



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
MECATRÓNICO PARA EL DECORADO SUPERIOR DE PASTELES CON
DISEÑOS PERSONALIZADOS”**

**AUTORES: SÁNCHEZ RAMIREZ, JIMENA JEANETH
VIERA LUNA, CRISTIAN MAURICIO**

DIRECTORA: ING. CONSTANTE PRÓCEL, PATRICIA NATALY

LATACUNGA

2019



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA EL DECORADO SUPERIOR DE PASTELES CON DISEÑOS PERSONALIZADOS**” fue realizado por los señores **Sánchez Ramirez, Jimena Jeaneth** y **Viera Luna, Cristian Mauricio** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 23 de enero del 2019

Firma:

Ing. Patricia Nataly Constante Prócel

DIRECTORA

C.C.:0503354029



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Sánchez Ramirez, Jimena Jeaneth y Viera Luna, Cristian Mauricio**, declaramos que el contenido, ideas y criterio del trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA EL DECORADO SUPERIOR DE PASTELES CON DISEÑOS PERSONALIZADOS”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 23 de enero del 2019

Cristian Mauricio Viera Luna

C.C.: 1725205080

Jimena Jeaneth Sánchez Ramirez

C.C.: 1600642001



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Sánchez Ramirez, Jimena Jeaneth y Viera Luna, Cristian Mauricio** autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA EL DECORADO SUPERIOR DE PASTELES CON DISEÑOS PERSONALIZADOS”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 23 de enero del 2019

Cristian Mauricio Viera Luna

C.C.: 1725205080

Jimena Jeaneth Sánchez Ramirez

C.C.: 1600642001

DEDICATORIA

El presente proyecto de investigación está dedicado a mis padres Washington y Janneth, ya que con sus distintas enseñanzas y opuestos comportamientos me dieron la pauta para crear un pensamiento autónomo e idealista, un carácter decidido, una personalidad con principios y valores plenamente definidos. A mis hermanos Diego, Andrés, mi abuelita Elvita que fueron mi fortaleza para seguir adelante durante el tiempo que pase lejos de mi hogar. A mi compañero de vida José Luis quien me apoyo con su paciencia y amor cuando mi fuerza de voluntad y espíritu de lucha se desvanecían. Por último, a mi amigo Cristian que ha sido mi compañero de trabajo ideal para la culminación de esta etapa universitaria.

Jimena Jeaneth Sánchez Ramirez

La culminación del proyecto de titulación se lo dedico a mis padres Edgar Viera y Lesli Luna por todo el apoyo incondicional brindado desde que inicie mi etapa universitaria, gracias a mis hermanos Andrés, Claribel y Gina por siempre creer en mí estas cinco personas formaron el carácter que se necesita para que este logro hoy se haga realidad, con cada una de sus enseñanzas y consejos. Por último, a mi gran amiga Jimena que con su gran ayuda y aporte hizo posible la realización de este proyecto y así poder terminar con éxito mi etapa universitaria

Cristian Mauricio Viera Luna

AGRADECIMIENTO

Agradecemos infinitamente a nuestros familiares por habernos apoyado incondicionalmente dentro de nuestra etapa universitaria.

Un cordial y sincero agradecimiento a la Ingeniera Patricia Constante por la paciencia y las directrices impartidas para dar por terminado nuestro proyecto de titulación.

Un agradecimiento especial para el Ingeniero Andrés Gordon docente de la carrera de Ingeniería Mecatrónica quien fue un apoyo adicional, como un experto dentro del área de impresión 3D.

Al sector Artesanal de Panadería y Pastelería de Cotopaxi para la realización de pruebas para el sistema mecatrónico de decorado de pasteles.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y a la carrera de Ingeniería Mecatrónica por brindarnos los conocimientos necesarios para ser profesionales de éxito.

Cristian y Jimena

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN.....	i
AUTORIA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii

CAPÍTULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1. Introducción.....	1
1.2. Estado del arte	2
1.2.1. Antecedentes	2
1.2.2. Técnicas de decorado de pasteles.....	3
1.2.3. Utensilios para decorar pasteles	6
1.2.4. Glaseado.....	10

1.2.5. Chantilly.....	11
1.2.6. Máquinas industriales de decoración de pasteles	11
1.3. Mecanismo de extrusión.....	13
1.4. Tipos de controladores	14
1.4.1. Arduino MEGA Shield - RAMPS 1.4.....	15
1.4.2. Arduino ATMEGA 2560	16
1.5. Lenguajes de programación	17
1.5.1. Python	17
1.6. Transmisión de datos	19
1.6.1. Bluetooth	19
1.6.2. Wifi	20
1.6.3. Zigbee	20
1.6.4. Comunicación en serie	20
1.7. Visión artificial	20
1.7.1. Aplicaciones de la visión artificial	21
1.7.2. Procesamiento de imágenes	21
1.7.3. Librerías empleadas para el desarrollo de visión artificial	22
1.8. Proceso de impresión 3D	24
1.8.1. Tipos de impresión 3D.....	24

CAPÍTULO II

DISEÑO CONCEPTUAL Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

2.1. Introducción.....	26
2.2. Desarrollo del concepto.....	26
2.2.1. Necesidades del Cliente.....	26
2.2.2. Especificaciones métricas	28
2.2.3. Matriz de Casa de la Calidad QFD.....	29
2.2.4. Generación de Conceptos.....	31
2.2.5. Evaluación de Conceptos.....	32

CAPÍTULO III

DISEÑO DE DETALLE

3.1. Introducción.....	53
3.2. Diseño del sistema extrusor	53
3.2.1. Diseño del tornillo de potencia	54
3.2.2. Cálculo de los parámetros del carro móvil vertical	60
3.2.3. Cálculo de los parámetros de los engranes	62
3.3. Diseño del robot delta.....	66
3.3.1. Cinemática inversa.....	70
3.4. Diseño del sistema de visión artificial.....	72

3.5. Diseño de la aplicación de diseños personalizados	74
3.6. Programación de la Tarjeta Arduino MEGA – RAMPS 1.4.....	77
3.7. Procedimiento para la obtención del código de impresión 3D.....	77

CAPÍTULO IV

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

4.1. Introducción.....	80
4.2. Elementos	80
4.2.1. Mecanismo extrusor	80
4.2.2. Estructura mecánica.....	81
4.2.3. Estructura electrónica.....	82
4.3. Ensamble final del sistema mecatrónico	83

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1. Introducción.....	84
5.2. Pruebas de manejo del sistema mecatrónico.....	84
5.3. Pruebas del sistema de visión artificial.....	85
5.4. Pruebas de funcionamiento.....	86
5.4.1. Pruebas en vacío	86

5.4.2. Pruebas en los ejes de movimiento.....	86
5.5. Pruebas de decorado de pasteles.....	87
5.5.1. Pruebas de Decoración de figuras básicas.	88
5.5.2. Pruebas de decoración de texto.....	89
5.5.3. Pruebas de decoración para figuras elaboradas.....	90
5.5.4. Pruebas con diferente tamaño y altura.....	91
5.5.5. Pruebas de materiales diferentes.....	92
5.5.6. Pruebas finales.....	92
5.6. Análisis de resultados.....	93
5.7. Validación de la hipótesis.....	94
5.8. Análisis Económico.....	98
5.9. Trabajo a futuro.....	989

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones.....	100
6.2. Recomendaciones.....	101

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
--	------------

ANEXOS.....	112
--------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Máquinas industriales en el mercado</i>	12
Tabla 2	<i>Prototipos de investigación de entidades de Educación Superior</i>	13
Tabla 3	<i>Intérpretes de Python</i>	18
Tabla 4	<i>Librerías para Visión Artificial</i>	23
Tabla 5	<i>Necesidades e Importancia</i>	27
Tabla 6	<i>Matriz Necesidades vs Métricas</i>	28
Tabla 7	<i>Cuadro Comparativo de dispositivos móviles</i>	33
Tabla 8	<i>Evaluación de Alternativas del dispositivo móvil</i>	33
Tabla 9	<i>Cuadro Comparativo del Sistema Operativo</i>	34
Tabla 10	<i>Evaluación de alternativas del Sistema Operativo</i>	35
Tabla 11	<i>Cuadro comparativo del Software de aplicación o HMI</i>	36
Tabla 12	<i>Evaluación del Software Alternativo para la aplicación o HMI</i>	37
Tabla 13	<i>Cuadro Comparativo de transmisión de datos</i>	38
Tabla 14	<i>Evaluación de Alternativas para la transmisión de datos</i>	38
Tabla 15	<i>Cuadro comparativo de cámara</i>	39
Tabla 16	<i>Evaluación de Alternativas para la cámara</i>	40
Tabla 17	<i>Cuadro de comparación de actuadores</i>	41
Tabla 18	<i>Evaluación de alternativas de tipo de actuadores</i>	41
Tabla 19	<i>Cuadro de comparación de los actuadores eléctricos</i>	42
Tabla 20	<i>Evaluación de alternativas de actuadores eléctricos</i>	43
Tabla 21	<i>Alternativas de solución de tarjetas de control</i>	44

Tabla 22	<i>Evaluación de alternativas para la tarjeta de control</i>	45
Tabla 23	<i>Alternativas de solución de sistema de decorado</i>	46
Tabla 24	<i>Evaluación de alternativas de solución de sistemas de decorado</i>	46
Tabla 25	<i>Evaluación de Alternativas del Sistema de Transmisión</i>	48
Tabla 26	<i>Magnitudes de radio y altura de los elementos constitutivos de extrusor</i>	54
Tabla 27	<i>Masa de cada elemento que actúa sobre el tornillo de potencia</i>	55
Tabla 28	<i>Factor de seguridad</i>	56
Tabla 29	<i>Elementos del tornillo de potencia</i>	58
Tabla 30	<i>Características eléctricas de MOTOR a pasos NEMA 17</i>	59
Tabla 31	<i>Datos del engrane y piñón del sistema del extrusor</i>	62
Tabla 32	<i>Módulos normalizados</i>	63
Tabla 33	<i>Parámetros del robot delta para el diseño del sistema mecatrónico</i>	69
Tabla 34	<i>Especificaciones técnicas del sistema mecatrónico</i>	83
Tabla 35	<i>Pruebas de manejo de aplicación</i>	85
Tabla 36	<i>Pruebas del sistema de visión artificial</i>	85
Tabla 37	<i>Rangos de movilidad del sistema mecatrónico</i>	86
Tabla 38	<i>Prueba de decorado de figuras básicas</i>	88
Tabla 39	<i>Pruebas de decorado de pasteles con texto</i>	89
Tabla 40	<i>Pruebas para decoración de figuras elaboradas</i>	90
Tabla 41	<i>Pruebas con diferentes pasteles/postres</i>	91
Tabla 42	<i>Pruebas con materiales de decorado distinto</i>	92
Tabla 43	<i>Resultados finales de las pruebas de decorado final</i>	93
Tabla 44	<i>Resultados de frecuencia observada</i>	95

Tabla 45 <i>Resultados de frecuencia esperada</i>	96
Tabla 46 <i>Resultados de CHI - CUADRADO</i>	97
Tabla 47 <i>Análisis económico</i>	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Decorado artesanal	4
Figura 2. Decorado mediante plantilla	5
Figura 3. Decorado con proyector	5
Figura 4. “BAKERBOT”	6
Figura 5. Mangas pasteleras	7
Figura 6. Adaptadores de boquillas	7
Figura 7. Boquillas para decorar	8
Figura 8. Palos para tortas.....	8
Figura 9. Bolillos para decorado	9
Figura 10. Palos de amasar	9
Figura 11. Biberón	10
Figura 12. Glaseado para tortas	10
Figura 13. Tipos de sistemas de alimentación de extrusores	14
Figura 14. Ramps 1.4	16
Figura 15. Tarjeta Arduino ATMEGA 2560	17
Figura 16. Proceso de impresión 3D.....	24
Figura 17. Matriz de la casa de la calidad.....	30
Figura 18. Sistema Mecatrónico de Decorado de Pasteles	31
Figura 19. Impresora 3d delta Kossel	47
Figura 20. Perfil de aleación de aluminio para impresoras 3D.....	49
Figura 21. Uniones de perfiles de aluminio.....	50

Figura 22. Tornillo M3.....	51
Figura 23. Carro delta 3d Kossel	51
Figura 24. Soportes magnéticos de impresora 3D Reprap Kossell Delta	52
Figura 25. Tipos de columna	57
Figura 26. Vista general del modelo del robot delta.....	67
Figura 27. Estructura mecánica del robot delta	68
Figura 28. Vista posterior del sistema mecatrónico	68
Figura 29. HMI del sistema mecatrónico de decorado de pasteles	72
Figura 30. Cambio de perspectiva de la imagen obtenida del pastel.....	73
Figura 31. Detección de la forma del pastel.....	73
Figura 32. Valor del radio del pastel	74
Figura 33. Diseño de interfaz de usuario	75
Figura 34. Imagen diseñada en CUPDRAW.....	75
Figura 35. Pestaña archivo para guardar la imagen	76
Figura 36. Diagrama del menú del HMI	76
Figura 37. Coordenadas de los 2 extrusores	77
Figura 38. Imagen vectorizada en CorelDRAW X7.....	78
Figura 39. Imagen STL desde Tinkercard.....	78
Figura 40. Imagen STL importada a MatterControl.....	79
Figura 41. Estructura del mecanismo extrusor	80
Figura 42. Elementos del cabezal extrusor.....	81
Figura 43. Elementos mecánicos del sistema.....	82
Figura 44. Parte electrónica del sistema.....	82

RESUMEN

El presente proyecto presenta el diseño e implementación de un sistema mecatrónico para decorado superior de pasteles mediante un mecanismo de doble extrusión de glaseado o merengue, controlado por un software que permite la elaboración de diseños personalizados. Se realiza el diseño conceptual del sistema mecatrónico, la selección de componentes y materiales empleando las especificaciones obtenidas (artesanos pasteleros). La estructura mecánica del sistema mecatrónico se basa en componentes de una impresora Delta 3D de código abierto. Otros elementos del sistema mecatrónico han sido fabricados bajo la tecnología de manufactura aditiva de impresión 3D. Se emplea Python como lenguaje de programación para el diseño de la aplicación de PC empleada en el decorado que cuenta con una serie de menús que permiten la personalización de formas, tamaños y texto con botones, herramientas, imágenes que hacen posible este proceso facilitando la operatividad del sistema. Además, el sistema detecta la forma, posición del pastel gracias a la aplicación de técnicas de procesamiento digital de imágenes.

PALABRAS CLAVE:

- **IMPRESIÓN 3D**
- **PASTEL DECORADO**
- **DOBLE EXTRUSOR**

ABSTRACT

The present project shows the development process of a mechatronic system to decorate the upper surface of cakes using icing or meringue with a double extrusion mechanism controlled by a software that allows the creation of personalized designs. The conceptual design of the mechatronic system and the selection of components and materials were made based on the obtained specifications (handmade cakes artisans). The entire mechanical structure of the mechatronic system is based on components of an open source delta 3D printer, other components of the mechatronic system were fabricated under the additive manufacture technology of the 3D printing. Python was the programming language used to develop the PC application used in the decoration process, this application has a bunch of menus that allows the personalization in shapes, sizes and text whit buttons, tools, images that made possible this process, facilitating the operability of the system. Also, the system detects the shape and position of the cake thanks to the digital image processing.

KEYWORDS:

- **3D PRINT**
- **DECORATED CAKE**
- **DOUBLE EXTRUDER**

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1. Introducción

La industria pastelera representa un sector de crecimiento potencial dentro de la economía del país, no obstante, existen limitantes dentro de los procesos que constituyen la elaboración de un pastel que dificultan su elaboración. En concreto, el proceso de decorado del pastel se realiza en la mayoría de casos de forma artesanal empleando las habilidades de los trabajadores que utilizan para sus diseños: letras, formas y figuras para la decoración de pasteles. Sin embargo, al realizar un proceso repetitivo y de forma manual como este, el trabajador presenta cansancio, fatiga y molestia por las horas prolongadas de trabajo. (Ángeles Hernández, Jiménez Zavala, & Zúñiga Pacheco, 2013)

En el mercado internacional existen algunas máquinas que se encargan del decorado automático de pasteles, pero con costos inaccesibles para empresas pequeñas como las ecuatorianas. Debido a esto, se busca potencializar el mercado apuntando a emplear para ello la tecnología actual existente combinada con conocimientos en el área de la Mecatrónica que permitan desarrollar máquinas autómatas funcionales que se encarguen de realizar y simplificar dichos procesos. (López Cruz, González Santamaría, & Orozco Alonso, 2013)

El presente proyecto pretende realizar el decorado superior de pasteles con un sistema mecatrónico empleando para ello un software CAD que permita la obtención de una imagen que puede ser diseñada o ingresada por el usuario a través de un ordenador

o pc recurriendo para dicho diseño de textos, figuras y formas, esta imagen se convierte en código de programación para cargarlo al controlador y efectuar la operación de decorado ya sea con merengue o glaseado a través del mecanismo extrusor que dispone de dos distintos colores para el usuario; todo este proceso ayuda a reducir los tiempos de producción, mejora la calidad y acabados de los decorados en los pasteles y lo más fundamental, se cuenta con un índice elevado de clientes satisfechos debido a lo personalizado de cada uno de los diseños.

1.2. Estado del arte

1.2.1. Antecedentes

Los orígenes de la pastelería se trasladan a la época de los antiguos griegos y sus banquetes, siendo evidente su potencialización durante la revolución industrial que incrementó el progreso de varios sectores entre ellos el artesanal apoyado de máquinas y herramientas más tecnificadas, influenciadas por el desarrollo económico y científico de la época lo que permitió su producción a gran escala y la simplificación de procesos. (Salazar Arellano & Escobar Tapia, 2015)

En la actualidad debido al incremento en la demanda de producción de pasteles que apunta a un mercado más exigente y numeroso, se ha realizado la automatización de los procesos de producción para reducir los tiempos de elaboración y obtener productos de mejor calidad que permitan satisfacer las necesidades de una clientela estricta. Existen en el mercado internacional varias máquinas que realizan procesos de producción y preparación de alimentos, específicamente en el área de la repostería se cuenta con

algunos ejemplares de costos elevados destinados a producción masiva y para empresas acomodadas y de gran poder en el mercado global. (López Cruz, González Santamaría, & Orozco Alonso, 2013)

Por lo que se refiere a Ecuador, según Castillo (2016) la industria manufacturera es “una de las más importantes dentro de la economía representando el 11, 79% del Producto Interno Bruto (PIB), siendo, la elaboración de productos de molinería y pastelería el 4,58% de este indicador.” (p. v) De acuerdo a los índices mencionados el gobierno ecuatoriano a través del Ministerio de Inclusión Económica y Social ha impulsado créditos y proyectos con el objetivo de fortificar e innovar el área repostería y panificadora del país, haciendo un mercado potencialmente rentable para la creación de fuentes de trabajo e inversión.

Varias ciudades del Ecuador han resaltado por su gran calidad de productos provenientes de la panadería y la repostería, sitiendo a la actividad pastelera dentro de los objetivos a potencializar dentro del Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017, para la generación de bienestar social, desarrollo empresarial y tecnológico del país, aportando de esta manera a la matriz productiva mediante la implementación de proyectos innovadores aplicando para esto la flexibilidad que posee la mecatrónica en distintas áreas. (Salazar Arellano & Escobar Tapia, 2015)

1.2.2. Técnicas de decorado de pasteles

La decoración de pasteles no se considera como un arte perfectamente definido, no obstante, existen diversas técnicas, materiales y posibles combinaciones que varían

según los requerimientos del mercado. Además, la decoración es reconocida como el proceso final en la pastelería previa a la presentación. (Hernán & Méndez, 2014)

Existen diversas técnicas convencionales y sofisticadas para plasmar un diseño o imagen sobre un pastel para decorarlo, siendo las más sobresalientes las siguientes:

a) Decorado completamente artesanal

Esta técnica emplea la habilidad y creatividad del artesano quien plasma sobre el pastel bocetos hechos de forma manual sin apoyo de plantillas, ni guía alguna como se muestra en la figura 1. Sin embargo, los tiempos de decorado varían de acuerdo a la experiencia del pastelero tomando en cuenta lo importante de la presentación ya que es la carta principal de un pastel es la apariencia del mismo debido a que capta la atención del cliente. (López Cruz, González Santamaría, & Orozco Alonso, 2013)



Figura 1. Decorado artesanal

Fuente: (Hernán & Méndez, 2014)

b) Decorado a través de plantillas

Se utiliza plantillas que sirven como una especie de guía para plasmar la imagen que se presenta en el diseño sobre el pastel para realizar este proceso se debe de recubrir

con merengue o glaseado el pastel de manera previa como se muestra en la figura 2. (López Cruz, González Santamaría, & Orozco Alonso, 2013)



Figura 2. Decorado mediante plantilla

Fuente: (López Cruz, González Santamaría, & Orozco Alonso, 2013)

c) Decorado a través de un proyector

Se emplea un proyector como se muestra en la figura 3, que proyecta los diseños de decorado sobre el pastel, el trabajo del pastelero es seguir el contorno de las imágenes lo más preciso posible y decorarlo en base a dicha guía. (López Cruz, González Santamaría, & Orozco Alonso, 2013)



Figura 3. Decorado con proyector

Fuente: (López Cruz, González Santamaría, & Orozco Alonso, 2013)

d) Decorado automático de pasteles

Dicha técnica consiste en emplear máquinas autómatas basadas en tolvas de acero inoxidable o mecanismos de extrusión para el depósito de glaseado o merengue sobre el pastel a decorar como se muestra en la figura 4, estos sistemas mecánicos cuentan con boquilla para el depósito uniforme del material. (Rivera Castillo, 2016)



Figura 4. “BAKERBOT”

Fuente: (Ángeles Hernández, Jiménez Zavala, & Zúñiga Pacheco, 2013)

1.2.3. Utensilios para decorar pasteles

Para el proceso de decorado de pasteles se recomienda emplear varios productos designados como utensilios con la finalidad de que la manera de llevar a cabo esta tarea sea más sencilla, además se puede acotar que dichos artículos tienen la ventaja de poder utilizarlos una y otra vez, si se les realiza una limpieza adecuada. (Ángeles Hernández, Jiménez Zavala, & Zúñiga Pacheco, 2013)

Dentro de los utensilios para decorar pasteles más usados frecuentemente en el área de la repostería se tiene:

a) Mangas y boquillas

Se emplea para decorar los pasteles a través de glaseado o merengue como se muestra en la figura 5, poseen buena flexibilidad, se encuentran mangas descartables o de repostería útiles para acoplar los adaptadores empleados en las boquillas. (Capó, 2013)



Figura 5. Mangas pasteleras

Fuente: (Cantudo, 2019)

b) Adaptadores

Se emplean para realizar el intercambio de las boquillas, evitan el desperdicio de merengue o glaseado en el proceso e impiden descargar las mangas pasteleras como se evidencia en la figura 6. (Capó, 2013)



Figura 6. Adaptadores de boquillas

Fuente: (Lunarillos, 2013)

c) Boquillas

También conocidas como ducas, son utensilios que se emplean para dar un acabado final al decorado del pastel; hay de diversos tipos como se expone en la figura 7: redondas, rizadas, redondas, para formar hojas, pastos, etc..(Capó, 2013)



Figura 7. Boquillas para decorar

Fuente:(Soco, 2016)

d) Palillos de madera

Son elementos adicionales empleados en un proceso de decorado de pasteles, existen de diversos tamaños con la finalidad de servir como soporte a figuras realizadas en azúcar o dulces tal como se evidencia en la figura 8.(Capó, 2013)



Figura 8. Palos para tortas

Fuente: (Acheson, 2019)

e) Bolillos

Son elementos empleados en la repostería como se muestra en la figura 9 para afinar los detalles en los pétalos empleados para el decorado de pasteles. De igual manera, se los utiliza en el afinamiento de detalles de diversas figuras circulares, personalizadas, para agregar carácter a un pastel. (Capó, 2013)



Figura 9. Bolillos para decorado

Fuente: (Ramos, 2019)

f) Palos de amasar

Son utensilios por lo general plásticos empleados para amasar material antiadherente usado en la elaboración de masas y pastas para el decorado detallado de pasteles tal como se muestra en la figura 10.(Capó, 2013)



Figura 10. Palos de amasar

Fuente: (Mena, 2017)

e) Biberones

Son envases plásticos de distintas dimensiones como se presenta en la figura 11 que contienen salsas, coulis o diferentes de glaseados que se utilizan para decorar pasteles, incluyen boquillas. (González, 2014)



Figura 11. Biberón

Fuente: (González, 2014)

1.2.4. Glaseado

Es una técnica empleada para bañar diversos alimentos con sustancias dulces y brillantes para agregar calidad y presencia a un producto como se muestra en la figura 12. Existen diversos tipos de glaseados útiles en el arte culinaria: glaseados de fruta, de chocolate, con gelatinas, etc.(Antuñano, 2015)



Figura 12. Glaseado para tortas

Fuente: (Mena C. , 2016)

1.2.5. Chantilly

Dentro de la repostería es uno de los elementos más utilizados para el decorado de pasteles, su consistencia depende mucho de la aplicación para la cual se emplee. Por su consistencia se utiliza para rellenar, cubrir, decorar pasteles, tortas y postres, además su preparación se basa en una mezcla entre 10% y 20% con jarabes o endulzantes. (Ángeles Hernández, Jiménez Zavala, & Zúñiga Pacheco, 2013)

La crema chantilly brinda a un pastel una contextura cremosa y húmeda, además que si se lo emplea como relleno se lo puede complementar con elementos como gotas de chocolate, nueces picadas, trozos de fruta. (Calderón Carrasco & León Palomeque, 2012)

1.2.6. Máquinas industriales de decoración de pasteles

El proceso de decoración de pasteles realizado a través de máquinas industriales automáticas genera grandes beneficios si lo que se requiere es alcanzar una producción masiva, debido a que los costes de estas máquinas son elevados y el índice de inversión no representa ninguna ganancia si se lo emplea en un negocio de menor proporción.

La mayoría de estas máquinas cumplen una función similar a una impresora 3D ya que cuentan con un mecanismo extrusor y un sistema de depósito de material, que funciona a través de electroválvulas. (López Cruz, González Santamaría, & Orozco Alonso, 2013)

Dentro del mercado tenemos algunos ejemplos de máquinas industriales automáticas disponibles para decorado de pasteles como se muestra en la tabla 1, con funciones similares a las impresoras 3D de alimentos en ciertos casos.

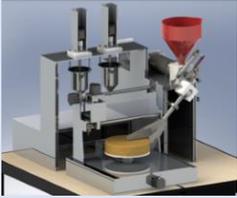
Tabla 1
Máquinas industriales en el mercado

Nombre de la máquina industrial	Características
<p>Unifiller Uni-bot</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Máquina industrial para producción de pasteles • Emplea chocolate negro u oscuro, caramelo, glaseado sobre un objeto móvil • Tienes tres posibles combinaciones de colores • Programación sencilla
<p>3D Food Printer</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Impresora 3D a base de jeringas de alimentos cargadas por el usuario con tinta líquida. • Usa una jeringa para realizar el depósito de materiales líquidos como chocolate fundido por niveles o capas.
<p>Printing System MP – 312</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Impresora de pasteles de tamaño mediano • Opera directamente sobre la superficie decorada previamente • Tintas de impresión a base de alimentos consumibles
<p>Deco Plotty (Modedor)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Impresora de comida que trabaja sobre superficies de pastel, chocolate • Disponible para todos los colores presentes en alimentos • Imprime de manera directa sobre las superficie recubierta de glaseado del pastel

Fuente: (López Cruz, González Santamaría, & Orozco Alonso, 2013)

Además, se han desarrollado proyectos de investigación por parte de universidades y entidades de educación superior enfocadas al decorado de pasteles, como campo aplicativo de sus respectivas tecnologías y áreas de especialización como se evidencia en los trabajos presentados en la tabla 2.

Tabla 2*Prototipos de investigación de entidades de Educación Superior*

Nombre del prototipo	Características
<p data-bbox="277 436 586 464">Autofrost Cake Decorator</p> 	<ul data-bbox="740 485 1421 642" style="list-style-type: none"> • Prototipo desarrollado por estudiantes de Franklin W OlinCollege of Engineering para decorar pasteles • Emplea los tres ejes rectangulares con un programa similar a paint • Utiliza un émbolo de glaseado controlado por arduino
<p data-bbox="228 695 634 779">Prototipo de dispositivo cartesiano decorador de pasteles por procesamiento de imagen</p> 	<ul data-bbox="740 751 1421 968" style="list-style-type: none"> • Opera con trayectorias definidas en los 3 ejes cartesianos • Cuenta con un mecanismo inyector final que aplica el material para decorado • Posee una interfaz gráfica que maneja diferentes formatos de imagen • Aplicable a limitados trazos y diseños básicos
<p data-bbox="375 1037 488 1064">Bakerbot</p> 	<ul data-bbox="740 1083 1421 1262" style="list-style-type: none"> • Emplea crema chantilly para el decorado automático de pasteles circulares • Sus diseños de decorado se basan en figuras geométricas y letras en cursiva • Posee una interfaz gráfica para que el usuario cargue las imágenes.
<p data-bbox="204 1316 662 1373">Sistema automático para la decoración de pasteles a gran escala</p> 	<ul data-bbox="740 1398 1421 1520" style="list-style-type: none"> • Consta de un sistema mecánico, eléctrico y neumático • Opera mediante un sistema de control • Posee una interfaz amigable para el pastelero que permite realizar el decorado de manera uniforme

1.3. Mecanismo de extrusión

Para efectuar procesos de extrusión con alimentos es necesario tomar en cuenta las normas básicas y estándar de calidad para precautelar la salud del consumidor. Sin

embargo, los mecanismos de extrusión varían de acuerdo al sistema de alimentación que poseen como se muestra la figura 13.

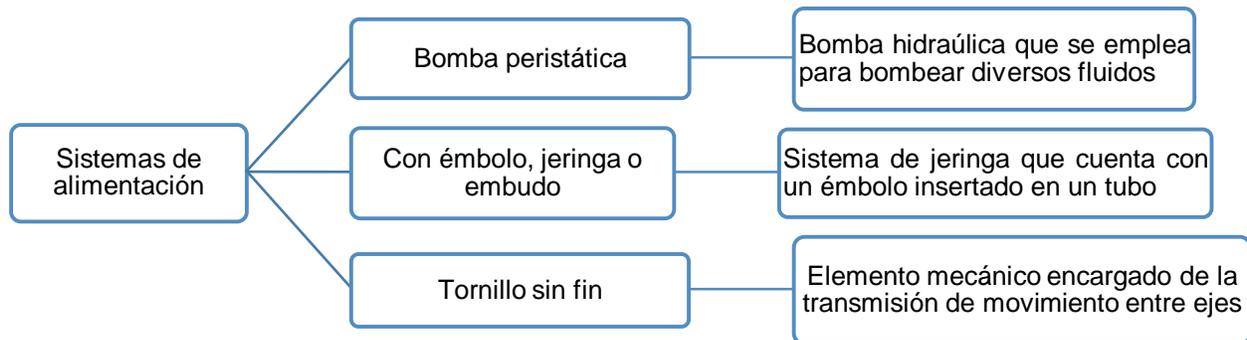


Figura 13. Tipos de sistemas de alimentación de extrusores

Fuente: (Carmona Reverte, 2016)

1.4. Tipos de controladores

Los controladores también conocidos como drivers son programas que permite manipular las señales que reciben por parte de los periféricos a través del sistema operativo del dispositivo anfitrión. Existen distintos tipos de controladores de acuerdo a la función que ejerce:

- Controlador de dispositivo: Interacción con el hardware.
- Controlador de la impresora: Conversión de datos para la impresión.
- Controlador de clase: Opera gran número de dispositivos iguales.
- PLC: Empleado en la industria de automatización.
- Controlador de periférico: Interacción con el CPU.
- Controlador Wrapper: Uso de dispositivo externo al sistema operativo no soportado.

- Driver JBC: Acceso a aplicaciones JAVA. (Logroño, 2017)

1.4.1. Arduino MEGA Shield - RAMPS 1.4

Es una de las tarjetas de control más utilizadas en el campo de la impresión 3D, específicamente para los modelos RepRap, posee la habilidad de controlar hasta 5 motores a paso (1/16 pasos) con precisión, cuenta con un dispositivo térmico, un ventilador, tres termistores y seis finales de carrera.

Las principales características con las que cuenta una tarjeta Arduino MEGA Shield – RAMPS 1.4 como la mostrada en la figura 14 son:

- Voltaje de entrada: 12V
- Indicadores LED
- Aplicación para sistemas cartesianos
- Precauciones de seguridad: calentamiento excesivo
- Fusible de protección de 5A
- Peso: 70 gr
- Tiene 2 fusibles térmicos de entrada (11A y 5A)
- Potencia: 130W
- Conectores a pantalla LCD
- Controla motores a paso de los modelos A4988 o DRV8825
- Voltaje de salida: 12V – 5V (Palafox Orozco, 2016)

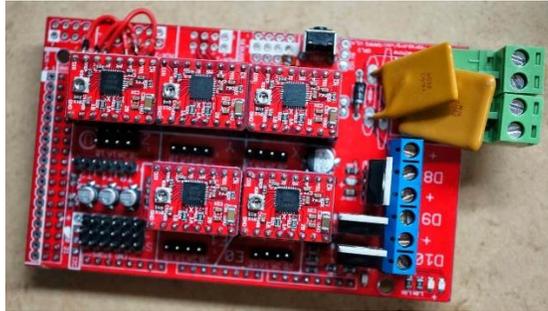


Figura 14. Ramps 1.4

Fuente: (Nam Yeoh, 2018)

1.4.2. Arduino ATMEGA 2560

Las tarjetas Arduino cuentan con varios conectores estándar para la conexión de las shields (módulos compatibles). Específicamente la tarjeta Arduino ATMEGA 2560 cuenta con 54 entradas/salidas digitales, no utiliza el convertidor USB-serie de la firma FTDI. (GOILAV & LOI, 2016, p. 18)

Las principales características con las que cuenta una tarjeta Arduino ATMEGA 2560 como la mostrada en la figura 15 son:

- Microprocesador ATmega2560
- Tensión de alimentación (recomendado) 7-12V
- Integra regulación y estabilización de +5Vcc
- 54 líneas de Entradas/Salidas Digitales (14 de ellas se pueden utilizar como salidas PWM)
- 16 Entradas Analógicas
- Máxima corriente continua para las entradas: 40 mA

- Salida de alimentación a 3.3V con 50 mA
- Memoria de programa de 256Kb (el bootloader ocupa 8Kb)
- Memoria SRAM de 8Kb para datos y variables del programa
- Memoria EEPROM para datos y variables no volátiles
- Velocidad del reloj de trabajo de 16MHz
- Reducidas dimensiones de 100 x 50 mm. (PatagoniaTec, 2014)

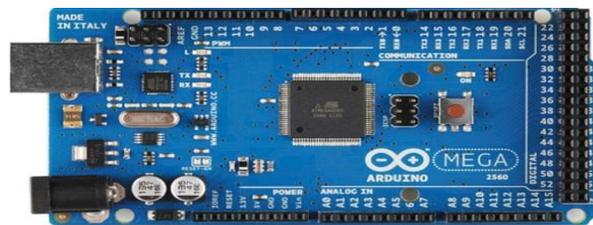


Figura 15. Tarjeta Arduino ATMEGA 2560

Fuente: (PatagoniaTec, 2014)

1.5. Lenguajes de programación

El lenguaje de programación surge de la necesidad de crear un código especial para la introducción y procesamiento de datos a través de un computador. “Para ejecutar lo que el usuario desea hacer en su computadora, o bien para resolver un problema específico, este precisa de un software que ejecute con exactitud la tarea que se ha planteado”. (Juganaru Mathieu, 2014)

1.5.1. Python

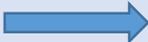
Python sobresale como un lenguaje atractivo para el usuario, indistintamente de la aplicación para el que se lo utilice. Este es un lenguaje de programación muy expresivo, legible, cuenta con entorno interactivo que apoya su aprendizaje y verificación mediante

pruebas. Además, Python permite detectar errores a través de su entorno de ejecución. (Arias, 2015)

Python cuenta con una diversidad de módulos estándar que se emplean como base de los programas desarrollados, “también hay módulos incluidos que proporcionan E/S de ficheros, llamadas al sistema, sockets y hasta interfaces a GUI (interfaz gráfica con el usuario) como Tk”.(Natsys; 2017, p.1)

Existen distintos tipos de IDE (Entorno de desarrollo integrado) en Python como se muestran en la tabla 3 que se emplean como detectores de error dentro del código de programación, ubican el archivo y línea de error, así como también las posibles soluciones para el problema suscitado. (Menezes, 2016)

Tabla 3
Intérpretes de Python

IDE de Python	Características
<p>Pycharm IDE</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Autor: JetBrains • IDE profesional con dos modalidades: edición libre y una completa privativa • Integra con IPython y compatible con Anaconda • Posee algunos paquetes útiles como matplotlib y Numpy • Desarrollo web para Django, Pyramid, web2py • Empleado en aplicaciones como Google y Flask
<p>PyDev IDE</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • De uso libre • Tiene características completas para la programación eficiente • Está integrado con Django • Completa el código de manera automática, soporta multilengua, planillas de código, detección de errores • Patrocinado por Liclipse, Squish, Trace Tronic • Viene empaquetado con Liclipse
<p>CONTINÚA </p>	

<p>Sublime Text IDE</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Es uno de los más livianos y potentes • Posee una interfaz rápida y es fácil de configurar • Uno de sus complementos es Anaconda • Es de gran productividad para Python, garantiza calidad y estilo al desarrollo de un código
<p>Wing IDE</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Es de uso comercial dirigido para desarrolladores profesionales • Tiene alrededor de 15 años de existencia • Compatible en Windows, OS X Linux • Posee una versión gratuita, personal y profesional muy completa • Soporta frameworks como: Maya, MotionBuilder, Zope, PyQt, PySide, pyGTK, Django, matplotlib
<p>Vim IDE</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Muy avanzado y popular dentro de los intérpretes de Python • De uso libre, pero bajo licencia GPL • Intérprete de entorno completo • Es ligero, modular y adecuado para aficionados al teclado • Su configuración inicial es difícil

Fuente: (Caraballo, 2016)

1.6. Transmisión de datos

Consiste en enviar datos por medio cualquier sistema de telecomunicación, desde el emisor hasta el receptor, siendo su versión más extendida la transferencia de información codificada desde un lugar específico a otro, empleando para ello señales eléctricas, ópticas, electrónicas o electromagnéticas. (LECHTALER, n.d.)

Existen distintos tipos de transmisión de datos dependiendo de las características del emisor y receptor:

1.6.1. Bluetooth

Se basa en un sistema de transmisión de datos entre el maestro y esclavo, trabaja mediante conexión inalámbrica a una frecuencia de 2,4 Ghz, este tipo de sistema se

utiliza para la sincronización de datos con dispositivos móviles como celulares, tablets, etc.

1.6.2. Wifi

Este sistema de transmisión de datos es 10 veces más veloz que la de bluetooth, posee un alcance de 100 metros, además posee la capacidad de trabajar con gran cantidad de datos a una velocidad aproximada de 600 Mbps. Se considera un sistema de aplicación común en estos días, ya que la mayoría de los dispositivos cuentan con este.

1.6.3. Zigbee

Es un sistema de transmisión de datos que al igual que el bluetooth, opera con una frecuencia de 2,4 Ghz, sin embargo, se emplea para aplicaciones industriales y domótica. Posee un alcance de 100 metros. (Chimbo Tamami & Jiménez Caiza, 2017)

1.6.4. Comunicación en serie

Se considera una unidad de transmisión en la cual los datos se transmite un bit tras otro, de manera secuencial y ordenada. La ventaja fundamental de este tipo de transmisión en serie es el uso de menor cantidad de cables y conectores. (Domínguez & Ferrer, 2012)

1.7. Visión artificial

Los sistemas de visión artificial incluyen diversos tipos de aplicaciones industriales y no industriales en donde existe una convergencia tanto de software como hardware para

la adquisición, procesamiento y análisis de imágenes para la toma de decisiones; además se caracterizan por su solidez, confiabilidad y estabilidad. (COGNEX, 2018)

Un sistema de visión artificial cuenta con: iluminación, lentes, sensores de imagen, procesamiento de visión, comunicaciones, etc. La mayor problemática de estos sistemas es su poca flexibilidad, ya que dependiendo del algoritmo de visión y la aplicación para la que fue diseñado, procesan la información exclusivamente en base a los requerimientos de la necesidad instaurada en su etapa de desarrollo. (García Fuentes, Navalón Davó, Jordá Reolid, & Juárez Varón, 2014)

1.7.1. Aplicaciones de la visión artificial

Los sectores y aplicaciones en los que se emplea la visión artificial dentro de los últimos años han crecido de manera notable, tal es así que ya no solo se centra únicamente en el área industrial para el control de calidad, sino que se ha extendido a los campos de la medicina, alimentos, textil, educación, etc. (García Fuentes, Navalón Davó, Jordá Reolid, & Juárez Varón, 2014)

1.7.2. Procesamiento de imágenes

El procesamiento digital de imágenes (PDI) ha servido de apoyo al desarrollo de diferentes herramientas en áreas como la medicina, fisiología, biometría, percepción remota, exploración espacial, visión por computadora, etc. El PDI se considera un conjunto de procesos que permite analizar la información presente en una imagen empleando para ello recursos computacionales útiles para la toma de decisiones. (Cuevas, Zaldivar, & Perez Cisneros, 2016)

Las etapas de procesamiento digital de imágenes son las que se describen a continuación:

- **Adquisición:** Proceso mediante el cual se obtiene la imagen digital a través de una cámara digital, de video, etc.
- **Pre-procesamiento:** A través de técnicas especiales se reduce las áreas que no son de interés mediante: reducción de ruido, contraste, realce de imagen.
- **Segmentación:** Permite la fragmentación de una imagen en los objetos de interés para la aplicación especificada.
- **Descripción:** Proceso que permite la identificación de características idóneas y diferencias específicas como forma, tamaño, área, etc.
- **Reconocimiento:** Reconoce objetos diversos como manos, rostros, autos, formas, etc.
- **Interpretación:** Se encarga de relacionar un significado a un objeto identificado, simulando así el proceso de cognición hecho por los seres humanos. (Chimbo Tamami & Jiménez Caiza, 2017)

1.7.3. Librerías empleadas para el desarrollo de visión artificial

Las librerías para visión artificial nacen debido a la necesidad de tener un paquete de visión para computador que realicen procesamiento de imágenes, datos, mismos que dependen de la potencia, escalabilidad y disponibilidad del código desarrollado para su aplicación en distintas áreas industriales, educativas, científicas, etc. (Arévalo, González, & Ambrosio, 2003)

Existen varias librerías útiles para efectuar una aplicación mediante visión artificial que pertenecen que pueden ser un software libre o privativo, como se evidencia en la tabla 4, no obstante, es necesario tomar en cuenta el campo aplicativo en el que se va a trabajar, ya que puede ser que los errores presentes en una librería sean ventajas presentes en otro tipo de librería que favorezcan al programador. (Morante Cendrero, 2012)

Tabla 4
Librerías para Visión Artificial

Librerías para visión artificial	Características
<p>Torch3vision</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Basado en C++ • Procesamiento básico de imágenes • Algoritmos de extracción de características • Libre con licencia BDS • Detección de caras
<p>VLX</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Basado en C++ • Algoritmos habituales para visión artificial • No es solo una librería, sino más bien un conjunto de ellas que ofrecen una muy completa funcionalidad • Licencia tipo GNU
<p>LTI-lib</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Usada para visión artificial • Tiene más de 500 clases • Tiene clases para: álgebra lineal, clasificación, procesamiento de imágenes, etc. • Licencia GNU
<p>OpenCV</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiene 500 algoritmos • Tiene algoritmos para: procesamiento de imágenes, descripciones geométricas, segmentación, seguimiento, etc. • Emplea capacidades de computación de las GPU • Se programa en C++, C, Python, Java

Fuente: (García-moreno, 2013)

1.8. Proceso de impresión 3D

Existe diversidad de impresoras 3D en el mercado, pero en general, poseen un funcionamiento idéntico efectuando una impresión capa por capa, empiezan desde la parte inferior hasta la superior, en bases a diseño desarrollados en un software CAD como se muestra en la figura 16.

El modelo se guarda como un .STL que se utiliza para trabajar dentro de un software específico para impresoras tipo 3D, que facilita la obtención de un código G dividiendo por capas horizontales el trabajo, dicho software se empata con un firmware propio del tipo de impresora empleada para la aplicación deseada, de manera tal que se introduce los parámetros de la máquina para determinar las condiciones de trabajo de la misma. (Sempértégui Bayas & Celi Abeiga, 2015)

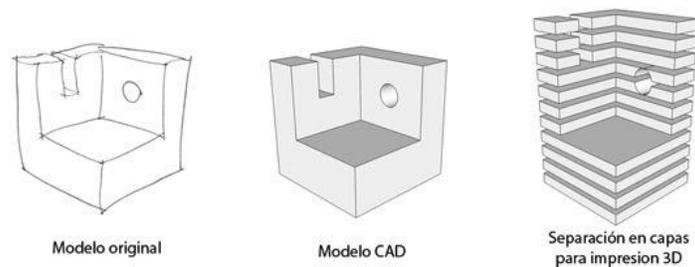


Figura 16. Proceso de impresión 3D

Fuente: (Navarrete, 2015)

1.8.1. Tipos de impresión 3D

Existen diversos tipos de impresoras 3D considerando las características de trabajo de cada una, el material empleado para realizar la extrusión o depósito se tiene las siguientes:

- **Impresoras de compactación**

Este tipo de impresora emplea una masa de polvos que se compacta por capas, pueden ser de tinta (varios colores) o de láser que compacta a base de temperatura de fundición el material con que se desea elaborar el objeto.

- **Impresoras de estereolitografía**

Este modelo de impresoras se basa en el empleo de láser ultravioleta en un envase que contiene resina que posee sensibilidad a la luz, dicho envase es de forma cúbica, la función del láser es solidificar la resina hasta que obtenga la forma deseada por el usuario.

- **Impresoras por deposición de material fundido**

Dichas impresoras utilizan un mecanismo de extrusión para depositar material fundido sobre un plano o base plana, dicho material debe ser expulsado por capas delgadas para lograr su solidificación a manera de capas lo que proporciona un acabado más detallado. (Sempértégui Bayas & Celi Abeiga, 2015)

CAPÍTULO II

DISEÑO DEL CONCEPTO

2.1. Introducción

Para el presente capítulo de diseño se emplea los métodos propuestos por Ulrich enunciados en su libro tomando en cuenta las etapas de: Mercadotecnia, Diseño y Manufactura para la elaboración del producto final a fin de sustentar las necesidades obtenidas por parte del usuario a través de una encuesta que se adjunta en el Anexo A1 junto con su respectivo análisis y tabulación referido en el Anexo A1.1.

2.2. Desarrollo del concepto

En la etapa de desarrollo del concepto se proceden a identificar las necesidades del mercado, gracias a esto se puede generar una serie de conceptos alternativos para el desarrollo del producto, para la elaboración de cualquier producto se seleccionan uno o más conceptos con sus respectivas pruebas adicionales, este concepto es una breve reseña de la forma, función y características del producto además de integrar una serie de especificaciones, una observación de productos elaborados por la competencia. (Eppinger, Karl T. & Ulrich -Steven D., 2013)

2.2.1. Necesidades del Cliente

Para poder obtener las necesidades del usuario “pastelerías” se realizó una encuesta a 10 locales comerciales dedicados a la repostería y a un grupo de personas de la ciudad de Latacunga, la misma que fue tabulada para determinar los requerimientos o

necesidades específicas con la finalidad de elaborar el diseño del sistema mecatrónico para el decorado de pasteles con diseños personalizados.

En la tabla 5 se exponen las necesidades del cliente y su importancia relativa requeridas para establecer las características técnicas de la máquina.

Tabla 5
Necesidades e Importancia

Número	Necesidad	Importancia
1	Fácil Manipulación	5
2	Diseños personalizados	5
3	Portabilidad	3
4	Bajo precio	4
5	Varios colores para el decorado	5
6	Confiable	5
7	Automático	5
8	Bajo consumo de energía	3
9	Área de trabajo	5
10	Fácil mantenimiento	3
11	Larga vida Útil	3
12	Conexión USB	3
13	Amigable con el medio ambiente	3
14	Menor tiempo de trabajo	4
15	Funcional	5
16	Varias alternativas de productos a decorar	5
17	Condiciones de trabajo estables	4
18	Seguridad durante el proceso de trabajo	4
19	Reducción de vibraciones ante superficie de apoyo	3

"Importancia" Se realizó la tabla con el rango del 1 al 5, siendo el número 1 la menor importancia y el 5 el de mayor importancia.

2.2.2. Especificaciones métricas

En la tabla 6 se presenta una matriz en la que se relaciona las necesidades del cliente indicadas en la tabla 6 con las métricas que representan los términos técnicos además es de gran ayuda al momento de elaborar la matriz de la casa de la calidad. (Eppinger, Karl T. & Ulrich -Steven D., 2013).

Tabla 6
Matriz Necesidades vs Métricas

Núm. Métrica	Núm. Necesidad	Métrica	Importancia	Unidades
1	1,3,10	Manual del Usuario	5	Subj.
2	2,5,9,14,16	Formas, Figuras, Texto	5	Subj.
3	3	Tamaño	5	cm
4	4	Valor no exceda a \$1600	3	\$
5	5	Mínimo dos colores	4	Subj.
6	6	Alarmas	5	Subj.
7	7	Interfaz Humano Máquina (HMI)	5	Subj.
8	8	Fuente AC-DC (regulable)	5	Voltios
9	10	Herramientas sencillas	5	Subj.
10	11	Tiempo de uso 5 años	3	años
11	12,7	Conectividad (Comunicación)	3	Lista
12	13	Normas, Calidad	3	Subj.
13	14	Tiempo decorado menor a 30 minutos	4	min
14	15	Calidad del Producto	5	Subj.
15	2,16	Pasteles, Galletas, Cupcake	5	Subj.
16	17	Parámetros de Aseo	4	Subj.
17	6,18	Seguridad de la máquina (ON/OFF/STOP)	4	Subj.
18	19	Atenuación de la máquina a 10hz	3	dB

La comparación entre los decoradores automáticos comerciales es necesaria para examinar y recopilar información indispensable con la finalidad de tomar las decisiones

con respecto al producto o máquina a diseñar, para lo cual se localizaron varios modelos caseros de decoradores en el mercado internacional carentes de especificaciones técnicas debido a que son prototipos de investigación tomando en cuenta que en nuestro país no existen máquinas autómatas especializadas en el área de repostería, siendo un proyecto viable e innovador para el decorado artesanal de pasteles.

2.2.3. Matriz de Casa de la Calidad QFD

Esta matriz se elabora en base a la relación que guardan las necesidades con las métricas del proyecto a diseñar con la finalidad de cumplir con todos los requerimientos y exigencia del usuario. (Taco Bonilla & Torres Barriga, 2018)

La matriz de la Casa de la Calidad también conocida como QFD (Quality Function Deployment) es empleada para no añadir un sobrecoste en la elaboración del producto, ni se agreguen funciones no pedidas por el usuario, situación que favorece para evaluar dicho producto frente a la competencia. (Bernal, 2012)

La figura 17 muestra la elaboración de la matriz de la casa de la calidad de acuerdo a la relación que tienen las necesidades con las métricas, tomando en cuenta que una relación fuerte se evalúa con 9 puntos, una relación mediana se califica con un 3, una relación débil con 1, y 0 para una relación inexistente.

Además la matriz de la casa de la calidad presenta la importancia del usuario ante las diferentes necesidades que pretende satisfacer el sistema mecatrónico, manejando para ello un peso relativo y una tabla de cálculo especificada en el Anexo B (Taco Bonilla & Torres Barriga, 2018)

Necesidades	Métricas																				
	Manual de usuario (Subjetiva 1-5)	Formas, figuras, texto (Subjetiva 1-5)	Tamaño (cm)	Valor no exceda a \$1600 (\$)	Mínimo dos colores (Subjetiva 1-5)	Alarmas (Subjetiva 1-5)	HMI (Subjetiva 1-5)	Fuente AC-DC regulable (Voltios)	Herramientas sencillas (Subjetiva 1-5)	Tiempo de uso 5 años	Conectividad (Lista)	Normas, calidad (Subjetiva 1-5)	Tiempo de decorado <30 min (min)	Calidad del producto (Subjetiva 1-5)	Pasteles, galletas, cupcake (Subjetiva 1-5)	Parámetros de aseo (Subjetiva 1-5)	Seguridad de la máquina ON/OFF/STOP (Subjetiva 1-5)	Atenuación de la máquina a 10 hz (dB)	Importancia del usuario (1 a 5)	Ponderación Relativa (%)	Orden de importancia
Fácil manipulación	9	0	9	0	9	3	9	1	9	9	1	9	1	9	3	3	9	0	5	6,1	9
Diseños personalizados	9	9	3	3	9	0	9	0	3	1	9	3	9	3	9	1	0	0	5	4,9	10
Portabilidad	0	1	1	3	1	0	1	9	3	3	1	9	3	3	3	3	1	9	5	6,1	7
Bajo precio	1	9	3	9	3	3	3	3	9	9	3	3	9	9	3	0	1	1	4	6,1	8
Varios colores para el decorado	9	9	1	3	9	0	9	0	3	3	3	1	3	9	9	0	0	0	4	4,9	11
Confiable	1	9	1	9	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	5	6,1	4
Automático	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	9	9	9	1	3	9	3	3,7	14
Bajo consumo de energía	3	1	3	3	1	1	0	9	3	9	1	1	1	3	1	1	1	0	3	4,9	12
Área de trabajo	1	3	9	9	3	0	0	1	3	9	0	3	9	9	9	3	0	1	5	6,1	3
Fácil mantenimiento	9	0	9	3	3	1	0	9	9	9	1	9	1	3	1	9	3	3	4	7,6	2
Larga vida útil	9	3	9	9	3	9	0	9	9	9	3	9	3	3	0	9	9	9	5	0,2	1
Conexión USB	9	9	3	1	0	0	9	0	1	0	9	0	0	0	0	0	0	0	2	2,3	19
Amigable con el medio ambiente	3	1	3	0	9	0	1	3	3	1	1	1	0	0	0	9	0	3	3	3,7	15
Menor tiempo de trabajo	1	9	3	9	3	0	3	1	9	3	0	3	9	9	9	3	1	3	5	4,9	13
Funcional	9	9	3	9	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	5	6,1	5
Varias alternativas de productos a decorar	9	9	1	9	9	1	3	0	9	0	1	1	3	9	9	3	1	0	5	6,1	6
Condiciones de trabajo estables	9	1	3	3	3	9	1	9	9	1	1	9	1	9	1	1	9	9	3	2,8	18
Seguridad durante el proceso de trabajo	9	1	3	1	3	0	1	9	9	1	0	9	3	3	3	9	9	9	3	3,7	16
Reducción de vibraciones ante superficie de apoyo	9	0	3	0	3	0	0	1	3	1	0	3	0	3	0	1	3	9	3	3,7	17
Orientación deseada	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑			
Ponderación abs	607	476	456	544	447	315	375	511	676	579	309	546	456	600	467	445	388	442			
Ponderación real (%)	7,0	5,5	5,3	6,3	5,2	3,6	4,3	5,9	7,8	6,7	3,6	6,3	5,3	6,9	5,4	5,1	4,5	5,1			
Orden de importancia	2	8	10	6	12	17	16	7	1	4	18	5	11	3	9	13	15	14			

Figura 17. Matriz de la casa de la calidad

De acuerdo a los resultados presentados en la matriz QFD se puede destacar que la necesidad menos imprescindible es la de implementar un conector USB para el proceso de decorado superior automático de pasteles, debido a que la máquina puede utilizar la comunicación serial para la transmisión de datos.

Para el desarrollo eficiente del sistema mecatrónico de decorado superior de pasteles se debe tomar en consideración las métricas más relevantes, las cuales son:

Herramientas sencillas (7,8%), Manual de usuario (7%), Calidad del producto (6,9%), Tiempo de uso 5 años (6.7%), Normas y calidad (6,3%), Valor no exceda a \$1600 (6,3%), conforme los resultados que arrojan la matriz QFD.

2.2.4. Generación de Conceptos

Para que el producto final cuente con cada una de las necesidades o requerimientos del cliente es indispensable explorar alternativas de solución para el sistema de decorado, para lo que se recurre a los conceptos de un producto que son los que describen la tecnología, trabajo y forma del mismo, la figura 18 exterioriza los subsistemas que conforman el sistema mecatrónico de decorado de pasteles. (Eppinger, Karl T. & Ulrich - Steven D., 2013)



a) Interfaz humano - máquina **b)** Transmisión de datos **c)** Decorador mecatrónico

Figura 18. Sistema Mecatrónico de Decorado de Pasteles

El proceso de decorado de pasteles cuenta con:

- Dispositivo Móvil
- Sistema Operativo
- Aplicación o interfaz humano – máquina

- Sistema de visión artificial
- Tarjeta de Control
- Actuadores
- Mecanismo del extrusor del glaseado o merengue

2.2.5. Evaluación de Conceptos

Para la elección de los componentes que necesita cada subsistema del decorador mecatrónico de pasteles, se obtiene una matriz de evaluación que permite establecer la opción de solución más viable para cumplir con los objetivos de funcionamiento.

Actualmente, los dispositivos móviles constituyen una de las tecnologías más usadas y muestran ventajas en cuanto a su portabilidad y a su sensibilidad al contexto, basan su funcionamiento en una aplicación cliente que se enlaza a un servidor.(Herrera & Fénema, 2011, p. 1,2)

a) Dispositivo Móvil

Un dispositivo móvil se puede definir como un aparato de dimensiones pequeñas, con varias capacidades de procesamiento, con enlace permanente o interrumpido a una red, con memoria limitada, que ha sido diseñado para llevar a cabo diversas funciones. (Alonso, Artime, Rodríguez, & Baniello, 2011, p. 1)

En la tabla 7 se presenta un cuadro comparativo entre los dispositivos móviles más utilizados por los artesanos pasteleros según los resultados evidenciados en las encuestas.

Tabla 7
Cuadro Comparativo de dispositivos móviles

	Tablet 	Computador 	Celular 
Tamaño	Promedio de 7 a 12 pulgadas	14 pulgadas	3 a 5.3 pulgadas
Diseño	Ligeros y compactos	Compacto	Compacto y moderno
Conexión	3G, Wi-Fi, Bluetooth	3G, Wi-Fi, Bluetooth	3G, Wi-fi, Bluetooth
Portabilidad	Incómodo	Incómodo	Cómodo
Sistema Operativo	iOs Apple, Android de Google	Linux, Windows, iOS	Android, Blackberry, iOS, Windows
Versatilidad	Mayor procesador	Compatibilidad de programas	Alta compatibilidad

La tabla 8 muestra la matriz de evaluación de las opciones para el dispositivo móvil en base a razones de selección, para lo cual se examina tres alternativas de solución.

Tabla 8
Evaluación de Alternativas del dispositivo móvil

	Alternativa A			Alternativa B		Alternativa C	
	Tablet			Computador		Celular	
Criterios de Selección	%	Valor	Peso	Valor	Peso	Valor	Peso
Tamaño	20	3	0.6	4	0.8	5	1
Conexión	25	4	1	4	1	5	1.25
Versatilidad	25	4	1	4	1	4	1
S. O	25	4	1	4	1	4	1
Total			3.6		3.80		4.25
Lugar			3		2		1
¿Continuar?			NO		NO		SI
Valor	Pésima (1), mala (2), buena (3), muy buena (4), excelente (5)						

La tabla 8 revela que la opción con mayor peso es el uso de un smartphone, en base a la tendencia presentada en las encuestas donde la opción sobresale con 59%, sin embargo, debido a la complejidad del sistema mecatrónico y por la capacidad de

procesamiento requerida para realizar las diferentes operaciones se opta por la segunda opción un computador, tomando en cuenta que a través del mismo se puede desarrollar el diseño de la imagen a emplear en el decorado de pasteles.

b) Sistema Operativo (S.O)

Es un conjunto de programas para la práctica de varias tareas, sirviendo como enlace entre el usuario y la computadora, de esta manera se proporciona al usuario la interfaz adecuada para controlar nuestro proceso de decorado automático. (Natsys, 2017b)

La tabla 9 realiza un cuadro comparativo de los sistemas operativos que emplean los diversos computadores dentro del mercado mundial para poder identificar las principales debilidades y fortalezas de cada uno de ellos, con la finalidad de analizar el más factible de emplear en el diseño del sistema mecatrónico de decorado de pasteles.

Tabla 9

Cuadro Comparativo del Sistema Operativo

Sistema Operativo	Windows	Linux
Personalización	Alta	Media
Programación	C++	C++
Compatible	si	no
Interfaz	Amigable	Baja
Calidad	Mayor	Mayor
Porcentaje del mercado	47.2	2.27

La tabla 10 muestra la matriz de evaluación de las alternativas para el sistema operativo del decorador en base a los criterios de selección, siendo Windows y Linux las alternativas de uso más frecuente.

Tabla 10
Evaluación de alternativas del Sistema Operativo

Criterios de Selección	%	Alternativa A		Alternativa B	
		Windows		Linux	
		Valor	Peso	Valor	Peso
S. O	30	5	1.5	4	1.2
Compatible	25	5	1.25	4	1
Interfaz	25	4	1	3	0.75
Calidad	20	3	0.6	4	0.8
Total			4.35		3.75
Lugar			1		2
¿Continuar?			SI		NO
Valor	Pésima (1), mala (2), buena (3), muy buena (4), excelente (5)				

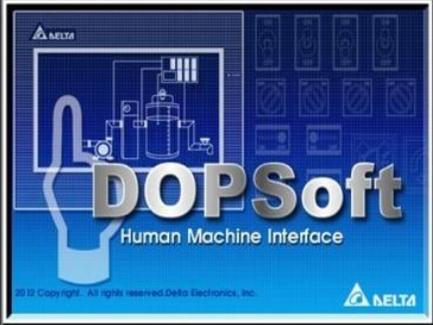
Mediante la tabla 10 se indica que la opción con mayor peso es el sistema operativo Windows, datos que afirman el resultado obtenido en la tabulación de las encuestas ejecutadas que establecen que el 55% de usuarios utiliza dicho sistema con mayor frecuencia.

c) Aplicación o Interfaz Humano Máquina

Es un software informático que admite el cumplimiento de una tarea, en el caso del decorador mecatrónico proporciona al usuario una interfaz amigable para controlar desde una computadora todo el proceso de decorado automático tomando en cuenta cada una de las diferentes tareas que integra este sistema.

La tabla 11 muestra un cuadro comparativo de los principales programas para el sistema operativo Windows que son alternativas aplicables a los requerimientos de diseño que tiene el decorador mecatrónico. (Hurtado Cortés & Forero Casallas, 2014)

Tabla 11
Cuadro comparativo del Software de aplicación o HMI

Software	Características
<p data-bbox="402 394 509 422">DopSoft</p> 	<ul data-bbox="792 499 1360 659" style="list-style-type: none"> • Compatible con Windows XP, Vista, 10 • Licencia de Software Libre • Gran cantidad de herramientas y funciones • Fácil manipulación • Desarrollo personalizado de Interfaz Grafica
<p data-bbox="415 789 500 816">Python</p> 	<ul data-bbox="792 909 1273 1068" style="list-style-type: none"> • Compatible con Windows • Licencia de Software Libre • Varias herramientas • Fácil aprendizaje • Desarrollo de Interfaz Gráfica básica
<p data-bbox="331 1178 587 1205">Wonderware InTouch</p> 	<ul data-bbox="792 1283 1419 1472" style="list-style-type: none"> • Compatible con Windows • Privativo • Varias herramientas para desarrollo de interfaces graficas • Fácil manipulación • Desarrollo personalizado de Interfaz Grafica

La tabla 12 muestra la matriz de evaluación de las opciones para la interfaz humano - máquina en base a criterios y normas de selección, siendo las opciones más viables DopSoft, Python y Wonderware InTouch.

Tabla 12*Evaluación del Software Alternativo para la aplicación o HMI*

Criterios de Selección	%	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C	
		Valor	Peso	Valor	Peso	Valor	Peso
		DopSoft		Python		Wonderware InTouch	
Programación	45	5	2.25	5	2.25	4	1.8
Instalación	15	4	0.6	5	0.75	4	0.6
Interfaz Gráfica	20	4	0.8	4	0.8	5	1
Licencia	20	5	1	5	1	3	0.6
Total			4.65		4.8		4
Lugar			3		1		2
Continuar			NO		SI		NO
Valor	Pésima (1), mala (2), buena (3), muy buena (4), excelente (5)						

En la tabla 12 se observa que la mejor opción es el software Python con un peso total de 4.8 puntos, por tal motivo se elige como opción de solución este software debido a sus características de programación sencilla, licencia y por compatibilidad de programas en el sistema operativo Windows seleccionado, por el sistema de visión artificial para el procesamiento digital de imágenes (PDI) las mismas que beneficiaran al sistema mecatrónico de decorado de pasteles.

d) Alternativa de solución para transmisión de datos

Al mencionar transmisión de datos se hace referencia a información digital. La transmisión de datos es el proceso en el cual la información viaja de un punto a otro, existen dos maneras de transmitir datos, de forma inalámbrica y por medio cables. (Íñigo Grieta & Cerdá Alabern)

En el caso del decorador mecatrónico la transmisión de datos se la realizará en base a las características técnicas de la máquina de características similares a una impresora

3d Delta Kossel. Por lo tanto, las mejores opciones son la transmisión de datos mediante puerto serial y micro sd, en la tabla 13 se muestra un cuadro comparativo de estas opciones.

Tabla 13
Cuadro Comparativo de transmisión de datos

	Puerto serial	Micro SD
		
Compatibilidad	Fácil interconexión con redes IP	Dispositivos compatibles con SD, SDHC, SDXC
Alcance	Comunicación a distancia dependiendo de la longitud del cable	Dispositivo portable de fácil extracción
Configuración	Fácil administración	Dificultad media
Control	Monitoreo de tráfico de datos enviados y recibidos en tiempo real	Transmisión de datos en tiempo real
Transmisión de datos	Segura y fiable	Aceptable

En la tabla 14 se evidencia la matriz de evaluación de las opciones para efectuar la transmisión de datos en base a los criterios de selección más destacados.

Tabla 14
Evaluación de Alternativas para la transmisión de datos

	Alternativa A			Alternativa B	
		Puerto Serial		Micro SD	
Criterios de Selección	%	Valor	Peso	Valor	Peso
Compatible	25	5	1.25	5	1.25
Alcance	20	5	1	4	0.8
Configuración	15	4	0.6	3	0.45
Control	20	5	1	4	0.8
Transmisión de datos	20	5	1	5	1
Total			4.85		4.3
Lugar			1		2
Continuar			SI		NO
Calificación	Pésima (1), mala (2), buena (3), muy buena (4), excelente (5)				

La tabla 14 muestra que la opción con mayor ponderación es el puerto serial con un total de 4.85 puntos, ya que tiene mejor alcance y velocidad de transmisión de datos.

e) Sistema de visión artificial

El sistema mecatrónico de decorado de pasteles cuenta con un sistema de visión artificial el mismo que tiene la capacidad de detectar contornos localizar el centro del pastel o producto a decorar.

- **Cámara**

Es un aparato o dispositivo que tiene la capacidad de obtener información del medio y plasmarla en una imagen o fotografía su función es similar a la del ojo humano, captando la intensidad de luz que posee cada color con ayuda de un sensor fotosensible, de este dispositivo dependen las técnicas o algoritmos para el preprocesamiento de imágenes, para ello se analizaron una serie de opciones de cámaras, que se observan en la tabla 15 optando por cualquier opción. (Chimbo Tamami & Jiménez Caiza, 2017)

Tabla 15
Cuadro comparativo de cámara

	Alternativa A	Alternativa B
	Cámara Web Logitech C170 	Cámara Web Genius Eye 110 G4M 
Descripción	Es capaz de capturar imágenes y video con sonido	Puede ser usado para tomar video de alta definición
Resolución	1024*768 píxeles	640*480
Megapíxeles	5	0.3

En la tabla 16 se observa las características más primordiales al elegir una cámara tomando en cuenta las necesidades del sistema mecatrónico.

Tabla 16
Evaluación de Alternativas para la cámara

	Alternativa A			Alternativa B	
		Cámara Web Logitech C170		Cámara Web Genius Eve 110 G4M	
Criterios de Selección	%	Valor	Peso	Valor	Peso
Descripción	30	4	1.2	5	1.5
Resolución	35	5	1.75	4	1.4
Megapíxeles	35	5	1.75	3	1.05
Total			4.7		3.95
Lugar			1		2
Continuar			SI		NO
Calificación	Pésima (1), mala (2), buena (3), muy buena (4), excelente (5)				

La tabla 16 señala como mejor opción para el sistema mecatrónico es la cámara web Logitech C170 con un puntaje de 4.7 puntos, debido a que se requiere de una excelente resolución.

f) Actuadores

Los actuadores son dispositivos de salida que se encargan de realizar una función mecánica como respuesta a una señal de entrada, dicha respuesta depende mucho del tipo de señal obtenida. Según su oficio se dividen en: actuadores mecánicos, eléctricos, neumáticos e hidráulicos. (Areny, 1993)

Para el sistema mecatrónico de decorado de pasteles se puede emplear una variedad de actuadores, por ello necesario analizar los beneficios de cada uno de ellos como se muestra en la tabla 17.

Tabla 17*Cuadro de comparación de actuadores*

		Eléctricos	Neumático
Fuente de energía		Electricidad	Aire
Tipos		Motores de CC, motores a pasos, motores de CA motores controlados por inducido o por excitación	Simple o doble efecto, motores neumáticos, válvulas neumáticas y electroneumáticas
Ventajas		Precisos, confiables, silenciosos, control simple, instalación sencilla	Baratos, rápidos, sencillos, robustos
Desventajas		Potencia limitada	Ruidosos, control difícil, instalación especial

Fuente: (Sánchez, 2002)

La tabla 17 muestra las principales características de los distintos tipos de actuadores necesarios de acuerdo a las necesidades de diseño y criterios de selección.

Por otro lado, la tabla 18 presenta las dos distintas alternativas de selección de actuadores: neumáticos y eléctricos, mismas que se encuentran acorde a las necesidades presentadas para su selección de Ulrich.

Tabla 18*Evaluación de alternativas de tipo de actuadores*

		Alternativa A		Alternativa B	
		Actuador eléctrico		Actuador neumático	
Criterios de selección	%	Valor	Peso	Valor	Peso
Control	20	5	1	4	0.8
Costo	20	5	1	4	0.8
Instalación	15	4	0.6	3	0.45
Mantenimiento	15	4	0.6	3	0.45
Diseño	20	3	0.6	5	1
Fiabilidad	10	5	0.5	4	0.4
Total			4.3		3.9
Lugar			1		2
¿Continuar?			SI		NO
Valor		Pésima (1), mala (2), buena (3), muy buena (4), excelente (5)			

En la tabla 18 se refleja que el actuador eléctrico es indispensable para el diseño de sistema mecatrónico de decorado debido a que contiene características técnicas necesarias para su funcionamiento.

- **Actuador eléctrico**

Un actuador eléctrico se encarga de transformar en energía mecánica la energía eléctrica, independientemente si es rotacional o lineal. Este tipo de actuadores son los más usados en la industria debido a que trabajan con energía eléctrica. (Ramírez, Jiménez, & Carreño, 2014)

En la tabla 19 se resalta las principales características a tomar en cuenta para los actuadores eléctricos, este análisis se realiza en base a las necesidades del sistema mecatrónico de decorado de pasteles para optimizar cada una de sus funciones.

Tabla 19

Cuadro de comparación de los actuadores eléctricos

	Motor a pasos	Motor DC
		
Voltaje	9 – 12 V	1.25 – 3V
Costo	Bajo	Elevado
Grados por paso	0.72; 1.8; 3.6; 7.5; 15; 90	-----
Velocidad	Elevada	Baja
Compatibilidad	Raspberry Pi, arduino	Raspberry Pi, arduino

Para realizar la evaluación de alternativas para la selección del tipo de actuador eléctrico a utilizarse se emplea la tabla 20 aplicando los distintos criterios de selección.

Tabla 20

Evaluación de alternativas de actuadores eléctricos

		Alternativa A		Alternativa B	
		Motor a pasos		Motor DC	
Criterios de Selección	%	Valor	Peso	Valor	Peso
Voltaje	20	5	1.5	4	1.2
Costo	20	5	1.25	4	1
Grados por paso	15	3	1	4	0.75
Velocidad	25	5	0.6	4	0.8
Compatibilidad	20	5		5	
Total			4.35		3.75
Lugar			1		2
¿Continuar?			SI		NO
Valor	Pésima (1), mala (2), buena (3), muy buena (4), excelente (5)				

Los resultados obtenidos de la tabla 20 evidencian como mejor opción al motor a pasos como actuador eléctrico tomando en cuenta los criterios de selección mencionados.

g) Tarjetas de control

La tarjeta de control es un medio de comunicación entre el ordenador y el sistema mecatrónico con la función de control cada uno de sus movimientos y funciones.

Esta tarjeta tiene la función de controlar por medio de programación sensores, actuadores, módulos digitales y analógicos en la tabla 21 se presentan dos alternativas tarjetas comerciales.

Tabla 21*Alternativas de solución de tarjetas de control*

	Alternativa A	Alternativa B
	Raspberry Pi3	Arduino Mega
		
Descripción	Pequeño Ordenador con pines para control	Plataforma física computacional
Costo	35	24
Tamaño	8.6 x 5.4 x 1.7 cm	108 x 53 x 15 cm
Controlador	ARMv8	ATMEGA 2560
Pines	40 GPIO	54 digitales E/S 15 salidas PWM
Memoria	512 MB	256 KB
Voltaje	5 V	7-12 V
Puertos	USB: Cuatro MicroUSB: Uno Ethernet: Uno	Serial : Uno
Peso	98 gramos	37 gramos
Programación	Scratch, IDLE, Linux	Arduino

Fuente: (Chimbo Tamami & Jiménez Caiza, 2017)

- **Selección de la tarjeta de Control**

Para elegir la mejor alternativa se debe tomar en cuenta varias características técnicas:

- Número de entradas/salidas digitales
- Controlador
- Velocidad Reloj
- Memoria del programa
- Programación

Tabla 22
Evaluación de alternativas para la tarjeta de control

Criterios de Selección	%	Alternativa A		Alternativa B	
		Raspberry Pi3		Arduino Mega 2560	
		Valor	Peso	Valor	Peso
Entradas/Salidas	15	5	0.75	4	0.6
Controlador	30	5	1.5	5	1.5
Velocidad del Reloj	20	3	0.6	5	1
Memoria del Programa	5	5	0.25	3	0.15
Programación	30	2	0.6	5	1.5
Total			3.7		4.75
Lugar			2		1
¿Continuar?			NO		SI
Valor	Pésima (1), mala (2), buena (3), muy buena (4), excelente (5)				

Los resultados obtenidos de la tabla 22 muestran que la mejor alternativa de control a utilizar en el sistema mecatrónico de decorado superior de pasteles, por las características técnicas y nivel de complejidad en la programación es la tarjeta Arduino Mega 2560.

h) Alternativa de Solución del Sistema de Decorado

El sistema mecatrónico debe cumplir con los requerimientos señalados desde su ergonomía hasta su operatividad, por este motivo se examina varias opciones para la solución del sistema mecatrónico y de sus subsistemas, tomando en consideración que el trabajo a desarrollar efectúa funciones similares que una impresora 3D con los mismos elementos estructurales pero diferente sistema extrusor, basándose en esta referencia el sistema puede ser diseñado conforme a los siguientes tipos de impresoras mostrados en la tabla 23.

Tabla 23*Alternativas de solución de sistema de decorado*

	Cartesiana	Delta	Polar
			
Modelo cinemático	Simple	Complejo	Muy complejo
Movimiento de cama de impresión	En el eje y	No	Cama giratoria
Volumen de trabajo	Bajo	Alto	Muy alto
Velocidad	Baja	Alta	Muy alta
Calidad de impresión	Regular	Buena	Buena
Calibración	Fácil	Primera calibración tediosa	Fácil

Para realizar la evaluación de alternativas para la selección del tipo de impresora 3d como solución base para el diseño conceptual del sistema mecatrónico de decorado de pasteles como se muestra en la tabla 24.

Tabla 24*Evaluación de alternativas de solución de sistemas de decorado*

	Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C		
	Cartesiana		Delta		Polar		
Criterios de Selección	%	Valor	Peso	Valor	Peso	Valor	Peso
Modelo cinemático	20	5	1	3	0.6	3	0.6
Movimiento de cama de impresión	10	4	0.4	5	0.5	4	0.4
Volumen de trabajo	25	4	1	5	1.25	5	1.25
Velocidad	25	4	1	5	1.25	4	1
Calidad de impresión	10	2	0.2	5	0.5	4	0.4
Calibración	10	5	0.5	3	0.3	4	0.4
Total			4.1		4.4		4.05
Lugar			3		1		2
Continuar			NO		SI		NO
Calificación	Pésima (1), mala (2), buena (3), muy buena (4), excelente (5)						

Los resultados obtenidos de la tabla 24 muestran que la mejor alternativa de solución de sistemas de decorado es en base a una infraestructura de una impresora delta.

i) Selección del mecanismo de transmisión

El sistema estructural del decorador mecatrónico de pasteles está compuesto por 3 perfiles verticales, cada uno de ellos está apoyado en una pieza denominada unión inferior para la base, respectivamente las mismas que conforman un triángulo equilátero que además soporta 6 perfiles estructurales horizontales.(Toapanta, del Pilar, & Navarrete Parra, 2014, p. 25)

La estructura superior del decorador mecatrónico cuenta también con piezas de unión de dimensiones distintas a las inferiores ya que soportan tres perfiles de aluminio horizontales y los 3 verticales mencionados anteriormente como se muestra en la figura 19.



Figura 19. Impresora 3d delta Kossel

Fuente: (AliExpress, 2018)

Para el sistema de transmisión de movimientos dentro del decorador mecatrónico se presenta los métodos de solución mostrados en la tabla 24.

Tabla 25
Evaluación de Alternativas del Sistema de Transmisión

	Alternativa A			Alternativa B		Alternativa C	
		Bandas y piñones		Tornillo sin fin y rueda dentada		Sistema de Engranés	
Criterios de Selección	%	Valor	Peso	Valor	Peso	Valor	Peso
Tipo de transmisión	25	4	1	3	0.75	3	0.75
Relación de transmisión	15	4	0.6	3	0.45	4	0.60
Velocidad	30	5	1.5	3	0.90	4	1.2
Costo	15	3	0.45	4	0.60	4	0.60
Rozamiento	15	3	0.45	3	0.45	3	0.45
Total			4		3.15		3.6
Lugar			1		3		2
Continuar			SI		NO		NO
Calificación	Pésima (1), mala (2), buena (3), muy buena (4), excelente (5)						

Los resultados obtenidos de la tabla 25 exponen que la mejor alternativa de solución para la transmisión de movimiento del decorador mecatrónico es el conjunto de bandas y piñones debida a su fácil implementación y poca complejidad. (Maroto Centeno, 2018)

j) Selección del sistema mecánico del decorador mecatrónico

Para efectuar el diseño de cada componente del sistema mecatrónico de decorado superior de pasteles se debe tomar en consideración cada una de las prestaciones como: material, costo y dimensiones.

Para la construcción del decorador mecatrónico se toma como referencia varios modelos de impresoras 3D de software libre, realizando un análisis exhaustivo previo de

cada elemento con la finalidad de seleccionarlos y adaptarlos de acuerdo a los requerimientos técnicos de la máquina. No obstante, existen un sin número de componentes que han sido diseñados acorde a la aplicación establecida y garantizar así la efectividad de la máquina al momento de efectuar su labor.

- **Estructuras de aluminio para impresoras 3D**

La estructura del sistema se encuentra compuesta por varios perfiles de Aluminio de 20X20 mm de espesor los mismos que facilitan su ensamble y la distribución equitativa de cargas ya que son resistentes al pandeo además de contar holguras en la parte central que permiten el uso de elementos mecánicos de sujeción. Existen varios modelos comerciales útiles que se muestran en la figura 20.

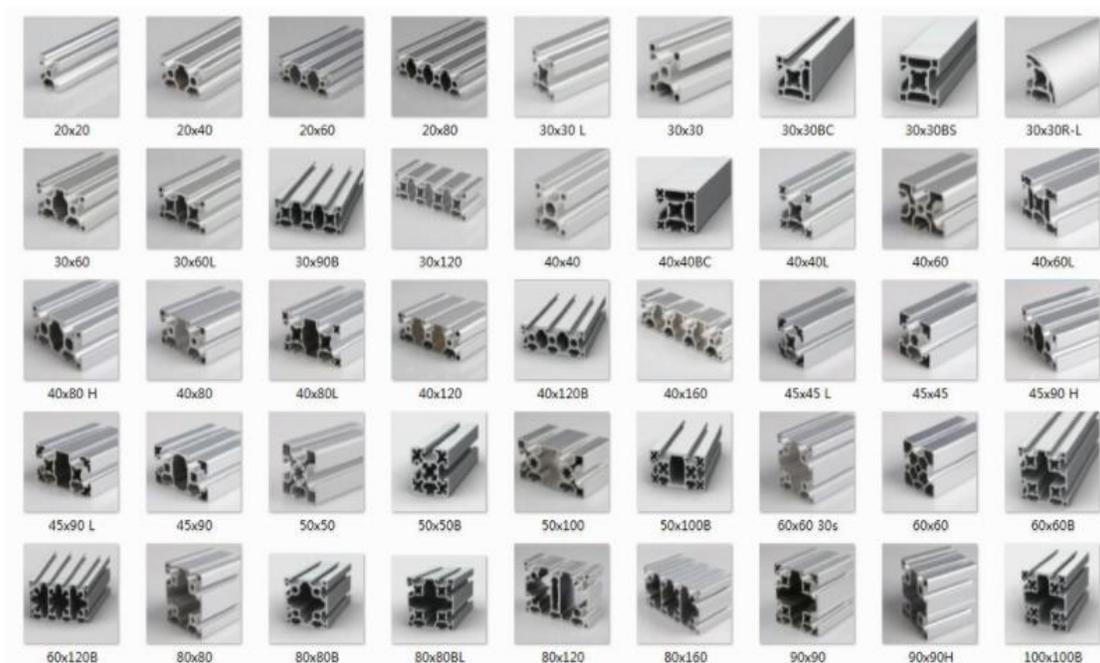


Figura 20. Perfil de aleación de aluminio para impresoras 3D

Fuente: (Weyerhau, 2019)

Dentro de las principales ventajas de emplear perfiles estructurales de aluminio de 20x20mm para impresora 3D dentro del decorador mecatrónico de pasteles se encuentran:

- Fácil montaje y corrección de errores
- Ensamble utilizando perfiles de aluminio con ranura t estándar y accesorios para cualquier estructura.
- Compatibilidad
- Excelente apariencia y resistencia
- Se puede utilizar para el trabajo y acople con una amplia gama de productos
- Los agujeros internos que poseen los perfiles de aluminio facilitan su ensamble y unión. (Weyerhau, 2019)
- **Elementos de unión para perfil de Aluminio 20X20 mm**

Para el ensamble de los perfiles de la estructura se utiliza piezas de esquina de Aluminio de color negro para una impresora Delta 3d Rerap Kossel ya que coinciden con el área del perfil, en la figura 21 se observa la unión.



Figura 21. Uniones de perfiles de aluminio

Fuente: (AliExpress, 2018)

- **Tornillo de Cabeza Hexagonal**

Este elemento de sujeción sirve para unir piezas metálicas siendo el más común y utilizado se caracteriza por tener una cabeza en forma de hexágono dentro de sus aplicaciones están la fijación, montaje o presión. En el sistema mecatrónico son empleados para fijar las uniones superiores e inferiores con los perfiles siendo los de tipo M2, M5, M3 como se muestra en la figura 22.



Figura 22. Tornillo M3

Fuente: (AliExpress, 2018)

- **Partes plásticas impresas del carro vertical**

Son elementos impresos cuya función es dar guía y soporte a los ejes del mecanismo extrusor y las correas como se observa en la figura 23, mismas que dan movimiento vertical a la impresora 3d delta permitiendo que se lleve a cabo los movimientos en los tres ejes de trabajo x, y, z.



Figura 23. Carro delta 3d Kossel

Fuente: (AliExpress, 2018)

- **Soportes magnéticos para impresora 3D Kossell**

Dichos elementos cuentan con bolas redondas magnéticas en sus extremos son empleados para dar soporte al mecanismo extrusor y enlazarlos con los carros verticales que dan movimiento a las correas que permiten el desplazamiento en los distintos ejes coordenados como se evidencia en la figura 24.



Figura 24. Soportes magnéticos de impresora 3D Reprap Kossell Delta

Fuente: (AliExpress, 2018)

CAPÍTULO III

DISEÑO DE DETALLE

3.1. Introducción

El sistema mecatrónico para el decorado superior de pasteles con diseños personalizados está constituida por una parte mecánica formada por los distintos componentes seleccionados en el Capítulo II, siendo necesario realizar los análisis respectivos en las partes o apoyos considerados como críticos para sustentar el diseño y modelamiento mecánico, además hay que establecer los parámetros de control adecuados mediante cálculos a fin de que no exista fallas dentro de su funcionamiento.

3.2. Diseño del sistema extrusor

El sistema extrusor de decorador mecatrónico para dos colores distintos de glaseado o merengue cuenta con una jeringa prefabricada de plástico cuya capacidad volumétrica es similar a la del cilindro, siendo una forma constante en cada una de las partes de dicho sistema.

Para obtener la cantidad necesaria de glaseado o merengue con el que debe contar el sistema extrusor para el decorado superior de pasteles, hay que tener en consideración que el diseño propuesto tiene acoples, mangueras y jeringas de decoración manual por lo que el volumen total V_t requerido está formado por la sumatoria de cada uno de estos volúmenes parciales, con un cálculo basado en la fórmula para el cálculo del volumen de un cilindro como se muestra en la ecuación (1), tomando en cuenta los datos presentados en la tabla 26.

Tabla 26

Magnitudes de radio y altura de los elementos constitutivos de extrusor

Elementos del extrusor	Radio	Altura
Manguera para alimentos	$r_m=4\text{mm}$	$h_m=540\text{mm}$
Acoples para las jeringas	$r_a=2.5\text{ mm}$	$h_a=27\text{mm}$
Jeringas	$r_j=15\text{ mm}$	$h_j=93\text{mm}$

Cálculo del volumen total de merengue o glaseado

$$V_t = \pi(r_m)^2 h_m + \pi(r_a)^2 h_a + \pi(r_j)^2 h_j \quad (1)$$

$$V_{total} = \pi(4^2)(540) + \pi(2.5^2)(27) + \pi(15^2)(93)$$

$$V_t = 0.093 \text{ lt} \approx 0.09 \text{ lt}$$

El mecanismo extrusor para depósito de glaseado requiere de una fuerza de empuje F_e para comprimirlo y hacerlo fluir desde la jeringa de decorado hasta la boquilla extrusora situada en el cabezal extrusor, esta fuerza se basa en el principio de Arquímedes descrito en la ecuación (2), con densidad del merengue de 1.55 gr/cm^3 :

$$F_e = \rho * V * g \quad (2)$$

$$F_e = \left(1.55 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} * \frac{1000\text{cm}^3}{1\text{lt}} * \frac{1\text{kg}}{1000\text{g}} \right) * (0.09\text{lt}) * \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

$$F_e = 1.3684 \text{ N} \approx 1.37 \text{ N}$$

3.2.1. Diseño del tornillo de potencia

Para desarrollar el diseño del tornillo de potencia del sistema extrusor hay que considerar que está sometido a esfuerzos como: tracción, flexión, torsión y compresión,

sumado a esto existe desgaste producido por la fricción debido al roscado presente tanto en la tuerca de bolas como en el propio tornillo de potencia, siendo necesario su adecuado dimensionamiento para que sea resistente y rígido para evitar estas condiciones críticas.

- **Diámetro raíz**

Uno de los lineamientos que se debe tomar en cuenta en los cálculos requeridos para el diseño del tornillo de potencia es la longitud, ya que si está es por lo menos 8 veces mayor a su diámetro se lo considera como una columna susceptible a pandeo, además de ser importante su ubicación en este caso vertical para aprovechar el factor gravitacional para el sistema. (Astudillo Lala, 2006)

La carga que va a soportar el tornillo de potencia es la sumatoria de la fuerza de empuje del glaseado o merengue F_e y la fuerza resultante de los diferentes elementos que interactúan con dicho tornillo como enuncia la Segunda Ley de Newton en la que se basa la ecuación (3), tomando en consideración los datos de la tabla 27.

Tabla 27

Masa de cada elemento que actúa sobre el tornillo de potencia

Elementos que actúan sobre el tornillo de potencia	Masa
Masa del émbolo extrusor	$m_e=14.31$ gr
Masa del carro móvil	$m_{cm}=52.24$ gr
Masa de la tuerca de bolas	$m_{tb}=12.07$ gr

$$F_R = F_e + (m_e + m_{cm} + m_{tb})(g) \quad (3)$$

$$F_R = 1.37N + (14.31gr + 52.24gr + 12.07gr) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)$$

$$F_R = 1.37N + \left(78.62gr * \frac{1kg}{1000gr}\right) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)$$

$$F_R = 2.14126N \approx 2.14N$$

En los parámetros iniciales se toma al tornillo de potencia como si fuese una columna por lo cual, se emplea la ecuación (4) de carga permisible para determinar la fuerza total que soporta, empleando el factor de seguridad de columnas para máquinas pequeñas indicado en la tabla 28.

Tabla 28

Factor de seguridad

Factor de seguridad para columnas de Euler	
Máquinas pequeñas	6-8
Máquinas grandes	4-6

Fuente: (Astudillo Lala, 2006)

$$F_p = F_R * k \quad (4)$$

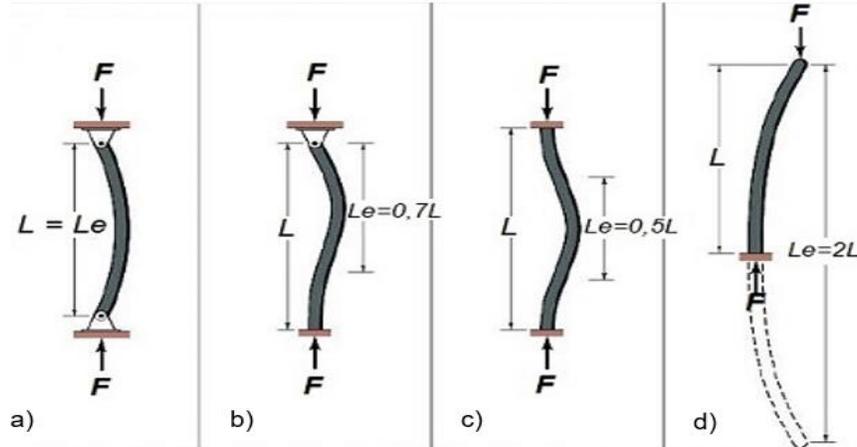
$$F_p = 2.14N * 6$$

$$F_p = 12.84 N$$

El diámetro raíz del tornillo de potencia viene dado por la fórmula de Euler descrita en la ecuación (5):

$$F_p = \frac{E * \pi^2 * I}{I_e^2} \quad (5)$$

Para determinar la longitud de pandeo I_e se analiza de acuerdo a la figura 25, donde se presenta los diferentes tipos de columna, resolviendo que se trata de una columna de extremo articulado.



a) Extremos articulados; **b)** Extremos empotrados; **c)** Un extremo empotrado y otro articulado; **d)** Un extremo empotrado y otro libre

Figura 25. Tipos de columna

Fuente: (Astudillo Lala, 2006)

Por lo tanto $I_e = L = 30\text{cm}$

Se reemplaza todos los valores en la ecuación (5) y se despeja I , tomando en cuenta que la longitud del tornillo de potencia comercial es 30cm, y el módulo de elasticidad del acero viene dado en el Anexo C:

$$12.84\text{N} = \frac{207\text{GPa} * \pi^2 * I}{(30\text{cm})^2}$$

$$I = 5.6563 * 10^{-13}\text{m}^4$$

Para obtener el valor del diámetro del tornillo de potencia se despeja el mismo de la fórmula de la ecuación (6) seleccionada del Anexo D, tomando en cuenta que es una columna de diámetro circular sólida, se reemplaza los valores obtenidos en el procedimiento anterior. (Mott, 2006)

$$I = \frac{\pi * d_r^4}{64} \quad (6)$$

$$5.6563 * 10^{-13} = \frac{\pi * d_r^4}{64}$$

$$d_r = 1.84mm \approx 2mm$$

Mediante los cálculos obtenidos el diámetro mínimo requerido del eje es 2mm, sin embargo, debido a que el sistema requiere de una fuerza de empuje elevada acorde a las condiciones del mercado y la rentabilidad de los tornillos de potencia comerciales se opta por emplear el tornillo de diámetro 8mm.

- **Par de torsión**

El par de torsión T del tornillo de potencia se determina mediante la ecuación (7), en base a la fuerza resultante que soporta para mover el mecanismo de extrusión de glaseado o merengue a lo largo del eje, tomando en consideración los parámetros enunciados en la tabla 29. (Ángeles Hernández, Jiménez Zavala, & Zúñiga Pacheco, 2013)

Tabla 29

Elementos del tornillo de potencia

Parámetros para cálculo de par de torsión	
Paso del tornillo de potencia	0.2cm
Eficiencia para un tornillo de potencia	0.90 (90%)

$$T = \frac{F_R * p}{2 * \pi * e_f} \quad (7)$$

$$T = \frac{2.14N * 0.2cm}{2 * \pi * 0.90}$$

$$T = 0.0756N * cm$$

Mediante los cálculos se manifiesta que el torque mínimo de torsión del tornillo de potencia es $0.0756N*cm$, por lo cual se elige al NEMA 17 que presenta características similares a las requeridas como las características presentadas en la tabla 30.

Tabla 30

Características eléctricas de MOTOR a pasos NEMA 17

MOTOR NEMA 17	Características eléctricas
Tipo de motor	Bipolar
Ángulo del motor	1.8°
Par de retención	59 N*cm
Corriente nominal/fase	2A
Resistencia de fase	1.4 ohms
Tensión recomendada	12-24V
Inductancia	3Mh±20%
Pasos por revolución	200
Diámetro	5mm

Fuente: (ELECTRONILAB, 2018)

- **Velocidad crítica**

La velocidad del tornillo de potencia del mecanismo extrusor es importante para calibrar los pasos del motor y determinar los tiempos de recorrido considerando la densidad del glaseado o merengue, para lo cual se emplea la ecuación (8), siendo $F_s = 1$, por estar apoyado en cada uno de sus extremos. (Ángeles Hernández, Jiménez Zavala, & Zúñiga Pacheco, 2013)

$$rpm = \frac{4.76 * 10^6 * d_r * F_s}{k} \quad (8)$$

$$rpm = \frac{4.76 * 10^6 * 8 * 1}{2}$$

$$rpm = 19.04rpm$$

3.2.2. Cálculo de los parámetros del carro móvil vertical

El carro móvil vertical es el encargado de dar soporte y movilidad al sistema de extrusión, con la ayuda del sistema de transmisión (banda en V) ubicada en la parte superior e inferior de la estructura mecánica.

- **Esfuerzo cortante**

Para dar movimiento al sistema extrusor, el efector final esta acoplado al carro móvil vertical mediante los elementos de sujeción seleccionados con anterioridad en el Capítulo II. Sin embargo, estos son susceptibles a esfuerzos, dentro de ellos el cortante siendo necesario realizar su cálculo mediante la ecuación (9), tomando en cuenta los datos del Anexo E con un factor de diseño de 2 . (Mott, 2006)

$$\tau_d = \frac{S_y}{2N} \quad (9)$$

$$\tau_d = \frac{41MPa}{2 * 2}$$

$$\tau_d = 10.25 MPa$$

Para obtener un diseño seguro la condición necesaria es $\tau < \tau_d$, siendo τ el calculado, además se requiere calcular la fuerza total, considerando que la masa del carro móvil 52.24 gr. (Fonseca Lascano & Miranda Taco, 2018)

$$F = m_{cmv} * g$$

$$F = 52.24gr * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$F = 512.474 * 10^{-3} N$$

Posteriormente, es necesario calcular el torque de la fuerza total ejercida a través de la ecuación (10) considerando que la distancia perpendicular a dicha fuerza es 13mm. (Taco Bonilla & Torres Barriga, 2018)

$$T = F * d \quad (10)$$

$$T = (512.474 \times 10^{-3} N)(15 \text{ mm})$$

$$T = 7.687 * 10^{-6} N * m$$

El momento polar de inercia de la sección transversal del tornillo de potencia, se calcula tomando como referencia la ecuación (11) del Anexo D y reemplazando el diámetro obtenido en la ecuación (6). (Mott, 2006)

$$J = \frac{\pi * D^4}{32} \quad (11)$$

$$J = \frac{\pi * (1.84)^4}{32}$$

$$J = 1.125 \text{ mm}^4$$

El esfuerzo cortante final máximo enunciado en la ecuación (12) se calcula mediante los parámetros de torque, el momento polar de inercia obtenidos en la ecuación (10) y (11), sabiendo que el radio de la sección transversal es 1.8mm. (Taco Bonilla & Torres Barriga, 2018)

$$\tau = \frac{T * c}{J} \quad (12)$$

$$\tau = \frac{(7.687 \times 10^{-3} N * mm) * (1.8 \text{ mm})}{1.125 \text{ mm}^4}$$

$$\tau = 0.0122MPa$$

Por lo tanto, $0.012MPa < 10.25 MPa$ se concluye que el diseño es seguro de acuerdo a los parámetros calculados.

3.2.3. Cálculo de los parámetros de los engranes

El diseño del mecanismo extrusor para el decorado superior de pasteles requiere de un sistema mecánico adicional conformado por dos extrusores MK8 y un sistema de engranes que permitan la transmisión directa del torque y velocidad del motor de cada extrusor, considerando que debido a la viscosidad del glaseado o merengue se necesita una fuerza que ejerza la presión suficiente.

El sistema de engranes consta de un engrane cónico recto y un piñón cuyos datos se especifican en la tabla 31, es importante calcular la relación de engrane enunciado en la ecuación (13). (Norton, 2011)

Tabla 31

Datos del engrane y piñón del sistema del extrusor

Dientes del sistema de engranes del extrusor	Número
Dientes del piñón	$N_g=15$
Dientes del engrane	$N_p=30$

$$m_g = \frac{N_g}{N_p} \quad (13)$$

$$m_g = \frac{15}{30}$$

$$m_g = 2$$

Para el cálculo del adendum se emplea la ecuación (14) del engrane para dientes normales tomando en consideración que el módulo p_d es 2, luego se compara dicho valor con la tabla de equivalencias presentada en la tabla 32 para determinar esta cifra dentro del sistema métrico. (Norton, 2011)

Tabla 32
Módulos normalizados

Módulo (mm)	P_d equivalente	P_d normalizado más cercano (dientes/ pulg)
0.3	84.667	80
0.4	63.500	64
0.5	50.800	48
0.8	31.750	32
1	25.400	24
1.25	20.320	20
1.5	16.933	16
2	12.700	12
2.5	10.160	10
3	8.466	8
4	6.350	6
5	5.080	5
6	4.233	4
8	3.175	3
10	2.540	2.5
12	2.117	2
16	1.587	1.5
20	1.270	1.25
25	1.016	1

Fuente: (Mott, 2006)

$$a = \frac{1}{p_d} \quad (14)$$

$$a = \frac{1}{12.700 \frac{1}{\text{pulg}}} * \frac{25.4\text{mm}}{\text{pulg}}$$

$$a = 2\text{mm}$$

El cálculo de dedéndum se realiza utilizando el valor del módulo para un paso grueso como se expresa en la ecuación (15). (Norton, 2011)

$$b = \frac{1.25}{p_d} \quad (15)$$

$$b = \frac{1.25}{12.700 \frac{1}{\text{pulg}}} * \frac{25.4\text{mm}}{\text{pulg}}$$

$$b = 2.5\text{mm}$$

El diámetro primitivo del piñón se calcula mediante la ecuación (16), empleando el valor de módulo y los datos de la tabla 31. (Norton, 2011)

$$d_p = \frac{N_p}{p_d} \quad (16)$$

$$d_p = \frac{15}{12.700 \frac{1}{\text{pulg}}} * \frac{25.4\text{mm}}{\text{pulg}}$$

$$d_p = 30\text{mm}$$

El diámetro primitivo del engrane se calcula desarrollando la ecuación (17), empleando el valor de modulo y los datos de la tabla 31. (Norton, 2011)

$$d_g = \frac{N_g}{p_d} \quad (17)$$

$$d_g = \frac{30}{12.700 \frac{1}{\text{pulg}}} * \frac{25.4\text{mm}}{\text{pulg}}$$

$$d_g = 60\text{mm}$$

El diámetro exterior del piñón se calcula empleando el diámetro primitivo y el adendum como se muestra en la ecuación (18). (Norton, 2011)

$$D_{O_p} = d_p + 2a \quad (18)$$

$$D_{O_p} = 30 + 2 * 2$$

$$D_{O_p} = 34mm$$

El cálculo del diámetro exterior del engrane se realiza reemplazando el diámetro primitivo y el dedendum en la ecuación (19). (Norton, 2011)

$$D_{O_g} = d_g + 2a \quad (19)$$

$$D_{O_g} = 60 + 2 * 2$$

$$D_{O_g} = 64mm$$

Para el cálculo diámetro interior o raíz del piñón se emplea el diámetro primitivo y el módulo seleccionado de la tabla 32 y empleado en la ecuación (20). (Mott, 2006)

$$D_{RP} = d_p - 2.5 * \frac{1}{P_d} \quad (20)$$

$$D_{RP} = 30 - 2.5 * \frac{pulg}{12.700} * \frac{25.4mm}{pulg}$$

$$D_{RP} = 25mm$$

El diámetro interior o raíz del engrane se obtiene reemplazando el diámetro primitivo y el módulo seleccionado de la tabla 31 en la ecuación (21). (Mott, 2006)

$$D_{RG} = d_g - 2.5 * \frac{1}{P_d} \quad (21)$$

$$D_{RG} = 60 - 2.5 * \frac{\text{pulg}}{12.700} * \frac{25.4\text{mm}}{\text{pulg}}$$

$$D_{RG} = 55\text{mm}$$

El espesor del diente se considera a la medida establecida entre el círculo de paso de diente a diente, tal como se presenta en la ecuación (22). (Mott, 2006)

$$t = \frac{\pi}{2P_d} \quad (22)$$

$$t = \frac{\pi}{2} * \frac{\text{pulg}}{12.700} * \frac{25.4\text{mm}}{\text{pulg}}$$

$$t = 3.1416\text{mm}$$

El ancho del hueco o también designado como paso circular se calcula mediante la ecuación (23). (Mott, 2006)

$$p = \frac{\pi}{P_d} \quad (23)$$

$$p = \pi * \frac{\text{pulg}}{12.700} * \frac{25.4\text{mm}}{\text{pulg}}$$

$$p = 6.283\text{mm}$$

3.3. Diseño del robot delta

El diseño base del sistema de decorador mecatrónico para decorado superior de pasteles se realiza en base a los parámetros de diseño de un robot delta, tomando en

consideración que la base fija se encuentra en la parte superior de la máquina mientras que la base móvil se encuentra en la base del extrusor de la misma como se muestra en la figura 26.

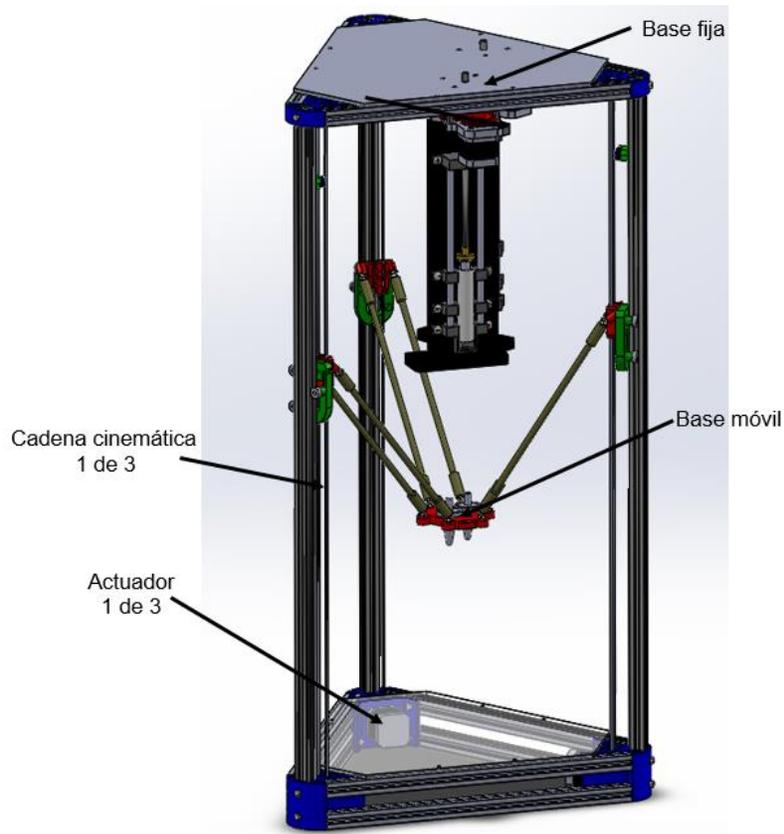


Figura 26. Vista general del modelo del robot delta

El sistema mecatrónico está diseñado en base a los ejes de referencia (X, Y, Z) de tal manera que el punto P está en la base fija, así como también el origen de X, Y; el eje Z se dirige hacia arriba tal como se muestra en la figura 27, estos ejes están dispuestos en la máquina de acuerdo a los parámetros de diseño y movimiento tanto longitudinal como transversal de los ejes. (Sánchez Alonso, González Barbosa, Castillon Castañeda, & Balmaceda Santamaría, 2015)

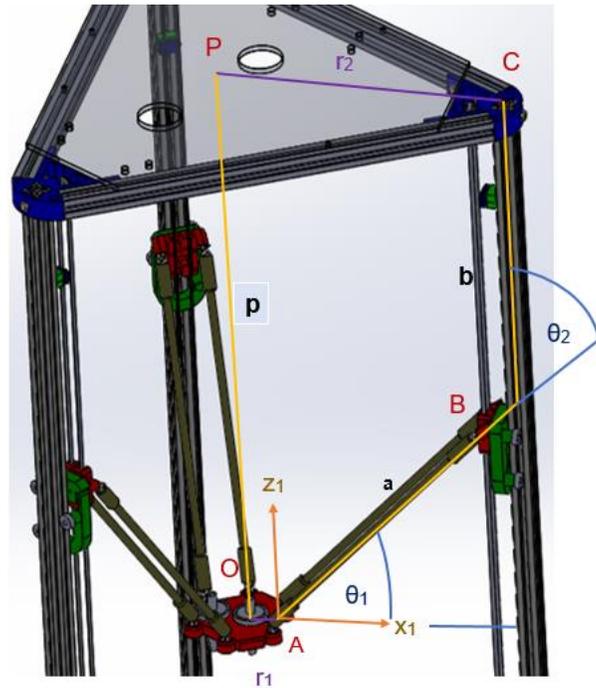


Figura 27. Estructura mecánica del robot delta

Las diferentes articulaciones con la que cuenta el robot delta se definen mediante el triángulo de la vista posterior del sistema mecatrónico presentado en la figura 28.

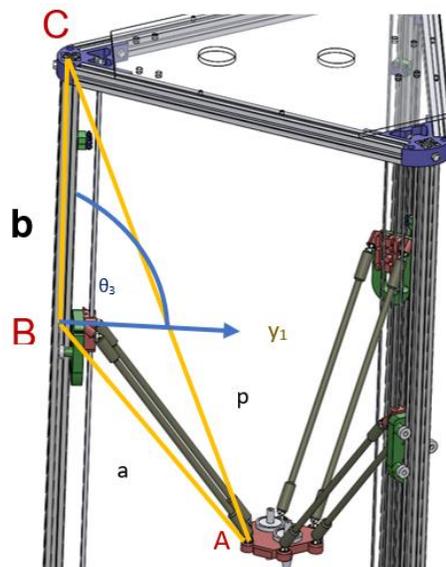


Figura 28. Vista posterior del sistema mecatrónico

Para evaluar y rediseñar la configuración geométrica del robot tipo delta se tiene en consideración los datos referidos de la máquina en la tabla 33.

Tabla 33

Parámetros del robot delta para el diseño del sistema mecatrónico

Parámetro	r_1	r_2	Θ_1	Θ_2	Θ_3	b	a
Valor	115.47mm	31.83mm	30°	150°	270°	325mm	72.26mm

Al analizar la figura 28 se puede establecer las siguientes relaciones tomando en cuenta la posición del punto C en relación a O. (Gudiño Lau, Alcalá Rodríguez, Navarro, Velez Díaz , & Charre Ibarra, 2018)

$$\overline{OA} + \overline{AB} + \overline{BC} = \overline{OP} + \overline{PC} \quad (24)$$

Reescribiendo la ecuación para fines de facilitar la resolución de la ecuación anterior se tiene la ecuación (25). (Gudiño Lau, Alcalá Rodríguez, Navarro, Velez Díaz , & Charre Ibarra, 2018)

$$\overline{AB} + \overline{BC} = \overline{OP} + \overline{PC} - \overline{OA} \quad (25)$$

Se puede realizar una sustitución para simplificar la ecuación (25), reemplazando $\cos\theta_1 = C\theta_1$, $\sin\theta_1 = S\theta_1$, obteniendo los resultados presentados en las ecuaciones (26)-(30). (Gudiño Lau, Alcalá Rodríguez, Navarro, Velez Díaz , & Charre Ibarra, 2018)

$$\overline{OA} = \begin{pmatrix} r_1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (26)$$

$$\overline{AB} = \begin{pmatrix} aC\theta_1 \\ 0 \\ aS\theta_1 \end{pmatrix} \quad (27)$$

$$\overline{BC} = \begin{bmatrix} bC(\theta_1 + \theta_2)S\theta_3 \\ bC\theta_3 \\ bS(\theta_1 + \theta_2)S\theta_3 \end{bmatrix} \quad (28)$$

$$\overline{PC} = \begin{pmatrix} r_2 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (29)$$

$$\overline{OP} = \begin{bmatrix} C\phi_i & S\phi_i & 0 \\ -S\phi_i & C\phi_i & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_x C\phi_i + P_y S\phi_i \\ -P_x S\phi_i + P_y C\phi_i \\ P_z \end{bmatrix} \quad (30)$$

Es necesario indicar, que el ángulo ϕ_i muestra los valores de los diferentes $i=1,2,3$ hasta la referencia r_1 con valores de 0° , 120° , 240° . (Gudiño Lau, Alcalá Rodríguez, Navarro, Velez Díaz , & Charre Ibarra, 2018)

3.3.1. Cinemática inversa

Se requiere conocer los valores de θ_{11} , θ_{21} , θ_{31} , para lo cual es necesario definir el punto C como (C_x, C_y, C_z) para un valor de $i=1$ mediante las ecuaciones (31) y (32). (Gudiño Lau, Alcalá Rodríguez, Navarro, Velez Díaz , & Charre Ibarra, 2018)

$$\begin{bmatrix} C_x \\ C_y \\ C_z \end{bmatrix} = \overline{AB} + \overline{BC} = \begin{bmatrix} aC\theta_{11} \\ 0 \\ aS\theta_{11} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} bC(\theta_{11} + \theta_{21})S\theta_{31} \\ bC\theta_{31} \\ bS(\theta_{11} + \theta_{21})S\theta_{31} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} aC\theta_{11} + bC((\theta_{11} + \theta_{21})S\theta_{31}) \\ bC\theta_{31} \\ aS\theta_{11} + bS(\theta_{11} + \theta_{21})S\theta_{31} \end{bmatrix} \quad (31)$$

$$\begin{bmatrix} C_x \\ C_y \\ C_z \end{bmatrix} = \overline{OP} + \overline{PC} - \overline{OA} = \begin{bmatrix} P_x C\phi_1 + P_y S\phi_1 + r_2 - r_1 \\ -P_x S\phi_1 + P_y C\phi_1 \\ P_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C\phi_1 & S\phi_1 & 0 \\ -S\phi_1 & C\phi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} r_2 - r_1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (32)$$

Igualando las ecuaciones (31) y (32) y despejando θ_{31} se obtiene la ecuación (33). (Gudiño Lau, Alcalá Rodríguez, Navarro, Velez Díaz , & Charre Ibarra, 2018)

$$\theta_{31} = \cos^{-1} \left(\frac{-P_x S \phi_1 + P_y C \phi_1}{b} \right) \quad (33)$$

Para seguir reduciendo el sistema de ecuaciones presentado se reemplaza el valor de $\phi_1 = 0$, obteniendo la ecuación (34). (Gudiño Lau, Alcalá Rodríguez, Navarro, Velez Díaz , & Charre Ibarra, 2018)

$$\theta_{31} = \cos^{-1} \left(\frac{P_y}{b} \right) \quad (34)$$

Para concluir con la resolución con la cinemática inversa y determinar las ecuaciones de los ángulos θ_{11} , θ_{21} , se obtiene de la ecuación (31) mediante una suma de cuadrados y obtener θ_{21} en la ecuación (35). (Gudiño Lau, Alcalá Rodríguez, Navarro, Velez Díaz , & Charre Ibarra, 2018)

$$C_x^2 + C_y^2 + C_z^2 = a^2 + b^2 + 2abS\theta_{31}C\theta_{21} \quad (35)$$

Despejando de la ecuación anterior θ_{21} , se tiene como resultado la ecuación (36). (Gudiño Lau, Alcalá Rodríguez, Navarro, Velez Díaz , & Charre Ibarra, 2018)

$$\theta_{21} = C^{-1} \left(\frac{C_x^2 + C_y^2 + C_z^2 - a^2 - b^2}{2abS\theta_{31}} \right) \quad (36)$$

El ángulo θ_{11} se obtiene al igual que el θ_{21} , al elevar las coordenadas del punto C al cuadrado, y haciendo varios arreglos matemáticos se obtiene como resultado la ecuación (37). (Gudiño Lau, Alcalá Rodríguez, Navarro, Velez Díaz , & Charre Ibarra, 2018)

$$C_x^2 + C_y^2 + C_z^2 = aC\theta_{11} + bC(\theta_{11} + \theta_{21})S\theta_{31} + bC\theta_{31} + aS\theta_{11} + bS(\theta_{11} + \theta_{21})S\theta_{31} \quad (37)$$

La ecuación anterior puede ser reescrita como la ecuación (38). (Gudiño Lau, Alcalá Rodríguez, Navarro, Velez Díaz , & Charre Ibarra, 2018)

$$C_x^2 + C_y^2 + C_z^2 = aC\theta_{11} + bC(\theta_{11} + \theta_{21})S\theta_{31} + bC\theta_{31} + aS\theta_{11} + bS(\theta_{11} + \theta_{21})S\theta_{31} \quad (38)$$

3.4. Diseño del sistema de visión artificial

Para realizar el proceso de decorado superior de pasteles mediante diseños personalizados es necesario reconocer previamente las dimensiones y forma del pastel o postre a decorar con la ayuda de visión artificial, debido a esto se emplea el lenguaje de programación Python con su interprete más conocido Pycharm.

La figura 29 representa la interfaz gráfica donde se visualice las diferentes etapas del sistema mecatrónico como la detección de formas y centro acorde a las perspectiva y campo de visión de la cámara Web Logitech C170 presentado en la tabla 15, y la aplicación de CUPDRAW.

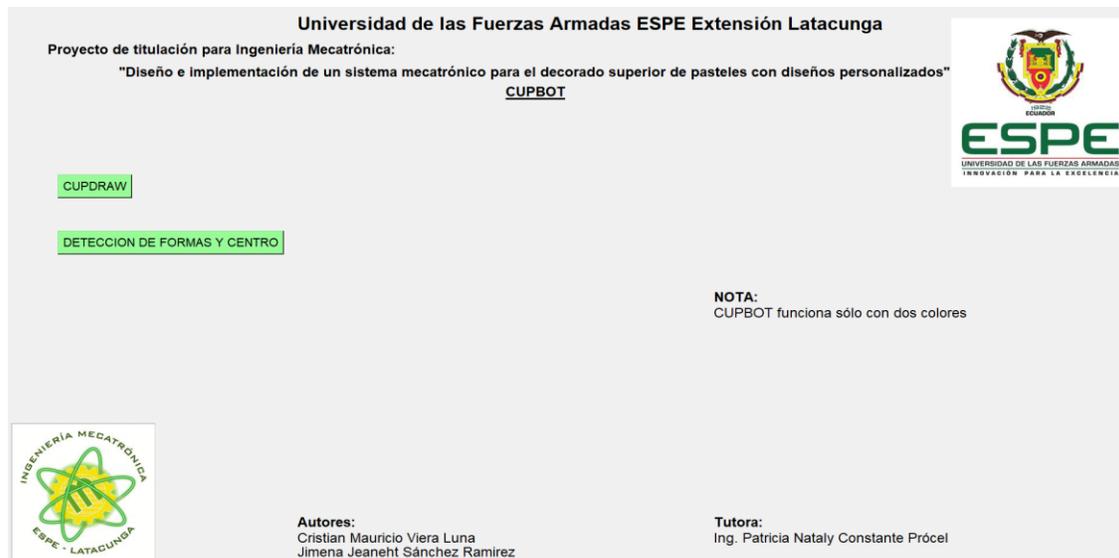


Figura 29. HMI del sistema mecatrónico de decorado de pasteles

Para la detección de formas y centro se realiza una transformación de perspectiva definiendo una matriz de 3x3, seleccionando cuatro puntos de la imagen inicial y los

puntos de la imagen resultante recalcando que los puntos no deben ser colineales como se muestra en la figura 30. (Transformaciones geométricas de imágenes, 2019)

```
def abrirventana3():
    cap = cv2.VideoCapture(1)#0_camara_principa,1_camara_secundaria
    disc=[0,0,0,0,0]#este arreglo contiene x,y,r,(contador),(ciclos)
    while (cap.isOpened()):
        ret, img = cap.read()
        pts1 = np.float32([[155, 120], [480, 120], [20, 475], [620, 475]])
        pts2 = np.float32([[0, 0], [500, 0], [0, 600], [500, 600]])
        matrix = cv2.getPerspectiveTransform(pts1, pts2)
        result = cv2.warpPerspective(img, matrix, (500, 600))#si la perspectiva no funciona tan bien puede cambiarse
```

Figura 30. Cambio de perspectiva de la imagen obtenida del pastel

Para realizar la detección de la forma del pastel se transforma la imagen a escala de grises, y se suaviza la imagen mediante un filtro Gaussiano como se muestra en el código del Anexo F. (“Detección de contornos con OpenCV Python,” n.d.)

La medida del pastel se genera en el HMI principal, el círculo en verde se genera cuando la medida ha sido tomada correctamente como se muestra en la figura 31.

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga

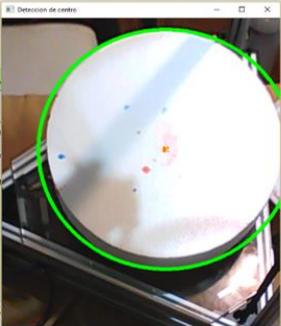
Proyecto de titulación para Ingeniería Mecatrónica:

"Diseño e implementación de un sistema mecatrónico para el decorado superior de pasteles con diseños personalizados"

CUPBOT

CUPDRAW

DETECCION DE FORMAS Y CENTRO



NOTA:
CUPBOT funciona sólo con dos colores



Autores:
Cristian Mauricio Viera Luna
Jimena Jeaneht Sánchez Ramirez

Tutora:
Ing. Patricia Nataly Constante Prócel



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Figura 31. Detección de la forma del pastel

El valor del radio del pastel se presenta bajo el sistema métrico mediante una regla de tres simple tomando el diámetro del círculo de la figura 32.

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga

Proyecto de titulación para Ingeniería Mecatrónica:
 "Diseño e implementación de un sistema mecatrónico para el decorado superior de pasteles con diseños personalizados"
CUPBOT



CUPDRAW

DETECCION DE FORMAS Y CENTRO

Los resultados del analisis fueron:

$r=100$ mm

NOTA:
CUPBOT funciona sólo con dos colores



Autores:
Cristian Mauricio Viera Luna
Jimena Jeaneht Sánchez Ramirez

Tutora:
Ing. Patricia Nataly Constante Prócel

Figura 32. Valor del radio del pastel

3.5. Diseño de la aplicación de diseños personalizados

La aplicación desarrollada para el diseño personalizado para el decorado superior de pasteles incluido en el HMI mediante el botón designado como CUPDRAW se obtiene mediante el lenguaje de programación de Python con sus diversas librerías: tkinter, numpy y stl_tools.

Tkinter es una de las diversas librerías con las que cuenta Python utilizada por los usuarios para desarrollar HMI o aplicaciones gráficas, apoyadas de diversos controles y comandos para desarrollar dichas aplicaciones como las mostradas en la figura 33. (Rodríguez Ojeda, 2017)

```

from tkinter import*
tk = Tk()
ventana = Frame(tk, relief=RIDGE, borderwidth=2)
ventana.pack(fill=BOTH, expand=1)
tk.title('Saludo')
tk.geometry('300x200')
etiqueta = Label(ventana, text='Python GUI')
etiqueta.pack(fill=X, expand=1)
boton = Button(ventana, text='Salir', command=tk.destroy)
boton.pack(side=BOTTOM)
tk.mainloop()

```

Figura 33. Diseño de interfaz de usuario

Fuente: (Rodríguez Ojeda, 2017)

CUPDRAW permite trazar círculos, cuadrados, líneas e insertar palabras, imágenes prediseñadas para lograr un diseño más detallado, posee una pestaña para seleccionar varios colores de herramienta y fondo, pero es importante recalcar que la máquina solo trabaja con dos como se muestra en la figura 34.



Figura 34. Imagen diseñada en CUPDRAW

CUPDRAW permite guardar la imagen creada por el usuario en diferentes formatos: PNG, STL, lo que facilita su procesamiento para imprimirlo en el sistema mecatrónico de decorado superior de pasteles, además posee una pestaña llamada opciones para borrar todo y salir como se presenta en la figura 35.



Figura 35. Pestaña archivo para guardar la imagen

El sistema de visión está diseñado en Python debido a ofrecer ventajas de compatibilidad con el sistema operativo Windows en base al diagrama de flujos de la figura 36 para facilitar el uso del artesano decorador de pasteles.

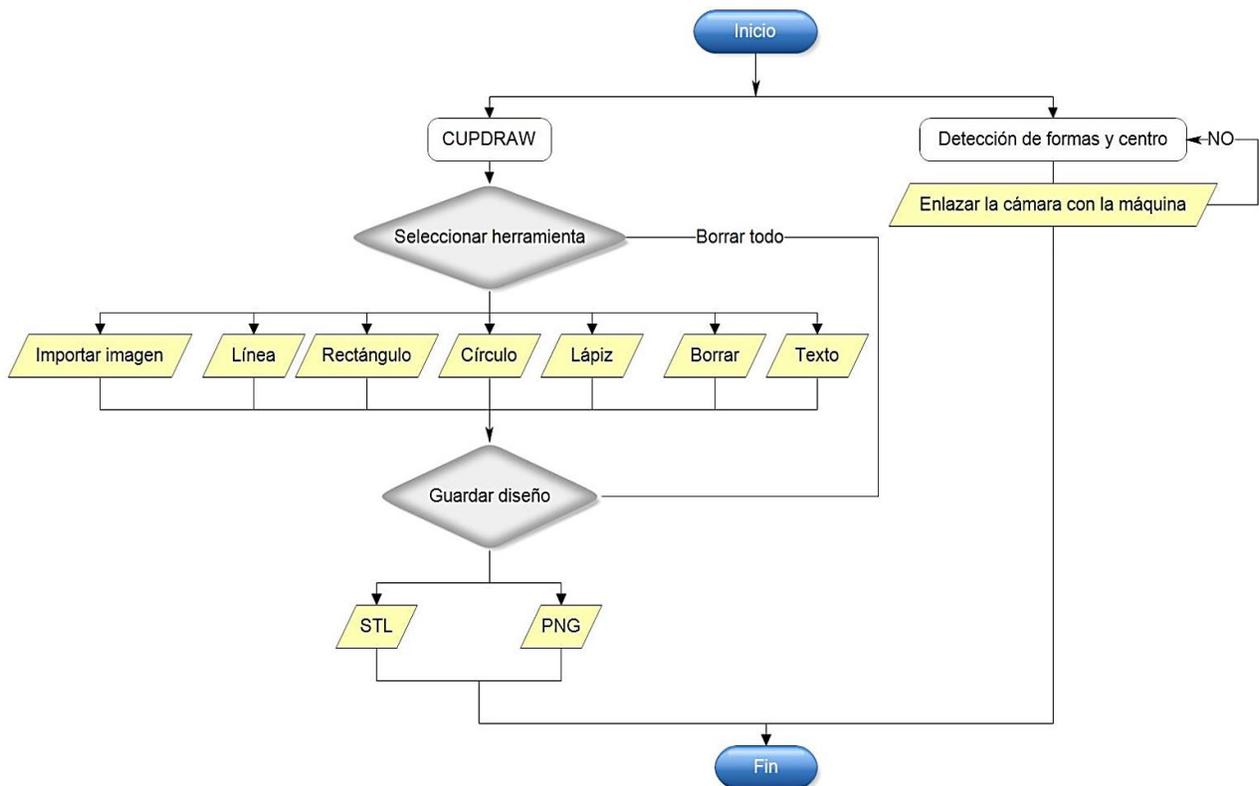


Figura 36. Diagrama del menú del HMI

3.6. Programación de la Tarjeta Arduino MEGA – RAMPS 1.4

El firmware Marlin es el más usado en las impresoras Delta 3D disponibles en el mercado, el sistema mecatrónico de decorado superior de pasteles por estar basado en el funcionamiento de una de ellas cuenta con esta serie de códigos con algunas modificaciones en los parámetros de extrusión como la ubicación de los extrusores, ejes y tamaño de la máquina como se muestra en la figura 37. (Loureiro, 2017)

```
// Offset of the extruders (uncomment if using more than one and relying on firmware to position when changing).  
// The offset has to be X=0, Y=0 for the extruder 0 hotend (default extruder).  
// For the other hotends it is their distance from the extruder 0 hotend.  
#define HOTEND_OFFSET_X {0.0, 0.00} // (in mm) for each extruder, offset of the hotend on the X axis  
#define HOTEND_OFFSET_Y {0.0, -35.00} // (in mm) for each extruder, offset of the hotend on the Y axis
```

Figura 37. Coordenadas de los 2 extrusores

Las características del sistema mecatrónico obligan a modificar el firmware Marlin Recuperado de la red, tomando en cuenta el número de extrusores, y el área de depósito del merengue o glaseado sobre la cama fija obteniendo el código que se presenta en el anexo G.

3.7. Procedimiento para la obtención del código de impresión 3D

La aplicación CUPDRAW entrega una imagen en formato PNG resultado del diseño personalizado por el usuario, la misma que se importa a CorelDRAW X7 para vectorizarla y delimitar sus rasgos, siendo un proceso similar al usado en corte láser, finalmente se guarda la imagen en formato SVG para el siguiente procedimiento como se evidencia en la figura 38.



Figura 38. Imagen vectorizada en CorelDRAW X7

La máquina requiere de un archivo STL para realizar el proceso de impresión de merengue o glaseado, siendo necesario emplear un software adicional disponible en línea Tinkercard que permite a partir de un archivo en formato SVG crear un archivo en STL como se presenta en la figura 39.



Figura 39. Imagen STL desde Tinkercard

El archivo STL de diseño se carga al programa MatterControl que se utiliza para el sistema de impresión del decorador mecatrónico de pasteles que emplea merengue o glaseado, en dicho programa se encuentran establecidos los parámetros de impresión acordes a las características de la máquina presentados en el Anexo G como se muestra en la figura 40.

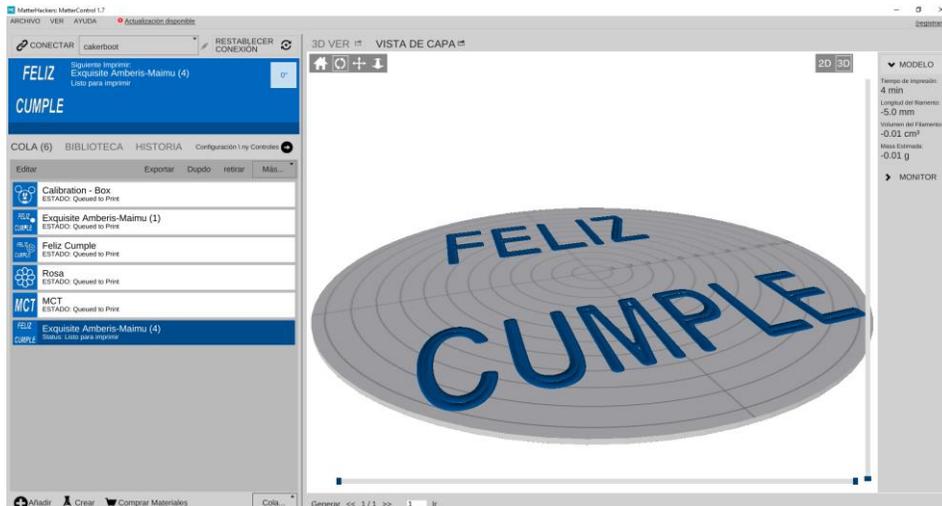


Figura 40. Imagen STL importada a MatterControl

El programa MatterControl sirve para escalar, seleccionar material, duplicar la imagen que se utiliza para realizar el decorado del pastel con ayuda del sistema mecatrónico empleando los dos distintos colores con los que cuenta para este proceso.

El decorado del pastel se realiza empleando gel abrillantador, considerando que la capacidad volumétrica del mecanismo extrusor permite el decorado de 5 pasteles para 6 personas.

CAPÍTULO IV

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

4.1. Introducción

En este capítulo se describe la construcción e implementación del sistema mecatrónico de decorado superior de pasteles con los diferentes subsistemas que lo conforman: mecánico, eléctrico y electrónico. La mayoría del sistema mecánico está estructurado por elementos prefabricados por lo que es necesario su ensamble acorde a un modelo base de impresora delta 3D. Varias de las piezas fueron diseñadas e impresas en 3D empleando como material PLA.

4.2. Elementos

4.2.1. Mecanismo extrusor

El mecanismo extrusor cuenta con dos extrusores MK8 unidos a su respectivo de potencia mediante un sistema de engranes como se muestra en la figura 40, se unen a las piezas de soporte 3D diseñadas mediante tornillos, arandelas, tuercas de 6mm de diámetro para fijar dicho sistema y evitar vibraciones.

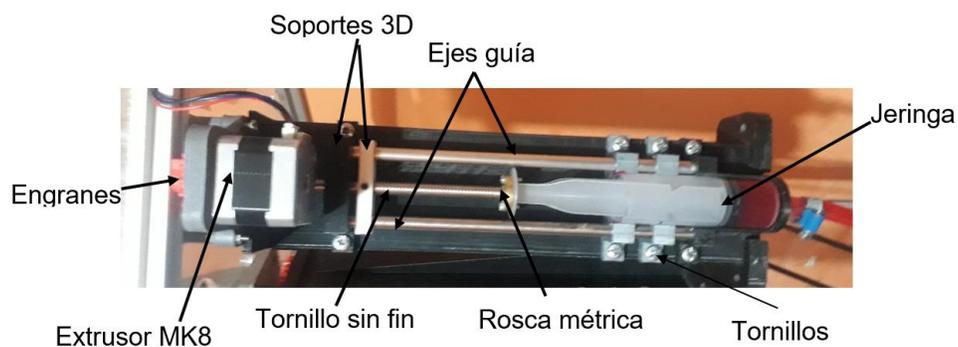


Figura 41. Estructura del mecanismo extrusor

El merengue o glaseado baja desde la jeringa hasta el cabezal doble extrusor mediante una manguera específica para alimentos como se muestra en la figura 41, al final del recorrido se encuentra una tapa con una boquilla intercambiable que es la que deposita el material sobre el pastel colocado sobre la cama fija.

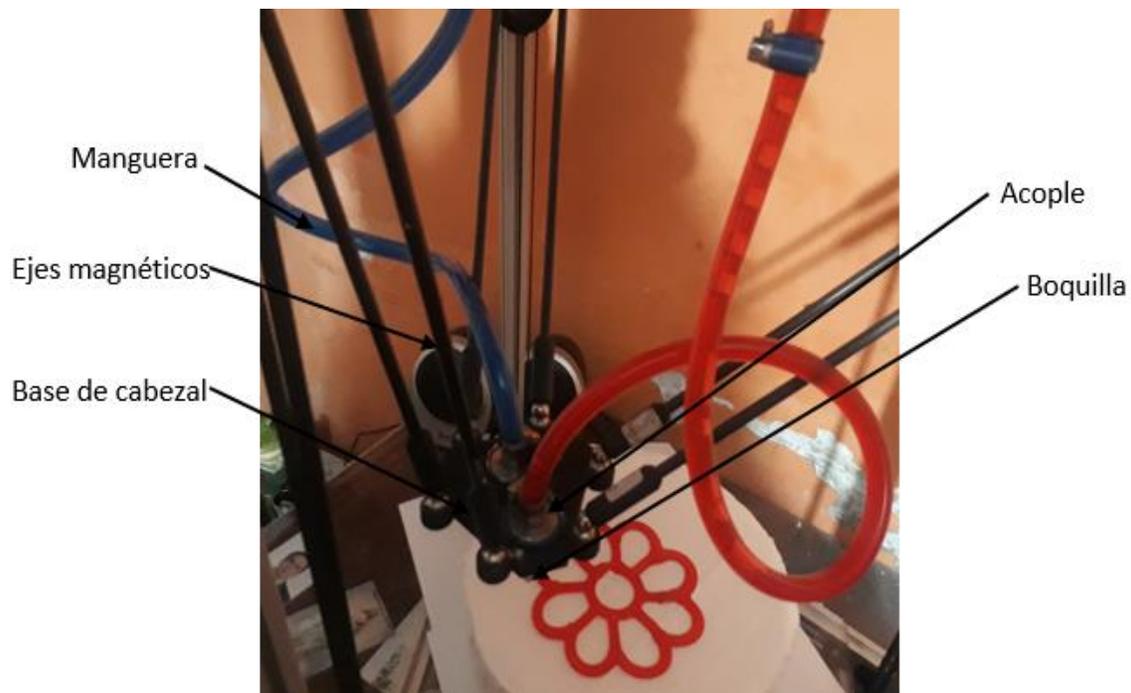


Figura 42. Elementos del cabezal extrusor

4.2.2. Estructura mecánica

La estructura mecánica está conformada por perfiles estructurales de aluminio 2020, esquinas/uniones de perfiles, tornillos, arandelas, tuercas, placas de acrílico como se muestran en la figura 43, además se visualiza la disposición de estos elementos tanto en la cama fija, en los bases verticales y la tapa superior del sistema mecatrónico, lo que da soporte, fiabilidad y reduce las vibraciones dentro de dicho sistema.

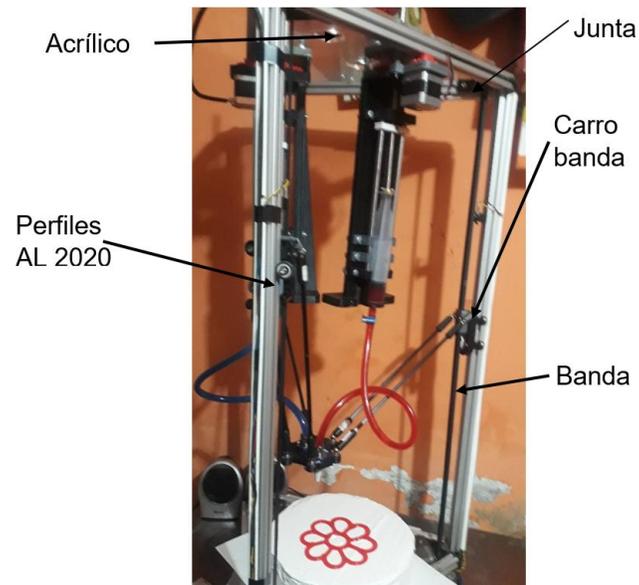


Figura 43. Elementos mecánicos del sistema

4.2.3. Estructura electrónica

Los elementos electrónicos del sistema mecatrónico son: motores a pasos, drivers, termistores, arduino MEGA, RAMPS 1.4, fuente de alimentación, final de carrera, interruptor termomagnético, LCD, tal como se presenta en la figura 44.

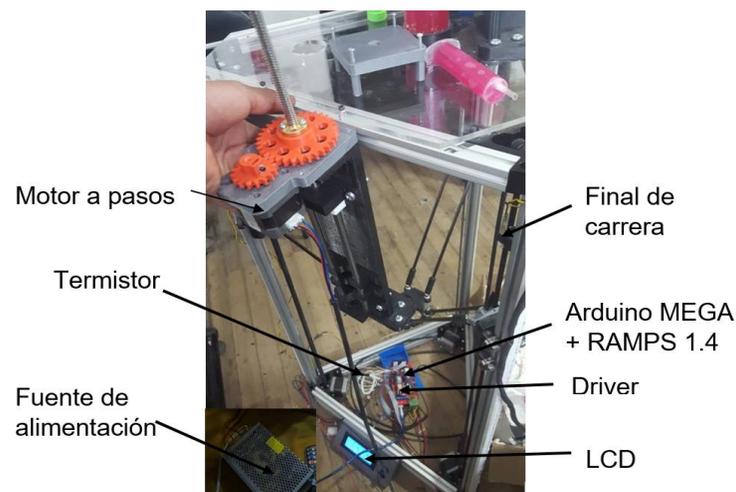


Figura 44. Parte electrónica del sistema

4.3. Ensamble final del sistema mecatrónico

En la tabla 34 se aprecia el resultado de ensamblar cada uno de los subsistemas del decorador mecatrónico: mecánico, electrónico, mecanismo extrusor doble. La secuencia de pasos para realizar este proceso se encuentra detallado en el anexo H.

Tabla 34
Especificaciones técnicas del sistema mecatrónico

SISTEMA MECATRÓNICO	
DIMENSIONES	
Largo	47 cm
Ancho	43 cm
Altura	92 cm
Peso neto	10 kg
ESPECIFICACIONES GENERALES	
Voltaje	120 V
Frecuencia	60 Hz
Corriente	2 A
MOTOR EJES Y EXTRUSORES	
Tipo de motor	
Serie	Nema 17
Pasos	200 por revolución
Ángulo de paso	1.8 grados
Peso	350 gr
Voltaje	12 VDC
Torque máximo	3.2 kg – cm
PRODUCTOS DE REPOSTERÍA A DECORAR	
Pastel para 15 personas	4 lbs
Cupcake	250 gr
Pancakes	350 gr
CONDICIONES DE OPERACIÓN	
Sistema Operativo	Windows 10



El sistema mecatrónico para el decorado superior de pasteles tiene como fundamento emplear diseños personalizados para realizar el decorado de diversos productos de la repostería como pasteles, galletas, cupcakes, etc. empleando una aplicación desarrollada mediante Python que permite crear un diseño autónomo.

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1. Introducción

El presente capítulo comprende las pruebas ejecutadas al sistema mecatrónico de decorado superior de pasteles, siendo estas pruebas de decorado de figuras básicas, texto, y a su vez figuras elaboradas, además la prueba de usuario permite que el sistema mecatrónico ejecute el sistema total, ya que dicho usuario tiene a su disposición una aplicación que permite elaborar un diseño personalizado, garantizando su funcionalidad.

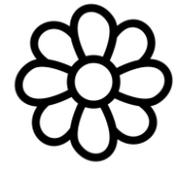
Posteriormente se validará si la hipótesis planteada: ¿El diseño de un sistema mecatrónico permitirá el decorado de la parte superior de pasteles con diseños personalizados? es válida, para lo cual se emplea una validación teórica en base a los resultados obtenidos.

5.2. Pruebas de manejo del sistema mecatrónico

Para la desarrollar dichas pruebas se cuenta con la participación de personas con habilidades reposteras, que verifican el funcionamiento y calidad de la máquina frente a las necesidades del mercado, y la necesidad de producción masiva de pasteles decorados para las distintas festividades del año.

En la tabla 35 se muestra el proceso que nuestra participante realiza previa a la explicación respectiva de cada paso con la entrega del manual de usuario presentado en el anexo J teniendo como resultado un proceso exitoso comprobado por su calidad y estética visual.

Tabla 35
Pruebas de manejo de aplicación

Aplicación (CUPDRAW)	Software (TINKERCARD)	Material	Decorado
			

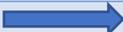
En la tabla 35 se realiza el diseño en la aplicación, se recarga el material obteniendo el producto final en un pastel de 25cm de diámetro y 8 cm de altura.

5.3. Pruebas del sistema de visión artificial

Para verificar el funcionamiento adecuado del sistema de visión artificial se abre el HMI, se activa la opción Detección de Centro y Forma para que analice la forma y figura del pastel a emplear en el decorado como se muestra en la tabla 36.

Tabla 36
Pruebas del sistema de visión artificial

Dimensiones	Detección del pastel	Valores (en mm)
Altura=9cm Diámetro=20cm		DETECCION DE FORMAS Y CENTRO Los resultados del análisis fueron: r=100 mm
Altura=9cm Diámetro=15cm		DETECCION DE FORMAS Y CENTRO Los resultados del análisis fueron: r=75 mm

CONTINÚA 

Altura=9cm
Diámetro=10cm



DETECCION DE FORMAS Y CENTRO

Los resultados del análisis fueron:

r=50 mm

5.4. Pruebas de funcionamiento

5.4.1. Pruebas en vacío

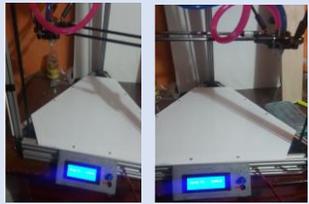
En este apartado se realizan las pruebas de movimiento en cada uno de los ejes del sistema mecatrónico sin depositar el glaseado o merengue dentro del mecanismo de extrusión para verificar el estado de cada componente mecánico, electrónico y eléctrico para así poder garantizar el funcionamiento adecuado.

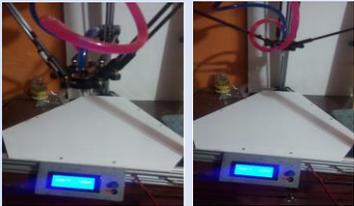
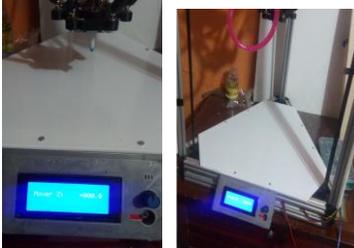
5.4.2. Pruebas en los ejes de movimiento

El sistema mecatrónico existen rangos de movilidad y alcances en los distintos ejes de movimiento para evitar desacoples en las uniones, tomando en cuenta estos parámetros se realiza las pruebas para determinar los límites de movilidad en los ejes presentados en la tabla 37.

Tabla 37

Rangos de movilidad del sistema mecatrónico

Movimiento	Rango	Pruebas
Carro eje x	[-140;140]mm	
		CONTINÚA 

Carro eje y	[-140:130]mm	
Carro eje z	[0;262]mm	
Extrusor 1	60 ml	
Extrusor 2	60 ml	

5.5. Pruebas de decorado de pasteles

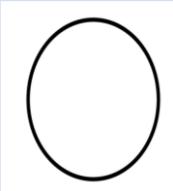
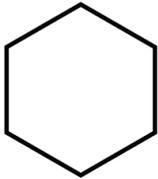
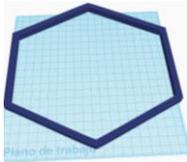
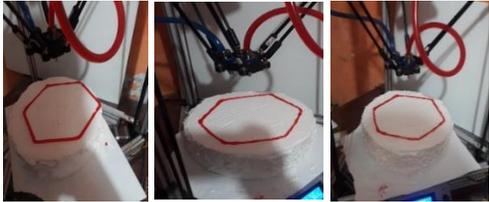
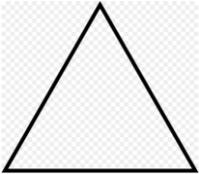
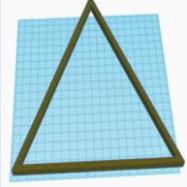
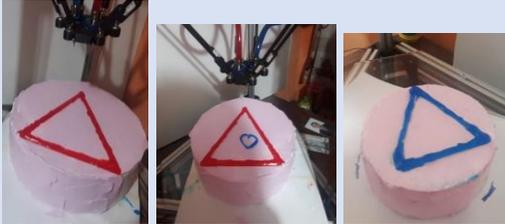
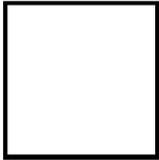
El sistema extrusor de decorador mecatrónico para dos colores distintos de glaseado o merengue requiere de varias pruebas tanto de consistencia del merengue, glaseado o gel abrillantador, además de pruebas de las formas básicas y elaboradas.

5.5.1. Pruebas de Decoración de figuras básicas.

En esta sección se realiza las pruebas correspondientes al decorado de figuras básicas (círculo, polígono, triángulo, cuadrado), para lo cual el usuario debe elaborar la figura en la aplicación CUPDRAW y realizar el proceso de obtención del código de impresión 3D como se describe en el Anexo J.

Tabla 38

Prueba de decorado de figuras básicas

Figura (CUPDRAW)	Diseño (TINKERCARD)	Decorado
		
		
		
		

En la tabla 38 se observan los resultados del proceso de decoración de las distintas formas básicas, cabe mencionar que todas las pruebas se realizaron con ambos extrusores con las dos jeringas en su capacidad máxima (60ml).

5.5.2. Pruebas de decoración de texto

El sistema mecatrónico es muy versátil debido a que también realiza decorados empleando textos, por lo que se realizan pruebas con distintas frases, palabras o símbolos tradicionales usados en pasteles como se muestra en la tabla 39.

Tabla 39

Pruebas de decorado de pasteles con texto

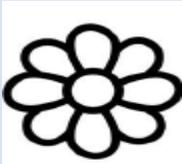
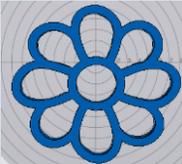
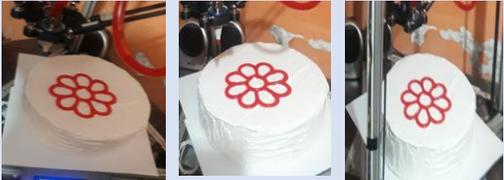
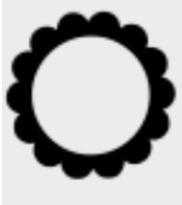
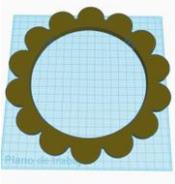
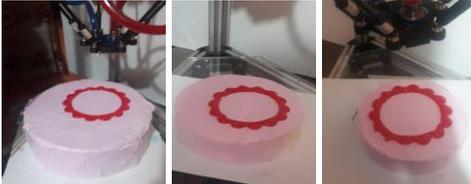
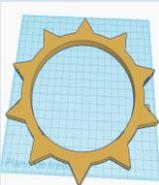
Texto (CUPDRAW)	Diseño (TINKERCARD)	Decorado		
				
				
				
				

En la tabla 39 se observa las pruebas para elaborar un diseño con dos tipos de colores, el pastelero para realizar este proceso de manera manual por parte de cualquier persona es necesario contar con dos mangas pasteleras o a su vez limpiar la manga empleada y cargarla con el otro color.

5.5.3. Pruebas de decoración para figuras elaboradas

Para efectuar este grupo de pruebas se utiliza la aplicación CUPDRAW, para que el usuario pueda personalizar el diseño acorde a las características deseadas con figuras con más detalles como las mostradas en la tabla 40.

Tabla 40
Pruebas para decoración de figuras elaboradas

Figura básica	Imagen (CUPDRAW)	Diseño (TINKERCARD)	Decorado
Flor			
Borde circular			
Borde triangular			

CONTINÚA





5.5.4. Pruebas con diferente tamaño y altura

La tabla 41 presenta las pruebas realizando una regulación en la altura desde la LCD conforme el tamaño del pastel, para ello se sigue las instrucciones del manual de usuario del sistema mecatrónico de decorado superior de pasteles.

Tabla 41

Pruebas con diferentes pasteles/postres

Altura	Diámetro	Decorado	Pruebas	Válidas	No válidas
8 cm	30 cm		90	80	10
8 cm	15 cm		70	65	5
Nivel Base	Nivel Base		26	23	3

5.5.5. Pruebas de materiales diferentes

Se realizan las pruebas con dos distintos materiales: gel abrillantador y crema chantilly, detallados en la tabla 42 con diseños elaborados en la aplicación CUPDRAW, siendo importante destacar que por su densidad y características físicas son los materiales que más sobresalen sobre materiales como merengue, chocolate.

Tabla 42

Pruebas con materiales de decorado distinto

Material	Proceso	Pruebas	Válidas	No Válidas
Gel abrillantador		216	169	47
Crema chantilly		5	1	4

Como se observa en la tabla 42 los resultados obtenidos muestran que el gel abrillantador posee un mejor acabado que la crema chantilly debido a la densidad, y viscosidad del material que favorecen la regulación de los pasos del motor del mecanismo extrusor.

5.5.6. Pruebas finales

Para verificar el funcionamiento y efectividad del sistema mecatrónico de decorado superior de pasteles se debe realizar el decorado con dos colores a la vez, obteniendo los resultados presentados en la tabla 43.

Tabla 43

Resultados finales de las pruebas de decorado final



5.6. Análisis de resultados

Luego de terminar las pruebas de funcionamiento de decorado superior de pasteles, funcionamiento del HMI de CUPBOT se obtienen los siguientes resultados:

- El gel abrillantador es más adecuado que la crema chantilly para efectuar este proceso de decorado por su densidad y consistencia líquida.
- Los diseños con la aplicación CUPDRAW deben simétricos en la línea de trazo, debido a que diferentes grosores afectan el proceso de decorado en MatterControl porque no se consigue las capas necesarias para obtener una forma definida.
- La exactitud del sistema de visión artificial depende del enfoque y la posición fija de la cámara, además del elemento a ser decorado considerando que pueden emplearse pasteles, cupcakes de varios tamaños.

- Los diseños para el decorado deben tener dos colores tomando en cuenta que existe un desnivel en cuanto a la altura de una boquilla extrusora con respecto de la otra, lo que facilita el trabajo.
- Los diseños de plantillas con mayor grosor en el detalle destacan una mayor efectividad ya que las capas generadas en la impresión se compactan unas con otras haciendo que el diseño posea un mejor acabado.
- Las pruebas de material para decorado con crema chantilly son 169 válidas y 47 no válidas, arrojando un porcentaje de 78.24% de efectividad.
- Las letras de contextura ancha poseen mejor acabado con respecto a las de contextura delgada, tomando en cuenta que al recargar el gel abrillantador se debe tomar las medidas sanitarias y de protección para evitar contaminar el producto.
- El sistema de decorado sobresale en pruebas de decorado por moldes circulares con respecto al decorado con figuras básicas.

5.7. Validación de la hipótesis

La hipótesis planteada es la siguiente:

¿El diseño de un sistema mecatrónico permitirá el decorado de la parte superior de pasteles con diseños personalizados?

- **Variable Independiente**

Sistema Mecatrónico

- **Variables Dependientes**

Decorado de la parte superior de pasteles con diseños personalizados

Para realizar el proceso de validación de hipótesis, se usa el método del Chi cuadrado que describe si hay o no relación entre dos variables, por lo mismo se plantea una hipótesis nula y otra alternativa, la una indica que los dos parámetros usados son independientes y la alternativa asegura que los dos son dependientes el uno del otro como se presenta:

- **Hipótesis Nula H_0 :** ¿El sistema mecatrónico no permitirá el decorado de pasteles?
- **Hipótesis Alternativa H_1 :** ¿El sistema mecatrónico permitirá el decorado de pasteles?

En la tabla 44 se observan los datos obtenidos de la frecuencia observada al momento de realizar las pruebas del sistema mecatrónico, tomando en cuenta los resultados tanto positivos como negativos.

Tabla 44
Resultados de frecuencia observada

N°	Tipos de decorado		Válidos	No válidos	Número de pruebas
1	Figuras	Círculo	15	3	18
2		Cuadrado	17	1	18
3		Triángulo	18	0	18
4		Hexágono	14	4	18
5		FELIZ	12	6	18
6	Texto	DIA	15	3	18
7		FELIZ CUMPLE	12	6	18
8		TE AMO	13	5	18
9		Molde 1	17	1	18
10	Imagen	Molde 2	15	3	18
11		Molde 3	12	6	18
12		Molde 4	9	9	18
Total			169	47	216

En la tabla 45 se presenta la frecuencia esperada en base a los datos y pruebas recopiladas.

Tabla 45
Resultados de frecuencia esperada

N°	Tipos de decorado	Frecuencia esperada	
1	Figuras	14,0833333	3,91666667
2		14,0833333	3,91666667
3		14,0833333	3,91666667
4		14,0833333	3,91666667
5		14,0833333	3,91666667
6	Texto	14,0833333	3,91666667
7		14,0833333	3,91666667
8		14,0833333	3,91666667
9		14,0833333	3,91666667
10	Imagen	14,0833333	3,91666667
11		14,0833333	3,91666667
12		14,0833333	3,91666667
Total		169	47

El método del Chi-cuadrado se obtiene una confirmación o negación de la hipótesis mediante las pruebas realizadas en la tabla 46 y dichos valores se emplean en el cálculo de los parámetros necesarios presentados en la ecuación (39).

$$\lambda^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (39)$$

Donde:

$\lambda^2 =$ Chi cuadrado

$O_i =$ Frecuencia absoluta observada

$E_{ij} =$ Frecuencia esperada

Tabla 46 Resultados de CHI - CUADRADO

N°	Tipos de decorado	Decora	No decora
1	Figuras	0,05966469	0,21453901
2		0,60404339	2,17198582
3		1,08925049	3,91666667
4		0,0004931	0,00177305
5		0,3081854	1,10815603
6	Texto	0,05966469	0,21453901
7		0,3081854	1,10815603
8		0,08333333	0,29964539
9		0,60404339	2,17198582
10	Imagen	0,05966469	0,21453901
11		0,3081854	1,10815603
12		1,83481262	6,59751773
Suma total		5,31952663	18,9131206
CHI-CUADRADO		24,2326472	

Después de calcular el valor teórico se debe calcular los grados de libertad según la ecuación 40.

$$V = (\text{filas} - 1)(\text{columnas} - 1) \quad (40)$$

$$V = (12 - 1)(2 - 1)$$

$$V = 11$$

De la tabla de distribución Chi cuadrado se obtiene $x_{cal}^2 = 19.777$. Para que la H_1 sea aceptada y la H_0 rechazada debe cumplí con:

$$x_{cal}^2 \geq x_{cal\ tab}^2$$

$$24.23 \geq 19.7$$

Tomando como porcentaje de confiabilidad 95% de la tabla del anexo N, se concluye que el sistema de decorado superior de pasteles con diseños personalizados permite realizar un trabajo de decorado eficiente sobre el pastel validando la hipótesis planteada.

5.8. Análisis Económico

En la tabla 47 se detallan cada uno de los elementos: mecánicos, electrónicos, eléctricos, entre otros utilizados en la construcción del sistema mecatrónico de decorado superior de pasteles con diseños personalizados, con su valor respectivo precio.

Tabla 47
Análisis económico

Descripción	Cantidad	Precio	
		Unidad	Total
Fuente de 12V-20A	1	29,40	29,40
Rodamientos de diámetro interno de 5mm	12	1,00	12,00
Eje de acero inoxidable de 8mm de diámetro y 300mm de longitud	4	1,50	6,00
Tornillo sin fin de 8mm de diámetro y 300mm de longitud	2	14,50	29,00
Driver A4988 para motor a pasos NEMA 17	5	5,90	29,50
Arduino MEGA	1	20,00	20,00
Jeringas para suero de 60ml	2	0,75	1,50
Motor NEMA 17	3	15,80	47,40
Extrusor MK8	2	38,75	77,50
Tapas de acrílico	3	15,00	45,00
Manguera para alimentos de diámetro 8mm	1	6,00	6,00
Perfiles de aluminio de 20x20 y 600mm de longitud	6	15,70	94,2
Boquillas para decorado de pasteles de diámetro 30mm	2	10,00	20,00
Kit de esquinas Kossel Delta 3d	1	75,00	75,00
Ejes magnéticos con bola de acero de 300mm de longitud para impresora Delta Kossel	6	6,70	40,2
Abrazaderas para manguera de 8mm de diámetro	4	0,60	2,40
LCD 16x2 para arduino	1	5,99	5,99
Ramps 1.4 para Delta Kossel	1	29,50	29,50
Interruptor termomagnético de 20A	1	13,00	13,00
Material eléctrico	--	25,00	25,00
Prototipado 3D	--	200,00	200,00
Cámara web Logitech C170	1	30,00	30,00
Tornillo inoxidable, cabeza, tuerca, arandela	--	6,00	6,00
Otros(Gel abrillantador, crema chantilly, molde de pastel)	--	60,00	60,00
TOTAL			904,59

5.9. Trabajos a futuro

- Se puede implementar el uso de una bomba de aire para mantener controlado y constante el material empleado en el sistema mecatrónico de decorado.
- Se puede implementar un depósito de chocolate líquido para realizar el decorado manteniendo la temperatura con un control PID.
- Se puede sustituir el tornillo sin fin por un actuador eléctrico, que permitirá mantener un flujo constante.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Se ha realizado el diseño e implementación de un sistema mecatrónico para el decorado superior de pasteles entre 10-25cm de diámetro mediante la aplicación “CUPDRAW” la misma que permite realizar un diseño personalizado con imágenes, texto y figuras para posteriormente elaborarlo en el sistema mecatrónico.
- Se ha realizado el diseño e implementación de un mecanismo de doble extrusor permite decorar pasteles con un intercambio rápido de material de grado alimenticio como el gel abrillantador.
- Se ha implementado técnicas de procesamiento digital de imágenes que permite al usuario la detección del contorno y tamaño del pastel, para establecer los parámetros del área de trabajo como ubicación, centro del pastel.
- Se ha desarrollado la aplicación designada como “CUPDRAW” que contiene colores, imágenes, texto, figuras, que permiten desarrollar varios tipos de diseños personalizados para el decorado de un pastel con dos colores de gel abrillantador diferentes.
- El gel abrillantador es más eficiente que la crema chantilly
- El usuario tiene la ventaja de controlar la velocidad de extrusión gracias al software MatterControl siendo el rango de 0-2 mm/seg, optimizando el tiempo, recursos para la producción de mejores resultados en el proceso de decorado de pasteles.

- El sistema mecatrónico de decorado superior de pasteles está diseñado para que cualquier persona aficionada a la repostería lo maneje considerando su procedimiento simple y detallado.
- La interfaz gráfica es de fácil operatividad, ya que presenta características y funciones similares a las aplicaciones de dibujo disponibles por la internet.
- Utilizar el sistema mecatrónico en dispositivos con sistema operativo Windows debido a que la aplicación fue elaborada en ese sistema operativo.

6.2. Recomendaciones

- Antes de operar el sistema mecatrónico de decorado de pasteles el operario debe leer el manual de usuario y mantener las precauciones del caso según las normas sanitarias para la manipulación de alimentos procesados.
- Para realizar el proceso de decorado con ayuda del sistema mecatronico es necesario rellenar manualmente la jeringa con gel abrillantador siguiendo los pasos que están detallados en el manual de usuario.
- El gel abrillantador de consistencia líquida es el material de repostería que posee características óptimas para la realización del decorado del pastel previamente recubierto de crema chantilly.
- El usuario puede realizar diseños personalizados tomando en consideración que el sistema mecatronico tiene la capacidad de realizar decorados con dos colores
- El operario puede elegir una velocidad alta media o baja en el proceso de decorado, sin embargo, para lograr un resultado final de decorado bien definidos recomienda realizar el decorado con velocidades bajas.

- Si debe realizar un mantenimiento preventivo a los elementos electrónicos del sistema, con el fin de evitar que partículas ajenas les causen daño.
- El usuario debe procurar que el depósito del gel abrillantador en la jeringa sea compacto para evitar las burbujas de aire que ocasionan que el merengue se corte durante el proceso de decorado.
- Las normas sanitarias que rigen el sistema de salud en el Ecuador manifiestan que el personal que manipula alimentos debe contar con equipo de trabajo, por lo que se debe cuidar el espacio de trabajo de la máquina.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(10 de Junio de 2017). Recuperado de Transformaciones geométricas de imágenes:

<https://unipython.com/transformaciones-geometricas-de-imagenes-con-opencv/>

(6 de Noviembre de 2018). Recuperado de AliExpress:

https://es.aliexpress.com/item/Kits-de-impresora-LCD-Diy-Mini-3d-Kossel-Delta-impresora-3d-con-cama-calentada-y-interruptor/32678745266.html?src=ibdm_d03p0558e02r02

Acheson, N. (13 de enero de 2019). Recuperado de Ideas para fiestas: banderines para la decoración de tartas: <http://manager.fiestafacil.com/revistas/detalle/Ideas-para-fiestas-decoraci%C3%B3n-de-tartas>

AliExpress. (6 de Noviembre de 2018). Recuperado

de <https://es.aliexpress.com/item/SWMAKER-Kossel-Delta-3D-printer-plastic-injection-parts-upgrade-end-effector-Bottom-top-vertex-Vertical-carriage/32808814527.html>

AliExpress. (6 de Noviembre de 2018). Recuperado

de <https://es.aliexpress.com/item/Reprap-Kossel-delta-K800-3-D-printer-magnetic-Diagonal-push-rods-kit-end-Rods-Arms-kit/32424264382.html>

AliExpress. (6 de Noviembre de 2018). Recuperado

de <https://es.aliexpress.com/item/Kossel-Delta-3D-printer-plastic-injection-parts-upgrade-end-effector-Bottom-top-vertex-Vertical-carriage-endstop/32810589963.html>

AliExpress. (6 de Noviembre de 2018). Recuperado

de <https://es.aliexpress.com/item/Free-Shipping-For-2020-Aluminum-Extrusion->

Frame-use-Mini-Kossel-Delta-Robot-Nuts-Bolts-Screw-

Fasteners/32648907375.html?aff_platform=aaf&cpt=1541559527679&sk=AYNZb

Mb&aff_trace_key=bcf13995b3ca4690a33818ac34083207-15415595276

Alonso, A. B., Artime, I. F., Rodríguez, M. Á., & Baniello, R. G. (2011). Dispositivos móviles. *EPSIG Ing. Telecomunicación Universidad de Oviedo*.

Ángeles Hernández, M. D., Jiménez Zavala, V. H., & Zúñiga Pacheco, S. E. (2013). *Diseño y construcción de un prototipo para decorado automático de pasteles circulares "Bakerbot"*. México D.F.

Antuñano, M. J. G. de. (2015). *Repostería casera*. LID Editorial.

Arévalo, V. M., González, J., & Ambrosio, G. (2003). *La librería de visión artificial OPENCV aplicación a la docencia e investigación*. Málaga.

Astudillo Lala, A. E. (2006). *Dimensionamiento y construcción de una prensa mecánica para montaje y desmontaje de resortes de suspensión para vehículos tipo SEDÁN hasta 2200 CC*. Quito.

Areny, R. P. (1993). *Adquisición y distribución de señales*. Marcombo.

Arias, Á. (2015). *Aprende a Programar en Python: 2º Edición*. IT Campus Academy.

Bernal, J. J. (18 de Octubre de 2012). Recuperado de Despliegue de la función calidad (QFD): Guía de uso. Para qué sirve el QFD y cómo realizarlo:

<https://www.pdcahome.com/1932/qfd-despliegue-calidad/>

Calderón Carrasco, M. A., & León Palomeque, M. R. (2012). *Innovación de la técnica del fondant en tortas para eventos através del sabor, producto y decoración*.

Cuenca.

- Cantudo, C. (13 de enero de 2019). Recuperado de Iniciación a la repostería: boquillas y mangas pasteleras: <https://www.miarevista.es/hogar/video/iniciacion-a-la-reposteria-boquillas-y-mangas-pasteleras>
- Capó, M. (2013). *Decoración de tortas*. Cute Ediciones SRL.
- Carabalí Farinango, E. L., & Coral Salinas, E. S. (2016). *Diseño y construcción de una impresora 3D con impresión de soporte en ambiente controlado*. Quito.
- Caraballo, D. (30 de noviembre de 2016). *Los 5 mejores IDE para Python*. Recuperado de <http://www.pythondiario.com/2016/11/los-5-mejores-ide-para-python.html>
- Carmona Reverte, V. J. (2016). *Diseño y prototipado de extrusor para impresora 3D de alimentos*. Valencia.
- Chimbo Tamami, C. D., & Jiménez Caiza, V. H. (2017). *Investigación, Diseño e Implementación de un Sistema de Realidad Aumentada con asistente robótico para el mejoramiento del aprendizaje, creatividad y entretenimiento para niños de educación primaria*. Latacunga.
- COGNEX. (28 de mayo de 2018). *Qué es la visión artificial*. Recuperado de <https://www.cognex.com/es-ar/what-is/machine-vision/what-is-machine-vision>
- Cuevas , E., Zaldivar, D., & Perez Cisneros, M. (2016). *Procesamiento digital de imágenes con MATLAB y SIMULINK*. México: RA-MA.
- Detección de contornos con OpenCV Python. (n.d.). Recuperado de 19 de Diciembre, 2018, from <http://acodigo.blogspot.com/2017/08/deteccion-de-contornos-con-opencv-python.html>
- Domínguez, E. J., & Ferrer, J. (2012). *Circuitos eléctricos auxiliares del vehículo*. Editex.

ELECTRONILAB. (14 de enero de 2018). *Motor Paso A Paso Nema 17 - 84 oz.in - 200 Pasos/vuelta*. Recuperado de <https://electronilab.co/tienda/motor-paso-a-paso-nema-17-200-pasosvuelta/>

Eppinger, Karl T. & Ulrich -Steven D. (2013). *Diseño y desarrollo de Productos*. México: MCGRAW-HILL.

Extrusión de aluminio 6063 60 x 30 perfil de aleación de aluminio para la construcción. (2018, April 9). Recuperado de Junio 26, 2018, <https://www.weyerhau.com/es/6063-extruded-aluminium-60-x-30-extrusion-building-aluminum-alloy-profile-building.html>

Fonseca Lascano, C. V., & Miranda Taco, P. D. (2018). *Diseño e implementación de un prototipo de impresora 3d de cinco ejes para el ahorro de material y mejoramiento de la resistencia mecánica en piezas fabricadas mediante el método de deposición de material fundido en la Universidad de las Fuerzas Armadas*. Latacunga.

García Fuentes, J., Navalón Davó, A., Jordá Reolid, A., & Juárez Varón, D. (2014). *Visión Artificial aplicada al control de calidad*.

García-moreno, J. L. B. (2013, April 10). La mirada del Golem: Librerías de visión artificial. Recuperado de <http://miradadelgolem.blogspot.com/2013/04/librerias-de-vision-artificial.html>

GOILAV, N., & LOI, G. (2016). *Arduino: Aprender a desarrollar para crear objetos inteligentes*. Ediciones ENI.

- González, K., & Urrego D., G. W. (2014). *Estudio sobre computadores de placa reducida Raspberry Pi Modelo B y Cubieboard2 en la creación de proyectos con base tecnológica de gran impacto social.*
- González, R. D. (2014). *Presentación y decoración de productos de repostería y pastelería: Tipos de acabado y decoraciones sencillas con chocolate, caramelo y frutas.* Ideaspropias Editorial S.L.
- Gudiño Lau, J., Alcalá Rodríguez, J., Navarro, H., Velez Díaz , D., & Charre Ibarra, S. (2018). *Diseño y modelo cinemático de un robot delta para el diagnóstico y rehabilitación.* Tlahuelilpan.
- Hernán, D. P., & Méndez, M. S. (2014). *Presentación y decoración de productos de repostería y pastelería HOTR109.* IC Editorial.
- Herrera, S. I., & Fénnema, M. C. (2011). Tecnologías móviles aplicadas a la educación superior. In *XVII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación.*
- Hurtado Cortés, L. L., & Forero Casallas, J. A. (2014). Metodología de evaluación de usabilidad de interfaces humano - máquina. *Revista Tecnura*, 103-113.
- Íñigo Grieta, J., & Cerdá Alabern, L. (s.f.). *Transmisión de datos.*
- Juganaru Mathieu, M. (2014). *Introducción a la Programación.* México: EBOOK.
- Kossel Delta 3D impresora de inyección de plástico partes actualización efector final inferior/vértice superior carro vertical tope final titular en 3D Printer Parts & Accessories de Ordenador y oficina en AliExpress.com | Alibaba Group. (n.d.). Recuperado de Julio 19, 2018, from //es.aliexpress.com/item/SWMAKER-Kossel-Delta-3D-printer-plastic-injection-parts-upgrade-end-effector-Bottom-top-vertex-Vertical-carriage/32808814527.html?src=ibdm_d03p0558e02r02

LECHTALER, A. R. C. (n.d.). *Comunicaciones - una introducción a las redes digitales de transmisión de datos y señales isócronas*. Alfaomega Grupo Editor.

Logroño, R. M. G. (2017). *Sistemas de archivo y clasificación de documentos*. ADGD0208. IC Editorial.

López Cruz, J. C., González Santamaría, M., & Orozco Alonso, L. D. (2013). *Prototipo de dispositivo cartesiano decorador de pasteles por procesamiento de imágenes*. México D.F.

Loureiro, J. (22 de Mayo de 2017). Recuperado de La guía paso a paso para tunear tu impresora 3D y conseguir piezas de la máxima calidad:
<https://www.staticboards.es/blog/marlin-instalacion-configuracion/>

Lunarillos, M. (24 de septiembre de 2013). Recuperado de Cómo cubrir un cupcake de crema con manga pastelera sorteo:
<https://www.marialunarillos.com/blog/2013/09/como-cubrir-un-cupcake-de-crema-con-manga-pastelera.html>

Maroto Centeno, J. A. (2018). *Introducción a las máquinas simples y compuestas*.

Mena, C. (19 de abril de 2016). *Torta de chocolate - glaseado de chocolate*. Recuperado de <http://entremasasydemases.blogspot.com/2016/04/torta-de-chocolate-glaseado-de-chocolate.html>

Mena, M. (9 de mayo de 2017). *Tortillas de harina de trigo*. Recuperado de <http://anisypapelon.blogspot.com/2017/05/tortillas-de-harina-de-trigo.html>

Menezes, N. N. C. (2016). *Introducción a la programación con Python: Algoritmos y lógica de programación para principiantes*. Novatec Editora.

- Morante Cendrero, S. (2012). *Interfaz y librería para visión artificial, navegación y seguimiento en robótica*. Leganés.
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Nam Yeoh, K. (26 de noviembre de 2018). *BeagleBone Black Linuxcnc winth RAMPS 1.4 (part 1)*. Recuperado de <http://knyeh.blogspot.com/2014/04/beaglebone-black-linuxcnc-with-ramps-14.html>
- Natsys. (2017a). *Introducción a Phyton*. Natsys.
- Natsys. (2017b). *Introducción a Sistemas Operativos: Conoce el corazón de un SO*. Natsys.
- Navarrete, J. (26 de marzo de 2015). *Innovaciones Tecnológicas - Impresiones 3D*. Recuperado de <http://navarretelinaresbolg3d.blogspot.com/>
- Norton, R. L. (2011). *Diseño de máquinas*. México: Pearson Educación.
- Palafox Orozco, A. A. (7 de diciembre de 2016). *Shield RAMPS 1.4 para Impresora 3D*. Recuperado de <https://maximoingenio.blogspot.com/2016/12/shield-ramps-14-para-impresora-3d.html>
- PatagoniaTec. (2014, June 25). Arduino Mega 2560 |. Recuperado de Mayo 25, 2018, from <https://saber.patagoniatec.com/2014/06/arduino-mega-2560-atmega-mega-arduino-clon-compatible-argentina-tutorial-basico-informacion-arduino-argentina-ptec/>
- Ramírez, L. G. C., Jiménez, G. S. A., & Carreño, J. M. (2014). *Sensores y Actuadores*. Grupo Editorial Patria.

- Ramos, P. (13 de enero de 2019). Recuperado de Utensilios necesarios para cupcakes y fondant: http://cocina.facilisimo.com/reportajes/especiales/utensilios-necesarios-para-cupcakes-y-fondant_876189.html
- Rivera Castillo, N. R. (2016). *Plan HACCP para la línea de postre suspiro a la limeña de la Pastelería Morelia S.A.* Lima.
- Rodríguez Ojeda, L. (2017). *Python Programación.*
- Salazar Arellano, D. A., & Escobar Tapia, M. A. (2015). *Diseño e implementación de un sistema automático para decoración de pasteles en producciones a gran escala.* Riobamba.
- Sánchez Alonso, R. E., González Barbosa, J. J., Castillon Castañeda, E., & Balmaceda Santamaría, A. L. (2015). *Análisis del desempeño cinetostático de un robot paralelo tipo Delta reconfigurable.* México.
- Sánchez, J. A. S. (2002). *Avances en robótica y visión por computador.* Univ de Castilla La Mancha.
- Sempértégui Bayas, A. M., & Celi Abeiga, R. A. (2015). *Estudio, diseño e implementación de un robot delta para utilizarse en un impresora 3D.* Sangolqui.
- Soco, M. (2016, June 22). Conoce los utensilios que necesitas para decorar pasteles. Recuperado de Junio 30, 2018, from <https://www.directoalpaladar.com.mx/utensilios/conoce-los-utensilios-que-necesitas-para-decorar-pasteles>
- Taco Bonilla, H. S., & Torres Barriga, K. S. (2018). *Diseño e implementación de un equipo de rehabilitación para el fortalecimiento postraumático del tobillo mediante*

la aplicación de movimientos de circunducción controlados por un sistema móvil.

Latacunga.

Toapanta, C., del Pilar, S., & Navarrete Parra, P. H. (2014). *Diseño y construcción de una impresora 3D auto-replicable controlada inalámbricamente para el prototipado de piezas plásticas de bajo costo, mediante software libre.* (B.S. thesis).

LATACUNGA/ESPE/2014

Weyerhau. (14 de enero de 2019). *Extrusión 6063 de aluminio 60x30 extrusión edificio perfil de aleación de aluminio para la construcción.* Recuperado de <https://www.weyerhau.com/es/6063-extruded-aluminium-60-x-30-extrusion-building-aluminum-alloy-profile-building.html>

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor: **CRISTIAN MAURICIO VIERA LUNA** y la señorita: **JIMENA JEANETH SÁNCHEZ RAMIREZ**

En la ciudad de Latacunga, a los **29 días del mes de octubre del 2019.**

Ing. Patricia Constante

DIRECTORA DEL PROYECTO

Aprobado por:

DIRECTOR DE CARRERA

SECRETARIO ACADÉMICO

