudio se categoriza como cuantitativo ya que se enmarca en la investigación y propuesta de un diseño para el análisis de calidad de tortilla en cuanto a la forma circular que esta debe de tener, esta no evaluará el grosor o cocción de esta. Se busca realizar un diseño de un sistema electrónico capaz de poder capturar imágenes de tortillas en movimiento y que analice la forma y tamaño mediante la detección de bordes de Canny. Se busca descartar automáticamente de línea de producción la tortilla que se detecte defectuosa y llevar un control estadístico de la producción y merma por día. En relación con

los defectos detectados en la tortilla proponer de manera automática la sección de revisión para resolver la posible causa de defecto.

El diseño adoptado será no experimental, pues no se instalará en una máquina para su funcionamiento regular, se busca proponer un diseño de un sistema de bajo costo que pueda mejorar el rendimiento y reducir costos operativos en el proceso de la elaboración de la tortilla.

El alcance es descriptivo, correlacional y explicativo dado a que se describirán los diferentes componentes y procesos para elaborar la tortilla de maíz en la industria, este se correlacionará y explicará entre las variables de forma y tamaño, para determinar la correcta fabricación de esta y toma de decisión para ser aceptada o descartada en el proceso. Los datos por obtener son producto de mediciones realizadas con una cámara, que serán evaluados a nivel numérico haciendo uso de análisis estadístico.

El diseño adoptado será no experimental, pues no se instalará en una máquina para su funcionamiento regular, se busca proponer un diseño de un sistema de bajo costo que pueda mejorar el rendimiento y reducir costos operativos en el proceso de la elaboración de la tortilla.

El alcance es descriptivo, correlacional y explicativo dado a que se describirán los diferentes componentes y procesos para elaborar la tortilla de maíz en la industria, este se correlacionara y explicara entre las variables de forma y tamaño, para determinar la correcta fabricación de esta y toma de decisión para ser aceptada o descartada en el proceso. Los datos por obtener son producto de mediciones realizadas con una cámara, que serán evaluados a nivel numérico haciendo uso de análisis estadístico.

- Unidades de análisis

La población en estudio será la tortilla de maíz blanca de 11 cm de diámetro, y grosor de 0.8 mm hasta 3 mm.

Las unidades de análisis a considerar son las siguientes:

- Análisis de imágenes mediante bordes de Canny.
- Datos de producción y merma.
- Voltaje en componentes electrónicos del sistema.
- Resistencia eléctrica.
- Corriente eléctrica.
- Velocidad de procesamiento de información en Raspberry Pi.

- Variables

Las variables en estudio se describen a continuación:

- Forma geométrica por medir

La forma del objeto será circular sin embargo puede variar su diámetro. Actualmente en la maquinaria de estudio se fabrican tortillas de diámetro de 11 cm, este diámetro puede cambiar en función de la hidratación de la tortilla a través del tiempo.

- Eficiencia

Se busca la relación entre tiempo de producción y paros de máquina durante la fase de fabricación de la tortilla. La unidad de medida es porcentual, se busca estar con eficiencias cercanas al 100 %.

- Merma

Cantidad de producto no satisfactorio detectado y descartado por el sistema. La unidad de medida son unidad de tortilla.

- Temperatura del medio

La temperatura de la ubicación donde trabajarán los sensores de medición puede subir en función de la época del año y hora del día, en algunos puntos de la máquina puede llegar a subir la temperatura cerca de los 150 °C.

- Velocidad del objeto a medir

El objeto por medir se mueve a una velocidad lineal, que puede llegar a variar en función de comportamiento de la banda transportadora o de la cocción de la tortilla.

- Velocidad de procesamiento

La cantidad de imágenes a tomar dependerá de la cantidad de tortillas que la máquina saca desde el cabezal, estas pueden variar en función del diámetro del molde que se utilice.

- Vibración

La vibración que transmite la máquina durante la fabricación de la tortilla es un factor variable que puede afectar la calidad de imagen adquirida.

- Fases del estudio

- Fase 1: revisión de literatura
- Fase 2: proceso de elaboración de la tortilla de maíz
- Fase 3: documentar el funcionamiento de la máquina que fabrica la tortilla de maíz, entender sus limitantes y oportunidades de mejora.
- Fase 4: adquisición de imágenes digitales y su procesamiento mediante detección de bordes de Canny.
- Fase 5: comunicación y procesamiento mediante RaspberryPi.
- Fase 6: análisis de información, datos obtenidos para toma de decisiones y su presentación a través de plataforma cloud.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

El análisis de información se realizará a través de la estadística descriptiva correlacional de las variables relacionadas a la forma circular de la tortilla, donde se evaluará que tan similar es la muestra obtenida mediante una cámara con relación a una figura patrón determinada.

Este análisis se realizará a través de los siguientes pasos:

- Establecer el patrón de comparación

Para toda medición es necesario establecer un patrón como referencia, esto nos permitirá comparar toda imagen de tortilla de maíz capturada con la previamente establecida dentro del sistema. Para este estudio se utilizará la imagen de una tortilla de maíz cruda la cual estará saliendo de la máquina tortilladora, esta debe de ser capturada en una posición perpendicular al punto de salida de la tortilla, para no desviar la forma redonda hacia un ovalo.

Figura 23. **Tortilla en transportador de columpio**



[Fotografía de Diego Antonio Dávila Fuentes]. (Mixco, Guatemala. 2021). Colección particular.
Guatemala.

- Tratar la imagen captada mediante bordes de Canny

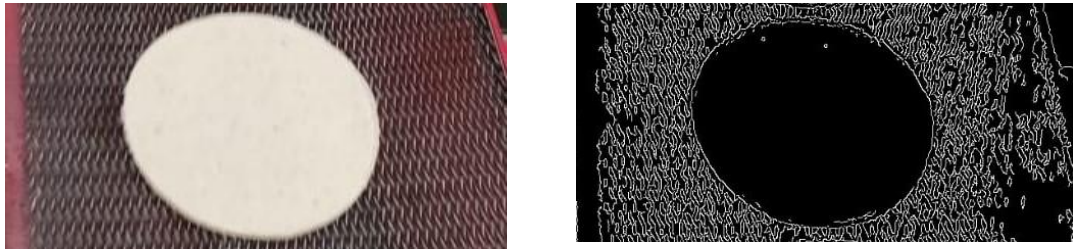
Cada imagen capturada debe de pasar por el proceso de detección de bordes de Canny con el objetivo de obtener un comparador de medición con menos errores y mejorar la velocidad del tratamiento matemático de la imagen, pasando la imagen de color hacia una de blanco y negro.

Figura 24. **Tortillas de maíz saliendo del cabezal hacia la banda de comales. Izquierda imagen a color, derecha imagen tratada con bordes de Canny**



Fuente: [Fotografía de Diego Antonio Dávila Fuentes]. (Mixco, Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

Figura 25. **Tortilla de maíz en transportador de columpio. Izquierda imagen a color, derecha imagen tratada con bordes de Canny**



Fuente: [Fotografía de Diego Antonio Dávila Fuentes]. (Mixco, Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

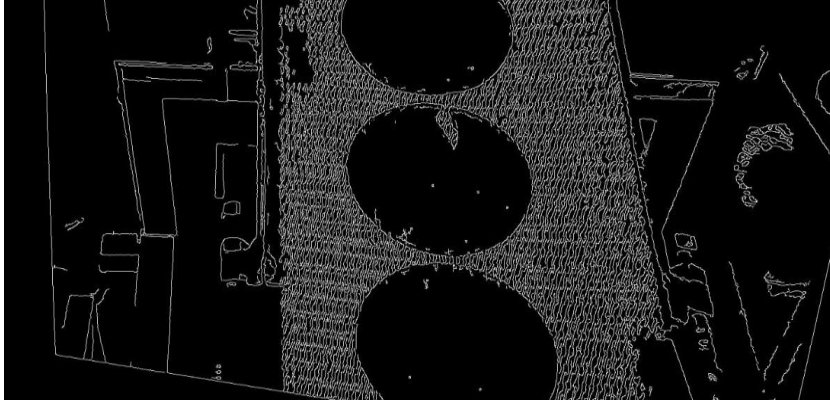
- Recolección de la información a evaluar y su procesamiento

Cada imagen captada debe de ser almacenada en memoria para realizar su transformación a imagen blanco y negro mostrando los bordes de Canny. Esta información se buscará que sea almacenada como una matriz bidimensional, que permita realizar cálculos matemáticos sobre la misma, correlacionándola con la imagen patrón.

- Toma de decisiones a partir de los resultados correlacionales

En esta etapa se debe de hacer varias pruebas con imágenes sin defecto para obtener una correlación media de todas las muestras. Y establecer el valor de correlación mínimo, para indicar un defecto en la tortilla.

Figura 26. Imagen de tortillas en transportador del columpio tratadas con bordes de Canny



Fuente: [Fotografía de Diego Antonio Dávila Fuentes]. (Mixco, Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

11. CRONOGRAMA

Tabla I. Cronograma de actividades

Descripción	Mes 1		Mes 2		Mes 3		Mes 4		Mes 5		Mes 6		Mes 7	
	S1	S2 S3 S4	S5 S6 S7 S8 S9	S10 S11	S12 S13 S14 S15 S16	S17 S18 S19 S20	S21 S22 S23 S24	S25 S26 S27 S28 S29	S30 S31 S32 S33 S34	S35 S36 S37 S38 S39	S40 S41 S42 S43 S44	S45 S46 S47 S48 S49	S50 S51 S52 S53 S54	
Aprobación de protocolo de tesis.														
Gestión de datos y permisos en fábrica de tortillas.														
Observación del proceso de elaboración de tortillas en máquina industrial.														
Identificar hardware, para la elaboración del diseño.														
Identificación de las variables a medir.														
Identificar hardware complementario.														
Diseño de sistema de detección de imágenes de tortillas. Haciendo uso de lo investigado previamente.														
Diseño de sistema para procesamiento y análisis de imágenes.														
Diseño de sistema electrónico para selección de tortillas de maíz.														
Diseño de sistema para almacenamiento de datos en la Nube.														

Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Este estudio se realizará en una fábrica de tortillas y frituras ubicada en la zona 11 de Mixco de Guatemala, quienes permitirán realizar el estudio en su maquinaria. Durante el tiempo que esta esté en producción, brindarán disponibilidad de máquina para realizar mediciones y estudios.

- Factibilidad operativa

El recurso humano necesario es el siguiente:

- 1 operador para la máquina tortilladora.
- Operadores para ordenar y conteo de tortilla.
- 2 persona para empaque.
- 1 persona del departamento técnico, para las pruebas a realizar en la máquina.

- Tiempo de observación

- El proceso de producción de la fábrica de tortillas son los días de lunes a viernes con horario de 8:00-17:00 horas, la máquina de interés está trabajando normalmente en horario de 10:00 a 13:00 horas según el plan de producción debido a la demanda solicitada.

- Para las fases establecidas

Tabla II. **Distribución de las fechas para las fases establecidas**

Fase	Días	Fecha inicial de observación	Fecha final de la observación
1	15	01/09/2021	15/11/2021
2	5	16/09/2021	21/11/2021
3	5	22/09/2021	27/11/2021
4	15	28/09/2021	01/12/2021
5	30	01/01/2022	01/02/2022
6	15	02/02/2021	17/02/2021

Fuente: elaboración propia.

- Acceso a la información

La fábrica de tortillas y frituras dará el acceso a la información necesaria para comprender el proceso de elaboración de las tortillas de maíz.

Manuales y diagramas de maquinaria.

- Factibilidad técnica

- Hardware necesario
 - Máquina tortilladora en sitio
 - Disponibilidad de conexión 110 VAC
 - Suministro de aire comprimido en sitio
 - Raspberrypi
 - Cámara fotográfica con conectividad USB
 - Sensores fotoeléctricos

- Software necesario

Sistema operativo por utilizar en la Raspberrypi, estos son sistemas gratuitos.

Sistema operativo Windows.

- Conocimientos

Para desarrollar este diseño se debe de contar con los siguientes conocimientos técnicos:

- Maquinaria de alimentos
 - Manipulación de alimentos
 - Conocimientos mecánicos
 - Electricidad
 - Electrónica
 - Neumática
- Infraestructura de comunicación
 - Conectividad a la red de internet, para la conexión de servicios cloud.
 - Cableado USB.
 - Cableado Ethernet.
 - Factibilidad económica
 - Componentes electrónicos por utilizar

- Raspberry Pi: Q 1 200,00
- Cable ethernet: Q 45,00
- Cámara web.: Q 350,00
- Servicios
 - - Internet: Q 300,00
 - Alimentación: Q 450,00
 - Servicios Cloud: \$ 20,00 USD.
 - Costo por personal para pruebas, 4 personas: Q 480,00 diarios.

REFERENCIAS

1. Acuña, M. (2020), *Diseño de un sistema de visión artificial para la clasificación de limón utilizando raspberry pi*. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Piura, Perú.
2. Castillo, J. (2020). *Sistema seleccionador de botellas mediante visión artificial en raspberry pi*. (Tesis de maestría). Universitat Politècnica de Valencia, España.
3. Castillo, V.; Ochoa, M.; Figueroa, C.; Delgado, L.; Gallegos, I. y Morales, C. (marzo, 2009). Efecto de la concentración de hidróxido de calcio y tiempo de cocción del grano de maíz (*Zea mays* L.) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas y reológicas del nixtamal. *Alan Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 59(4). 13-30.
4. Gamboa, J. y Campañone, L. (agosto, 2018). Análisis digital de imágenes para evaluar el encogimiento de fresas sometidas a tecnologías emergentes de procesamiento. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*. 5(2), 33-51.
5. Herrera, I.; Sandoval, O.; Malagón, F.; Águila, G.; González, B. y Flores, J. (octubre, 2017). Sistema automático de selección de limón (*citrus latifolia tanaka*) basado en discriminación por color. *Agroproductividad*, 10(10), 73 - 78 Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/249319969.pdf>.

6. Jerónimo J. y Sossa H. (octubre, 2018). Estudio para el reconocimiento de objetos cuasi-planos mediante un sistema de tratamiento digital de imágenes embebido en una plataforma tipo Raspberry Pi. *Research in Computing Science*, 147(4), 159 – 169.
7. Moreno, W.; Trejo, M.; Lizárraga, R.; Cabal, E. y Carrillo, L., (junio, 2017). *Determinación del estado de madurez de una cereza aplicando procesamiento de imágenes. Revista de divulgación científica Jóvenes de la ciencia*, 3(2), 1-5.
8. Nivia, S.; Zulema, M.; Mendoza, J. y Castillo, O. (diciembre, 2021). Una aplicación del Algoritmo de Detección de Bordes Canny en Procesos Alimentarios. *Revista Científica Investigación Andina*, 21(1), 8-26.
9. Orozco, M. (2007). *Desarrollo de harina de maíz para tortilla de mesa*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
10. Suarez, P. y Villavicencio, M. (febrero, 2017). Detección de Contornos utilizando el Algoritmo Canny en Imágenes Cross-Espectrales Fusionadas. *Enfoque UTE*, 7(1), 16-30.
11. Vélez, J. (2018). *Análisis comparativo entre algunas transformadas matemáticas usadas en la compresión de imágenes* (Tesis de Maestría). Universidad Pontificia Bolivariana, Bolivia.

12. Viera, G. (2017) *Procesamiento de imágenes usando opencv aplicado en raspberry pi para la clasificación del cacao* (Tesis de licenciatura). Recuperado de <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2916>

