



**Diseño y construcción de un prototipo automatizado para la decoración de gelatinas 3D  
mediante control numérico por computador.**

Guillen Miranda, Bryan Alonso y Valenzuela Proaño, Bryan Xavier

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Ing. Lara Padilla, Hernán Vinicio PhD.

26 de julio de 2022

Informe Antiplagio - MAGISTER COMPILATIO



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

#### Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **“Diseño y construcción de un prototipo automatizado para la decoración de gelatinas 3D mediante control numérico por computador”** fue realizado por los señores **Guillen Miranda, Bryan Alonso y Valenzuela Proaño, Bryan Xavier**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

**Sangolquí, 17 de febrero de 2023**

Firma:



.....

**Ing. Lara Padilla, Hernán Vinicio PhD**

C. C. 0603247362



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

#### Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Guillen Miranda, Bryan Alonso**, con cédula de ciudadanía N° 1724240310, y **Valenzuela Proaño, Bryan Xavier**, con cédula de ciudadanía N° 1721094751, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Diseño y construcción de un prototipo automatizado para la decoración de gelatinas 3D mediante control numérico por computador"** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Quito, 17 de febrero de 2023

Firmas:

**Guillén Miranda, Bryan Alonso**

C.C.: 1724240310

**Valenzuela Proaño, Bryan Xavier**

C.C.: 1724240310



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

#### Autorización de Publicación

Nosotros, **Guillen Miranda, Bryan Alonso**, con cédula de ciudadanía N° 1724240310, y **Valenzuela Proaño, Bryan Xavier**, con cédula de ciudadanía N° 1721094751, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"Diseño y construcción de un prototipo automatizado para la decoración de gelatinas 3D mediante control numérico por computador"** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Quito, 17 de febrero de 2023

Firmas:

**Guillén Miranda, Bryan Alonso**

C.C.: 1724240310

**Valenzuela Proaño, Bryan Xavier**

C.C.: 1724240310

## **Dedicatoria**

### **Bryan Guillén**

A todos aquellos que están dispuestos a luchar por las cosas que les gusta, dispuestos a mejorarse a sí mismos, y a mejorar la vida de los demás.

### **Bryan Valenzuela**

A todas las personas que en mi vida me enseñaron diferentes valores y en base a la experiencia me dieron una guía, que siempre estuvieron dispuestas a enseñar y ayudar con sinceridad y sin competitividad.

## **Agradecimiento**

### **Bryan Guillén**

Es imposible mencionar a todas y cada de las personas que fueron parte del camino, pues no habría conseguido llegar a este momento si lo hubiera hecho todo yo solo. Especialmente quiero mencionar a mis padres; Segundo Alonso Guillen Castillo y Lida Norma Cumandá Miranda Calle. A mis hermanas, mis tías, mis primos que estuvieron ahí con ayuda y consejo incondicional. A aquellos que hoy ya no nos acompañan. Y también a aquellas personas que sin compartir lazos de sangre se volvieron mi familia.

Finalmente quiero agradecer a mis amigos que estuvieron presentes en las buenas y malas, a veces como apoyo y en ocasiones como causa. ¡Gracias!

### **Bryan Valenzuela**

Agradezco infinitamente a mis padres; Verónica Alexandra Proaño Betancourt y Henry Xavier Valenzuela Merchán, como pilar fundamental en este arduo camino de aprendizaje y vivencias. A mi hermano, abuelitos, tías, tíos, novia, que siempre estuvieron en cualquier situación, con su apoyo incondicional.

## Índice de Contenido

Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Índice de Contenido.....	8
Índice de Tablas.....	12
Índice de Figuras.....	13
Resumen.....	17
Abstract.....	18
CAPÍTULO 1 Introducción.....	19
Antecedentes.....	19
Internacionales.....	23
Nacionales.....	24
Descripción del proyecto.....	25
Justificación e importancia.....	28
Alcance del Proyecto.....	29
Componente mecánico.....	31
Componente eléctrico – electrónico.....	32
Componente informático.....	33
Objetivos.....	34
Objetivo General.....	34
Objetivos Específicos.....	35
CAPÍTULO 2 Marco Teórico.....	35



Sector Artesanal.....	35
Repostería Artesanal.....	36
Propiedades y Funcionalidades de la Gelatina .....	37
Compatibilidad con el tejido humano.....	38
Fusión a temperatura corporal .....	39
Proteína Natural.....	39
Termo-reversibilidad .....	39
Transparencia .....	39
Bloom .....	39
Viscosidad .....	40
Proceso de Fabricación de Postres Florales 3D .....	41
Manual.....	41
Semilla. ....	42
Pétalos. ....	43
Hojas.....	43
Automático.....	44
Generar el archivo.....	45
Cargar bombas y calibrar la máquina. ....	46
Decoración.....	47
Configuración y Estructura del Prototipo.....	49
Ejes.....	49

	10
Bombas Peristálticas .....	50
Motores NEMA 17.....	51
PortaGubias.....	53
Placa de Control Y Firmware.....	55
Desarrollo de productos y procesos .....	57
Diseño y Arquitectura Modular .....	57
CAPÍTULO 3 Desarrollo del diseño y construcción .....	58
Metodología .....	58
Definición de requerimientos .....	59
Diseño del sistema. ....	63
Subsistema Mecánico .....	64
Diseño de porta envases.....	65
Diseño para cambio de herramienta.....	67
Tinta.....	72
Diseño de bomba.....	79
Diseño Estructural.....	83
Subsistema Electrónico.....	92
Tomacorriente.....	96
Encendido.....	96
Fuente de poder.....	97
Drivers.....	98

	11
Subsistema Informático.....	101
Interfaz – Generar Código G .....	101
Firmware.....	106
Pantalla.....	109
CAPÍTULO 4 Pruebas y Resultados .....	115
Precisión en el movimiento del equipo.....	115
Movimientos Independientes Ejes X, Y y Z .....	116
Movimientos coordinados .....	120
Bombas .....	122
Pruebas comparativas entre las decoraciones hechas a mano y fabricadas con la máquina. .....	125
Test de compresión en las gelatinas .....	130
Resultados Finales.....	131
CAPÍTULO 5 Conclusiones y Recomendaciones.....	139
Conclusiones.....	139
Recomendaciones.....	141
CAPÍTULO 6.....	143
Bibliografía.....	143
Apéndices .....	148

### Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Características a cumplir en el diseño</i> .....	30
<b>Tabla 2</b> <i>Valores Bloom</i> .....	40
<b>Tabla 3</b> <i>Características bomba peristáltica</i> .....	59
<b>Tabla 4</b> <i>Características de la producción</i> .....	60
<b>Tabla 5</b> <i>Correlaciones para QFD</i> .....	61
<b>Tabla 6</b> <i>Resultados obtenidos en QFD</i> .....	63
<b>Tabla 7</b> <i>Matriz de evaluación de conceptos</i> .....	71
<b>Tabla 8</b> <i>Evaluación sensorial de la decoración manual y automática por parte de los consumidores</i> .....	127
<b>Tabla 9</b> .....	132
<b>Tabla 10</b> <i>Especificaciones del diseño del producto</i> .....	135

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Proceso Utilizado por Dinara Kasko para sus postres.</i> .....	20
<b>Figura 2</b> <i>Modelos de postres florales 3D</i> .....	21
<b>Figura 3</b> <i>Set de gubias para gelatina</i> .....	22
<b>Figura 4</b> <i>Proceso de fabricación de postres</i> .....	26
<b>Figura 5</b> <i>Prototipos para acelerar la producción</i> .....	27
<b>Figura 6</b> <i>Diagrama de preparación de los postres</i> .....	28
<b>Figura 7</b> <i>Estructura tentativa del prototipo.</i> .....	31
<b>Figura 8</b> <i>Diagrama esquemático de elementos eléctricos y electrónicos.</i> .....	33
<b>Figura 9</b> <i>Diagrama del proceso informático para generar el movimiento de la máquina.</i> .....	34
<b>Figura 10</b> <i>Gelatinas con diseños florales 3D.</i> .....	37
<b>Figura 11</b> <i>Propiedades y Funcionalidades de la Gelatina</i> .....	38
<b>Figura 12</b> <i>Tintas para elaboración de postres florales 3D</i> .....	41
<b>Figura 13</b> <i>Arreglo de múltiples agujas para semilla</i> .....	42
<b>Figura 14</b> <i>Gubias artesanales e inserción con gotero</i> .....	43
<b>Figura 15</b> <i>Postre floral terminado manualmente</i> .....	44
<b>Figura 16</b> <i>Sistema de bombas peristálticas para impulsar la tinta</i> .....	45
<b>Figura 17</b> <i>Interfaz y Archivo Generado</i> .....	46
<b>Figura 18</b> <i>Bombas cargadas y gubias colocadas</i> .....	47
<b>Figura 19</b> <i>Herramientas para cada parte de la flor</i> .....	48
<b>Figura 20</b> <i>Producto final - postre floral realizado con el prototipo automatizado</i> .....	48
<b>Figura 21</b> <i>Configuración RPP del Prototipo</i> .....	49
<b>Figura 22</b> <i>Bomba Peristáltica</i> .....	51
<b>Figura 23</b> <i>Motores NEMA 17</i> .....	52
<b>Figura 24</b> <i>Driver A4988</i> .....	53
<b>Figura 25</b> <i>Portagubias</i> .....	54

<b>Figura 26</b> <i>Micro Servo SG90</i> .....	55
<b>Figura 27</b> <i>Arduino Mega 2560</i> .....	56
<b>Figura 28</b> <i>Esquema del modelo "V"</i> .....	58
<b>Figura 29</b> <i>Análisis de calidad QFD</i> .....	62
<b>Figura 30</b> <i>Diagrama funcional</i> .....	64
<b>Figura 31</b> <i>Envases plásticos utilizados</i> .....	65
<b>Figura 32</b> <i>Iris mecánico</i> .....	66
<b>Figura 33</b> <i>Soporte para frascos</i> .....	67
<b>Figura 34</b> <i>Primer diseño de pinza</i> .....	68
<b>Figura 35</b> <i>Segundo diseño de pinza</i> .....	68
<b>Figura 36</b> <i>Tercer diseño de pinza</i> .....	69
<b>Figura 37</b> <i>Cuarto diseño de pinza</i> .....	69
<b>Figura 38</b> <i>Quinto diseño de pinza</i> .....	70
<b>Figura 39</b> <i>Porta herramientas</i> .....	72
<b>Figura 40</b> <i>Reómetro Discovery HR-2</i> .....	73
<b>Figura 41</b> <i>Geometría de cilindros concéntricos</i> .....	74
<b>Figura 42</b> <i>Ensayo de Reversibilidad</i> .....	75
<b>Figura 43</b> <i>Tiempo de reposo del fluido</i> .....	76
<b>Figura 44</b> <i>Curva de Flujo Estacionario de la tinta comestible</i> .....	77
<b>Figura 45</b> <i>Comportamientos observados en fluidos</i> .....	78
<b>Figura 46</b> <i>Ensayo de dependencia del tiempo</i> .....	79
<b>Figura 47</b> <i>Bomba de jeringa</i> .....	80
<b>Figura 48</b> <i>Bomba peristáltica</i> .....	80
<b>Figura 49</b> <i>Modelo en Solid Works</i> .....	84
<b>Figura 50</b> <i>Especificaciones eléctricas motor NEMA 17</i> .....	85
<b>Figura 51</b> <i>Diseño CAD de carretes del eje X</i> .....	90

<b>Figura 52</b>	<i>Análisis de esfuerzos del carrete izquierdo eje X</i> .....	91
<b>Figura 53</b>	<i>Análisis del factor de seguridad del carrete izquierdo eje X</i> .....	91
<b>Figura 54</b>	<i>Componentes Electrónicos y Conexiones</i> .....	92
<b>Figura 55</b>	<i>Configuraciones para el trazo de pistas en la placa PCB</i> .....	94
<b>Figura 56</b>	<i>Diseño final de la placa PCB</i> .....	95
<b>Figura 57</b>	<i>Tipos de tomacorrientes</i> .....	96
<b>Figura 58</b>	<i>Switch de encendido</i> .....	97
<b>Figura 59</b>	<i>Fuente de poder</i> .....	98
<b>Figura 60</b>	<i>Driver A4988</i> .....	99
<b>Figura 61</b>	<i>Suministro de corriente en pasos completos</i> .....	100
<b>Figura 62</b>	<i>Componentes y organización de la interfaz gráfica</i> .....	102
<b>Figura 63</b>	<i>Geometría para la compensación de posición de la gubia</i> .....	103
<b>Figura 64</b>	<i>Geometría de la inserción de la gubia</i> .....	105
<b>Figura 65</b>	<i>Ejemplo de funcionamiento del algoritmo de Bresenham</i> .....	107
<b>Figura 66</b>	<i>Movimiento combinado de motores</i> .....	108
<b>Figura 67</b>	<i>Pantalla Nextion</i> .....	109
<b>Figura 68</b>	<i>Interfaz de desarrollo</i> .....	110
<b>Figura 69</b>	<i>Arquitectura de pantallas</i> .....	110
<b>Figura 70</b>	<i>Pantalla de presentación</i> .....	111
<b>Figura 71</b>	<i>Menú Principal</i> .....	112
<b>Figura 72</b>	<i>Pantalla de lectura de tarjeta SD</i> .....	112
<b>Figura 73</b>	<i>Pantalla de cargar archivo</i> .....	113
<b>Figura 74</b>	<i>Pantalla de procesando</i> .....	113
<b>Figura 75</b>	<i>Pantalla de mover ejes</i> .....	114
<b>Figura 76</b>	<i>Pantalla de control de pinza</i> .....	114
<b>Figura 77</b>	<i>Pantalla de mover bombas</i> .....	115

<b>Figura 78</b> <i>Desplazamiento para el eje X.</i> .....	116
<b>Figura 79</b> <i>Desplazamiento para el eje Z.</i> .....	117
<b>Figura 80</b> <i>Diagrama de cajas para eje X y Z.</i> .....	118
<b>Figura 81</b> <i>Toma de datos para el eje Y.</i> .....	119
<b>Figura 82</b> <i>Diagrama de caja para el eje Y.</i> .....	120
<b>Figura 83</b> <i>Movimientos diagonales entre eje X y Z.</i> .....	121
<b>Figura 84</b> <i>Diagrama de cajas para movimientos combinados entre 2 ejes.</i> .....	121
<b>Figura 85</b> <i>Diagrama de caja para caudales.</i> .....	122
<b>Figura 86</b> <i>Medida del volumen de líquido enviado por cada bomba.</i> .....	123
<b>Figura 87</b> <i>Grafica de puntos para la bomba A.</i> .....	124
<b>Figura 88</b> <i>Grafica de puntos para la bomba B.</i> .....	124
<b>Figura 89</b> <i>Grafica de puntos para la bomba C.</i> .....	125
<b>Figura 90</b> <i>Estudio cualitativo del producto.</i> .....	126
<b>Figura 91</b> <i>Muestras decoradas de manera manual y automática para el análisis sensorial ...</i>	130
<b>Figura 92</b> <i>Test de compresión a las gelatinas.</i> .....	131
<b>Figura 93</b> <i>Resultado Final</i> .....	134



## Resumen

En un mundo cada vez más digitalizado y automatizado en el que se busca realizar procesos y generar productos de manera rápida, eficaz y con calidad competitiva en el mercado, el sector artesanal no se puede quedar fuera de estos avances tecnológicos.

Específicamente, el presente trabajo busca contribuir en la rama de la repostería, la decoración de gelatinas con diseños florales 3D durante varios años ha sido realizado de manera manual, convirtiéndolo en un proceso repetitivo y agotador, que necesita de varias personas para poder cumplir con la producción. Por lo tanto, se presenta un prototipo automatizado que mediante control numérico por computador realiza la decoración total de las gelatinas ya que posee un cambio de herramientas automático el cual permite el uso de tres colores y tres gubias diferentes las cuales son utilizadas para realizar semilla, pétalos y hojas, con la facilidad que se da al usuario mediante una interfaz gráfica de administrar los parámetros y crear múltiples diseños florales.

Fueron realizadas pruebas sensoriales por parte de usuarios con conocimiento en gastronomía y público en general, utilizando muestras decoradas por el prototipo y también manualmente.

Los datos fueron analizados estadísticamente mediante la prueba de asociación chi – cuadrado obteniendo resultados favorables que no arrojan diferencias significativas en la calidad del producto terminado, dando como resultado final un rendimiento aumentado en la producción, ahorrando tiempo y recursos.

*Palabras clave:* Decoración, gubias, postres 3D, gelatina, CNC.

### **Abstract**

In an increasingly digitized and automated world in which processes are sought and products are generated quickly, efficiently and with competitive quality in the market, the handicraft sector cannot be left out of these technological advances.

Specifically, the present work seeks to contribute in the branch of confectionery, the decoration of jellies with 3D floral designs for several years has been done manually, making it a repetitive and exhausting process, which requires several people to meet the production. Therefore, an automated prototype is presented that by means of computer numerical control performs the total decoration of the gelatins since it has an automatic tool change which allows the use of three colors and three different gouges which are used to make seed, petals and leaves, with the facility given to the user through a graphical interface to manage the parameters and create multiple floral designs.

Sensory tests were carried out by users with knowledge in gastronomy and the general public, using samples decorated by the prototype and also manually.

The data were statistically analyzed by means of the chi-square association test, obtaining favorable results that do not show significant differences in the quality of the finished product, resulting in an increased production yield, saving time and resources.

*Keywords:* Decoration, gouges, 3D desserts, jelly, CNC.

## CAPÍTULO 1

### Introducción

#### Antecedentes

La automatización es capaz de adaptarse a muchas ramas empresariales, y la industria alimentaria no es la excepción. Con el pasar del tiempo vemos nuevas tecnologías desarrollarse con la finalidad de mejorar el estilo de vida de las personas a través de la programación de tareas repetitivas.

La definición de “postres 3D” es una terminología relativamente nueva, que surge debido al desarrollo tecnológico de herramientas como las impresoras 3D, cuyas aplicaciones se incrementan día tras día gracias a la creatividad del ser humano. Tal es el caso de Dinara Kasko, una arquitecta con una fuerte pasión por la repostería quien, al combinar sus aptitudes, ha ganado gran popularidad creando sus propios modelos para postres a partir de impresión 3D (Trejo, 2022). Su técnica consiste en el diseño de modelos completamente diferentes a los tradicionales a través de CAD, para posteriormente imprimirlos en 3D y realizar moldes para sus obras, en la **Figura 1** se puede apreciar mejor el procedimiento. Como se observa, la impresión 3D actúa indirectamente en la fabricación de los postres, pero tiene una gran importancia para obtener tales formas artísticas.

**Figura 1**

*Proceso Utilizado por Dinara Kasko para sus postres.*



*Nota.* Tomado de (Contreras, 2017)

En el caso de la empresa Postres Artísticos 3D, una entidad que se dedica a la elaboración de postres de gelatina artesanales con una gran variedad de diseños, a pesar de que los productos son de muy buena calidad, estos son elaborados a mano, uno por uno, lo que genera un gran tiempo de producción además de un gran desgaste físico y mental para los artesanos tras varias horas de acciones repetitivas, lo que puede llegar a provocar accidentes o lesiones musculares. Debido a esto, el presente proyecto busca diseñar e implementar un prototipo de un sistema automático para la decoración de las gelatinas, el mismo que agilizará la producción de estas y permitirá la creación de nuevos diseños a través de la programación.

Las gelatinas 3D son postres con diseños florales (**Figura 2**) fabricados en una base de gelatina transparente en el cual se van dibujando las partes de la flor que se desea representar mediante el uso de gubias, las cuales son herramientas que permiten insertar tinta comestible

en la gelatina base y permiten acabados con una forma específica como se puede apreciar en la **Figura 3**. Para cada diseño se requieren números distintos de colores con sus respectivas gubias, desde los más simples con un solo color hasta los más complejos con hasta 8 colores diferentes. Los diseños florales están divididos en 3 partes:

- a) Semilla: Ubicada en la zona central de la flor, se compone de varias líneas en forma circular.
- b) Pétalo: Pueden tener diferentes formas según la gubia utilizada, pero estas siempre se encuentran alrededor de la semilla formando varios círculos concéntricos.
- c) Hoja: Comúnmente de color verde son la última forma apreciable en los bordes de la flor antes del acabado final.

## Figura 2

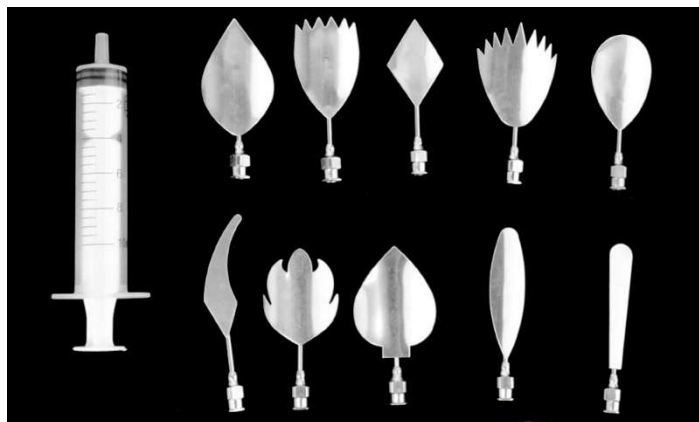
*Modelos de postres florales 3D*



*Nota. Tomado de (Postres Artísticos 3D (@postresartisticos3d) • Instagram photos and videos, s. f.)*

### Figura 3

#### *Set de gubias para gelatina*



*Nota.* Tomado de («Set Gubias gelatina 3d Ref C», s. f.)

La elaboración de este proyecto se basa en la impresión 3d en hidrogel, la cual es una tecnología que está revolucionando la forma en la que mucha gente se enfrenta a problemas de diseño, utilizada en la medicina para la fabricación de órganos, tejidos, venas, etc., debido a las ventajas como su versatilidad, este tipo de impresión se realiza en tanques llenos de gel para imprimir dentro sin necesidad de usar soportes, proceso que tiene semejanza con la fabricación de las gelatinas 3D en el cual nuestra base de gelatina es el volumen de impresión, donde se inserta mediante gubias, la tinta comestible que permanece en suspensión con la forma que se requiera, pueden crearse objetos inyectando estos productos en cualquier dirección y sin preocuparse de que colapse el producto final.

En el contexto de la investigación se ha estudiado a varios proyectos afines a la automatización de alimentos tanto nacionales como internacionales. En donde se observó que, a través de los controladores, programación, sistemas de control, y desarrollo de nuevas tecnologías se facilita la fabricación, el monitoreo y control de procesos.

## **Internacionales**

Dentro del ámbito internacional hay una gran cantidad de información relacionada a nuestro proyecto, de los cuales se resaltarán algunos por sus características o similitudes al proyecto realizado.

### **“Flower Jelly Printer: Slit Injection Printing for Parametrically Designed Flower Jelly”**

El presente proyecto busca precisamente simplificar el proceso de fabricación de los postres 3D, como dispositivo de impresión utilizaron la estructura de una impresora Ender 3 la cual fue adaptada a las necesidades del proyecto. Por otro lado, diseñaron un software a través de Rhinoceros y Grasshopper el cual permite al usuario modificar los parámetros de las flores e incluso diseñar sus propias gubias o paletas para posteriormente imprimirlos en 3D y que los pétalos tengan las formas deseadas. Además, se realizó un estudio con 8 personas para determinar la satisfacción del usuario y que características consideran más importantes o que se deben implementar en futuros proyectos. (Miyatake et al., 2021)

**“Estudio de la bioimpresión de hidrogeles aplicados a la generación de piel artificial mediante impresión láser BA-LIFT.”** Como el título indica en el presente artículo se hace un análisis de los métodos de fabricación de tejidos y órganos funcionales mediante la impresión 3D, concretamente se estudia la técnica BA-LIFT ‘Blister Actuated Laser Induced Forward Transfer’. Parte de este estudio hace referencia al estudio de biotintas y propiedades reológicas de los fluidos, las cuales son de vital importancia para obtener buenos resultados en la precisión de las impresiones. (Yeguas, 2020)

**“Tendencias y desafíos de la impresión 3D en el procesado de alimentos”** En este documento se analizan y describen los parámetros a tener en cuenta a la hora de utilizar la impresión 3D para la fabricación de alimentos y las propiedades de los materiales alimenticios, además considera también que estos materiales requieren un postprocesado luego de su

fabricación ya sea para cocción o almacenamiento. En cuanto a las propiedades del alimento recomienda el estudio de las propiedades reológicas de los mismos puesto que permite predecir el comportamiento y su flujo durante la impresión. (Morgado, 2020)

### **Nacionales**

Al tratarse de un tema relativamente nuevo son pocos los estudios que se hayan hecho de este tema en específico, sin embargo, hemos podido rescatar los siguientes estudios:

**“Aplicación de la manufactura aditiva en el procesamiento de alimentos”** En este artículo se hace una revisión a los diferentes tipos de manufactura aditiva existentes para la industria alimenticia que son: Impresión basada en extrusión, sinterización selectiva, chorro aglutinante y finalmente impresión por inyección de tinta. De estos la impresión por inyección de tinta será la que usaremos en nuestra aplicación debido a que esta técnica es utilizada para materiales de baja viscosidad como por ejemplo chocolates, masa líquida, mermeladas y geles. (Almeida-Bodero et al., 2021)

Entre otros proyectos realizados a nivel nacional tenemos **“Sistema de impresión para el depósito de semiconductores orgánicos embebidos en materiales poliméricos”** proyecto realizado como trabajo de titulación en la Universidad Técnica de Ambato consiste como su nombre lo indica en el diseño y construcción de un sistema de impresión de software libre y usado elementos disponibles en el mercado. Para lo cual se identifican las necesidades, requerimientos y se plantea una propuesta dividiéndola en subsistemas para posteriormente definir los mejores elementos y métodos de manufactura para el sistema. (Lema, 2018)

En este proyecto tenemos muchas bases para la implementación de los elementos de campo, control y protección. Se detalla los elementos utilizados tanto como sensores, controladores, software, firmware, motores. La implementación de cada elemento y los detalles



a considerar son muy importantes para poder obtener información confiable de nuestro proyecto y que esta nos sirva para la toma de decisiones que mejoren el producto final.

Cabe mencionar que como los proyectos mencionados anteriormente existen muchos más realizados alrededor del mundo que serán de mucha ayuda como guías para la correcta culminación e implementación de nuestro proyecto de titulación el cual aporta al campo alimenticio del Ecuador integrándolo al uso de herramientas informáticas.

### **Descripción del proyecto**

A diferencia de otros proyectos relacionados a postres 3D, como el caso de los realizado por Dinara Kasko, en donde la tecnología de impresión 3D aporta indirectamente a la fabricación de estos, el proyecto descrito a continuación consiste en un diseño novedoso de construcción y caracterización de materiales a fin de implementar un prototipo confiable, intuitivo y automático en donde la misma maquina sea quien realice las formas directamente sobre el producto final. Para lo cual se requiere un dimensionamiento adecuado de los elementos a utilizar, una estructura estable, la elaboración de un sistema de extrusión de tinte y el estudio de las propiedades reológicas de los materiales alimenticios. El control será realizado mediante el uso de software libre con la ayuda de una placa Arduino, un software para definir la forma de las flores y generar el G-code. Adicionalmente el sistema será capaz de cambiar de herramienta con su respectivo color durante el proceso con el objetivo de hacer diseños completos y de varios colores.

**Figura 4**

*Proceso de fabricación de postres*



Como se observa en la **Figura 4**, la fabricación de estos postres se realiza de forma manual, quien los elabora nos supo informar que al día la producción es 100 postres luego de 8 horas de trabajo entre 4 personas. Estas personas ya han venido trabajando en formas de agilizar el proceso de forma artesanal creando matrices circulares (**Figura 5**) o jeringas con más de una aguja sin embargo no ha sido posible conseguir resultados deseables debido a la complejidad en la dosificación de la tinta, simetría de los trazos o los diferentes ángulos que se forman en cada trazo para realizar los pétalos de las flores. De allí nace la necesidad de construir un sistema robótico que sea capaz de cumplir con todas estas necesidades.

**Figura 5**

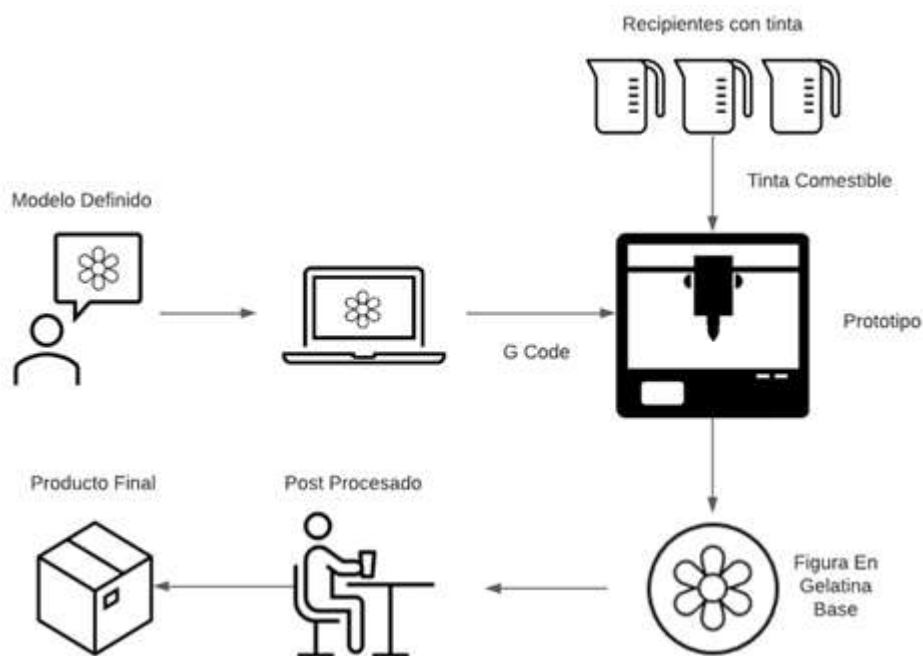
*Prototipos para acelerar la producción*



Tanto las figuras como los envases vienen de varios modelos, especialmente para las flores existe un gran número de formas y colores que estas pueden tomar, por lo tanto, el prototipo debe ser capaz de adaptarse rápidamente a estos cambios variando entre 3 tipos de herramienta con 3 colores distintos por cada lote. El proceso de fabricación se ve reflejado en la **Figura 6**, la cual representa el proceso final de fabricación de estos postres 3D con el prototipo ya construido.

## Figura 6

Diagrama de preparación de los postres



Para alcanzar una buena precisión en la fabricación de los postres y que las jeringas no se tapen debido a la tinta, esta se mantiene a una temperatura constante, para esta aplicación se optó por modificar la receta inicial a fin de que la tinta no necesite calentarse pero que se puedan obtener los mismos resultados.

### Justificación e importancia

De acuerdo con el Art. 385 de la sección cuarta de la Constitución del Ecuador, establece que el sistema nacional de ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales, en el marco del respeto al ambiente, la naturaleza, la vida, las culturas y la soberanía, tendrá como parte de su finalidad desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir.

Con la finalidad de elevar la eficiencia y la productividad, en búsqueda de nuevas soluciones que apoyen a la industria alimenticia, basados en la innovación y tecnología, y competir en el mercado nacional en un mundo impulsado por los avances tecnológicos, el emprendimiento y el arte de realizar un producto atractivo que nos permita tener un mejor nivel de competitividad en este mundo globalizado, como menciona (Machado, 2010)

La automatización permite la combinación de diversas tecnologías con el objetivo de asegurar el control y un correcto funcionamiento de los procesos, logrando una reducción de costos de fabricación, calidad constante, disminución de tiempo de fabricación y aumento del volumen de producción

Las tecnologías de impresión 3D están cambiando el mundo y los procesos industriales porque permiten obtener resultados de forma rápida, efectiva y de precisión en relación con la fabricación artesanal. Este tipo de tecnologías son aplicables en diferentes disciplinas, existen avances importantes en industrias como: construcción, medicina, alimentación y educación. (Velasco & Revelo, 2019).

Por lo tanto, se desea integrar esta tecnología de impresión en el proceso de fabricación de gelatinas de la empresa Postres Artísticos 3D, basándose en los avances innovadores del uso de hidrogel, el cual se adapta de la mejor manera a las necesidades de este proyecto, siempre tomando en cuenta las necesidades del proceso en cuanto a la síntesis de materiales con características mecánicas adecuadas. Esto le otorgará a la empresa una ventaja competitiva dentro del mercado nacional, impulsando su emprendimiento desde el punto de vista tecnológico, esta pandemia ha maximizado la importancia del negocio, ha estimulado la creatividad e ingenio en los negocios que sean innovadores para promover la recuperación económica.

### **Alcance del Proyecto**

El diseño deberá cumplir con las características descritas en la **Tabla 1**:

**Tabla 1**

*Características a cumplir en el diseño.*

Característica	Descripción
<b>Capacidad de fabricación</b>	El prototipo tardara la mitad de tiempo en decorar una gelatina que lo que tarda una persona en hacer el mismo trabajo.
<b>Cantidad de colores</b>	El dispositivo deberá poder manejar 3 colores diferentes.
<b>Cambio de herramienta</b>	Debido a que cada color requiere de una gubia diferente se necesita un sistema de cambio de herramienta autónomo.
<b>Volumen de trabajo</b>	El volumen de trabajo será de un cilindro de 15cm de diámetro en la base x 10cm de alto. De acuerdo con los frascos utilizados para la venta de las gelatinas.
<b>Tamaño de recipiente</b>	Los frascos vienen en presentaciones de 7 y 10 cm de diámetro.
<b>Software</b>	El código G se realizará en computador para posteriormente enviarlo a la placa de control.
<b>Seguridad</b>	El dispositivo deberá tener configuraciones que reduzcan en lo posible la posibilidad de lesiones usando el equipo.

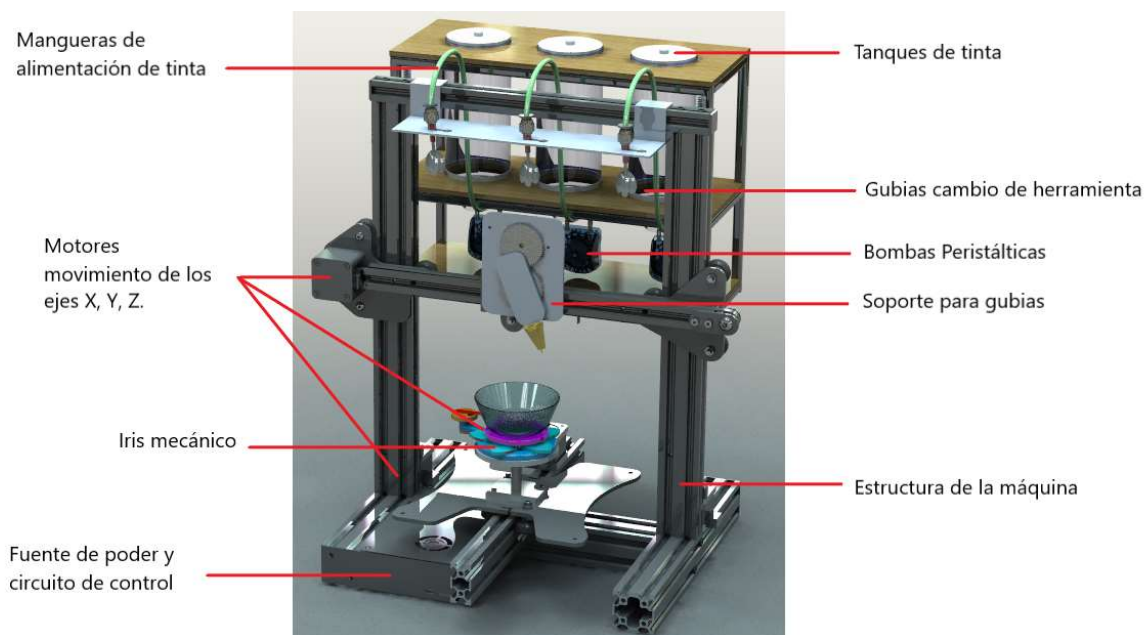
El proyecto esta dividido en tres componentes principales los cuales se detallan a continuación:

### Componente mecánico

- Referente al componente mecánico, se diseñará toda la estructura del sistema buscando que sea estable, segura para el usuario, fácil de manejar y ensamblar. Todo esto a fin de que se puedan realizar las limpiezas y mantenimientos sin el riesgo de dañar la integridad tanto del dispositivo como del usuario. En la **Figura 7** se indica un esquema tentativo realizada en Solid Works de cómo sería la estructura del prototipo.

### Figura 7

*Estructura tentativa del prototipo.*



- Se realizará un archivo CAD del prototipo para ejecutar simulaciones de factor de seguridad, resistencia de materiales y análisis térmico. Para lo cual será necesario hacer una recopilación de datos del proceso de fabricación de los postes y los elementos utilizados de donde se implementará el presente proyecto.
- Actualmente, todo el proceso se realiza de manera manual y la tinta se la inserta con jeringas lo que implica que cada cierto tiempo haya que cargar nuevamente cada jeringa, para eliminar estas pausas se diseñará un nuevo sistema de almacenamiento de tinta

con mayor volumen y mediante el uso de bombas peristálticas diseñadas se enviará la cantidad necesaria de tinte a la gelatina.

- Implementación del sistema hidráulico que transportara la tinta a las agujas o gubias.
- Dimensionamiento e implementación de un mecanismo de agarre del envase que permite una adherencia segura a la base sin que la posición del envase se vea afectada por los movimientos rotacionales de la base.
- Diseño del sistema y mecanismo de cambio de herramienta para el intercambio de colores durante el proceso de fabricación.
- Realizar el análisis reológico y la caracterización del material (tinte) que se inserta con las jeringas.

### ***Componente eléctrico – electrónico***

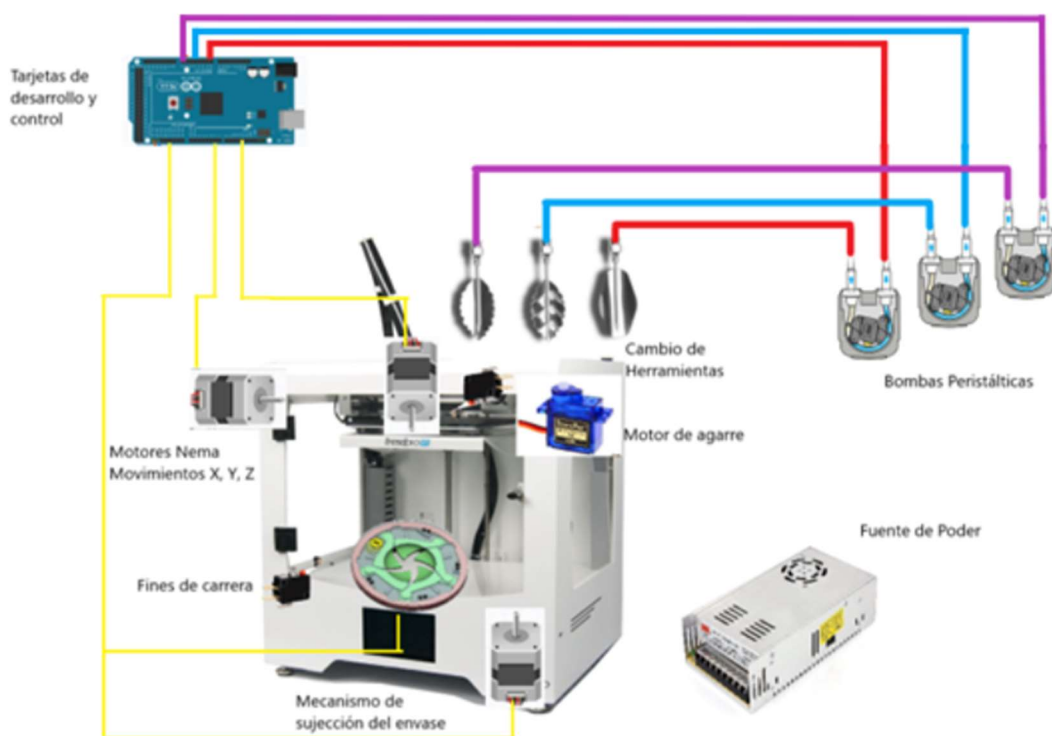
- Se deberá diseñar e implementar un circuito de control acorde a las necesidades del sistema de control y cumpliendo las normativas correspondientes, esto comprende el dimensionamiento y selección de elementos de alimentación, protección, maniobra, etc. De igual manera comprende la planeación de la interconexión de todos estos elementos que permita el adecuado funcionamiento garantizando la seguridad del cliente y de las instalaciones.
- Se diseñará el circuito de control y potencia que incluya los sensores y actuadores conectados a la placa de desarrollo.
- Dimensionamiento e implementación de los actuadores, tales como motores para uno de los ejes, motor para el cambio de herramienta y las bombas peristálticas.
- Selección de los sensores de proximidad para realizar un movimiento autónomo y seguro de los ejes en el posicionamiento.



En la **Figura 8** se indica un esquema con los elementos eléctricos y electrónicos mencionados, que mediante su interconexión y control permitirán el correcto funcionamiento del prototipo.

**Figura 8**

*Diagrama esquemático de elementos eléctricos y electrónicos.*



### **Componente informático**

- Se utilizará el software Arduino IDE para programar el algoritmo que permita realizar el movimiento del sistema cartesiano para realizar el diseño requerido en cada gelatina. A su vez estará conectado a una pantalla táctil para el control de la máquina de forma independiente.
- Programación del Firmware, el cual permite leer los comandos G-Code línea a línea y lo traduce a los movimientos de los motores. Este sistema además contará con sistemas de

seguridad y esta optimizado para este uso en específico, lo que implica realizar un análisis y reconfiguración de Firmwares de código libre y adaptarlos a nuestra necesidad.

- Se manejará softwares de diseño CAD para los análisis de cargas en la estructura.
- Mediante Python se programará una interfaz gráfica en computador que permita ingresar las características del diseño de flor a elaborar, posteriormente este hará la conversión a código G para finalmente pasarlo a la placa de desarrollo que interpreta y ejecuta el código, este proceso se lo puede observar en la **Figura 9**.

### Figura 9

*Diagrama del proceso informático para generar el movimiento de la máquina.*



- Toda la documentación referente a planos, diagramas, esquemas eléctricos y mecánicos requeridos serán desarrollados utilizando herramientas informáticas especializadas para trabajos de ingeniería.

### Objetivos

#### **Objetivo General**

- Diseñar y construir un prototipo automatizado para la decoración de gelatinas 3D mediante la técnica de impresión 3D con hidrogel.

### **Objetivos Específicos**

- Analizar el proceso de elaboración de postres 3D y dimensionar los elementos sensores y actuadores a utilizar el sistema.
- Diseñar y construir la estructura del prototipo para la fabricación de postres 3D.
- Dimensionar e implementar el sistema de transporte de la tinta comestible desde los tanques de almacenamiento hasta las agujas o gubias.
- Diseñar e implementar el mecanismo de sujeción de envases a la base móvil.
- Diseñar e implementar el sistema de cambio de herramientas para realizar diseños completos de diferentes formas y colores.
- Realizar el montaje del circuito de control, sensores, actuadores, elementos de maniobra, fuente de poder en el prototipo.
- Desarrollar un programa el cual permita seleccionar el modelo floral que se desea hacer y según este se entregue el código G determinado.

## **CAPÍTULO 2**

### **Marco Teórico**

#### **Sector Artesanal**

Un sector productivo de gran importancia para el desarrollo económico, generando impacto en la generación de empleo y flujo de dinero, los emprendimientos artesanales se podrían catalogar como microempresas según la clasificación establecida en el Artículo 106 del Reglamento de Inversiones del Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones dados el número de empleados que tienen y su nivel de ingresos (REGLAMENTO DE INVERSIONES DEL CODIGO ORGANICO DE LA PRODUCCION, 2011).

Al realizar el trabajo de forma manual los artesanos culminan los procesos de elaboración teniendo como resultado los productos artesanales, que al ser conceptualizados se

los define como aquellos productos que son producidos por artesanos, ya sea totalmente a mano, o con ayuda de herramientas manuales, o incluso, de medios mecánicos, siempre que la contribución manual directa del artesano siga siendo el componente fundamental del artículo acabado (Tomalá & Vélez, 2018).

En la actualidad el País es productivo y cuenta con una gran variedad de artesanos que buscan crecer dentro del mercado; para ello, deben contar con el capital y los recursos necesarios. Se debe tener en cuenta que la mayoría del financiamiento se cubre con las ganancias de la microempresa, el 3% de estos emprendimientos pasa los 3 años de vida debido a la baja rentabilidad, falta de innovación y poco acceso a fuentes de financiamiento.

Hoy en día la innovación es una gran ventaja en este sector que ayuda a obtener una ventaja competitiva en cuestiones de tiempo y calidad, simplificando un trabajo repetitivo mientras se conserva los principios artesanales.

### **Repostería Artesanal**

La repostería es un arte, basado en preparar y adornar diferentes platos dulces, dando importancia a la experiencia que ofrecen los sabores y el impacto visual del postre.

Hablar de repostería artesanal se ha convertido en la creación de algo más que un producto alimenticio hecho a mano se trata de productos casi indispensables y protagonistas en eventos sociales, ya que su apariencia, presentación, sabor, calidad superan las expectativas y los postres artesanales llegan a ser creaciones artísticas.

En esta rama de la gastronomía las gelatinas son un postre de sabor delicado y atractivo al paladar, la última tendencia de gelatinas no ha jugado tanto con su sabor sino con su aspecto, ahora tienen un diseño 3D que encantan al consumidor, el estilo 3D se refiere a un diseño interno con tintas de colores en una base de gelatina transparente. (**Figura 10**).

**Figura 10**

*Gelatinas con diseños florales 3D.*



*Nota.* Tomado de (W. Ramírez 2018)

El proceso de elaboración de las gelatinas 3D es netamente artesanal y requiere práctica, tiempo y paciencia, que con la experiencia del artesano ha sido perfeccionado tomando en cuenta siempre algunos parámetros para la calidad del producto final.

### **Propiedades y Funcionalidades de la Gelatina**

La gelatina tiene diferentes propiedades específicas y funcionalidades (**Figura 11**), que se deben elegir según la aplicación, algunas gelatinas presentan una importante funcionalidad espumante, mientras que otras tienen un poder gelificante variable.

Los fabricantes producen una gelatina específica para cada aplicación ya sea para la industria alimenticia, farmacéutica o técnica, las distintas fórmulas proporcionan funcionalidades precisas requeridas para un producto final que satisfice con la textura, sensación o transparencia buscadas.

### Figura 11

#### *Propiedades y Funcionalidades de la Gelatina*



*Nota.* Tomado de (Rousselot, 2020)

#### ***Compatibilidad con el tejido humano***

La gelatina es una proteína de origen natural de fácil digestión que aporta 8 de los 9 aminoácidos esenciales para el organismo.

### ***Fusión a temperatura corporal***

La temperatura de fundición de la gelatina es similar a la temperatura corporal, esta propiedad permite una sensación en boca excelente, además de una liberación intensa del sabor.

### ***Proteína Natural***

La gelatina es proteína pura, hipoalergénica, libre de colesterol, purina y grasas, por lo tanto, es totalmente digestible.

### ***Termo-reversibilidad***

Su poder gelificante termorreversible hace a la gelatina única en términos de funcionalidad, su fórmula permite cuajar al enfriar y se licua cuando vuelve a calentarse, esta transformación tiene lugar con rapidez y puede repetirse sin cambios significativos en las características.

### ***Transparencia***

La gelatina hidratada forma un gel transparente o una película flexible. Esta propiedad es muy importante en los postres 3D para poder visualizar de mejor manera los colores y formas, permitiendo postres con gelatina elásticos, suaves y brillantes.

### ***Bloom***

Bloom es una medida específica para la resistencia del gel y la firmeza de la gelatina. Los valores de Bloom se determinan midiendo la fuerza en gramos requerida para presionar la superficie de un gel de gelatina con una concentración al 6.67% después de gelificar durante 16-18 horas a 10°C.(Rousselot, 2020).

El valor Bloom de la gelatina de comercializa entre 60 y 300g, los rangos se pueden observar en la **Tabla 2**.

**Tabla 2***Valores Bloom*

Valores Bloom [g]	
<b>Gelificación Baja</b>	< 120
<b>Gelificación Media</b>	120 – 200
<b>Gelificación Alta</b>	> 200
<b>Valor máximo</b>	300

Ventajas de las gelatinas de alto valor Bloom:

- Puntos de fusión y gelificación más altos
- Tiempo más corto de gelificación
- Menos cantidad necesaria en la formulación
- Color más claro
- Sabor y olor más neutral

### **Viscosidad**

La viscosidad es la resistencia al flujo y se expresa en m.Pa. s (mili Pascal-segundo).

Mientras que el Bloom se mide en el producto gelificado la viscosidad se mide en la solución de gelatina.

Las propiedades de flujo de una solución de gelatina afectan a las propiedades de procesamiento. La viscosidad de una solución de gelatina es dependiente de la concentración, la temperatura y el valor Bloom de la solución de gelatina. Una influencia indirecta tienen también la materia prima y el método de producción de la gelatina.(GELITA, 2022)



### Proceso de Fabricación de Postres Florales 3D

Un proceso artesanal netamente manual y repetitivo que mediante nuevas herramientas se ha buscado simplificar, ya que realizar postres en grandes cantidades resulta cansado y extenuante para el artesano, estos factores también influyen en la calidad de los mismos, por lo tanto, mediante un prototipo automatizado se pretende facilitar su fabricación, pero para esto es necesario conocer bien el proceso manual lo cual nos permite tener en cuenta como dividir el diseño y enfocarse en los módulos de mayor complejidad.

Para el proceso de fabricación tanto manual como automático se empieza con la base transparente de gelatina en la cual se va a realizar el diseño floral.

#### ***Manual***

Se utilizan tintas a base de gelatina y colorantes en polvo (**Figura 12**) las cuales se preparan y cuando es necesario realizar un postre se escoge los colores necesarios y se calienta para que la tinta líquida sea más fácil de manejar e insertar en la base transparente, esto es posible debido a la termo-reversibilidad de la gelatina.

#### **Figura 12**

*Tintas para elaboración de postres florales 3D*



**Semilla.** La tinta se carga en una jeringa la cual posee una aguja que se utiliza como gubia para crear la forma, se dosifica la tinta en los espacios dejados por la aguja, no existe una dosificación controlada por lo que un poco de tinta se riega fuera de la base, todo depende de la experiencia del artesano y el pulso. Se gira la base a medida que se avanza y también se aumenta el ángulo de inclinación para ir abriendo la semilla hasta terminarla, este método permite realizar una inserción a la vez. Con el motivo de agilizar el proceso y facilitarlo se utiliza un arreglo de múltiples agujas en una botella (**Figura 13**), sacrificando el control y regando mucha más tinta. Al terminar la semilla se limpia el sobrante de tinta para continuar con los pétalos y hojas.

### Figura 13

*Arreglo de múltiples agujas para semilla*



**Pétalos.** Según la flor que se necesite realizar existen diferentes tipos de gubias incluso se crean gubias artesanales utilizando cucharas de plástico que se cortan y se dan forma, estas gubias se insertan alrededor de la semilla ya realizada para ir dando forma a la primera vuelta de pétalos, en cada inserción de la gubia se dosifica tinta con un gotero (**Figura 14**), procurando esparcirla por todo el agujero y que quede bien marcado el pétalo, en la siguiente vuelta los pétalos se realizan en el centro de los dos anteriores con una mayor inclinación de la gubia, y así sucesivamente hasta culminar con todas las vueltas. Al finalizar se limpia el exceso de tinta para continuar con las hojas.

#### **Figura 14**

*Gubias artesanales e inserción con gotero*



**Hojas.** Es el paso final para darle resalte a la flor, generalmente se realizan de color verde y en una sola vuelta con una gubia triangular, se repite el proceso que se sigue para realizar los pétalos realizando los agujeros y utilizando un gotero, se realizan solo pocas inserciones alrededor y se termina el postre floral 3D (**Figura 15**).

**Figura 15**

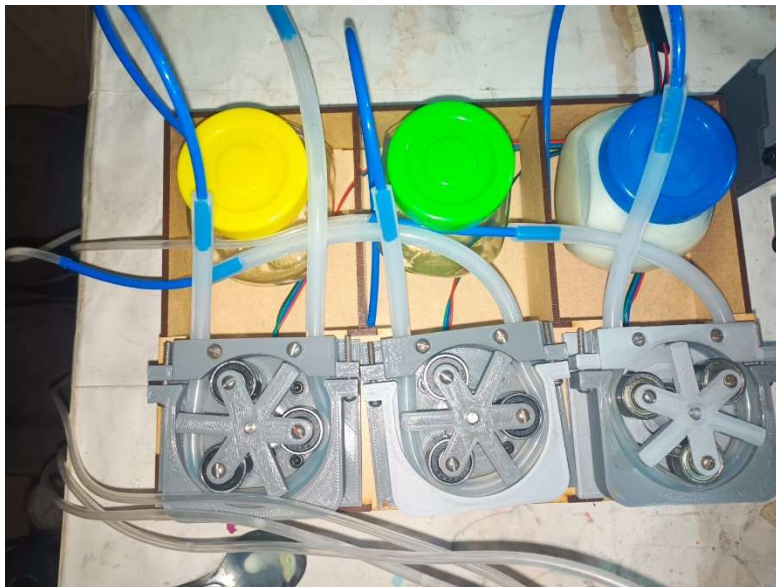
*Postre floral terminado manualmente*

**Automático**

Se mejoró el uso de tinta, utilizando una mezcla de leche en polvo, agua y tinta en polvo, esta nueva tinta no necesita ser calentada debido a que no tiene gelatina en la mezcla, pero tiene la viscosidad necesaria para permanecer en la base sin regarse y además fluye de mejor manera a través de las mangueras que llevan la tinta desde los envases hasta las gubias, impulsada a través de bombas peristálticas (**Figura 16**).

**Figura 16**

*Sistema de bombas peristálticas para impulsar la tinta*

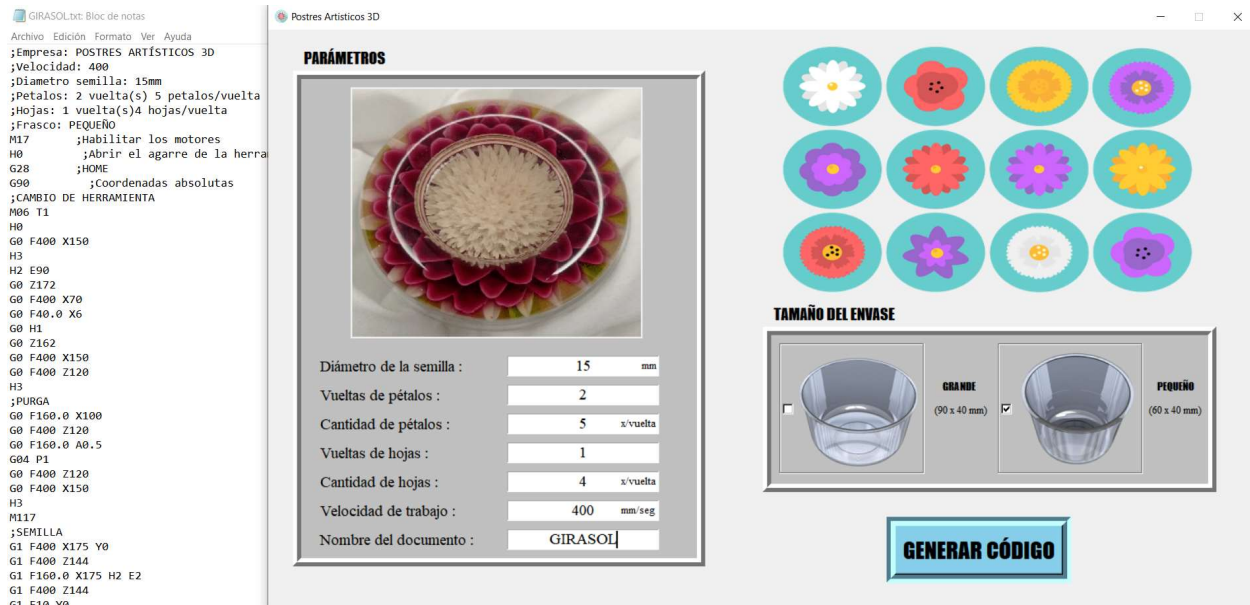


**Generar el archivo.** El prototipo trabaja mediante control numérico por computador (CNC) que permite controlar en todo momento la posición de un elemento físico mediante la lectura del código G, para poder generar este código se desarrolló una interfaz gráfica en Python, un lenguaje de programación ampliamente utilizado en las aplicaciones web, el desarrollo de software, la ciencia de datos y el machine learning (ML). Los desarrolladores utilizan Python porque es eficiente y fácil de aprender, además de que se puede ejecutar en muchas plataformas diferentes. El software Python se puede descargar gratis, se integra bien a todos los tipos de sistemas y aumenta la velocidad del desarrollo.(AWS, 2022)

Se setean los parámetros en la interfaz y se da un nombre al archivo, se genera un archivo de texto que contiene el código G (**Figura 17**), que va a ser interpretado por el firmware de la máquina, este se carga en una micro SD.

Figura 17

## Interfaz y Archivo Generado

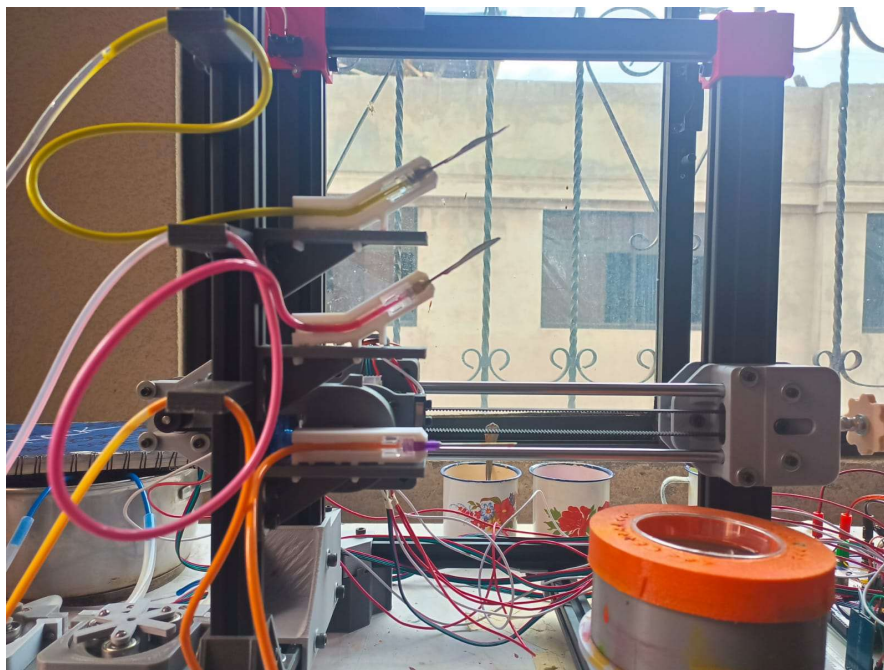


**Cargar bombas y calibrar la máquina.** Se procede a cargar las tintas de los colores necesarios en las bombas, comprobar que no haya regreso de tinta en las mangueras, y colocar las gubias en los portaherramientas (**Figura 18**). Una vez calibrada se debe situar la base de gelatina transparente en el agarre del eje Y, se escoge el archivo en la pantalla y se inicia el proceso de fabricación.



**Figura 18**

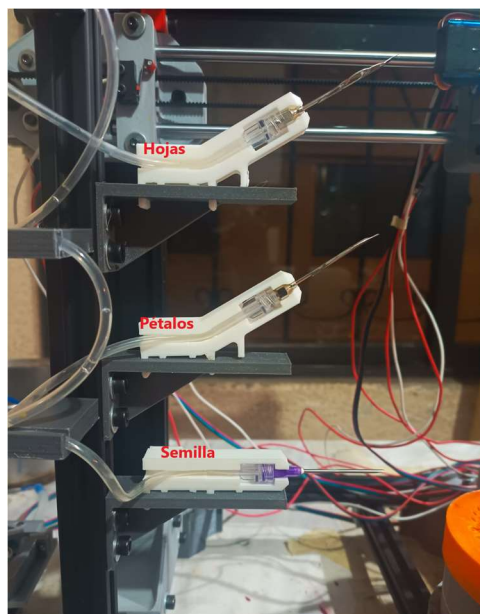
*Bombas cargadas y gubias colocadas*



**Decoración.** La máquina empieza el proceso con el movimiento a Home el punto (0,0,0) para que a partir de este siga las coordenadas dadas en el código G. El extrusor siempre debe estar sin ninguna herramienta cargada, ya que para cada parte de la flor la maquina tiene 3 herramientas (**Figura 19**) las cuales toma automáticamente.

**Figura 19**

*Herramientas para cada parte de la flor*



Se realiza la semilla, pétalos y hojas simulando el trabajo manual, con la ventaja de tener mayor control en el movimiento y la dosificación, teniendo una calidad y asegurando repetitividad en el producto final (**Figura 20**).

**Figura 20**

*Producto final - postre floral realizado con el prototipo automatizado*



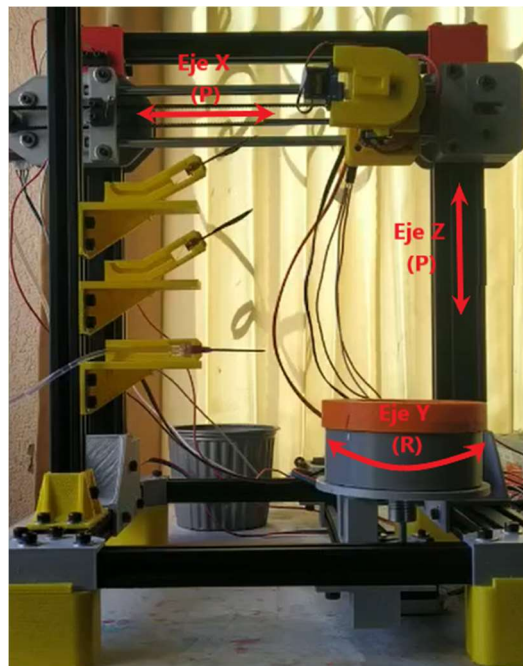


## Configuración y Estructura del Prototipo

La estructura está basada en una impresora 3D FDM cartesiana, pero se realizó un cambio en su configuración para adaptarse al trabajo de decoración de postres, el prototipo tiene una configuración cilíndrica RPP, eje Y Rotacional, eje X Prismático, Eje Z Prismático como se puede observar en la (**Figura 21**)

### Figura 21

*Configuración RPP del Prototipo*



El prototipo físicamente está compuesto por distintos elementos que conforman su estructura, que en teoría tiene 4 grados de libertad que son los ejes X, Y, Z e incluimos el extrusor que nos permite dar ángulos a las gubias.

### **Ejes**

El eje X permite el movimiento horizontal del efector final, se utilizan varillas lisas, rodamientos y bandas.

El eje Z es doble y esta sincronizado mediante una banda cerrada, esto permite una ventaja para evitar vibraciones y una mayor precisión en el movimiento vertical del efector final, se utilizan ejes roscados y acoples para transmitir el movimiento de los motores.

El eje Y permite girar el envase de gelatina y cambiar el ángulo para realizar las formas en todo el diámetro, el movimiento se transmite directamente desde el motor al mecanismo de agarre mediante un acople flexible.

El extrusor es netamente rotacional, gira para dar los ángulos de inserción de cada una de las gubias, las cuales se aseguran mediante un servomotor, el movimiento se transmite directamente desde el eje del motor.

Los movimientos en el eje X, Z y extrusor son limitados por fines de carrera que permiten empezar el movimiento de la maquina desde la posición cero.

### ***Bombas Peristálticas***

Las bombas peristálticas (**Figura 22**) son un tipo de bombas de desplazamiento positivo, que pueden utilizarse para una amplia variedad de fluidos.

El principio de bombeo peristáltico está basado en la capacidad de una manguera de elastómero flexible, que puede deformarse para permitir el paso de fluido a través del sistema (PCM, 2019).

Además, este tipo de bombas peristálticas no cuenta con válvulas u otros elementos de cierre, por lo que no permite fugas, y el fluido no toca las partes móviles de las bombas, al no existir riesgo de contaminación es posible usar estas tecnologías de bombeo para trabajar con productos alimenticios.

Las bombas peristálticas apenas requieren de mantenimiento, este es extremadamente sencillo y rápido, además de ser más económico que en otros sistemas de bombeo. La única

pieza que es posible que se desgaste es la manguera. Para conseguir una vida útil larga de la manguera es recomendable seleccionar una velocidad de rotación baja.

## Figura 22

### *Bomba Peristáltica*



*Nota.* Tomado de (PCM, 2019)

Para el movimiento de ejes y bombas se necesita un control posicional preciso por lo que el uso de motores NEMA 17 (**Figura 23**) es la mejor opción.

### **Motores NEMA 17**

El motor paso a paso Nema 17 es de tipo bipolar, con un ángulo de paso de  $1.8^\circ$ , es decir, puede dividir cada una de las revoluciones o vueltas en 200 pasos. Cada bobinado de los que tiene en su interior soporta 1.2A de intensidad a 4v de tensión, con lo que es capaz de desarrollar una fuerza considerable de 3.2 kg/cm.

Además, este motor Nema 17 es robusto, por eso se emplea en aplicaciones como las impresoras 3D caseras y otros robots que necesitan tener una consistencia considerable. También es usado en cortadoras láser, máquinas de CNC, máquinas pick & place, etc. (Isaac, 2019).

**Figura 23**

*Motores NEMA 17*

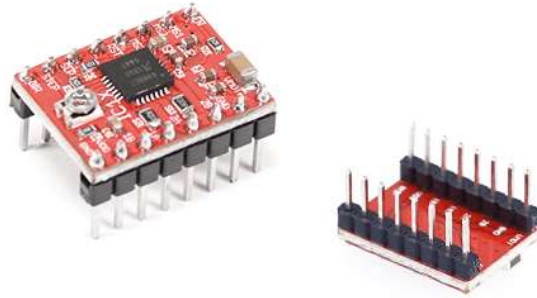


*Nota.* Tomado de (Ureta, 2015)

Para su uso los motores a pasos necesitan de un driver, en este caso el A4988 (**Figura 24**) un controlador que simplifica el manejo de motores paso a paso desde un procesador como Arduino.

Estos controladores nos permiten manejar los altos voltajes e intensidades que requieren estos motores, limitar la corriente que circula por el motor, y proporcionan las protecciones para evitar que la electrónica pueda resultar dañada.

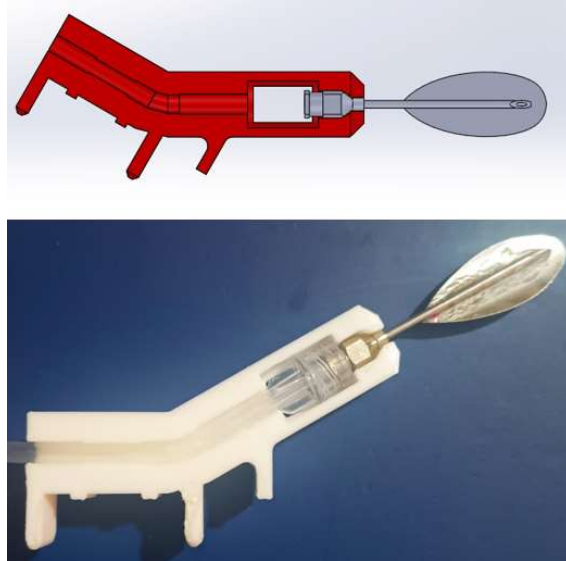
Para su control únicamente requieren dos salidas digitales, una para indicar el sentido de giro y otra para comunicar que queremos que el motor avance un paso. Además, permiten realizar microstepping, una técnica para conseguir precisiones superiores al paso nominal del motor.

**Figura 24***Driver A4988*

*Nota.* Tomado de (Llamas, 2016)

***PortaGubias***

Las gubias son la parte esencial para la decoración de postres 3D, para su adaptación al prototipo automático, se necesita un acople portagubias que permita asegurar las gubias al extrusor, diseñado para permitir un cambio fácil y rápido de gubias. En la **Figura 25** se puede observar el diseño realizado.

**Figura 25***Portagubias*

*Nota.* Superior, diseño realizado en SolidWorks – Inferior, impresión 3D en material PLA blanco.

Para asegurar los portagubias al extrusor en el cambio de herramienta se hace uso de un servomotor (**Figura 26**), un pequeño actuador rotativo que permite un control preciso en posición angular, este servomotor puede rotar de  $0^\circ$  hasta  $180^\circ$ , su voltaje de operación que va desde los 4.8 a 6 VDC.

## Figura 26

*Micro Servo SG90*



*Nota.* Tomado de (UNIT ELECTRONICS, 2018)

## Placa de Control Y Firmware

La placa Arduino Mega 2560 (**Figura 27**) está basada en el microcontrolador Atmega 2560. Dispone de 54 entradas y salidas digitales, de las cuales 15 pueden ser usadas como salidas PWM, 4 puertos seriales por hardware (UART), un cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un conector ICSP para programación y un botón reset.

Esta placa es ideal para proyectos de control de robots e impresoras 3D, ya que posee más poder de cómputo, más capacidad de memoria y más líneas de expansión (Román, 2019).

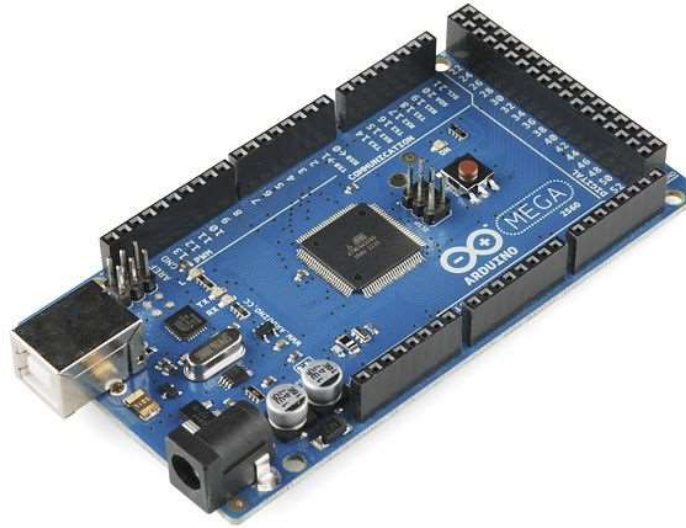
Las características principales de la Arduino Mega 2560 son:

- Voltaje de operación: 5V
- Compatibilidad con placas de expansión (shields)
- Voltaje de entrada recomendado: 7 – 12V
- 16 Pines de entrada analógica
- 54 Pines de entrada/salida digital
- Corriente CC por cada pin E/S: 20mA
- Memoria Flash: 256 KB

- SRAM: 8KB
- EEPROM: 4KB

### Figura 27

*Arduino Mega 2560*



*Nota.* Tomado de (Román, 2019)

El **firmware**, también conocido como soporte lógico inalterable, es el programa básico que controla los circuitos electrónicos de cualquier dispositivo. Este programa o software es una porción de código encargada de controlar qué es lo que tiene que hacer el hardware de un dispositivo, y el que se asegura de que el funcionamiento básico es correcto.

Se puede tener varios circuitos conectados en el interior de un dispositivo, pero esos circuitos necesitan una lógica primaria, unas instrucciones básicas que les diga cómo tienen que funcionar, cómo tienen que arrancar y qué operaciones tienen que realizar (Naranjo, 2021).

El firmware puede ser calificado tanto como parte del hardware como del software de un dispositivo. Es parte del hardware porque siempre está integrado en la electrónica, pero no deja



de ser un programa informático, por lo que también es software. Así pues, es prácticamente uno de los principales puntos de unión entre ambos.

### **Desarrollo de productos y procesos**

El desarrollo de productos y procesos es una investigación sistemática y orientada al ámbito comercial para desarrollar productos y procesos que satisfagan una necesidad existente o supuesta del consumidor, es una combinación y aplicación de las ciencias naturales con las ciencias sociales, de la ciencia y el procesamiento de los alimentos con el marketing y la ciencia del consumidor, en un tipo de investigación integrada cuyo objetivo es el desarrollo de nuevos productos (Winger & Wall, 2006).

### ***Diseño y Arquitectura Modular***

El diseño modular nos permite separar un producto o proceso en diversos módulos los cuáles se pueden tratar por separado, y la unión de todos los módulos nos da como resultado el producto final.

Los elementos físicos de un producto están organizados de una manera específica en varios elementos físicos de construcción más grandes, que se llaman trozos. Cada trozo está conformado entonces por un conjunto de componentes que ponen en práctica las funciones del producto. La arquitectura de un producto es el esquema por el cual los elementos funcionales del producto se acomodan en trozos físicos y por medio del cual éstos interactúan.

Una arquitectura modular tiene las siguientes dos propiedades:

- Los trozos activan uno o pocos elementos funcionales en su totalidad.
- Las interacciones entre trozos están bien definidas y son generalmente fundamentales para las funciones primarias del producto.

Esta arquitectura modular permite que un cambio de diseño se haga a un trozo sin requerir cambios a otros trozos para que funciones correctamente (Ulrich & Eppinger, 2013).

## CAPÍTULO 3

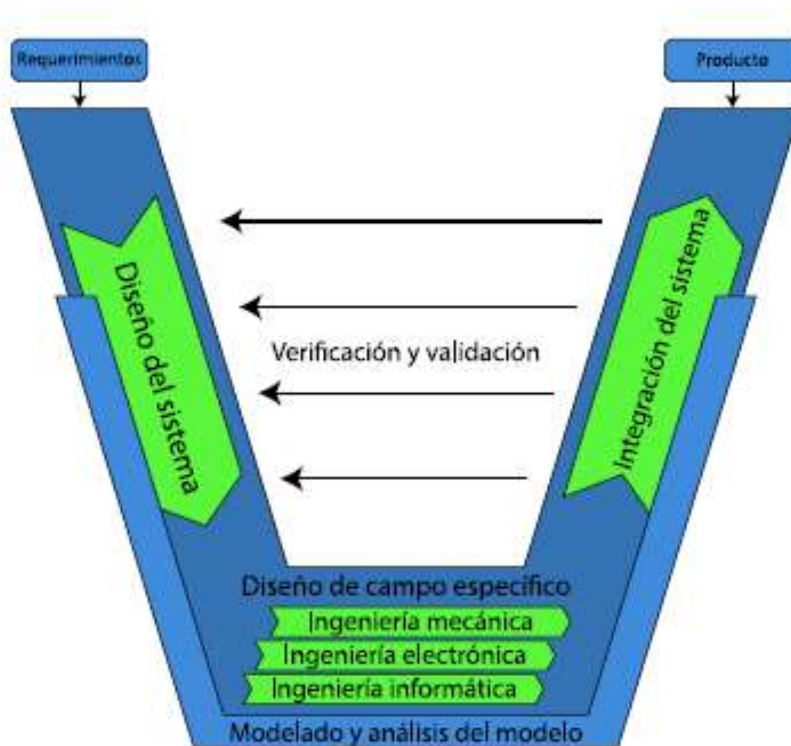
### Desarrollo del diseño y construcción

#### Metodología

Se toma como guía la metodología de trabajo propuesta en la norma VDI 2206 que sirve para asistir procesos de diseño mecatrónico la herramienta a usar es el modelo “V” (**Figura 28**), que describe la secuencia de tareas en varios ciclos de diseño de un sistema mecatrónico.

#### Figura 28

*Esquema del modelo “V”:*



*Nota.* Tomado de (Jürgen Gausemeier & Stefan Moehringer, 2003)

### Definición de requerimientos

En este punto se enumeran todos los requisitos dispuestos por la empresa de acuerdo con sus necesidades de producción:

- De acuerdo con el proceso de fabricación de las gelatinas para el almacenamiento de los tintes se instalarían resistencias calentadoras y sensores de temperatura en los tanques que almacenamiento.
- Instalación de bombas peristálticas que dosifiquen la tinta dentro de la gelatina, las bombas pueden ser diseñadas o compradas dependiendo si se cumplen con los requerimientos solicitados como se indica en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Características bomba peristáltica.*

Bomba Peristáltica	
<b>Aplicación</b>	Dosificación de tinta comestible
<b>Alimentación</b>	Fuente de 12 VDC
<b>Salida</b>	5 – 40 ml/min
<b>Características</b>	Temperatura de trabajo 0 -40 °C
	Humedad relativa < 80%
	Diámetro de salida 4mm
<b>Medio</b>	Cuarto cerrado con ventilación
<b>Cantidad</b>	3

- El prototipo necesita empezar en una posición de HOME para lo cual se debe instalar los sensores de proximidad que permitan el lazo de control.
- El sistema será capaz de transportar la tinta comestible desde los envases hasta las gubias de forma controlada, sin que se produzcan fugas en las tuberías.

- Programación de la tarjeta de desarrollo que permita obtener la información de todos los sensores y controle el accionamiento de los actuadores.
- Trabajar con plataformas de programación Open Source.
- El diseño de la interfaz para genera el G-code debe ser amigable y fácil de utilizar para el usuario.
- Mejorar la productividad de la empresa, fabricando un número mayor de gelatinas en el mismo tiempo de trabajo, e integrar una ventaja competitiva de realizar diseños personalizados. Esta información la podemos ver resumida en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Características de la producción.*

Actual	Mejorada
<b>25 unidades / 8 horas</b>	50 a 60 unidades / 8 horas
	Mejora de la eficacia entre un 50 a 100%
<b>Diseños realizados manualmente.</b>	Diseños producidos automáticamente.

Luego de recopilar los requerimientos del sistema se procede a realizar un análisis de calidad QFD, el cual es una técnica que nos permite organizar de forma analítica las necesidades del cliente según su prioridad.

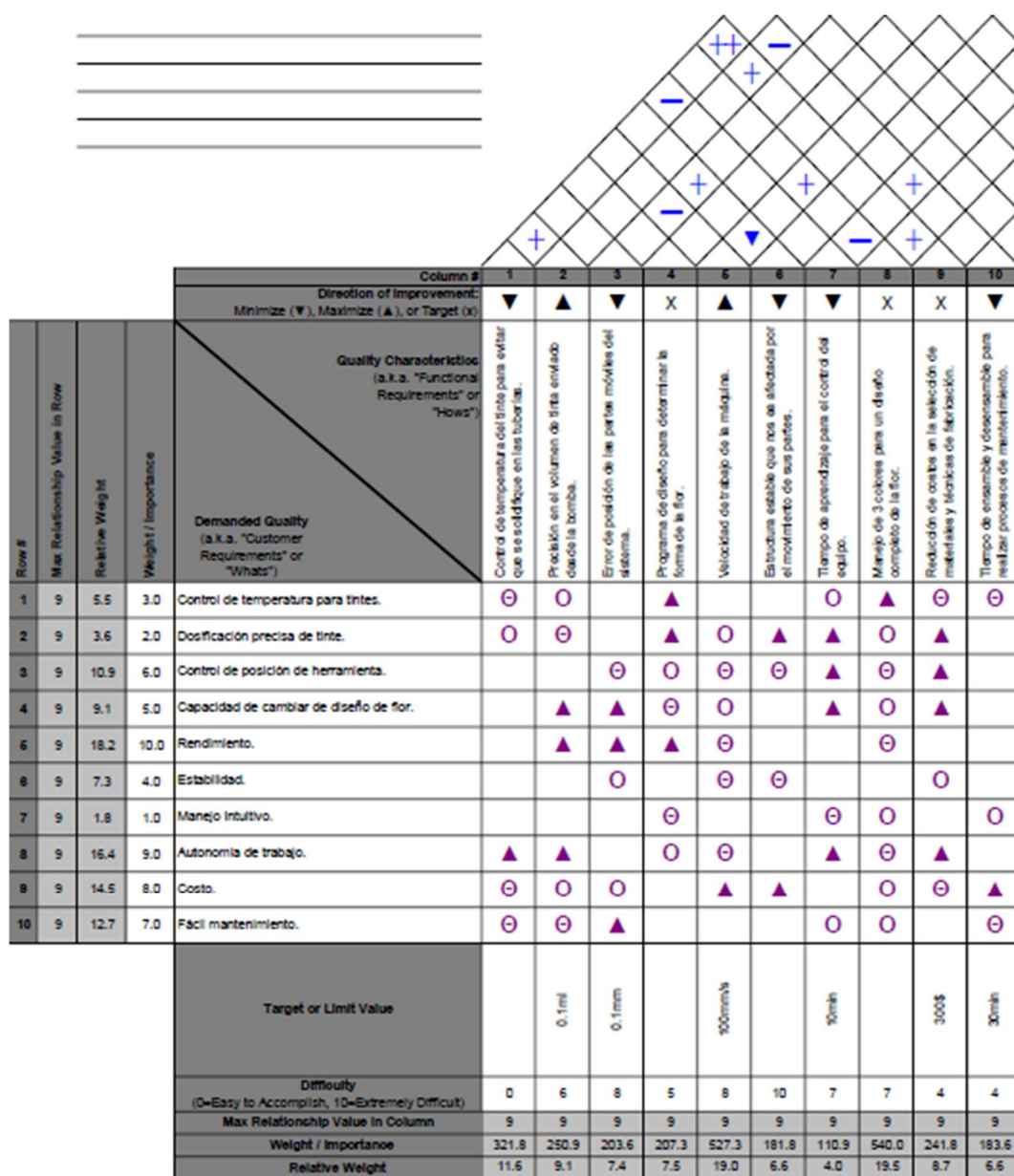
**Tabla 5***Correlaciones para QFD*

<b>LEGENDA</b>	
	Relación Fuerte
	Relación Moderada
	Relación Débil
	Correlación Positiva Fuerte
	Correlación Positiva
	Correlación Negativa
	Correlación Negativa Fuerte
	Objetivo es Minimizar
	Objetivo es Maximizar
	Objetivo es dar en el blanco

En la **Figura 29** se puede observar el desarrollo del análisis de calidad QFD.

Figura 29

Análisis de calidad QFD



Luego del desarrollo de la casa de la calidad o QFD, se procede a resumir los resultados obtenidos de forma ordenada según su ponderación en la **Tabla 6**.

**Tabla 6***Resultados obtenidos en QFD.*

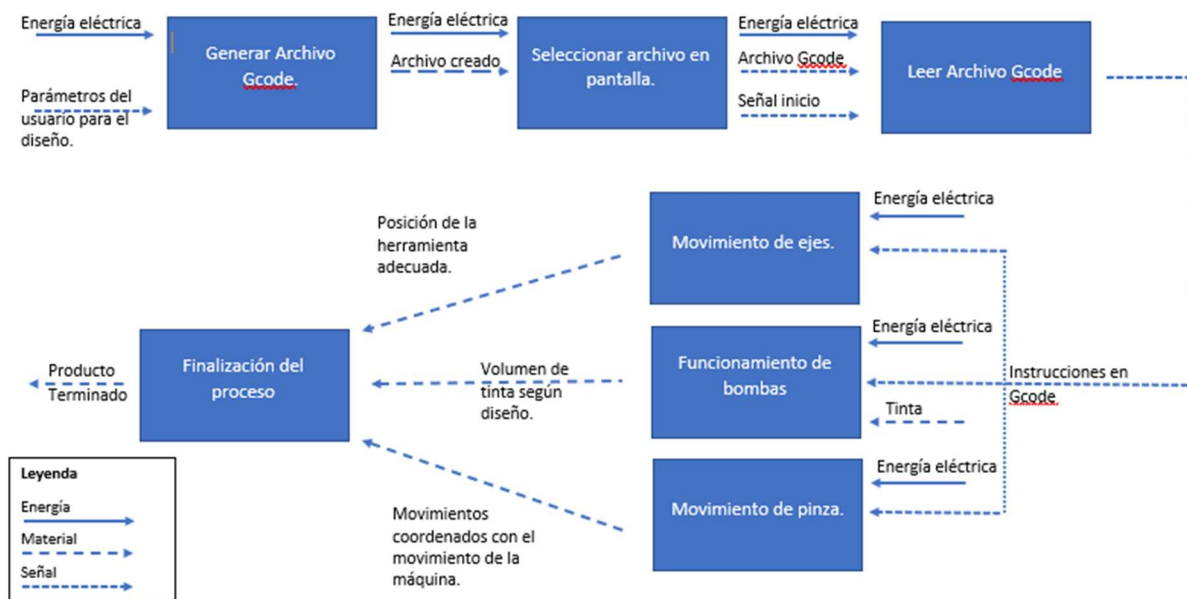
<b>Característica</b>	<b>Peso Relativo</b>
Manejo de 3 colores para un diseño completo de la flor.	19.5
Velocidad de trabajo de la máquina.	19
Control de temperatura del tinte para evitar que se solidifique en las tuberías.	11.6
Precisión en el volumen de tinta enviado desde la bomba.	9.1
Reducción de costos en la selección de materiales y técnicas de fabricación.	8.7
Programa de diseño para determinar la forma de la flor.	7.5
Error de posición de las partes móviles del sistema.	7.4
Estructura estable que no sea afectada por el movimiento de sus partes.	6.6
Tiempo de ensamble y desensamble para realizar procesos de mantenimiento.	6.6
Tiempo de aprendizaje para el control del equipo.	4

**Diseño del sistema.**

Para el diseño del sistema procedemos a hacer un diagrama funcional de la maquina en donde se representa en forma general el proceso de decoración de gelatinas dividido en bloques en donde se señala el flujo de energía, materiales y masa. Revisar **Figura 30**.

Figura 30

Diagrama funcional



Cabe destacar que el diseño de un producto es un proceso iterativo que se desarrolla y refina varias veces hasta hallar la solución a un problema. Entonces, una vez determinada la función general del sistema y sus requerimientos dividimos el problema general en varios específicos según subsistemas, los cuales son:

### **Subsistema Mecánico**

Para la elaboración del subsistema mecánico, partiendo de las necesidades indicadas anteriormente, se dividió el diseño en diferentes módulos como son:



**Diseño de porta envases.** Para el diseño del soporte para los envases plásticos, como se ha explicado anteriormente, la producción de gelatinas se debe realizar en 2 tipos de envases de diferente tamaño **Figura 31**. Por lo tanto, es importante que este soporte cumpla con las siguientes características de diseño:

- El soporte debe ser estable y mantener el envase fijo, sin deslizarse debido al movimiento de la máquina.
- Es necesario que sea posible trabajar con los diferentes tamaños de envases, en consecuencia, deberá ajustarse a cada frasco.
- Los frascos debido a su material y forma tienden a ser frágiles ante fuerzas axiales, por consiguiente, el ajuste debe ser controlado para romperlos.
- El cambio de frasco deberá ser rápido y fácil de manejar.

### **Figura 31**

*Envases plásticos utilizados.*

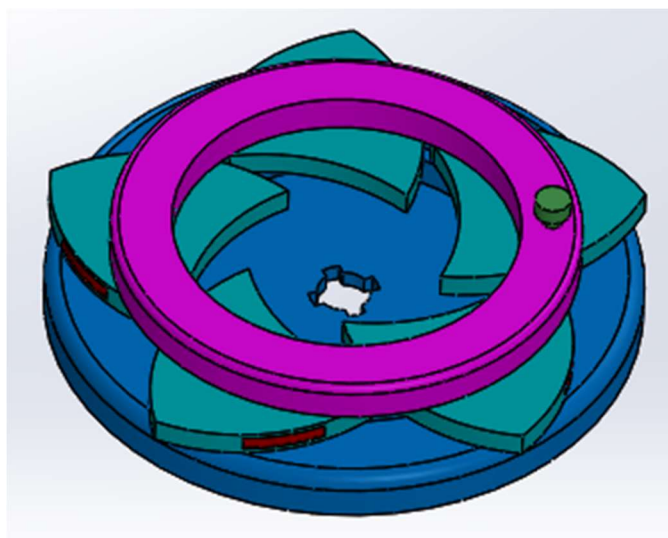


Considerando las características a cumplir hemos propuesto dos posibles soluciones. La primera consta de un iris mecánico (**Figura 32**) capaz de mover y auto centrar los frascos

puestos dentro de su estructura. Con esta configuración seríamos capaces de cumplir muchas de las condiciones anteriormente propuestas. Sin embargo, en la práctica los resultados no fueron los esperados debido a que los ajustes no eran estables y al moverse la estructura perdía la sujeción del frasco.

### Figura 32

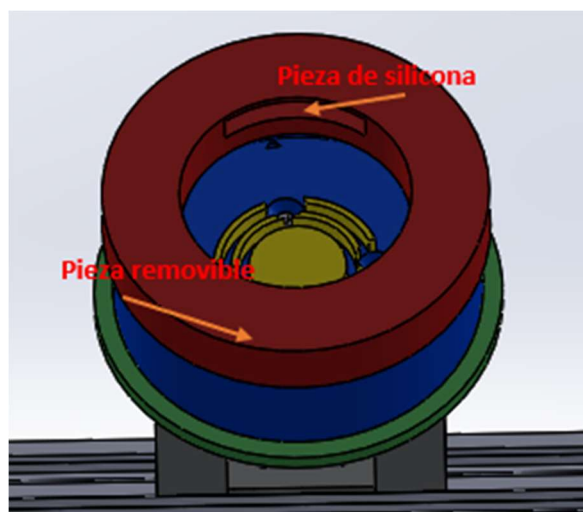
*Iris mecánico.*



Para solucionar los problemas antes mencionados se realizó un nuevo diseño el cual es intercambiable **Figura 33** para los diferentes tamaños de frascos, además cuenta con unas piezas de silicona que impiden que los frascos se deslicen ante movimientos rotacionales bruscos y además aseguramos la integridad de los envases.

**Figura 33**

*Soporte para frascos.*



**Diseño para cambio de herramienta.** Al tratarse de flores de al menos 3 colores y con formas diferentes para cada color, es necesario implementar un sistema que permita realizar los cambios de herramienta de forma automática dentro del proceso de decoración de la gelatina. Por lo cual volvemos a enlistar los criterios de diseño necesarios y posteriormente indicaremos los prototipos realizados hasta encontrar el definitivo.

Las características son:

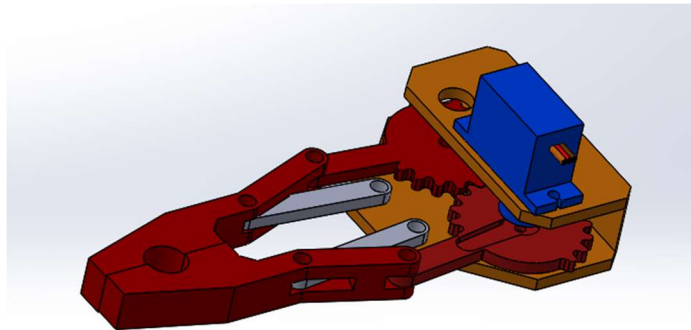
- Se requiere que se trabajen con 3 colores y 3 herramientas diferentes.
- Cada herramienta tiene una manguera de suministro de tinta conectada que debe estar ordenando para que no se produzcan atascos.
- La máquina debe ser capaz de cambiar de herramienta automáticamente.
- Un mecanismo estable que no se vea afectado por las vibraciones.
- Alta precisión en los cambios de posición y agarre de la herramienta.

Partiendo de estas características se procedió a realizar una serie de diseños hasta encontrar el más adecuado para nuestra aplicación.

**Diseño 1.** El diseño numero 1 consiste en un mecanismo de barras y engranes, el cual es activado por un servomotor que a su vez está configurado desde la placa de control. Consta de varias piezas que son sujetas por pernos de 3mm, los cuales deben tener un ajuste preciso para evitar desviaciones. En **Figura 34** podemos observar dicho diseño.

### Figura 34

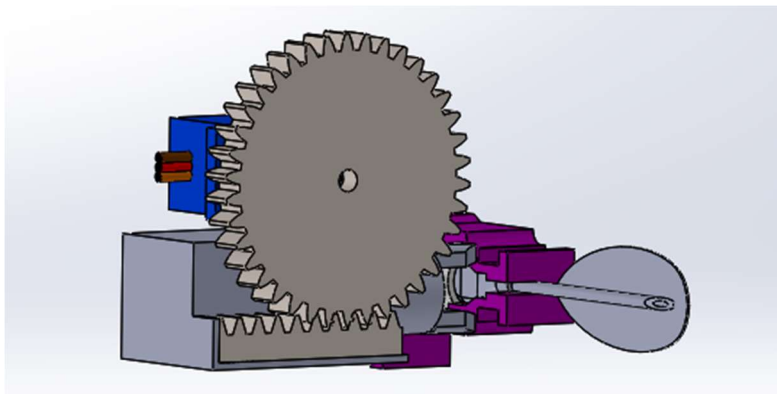
*Primer diseño de pinza*



**Diseño 2.** En la **Figura 35** se observa un mecanismo de cremallera impulsado por un servomotor transformando el movimiento rotatorio a lineal, que permite ajustar la pinza contra la herramienta para sostenerla. El mecanismo cuenta con un resorte de presión que busca minimizar impactos y sobrecargas al motor al momento de sostener las gubias.

### Figura 35

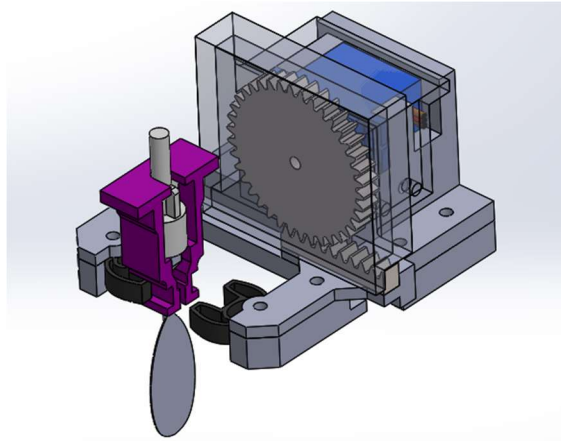
*Segundo diseño de pinza*



**Diseño 3.** El tercer diseño es similar al anterior, pero en lugar de usar un resorte este cuenta con unas partes hechas de TPU; un material flexible para impresión 3D. Este diseño busca ser más robusto en su estructura como se puede contemplar en la **Figura 36**.

### Figura 36

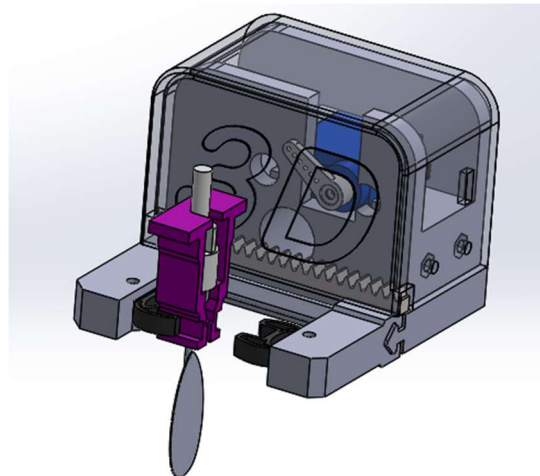
*Tercer diseño de pinza*



**Diseño 4.** El siguiente diseño busca ser una mejora de los 2 anteriores, habiendo realizado unos cambios en las tenazas hechas de TPU y reduciendo el número de piezas y tornillos en el mecanismo. Este diseño se puede apreciar en la **Figura 37**.

### Figura 37

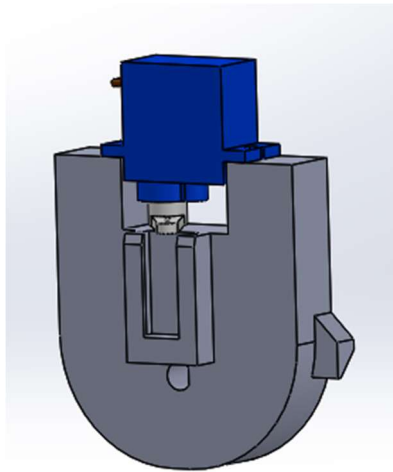
*Cuarto diseño de pinza*



**Diseño 5.** Para el diseño número 5 se ha realizado un mecanismo mucho más minimalista, el cual consta de una placa cuya estructura encaja con el portagubias para alinearlos y sostenerlos perfectamente, además cuenta con un servomotor para liberar o asegurar las herramientas. Estructura que podemos ver en la **Figura 38**.

**Figura 38**

*Quinto diseño de pinza*

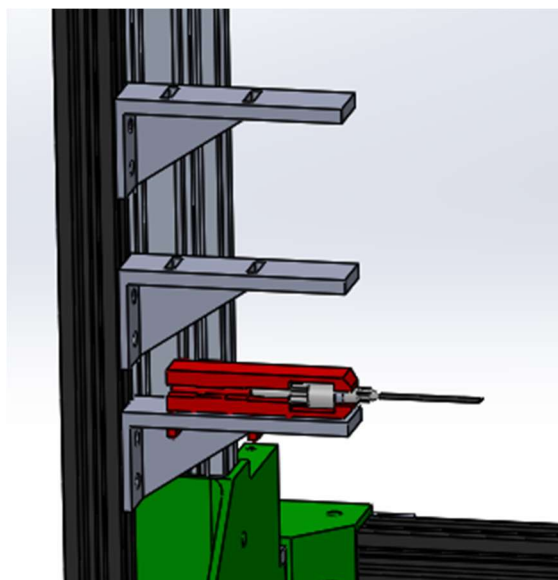


Una vez identificados los diseños o conceptos procedemos a crear una matriz de evaluación de concepto **Tabla 7**, la cual nos permite de manera objetiva seleccionar el concepto que mejor se acople a nuestra necesidad. (Ulrich & Eppinger, 2013)

**Tabla 7***Matriz de evaluación de conceptos*

	<b>Concepto</b>											
	<b>Diseño 1</b>			<b>Diseño 2</b>		<b>Diseño 3</b>		<b>Diseño 4</b>		<b>Diseño 5</b>		
<b>Criterios de Selección</b>	<b>Pe so</b>	<b>Ca I.</b>	<b>Ev. Pon.</b>	<b>Ca I.</b>	<b>Ev. Pon.</b>	<b>Ca I.</b>	<b>Ev. Pon.</b>	<b>Ca I.</b>	<b>Ev. Pon.</b>	<b>Ca I.</b>	<b>Ev. Pon.</b>	
<b>Estabilidad</b>	25 %	1	0.25	2	0.5	<b>3</b>	0.75	4	1	5	1.25	
<b>Precisión</b>	30 %	2	0.6	2	0.6	<b>3</b>	0.9	3	0.9	4	1.2	
<b>Montaje</b>	25 %	1	0.25	<b>3</b>	0.75	3	0.75	3	0.75	4	1	
<b>Peso</b>	10 %	3	0.3	<b>3</b>	0.3	<b>2</b>	0.2	2	0.2	5	0.5	
<b>Facilidad de manufactura</b>	10 %	1	0.1	<b>3</b>	0.3	<b>2</b>	0.2	2	0.2	5	0.5	
<b>Total, Puntos</b>			1.5		2.45		2.8		3.05		4.45	
<b>Lugar</b>			5		4		3		2		1	
<b>¿Continuar?</b>			No		No		No		No		Si	

Como se observa en la el concepto que mejor se adapta a nuestra necesidad es el número 5 debido a que mejor cumple con los criterios deseados. Este diseño de pinza para las herramientas va combinado con más elementos como es el caso del portagubias **Figura 25** o la columna vertical en donde se ubican todas las herramientas **Figura 39**.

**Figura 39***Porta herramientas*

**Tinta.** El material utilizado para la decoración originalmente era una mezcla entre pigmento, gelato y agua a 30°C. Sin embargo, esta combinación de ingredientes requiere que la tinta se mantenga a la misma temperatura para que no se gelifique. Lo que obligaba al artesano a calentar constantemente esta sustancia y así poder seguir decorando durante todas las horas de trabajo.

Inicialmente se planteó la posibilidad de calentar la tinta en frascos de almacenamiento e ir movilizándola con bombas, pero al moverse por las tuberías esta se enfría y tapa los canales. Por esta razón se optó por cambiar la receta de la tinta.

De manera experimental se hicieron diferentes pruebas con varios ingredientes para usos similares y se obtuvo una nueva receta que permite obtener resultados similares sin necesidad de calentar la tinta. Esta mezcla es una combinación de agua, leche en polvo y pigmento más los saborizantes deseados por el fabricante.



Del resultado obtenido se ha realizado un análisis reológico para caracterizar el material, existen varios campos en los que se observa la importante participación del conocimiento reológico, en nuestra aplicación los más importante son:

- Estudio de vida en reposo
- Evaluación de la textura del alimento mediante la correlación con datos sensoriales.
- Estudio de la textura y consistencia del producto para que sea del agrado del consumidor.

El equipo principal de medición es el reómetro (**Figura 40**) el cual utiliza geometrías conformadas por una parte fija y otra parte móvil, se diseñan y establecen experimentos que permitan la medición de los parámetros como esfuerzo, viscosidad, etc., necesarios para establecer la función del material (J. Ramirez, 2006).

#### **Figura 40**

*Reómetro Discovery HR-2*

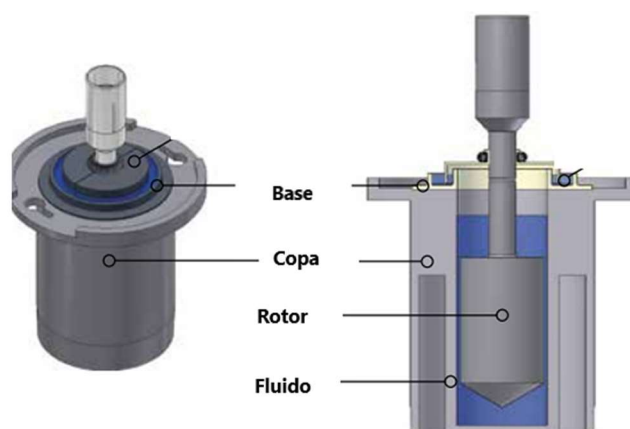


*Nota.* Equipo perteneciente al Laboratorio de Reología de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

La geometría utilizada para este experimento es la de cilindros concéntricos, utilizada para fluidos con bajas viscosidades, como se puede observar en la **Figura 41**.

### Figura 41

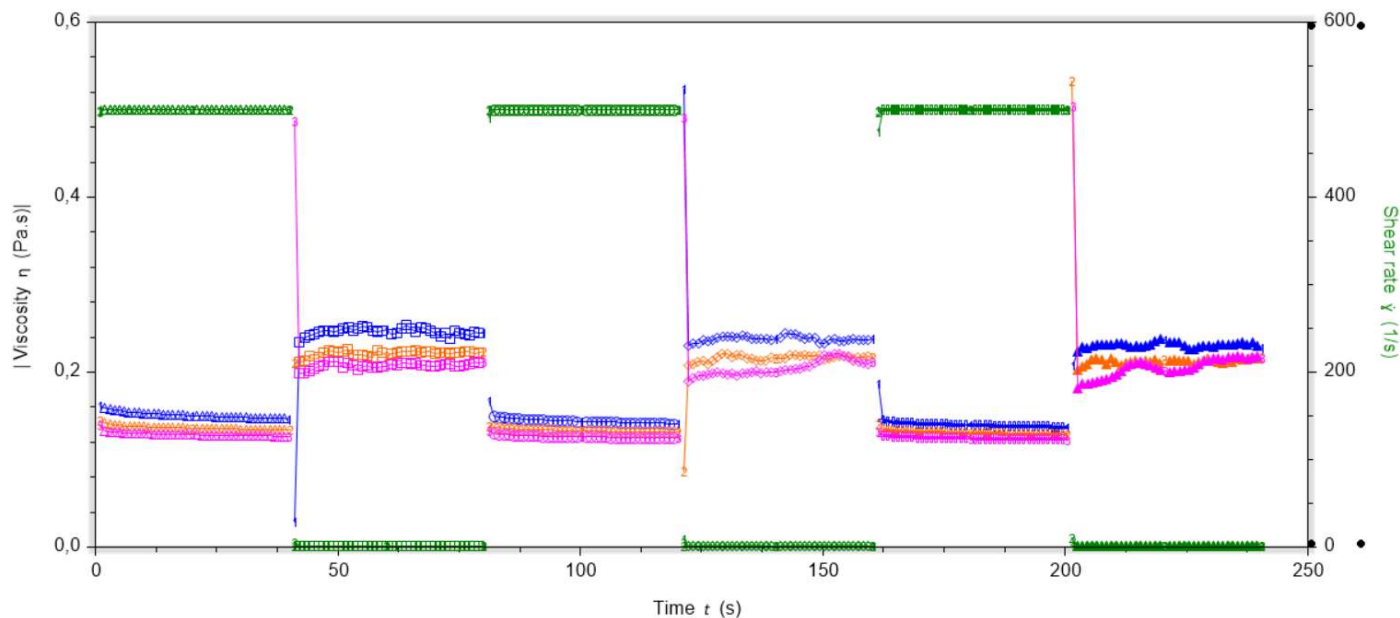
#### *Geometría de cilindros concéntricos*



*Nota.* Se debe cargar el cilindro con la mezcla y antes de cualquier ensayo es necesario realizar la calibración y puesta a punto del equipo de medición.

Se realizó un mínimo de 3 repeticiones por experimento, y establecemos un 10% de error tolerable para los ensayos. Dentro de los parámetros importantes a tener en cuenta son la temperatura ambiente de 20 a 25°C, la velocidad máxima de rotación que son 250 rpm y que la mezcla sea homogénea sin grumos ni partículas sueltas.

***Ensayo de Reversibilidad.*** Nos permite verificar que no existan cambios químicos en el fluido, se somete al mismo a velocidades de cizalla altas y bajas y se observa el cambio en la viscosidad. Como se observa en la **Figura 42** las variaciones de viscosidad son visiblemente insignificantes, el fluido tiende a volver a su estado estacionario, las variaciones tienen un error máximo de 9% cumpliendo con las condiciones y demostrando que no existe cambio en las propiedades de la muestra cuando es sometida a cizallas de hasta  $500 \text{ s}^{-1}$ .

**Figura 42***Ensayo de Reversibilidad*

*Nota.* Se realizó el ensayo con una velocidad de cizalla alta de  $500 \text{ s}^{-1}$  y baja de  $1 \text{ s}^{-1}$ . Se obtuvo las gráficas mediante el software TRIOS.

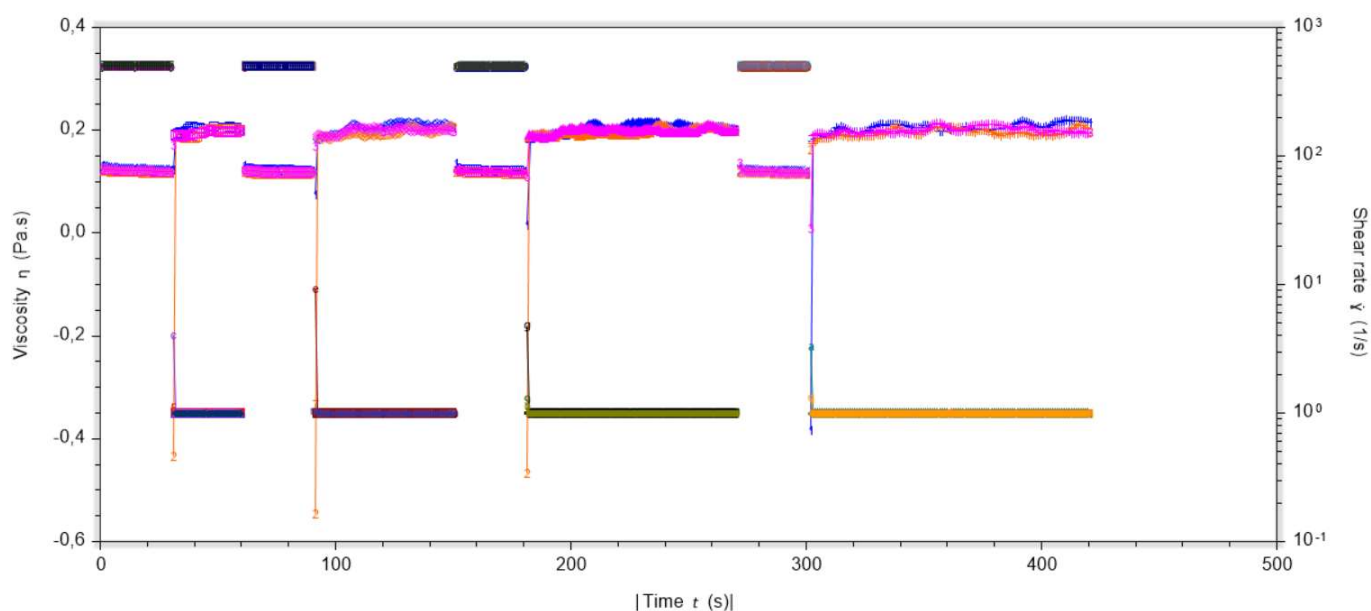
**Tiempo de Reposo.** Es un parámetro importante y necesario para la prueba de dependencia en el tiempo, nos permite saber el tiempo necesario para la reconstrucción de la muestra luego de ser sometida a velocidades de cizalla altas y luego dejarla en reposo.

Existe un límite para esta reconstrucción de la microestructura, este tiempo en el cual la microestructura se ha reconstruido totalmente se puede encontrar observando y midiendo la respuesta de la muestra (esfuerzo) a la tasa de cizallamiento máxima para distintos tiempos de reposo ( $t_1, t_2, t_3, \dots$ ) o midiendo el tiempo en el cual la viscosidad alcanza un estado estacionario cuando se somete la muestra a velocidades de cizalla muy cercanas al reposo (Rosales y Hernández 2010).

Como se puede observar en la **Figura 43** la destrucción de la tinta es instantánea se necesita 30 segundos para que la viscosidad disminuya y se estabilice en un valor, mientras que para su reconstrucción se debe aumentar el tiempo de reposo verificando que a partir de los 60 a 90 segundos la mezcla se estabiliza y obtiene un aumento en la viscosidad y se mantiene constante. En los tres ensayos realizados se observa un error porcentual máximo del 7%.

**Figura 43**

*Tiempo de reposo del fluido*

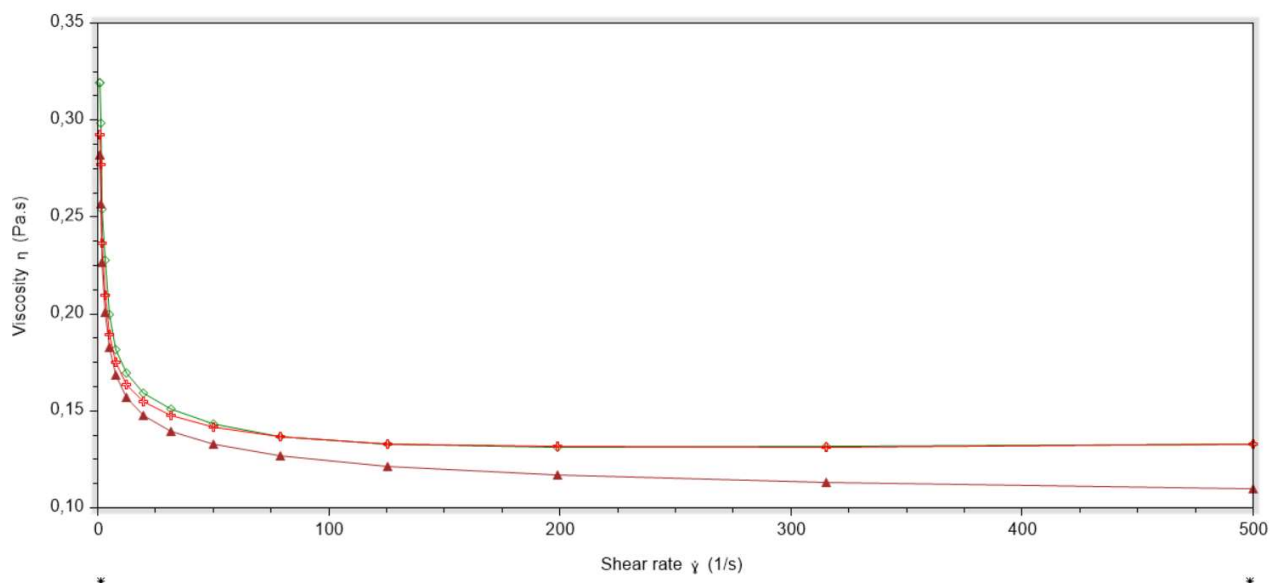


*Nota.* El tiempo de reposo para la reconstrucción aumenta desde los 30 hasta los 120 segundos. Se obtuvo las gráficas mediante el software TRIOS.

**Curva de Flujo Estacionario (CFE).** Se elaboró al someter al fluido a decrementos de velocidad de cizalla, de 500 a  $1 \text{ s}^{-1}$  durante un periodo de tiempo prudente, previamente analizado, que permita alcanzar valores estacionarios a cada valor de cizalla.

#### Figura 44

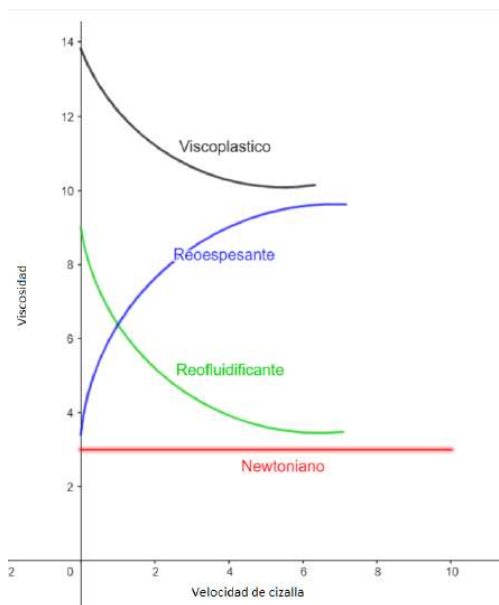
*Curva de Flujo Estacionario de la tinta comestible*



*Nota.* La curva en decremento de velocidad de cizalla se obtuvo mediante el software TRIOS.

## Figura 45

Comportamientos observados en fluidos



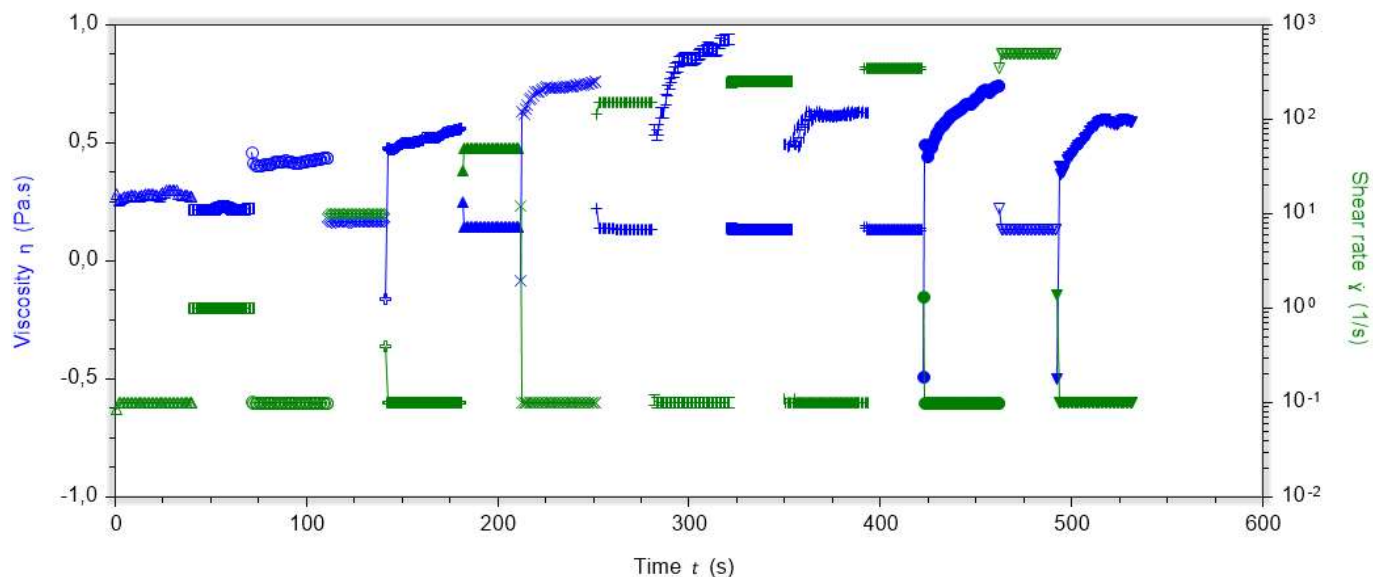
Nota. Obtenido de (Almeida & Molina, 2021)

Realizando una comparación entre la **Figura 44** y la **Figura 45** podemos observar que nuestra tinta tiene un comportamiento reofluidificante es decir que disminuye su viscosidad a mayores velocidades de cizalla obteniendo un valor de  $0.132 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  en su velocidad mas alta y de  $0.319 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  en su velocidad más baja.

**Dependencia del tiempo.** El comportamiento de la muestra en el tiempo se analizó mediante el experimento de saltos hacia arriba (step-up) para romper la estructura de la muestra, en este caso se utilizó saltos de  $(1, 10, 50, 150, 250, 350, 500 \text{ s}^{-1})$  siempre regresando al reposo  $(0.1 \text{ s}^{-1})$  para reconstruir el fluido

**Figura 46**

*Ensayo de dependencia del tiempo*



*Nota.* Grafica obtenida mediante el software TRIOS.

En la **Figura 46** se observa que la reconstrucción del material es lenta, se estabiliza luego de 40 segundos y tiende a una viscosidad constante. Este ensayo también nos permite darnos cuenta que se trata de un fluido tixotrópico ya que tiene un decremento continuo de la viscosidad en el tiempo y recupera su viscosidad cuando la velocidad de cizalla disminuye.

El análisis reológico nos permitió caracterizar nuestra mezcla de tinta como un fluido no newtoniano, con un comportamiento tixotrópico/reo fluidificante, esto nos permitirá hacer un análisis detallado para el diseño de la bomba tomando en cuenta que la situación crítica será cuando el fluido este en reposo, el fluido tendrá su viscosidad más alta.

**Diseño de bomba.** En cuanto al diseño de la bomba se ha realizado una comparación entre dos posibles configuraciones para esta aplicación.

### Figura 47

*Bomba de jeringa.*



*Nota. Obtenido de (Bomba de jeringa – Advanced Instrumentations, s. f.)*

En primer lugar, tenemos las bombas de jeringa **Figura 47** las cuales como su nombre lo indica constan de una jeringa y se controlan con motores de pasos para tener alta precisión en el movimiento y así controlar el volumen de líquido que se envía. Estas jeringas son altamente utilizadas en laboratorios bajo ciertas normas y certificaciones. Este diseño fue descartado puesto que cargar el líquido y limpiar las jeringas puede ser laboriosos. Entonces la opción empleada para esta aplicación específica ha sido una bomba peristáltica **Figura 48**.

### Figura 48

*Bomba peristáltica.*



*Nota. Tomado de (Mompeán, 2021)*



La bomba peristáltica consiste en una manguera de silicona que se comprime en diferentes secciones permitiendo así el movimiento de los fluidos a través de la manguera. Para el movimiento de la bomba se utiliza un motor de pasos que permita un alto control de las distancias recorridas y además se utiliza unos rodamientos que se irán deslizando a través de las mangueras.

En la práctica para optimizar costos se ha decidido construir las bombas, para esto se ha utilizado mangueras de silicona de grado alimenticio, motores NEMA 17 y la estructura está elaborada en impresión 3D. Por consiguiente, se han realizado los siguientes análisis:

La tinta luego de hacer los análisis correspondientes presento una viscosidad de 0.319[Pa.s] a menores velocidades, esta misma disminuye hasta un valor de 0.133[Pa.s] conforme de aumenta la velocidad de movimiento del fluido. Partiendo de esta información más las características de la bomba se calculará la potencia necesaria para el bombeo.

La densidad del fluido es:

$$\rho = 1067 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

La viscosidad dinámica crítica del fluido es:

$$\mu = 0.319 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \right]$$

La velocidad promedio es de:

$$V_{prom} = \frac{0.2}{2} = 0.1 \text{ [m/s]}$$

El caudal obtenido es de:

$$\varphi = V_{prom} * A_c$$

$$\varphi = V_{prom} * \left( \frac{\pi D^2}{4} \right)$$

$$\varphi = 0.100 * \left( \frac{\pi(0.04)^2}{4} \right)$$

$$\varphi = 1.2566 \times 10^{-4} [m^3/s]$$

Con esta información calculamos el número de Reynolds a partir de la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

$$Re = \frac{1067(0.1)(0.04)}{0.319}$$

$$Re = 13.379$$

Ya que el valor obtenido es menor a 2300 se concluye que se trata de un fluido laminar.

Entonces el factor de fricción y la pérdida de carga se convierten en:

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{13.379} = 4.78$$

$$h_L = f \frac{LV^2}{D2g} = 4.78 \frac{(0.35)(0.1)^2}{(0.04)2(9.81)} = 0.0213m$$

Posteriormente realizamos el balance de energías para un flujo estacionario en un tubo de diámetro constante. La diferencia de presión es:

$$\Delta P = \rho g(Z_2 - Z_1 + h_L)$$

$$\Delta P = (1067)(9.81)(0 + 0.0213) \left( \frac{1kPa}{1000kg/m.s} \right)$$

$$\Delta P = 0.2229[kPa]$$

Finalmente encontramos el valor de la potencia útil de bombeo necesaria para la bomba:

$$W_{bomba} = \varphi * \Delta P$$

$$W_{bomba} = \left( 1.2566 \times 10^{-4} \left[ \frac{m^3}{s} \right] \right) (0.2229[kPa]) \left( \frac{1[kW]}{1[kPa] \frac{m^3}{s}} \right)$$

$$W_{bomba} = 2.8 \times 10^{-5} [kW] = 2.8 \times 10^{-2} [W]$$

Considerando factores externos se ha tomado un factor de seguridad del 25% para el diseño, por lo cual la potencia necesaria será de:

$$W_{bomba} = 2.8 \times 10^{-2} [W] * 1.25 = 0.026 [W]$$

Para determinar la potencia del motor disponible partimos de la siguiente formula:

$$W_{motor} = \frac{\tau * \omega}{9.55}$$

$$W_{motor} = \frac{0.4 [Nm] * 203.045 [rpm]}{9.55}$$

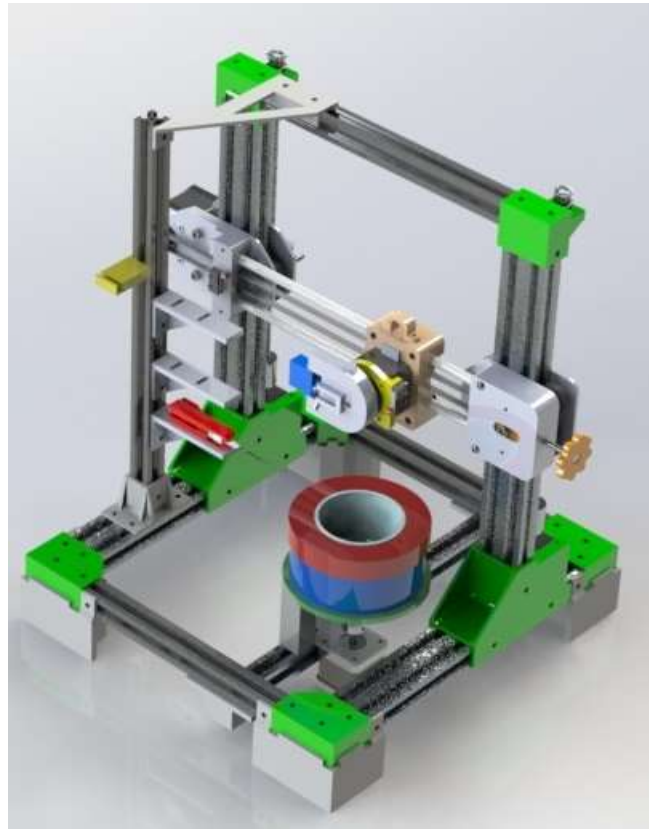
$$W_{motor} = 8.50 [W]$$

Con los resultados obtenidos se concluye que el motor cumple con las condiciones necesarias para la fabricación de la bomba.

**Diseño Estructural.** Referente a la estructura principal del equipo se ha seleccionado una configuración de tipo cartesiana considerando las dimensiones necesarias para la ubicación de las diferentes partes como son las gubias, los frascos plásticos donde se realizarán las decoraciones y espacio suficiente para el libre movimiento del carrete y ubicaciones de sensores y actuadores. Dicha estructura **Figura 49** está construida con perfiles de aluminio, ejes de acero, y partes fabricadas con impresión 3D..

**Figura 49**

*Modelo en Solid Works.*



**Eje Y.** Las cargas soportadas por el eje Y son producidas por la masa de la gelatina base en la que se realizan los postres y los elementos de sujeción del envase, la masa total se puede ver a continuación:

$$masa - gelatina = 133 [g]$$

$$masa - sujeción = 112 [g]$$

La carga resultante total máxima es producida por el peso de los elementos y la fuerza dinámica del eje en movimiento:

$$Peso_y = masa_{total} * g$$

$$Peso_y = (0.133 + 0.112)[kg] * 9.8 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$Peso_y = 2.4 [N]$$

$$\text{Fuerzadinámica } FD_y = \text{masa}_{\text{total}} * a_y$$

$$a_y = \frac{40 \left[ \frac{mm}{s^2} \right]}{15e - 6 * 3200} = 833.3 \left[ \frac{mm}{s^2} \right] = 0.83 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$FD_y = 0.245[kg] * 0.83 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$FD_y = 0.2 [N]$$

$$\text{Fuerzaresultante } FR_y = \text{Peso}_y + FD_y$$

$$FR_y = 2.4 + 0.2 = 2.6[N]$$

Se seleccionó un motor a pasos NEMA 17, cuyas propiedades podemos observar en la **Figura 50**, debido a su precisión, velocidad, funcionalidad y capacidad de control a través de incrementos angulares; son los más comunes y más utilizados en máquinas CNC, permiten un control de lazo abierto.

### Figura 50

*Especificaciones eléctricas motor NEMA 17*

#### Electrical Specifications:

Series Model	Step Angle (deg)	Motor Length (mm)	Rated Current (A)	Phase Resistance (ohm)	Phase Inductance (mH)	Holding Torque (N.cm Min)	Detent Torque (N.cm Max)	Rotor Inertia (g.cm <sup>2</sup> )	Lead Wire (No.)	Motor Weight (g)
17HS2408	1.8	28	0.6	8	10	12	1.6	34	4	150
17HS3401	1.8	34	1.3	2.4	2.8	28	1.6	34	4	220
17HS3410	1.8	34	1.7	1.2	1.8	28	1.6	34	4	220
17HS3430	1.8	34	0.4	30	35	28	1.6	34	4	220
17HS3630	1.8	34	0.4	30	18	21	1.6	34	6	220
17HS3616	1.8	34	0.16	75	40	14	1.6	34	6	220
17HS4401	1.8	40	1.7	1.5	2.8	40	2.2	54	4	280

*Nota.* Los datos serán tomados del motor 17HS4401 para los ejes X, Y, Z. Mientras que el motor del extrusor es un 17HS2408.

Con los datos anteriores y conociendo el diámetro del acople es posible calcular el par motor necesario para el eje Y.

$$Par_y = \frac{FR_y * D}{2}$$

$$Par_y = \frac{2.6[N] * 0.8[cm]}{2}$$

$$Par_y = 1.04[N * cm]$$

Tomando en cuenta un margen de seguridad de 25% debido a fuerzas externas y fricción, el par necesario sería:

$$Par_y = 1.04 * 1.25 = 1.3[N * cm]$$

Considerando que se trabaja con un controlador que permite microstepping el motor trabaja al 71% de su par lo que nos da:

$$Par_{maximo} = 40[N * cm] * 0.71 = 28.4 [N * cm]$$

Teniendo en cuenta estos datos la selección del motor es adecuada y cumple con los requerimientos para mover el eje Y.

**Extrusor.** Las cargas soportadas por el extrusor son producidas por la pinza, elementos electrónicos (fin de carrera, micro servo), portagubias con su respectiva gubia, la masa total se puede ver a continuación:

$$masa - pinza = 30 [g]$$

$$masa - electronicos = 19 [g]$$

$$masa - portagubias = 25 [g]$$

La carga resultante total máxima es producida por el peso de los elementos y la fuerza dinámica del eje en movimiento:

$$Peso_{ext} = masa_{total} * g$$

$$Peso_{ext} = 0.074[kg] * 9.8 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$Peso_{ext} = 0.725 [N]$$

$$Fuerzadinámica FD_{ext} = masa_{total} * a_{ext}$$

$$a_{ext} = \frac{160 \left[ \frac{mm}{s^2} \right]}{15e - 6 * 3200} = 3333.3 \left[ \frac{mm}{s^2} \right] = 3.33 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$FD_{ext} = 0.065[kg] * 3.33 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$FD_{ext} = 0.25 [N]$$

$$\text{Fuerza resultante } FR_{ext} = \text{Peso}_{ext} + FD_{ext}$$

$$FR_{ext} = 0.725 + 0.25 = 0.975[N]$$

Con los datos anteriores y el diámetro del acople es posible calcular el par motor necesario para el extrusor.

$$Par_{ext} = \frac{FR_{ext} * D}{2}$$

$$Par_{ext} = \frac{0.975[N] * 2.2[cm]}{2}$$

$$Par_{ext} = 1.07[N * cm]$$

Tomando en cuenta un margen de seguridad de 25% debido a fuerzas externas y fricción, el par necesario sería:

$$Par_{ext} = 1.07 * 1.25 = 1.34[N * cm]$$

Considerando que se trabaja con un controlador que permite microstepping el motor trabaja al 71% de su par lo que nos da:

$$Par_{maximo} = 12[N * cm] * 0.71 = 8.5 [N * cm]$$

Teniendo en cuenta estos datos la selección del motor es adecuada y cumple con los requerimientos para mover el extrusor.

**Eje X.** Las cargas soportadas por el eje X son producidas por el extrusor, el cual incluye el motor a pasos del mismo, los rodamientos y piezas de acople a las varillas lisas, la masa total se puede ver a continuación:

$$\text{masa} - \text{extrusor} + \text{motor} = 224 [g]$$

$$\text{masa} - 4 \text{ rodamientos} = 48 [g]$$

$$\text{masa} - \text{piezas de acople} = 58 [g]$$

La carga resultante total máxima es producida por el peso de los elementos y la fuerza dinámica del eje en movimiento:

$$\text{Peso}_X = \text{masa}_{\text{total}} * g$$

$$\text{Peso}_X = 0.33[kg] * 9.8 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$\text{Peso}_X = 3.23 [N]$$

$$\text{Fuerza dinámica } FD_X = \text{masa}_{\text{total}} * a_X$$

$$a_X = \frac{400 \left[ \frac{mm}{s^2} \right]}{15e - 6 * 3200} = 8333.3 \left[ \frac{mm}{s^2} \right] = 8.33 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$FD_X = 0.33[kg] * 8.33 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$FD_X = 2.75 [N]$$

$$\text{Fuerza resultante } FR_X = \text{Peso}_X + FD_X$$

$$FR_X = 3.23 + 2.75 = 5.98[N]$$

Con los datos anteriores y el diámetro del acople es posible calcular el par motor necesario para mover el eje X mediante una correa:

$$\text{Par}_X = \frac{FR_X * D}{2}$$

$$\text{Par}_X = \frac{5.98[N] * 1.273[cm]}{2}$$

$$\text{Par}_X = 3.8[N * cm]$$

Tomando en cuenta un margen de seguridad de 25% debido a fuerzas externas y fricción, el par necesario sería:

$$\text{Par}_X = 3.8 * 1.25 = 4.75[N * cm]$$

Considerando que se trabaja con un controlador que permite microstepping el motor trabaja al 71% de su par lo que nos da:

$$\text{Par}_{\text{maximo}} = 40[N * cm] * 0.71 = 28.4 [N * cm]$$



Teniendo en cuenta estos datos la selección del motor es adecuada y cumple con los requerimientos para el desplazamiento en el eje X.

**Eje Z.** Las cargas soportadas por el eje Z son producidas por el eje X incluido el motor y las piezas de acople a los perfiles de aluminio, la masa total se puede ver a continuación:

$$\text{masa} - \text{eje X} + \text{motor} = 610 [g]$$

$$\text{masa} - \text{piezas de acople} = 232 [g]$$

La carga resultante total máxima es producida por el peso de los elementos y la fuerza dinámica del eje en movimiento:

$$\text{Peso}_Z = \text{masa}_{\text{total}} * g$$

$$\text{Peso}_Z = 0.842[kg] * 9.8 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$\text{Peso}_Z = 8.25 [N]$$

$$\text{Fuerza dinámica } FD_Z = \text{masa}_{\text{total}} * a_Z$$

$$a_Z = \frac{84 \left[ \frac{mm}{s^2} \right]}{15e - 6 * 3200} = 1750 \left[ \frac{mm}{s^2} \right] = 1.75 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$FD_Z = 0.842[kg] * 1.75 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$FD_Z = 1.47 [N]$$

$$\text{Fuerza resultante } FR_Z = \text{Peso}_Z + FD_Z$$

$$FR_Z = 8.25 + 1.47 = 9.72[N]$$

Con los datos anteriores y el diámetro del acople es posible calcular el par motor necesario para mover el eje X mediante varillas roscadas:

$$\text{Par}_Z = \frac{FR_Z * D}{2}$$

$$\text{Par}_Z = \frac{9.72[N] * 0.8[cm]}{2}$$

$$\text{Par}_Z = 3.9[N * cm]$$

Tomando en cuenta un margen de seguridad de 25% debido a fuerzas externas y fricción, el par necesario sería:

$$Par_z = 3.9 * 1.25 = 4.88[N * cm]$$

Considerando que se trabaja con un controlador que permite microstepping el motor trabaja al 71% de su par lo que nos da:

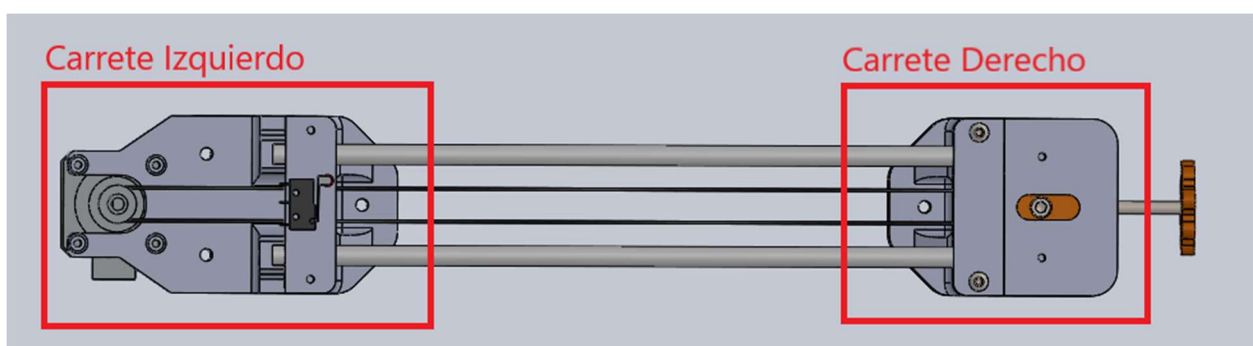
$$Par_{maximo} = 40[N * cm] * 0.71 = 28.4 [N * cm]$$

En el eje Z trabajamos con dos motores sincronizados a través de una banda, para tener una mayor estabilidad y evitar vibraciones que se podrían generar con un solo eje, estos motores tienen las mismas características así que cumplen con los requerimientos calculados.

Luego de realizar el análisis de cargas en cada eje se determina que las piezas del eje X impresas en 3D con material PLA son las que soportarían las cargas más críticas, por lo tanto, mediante la ayuda del diseño CAD de los carretes que se muestra en la **Figura 51**, se realiza análisis estáticos para determinar la resistencia considerando su montaje en la estructura y las cargas antes determinadas.

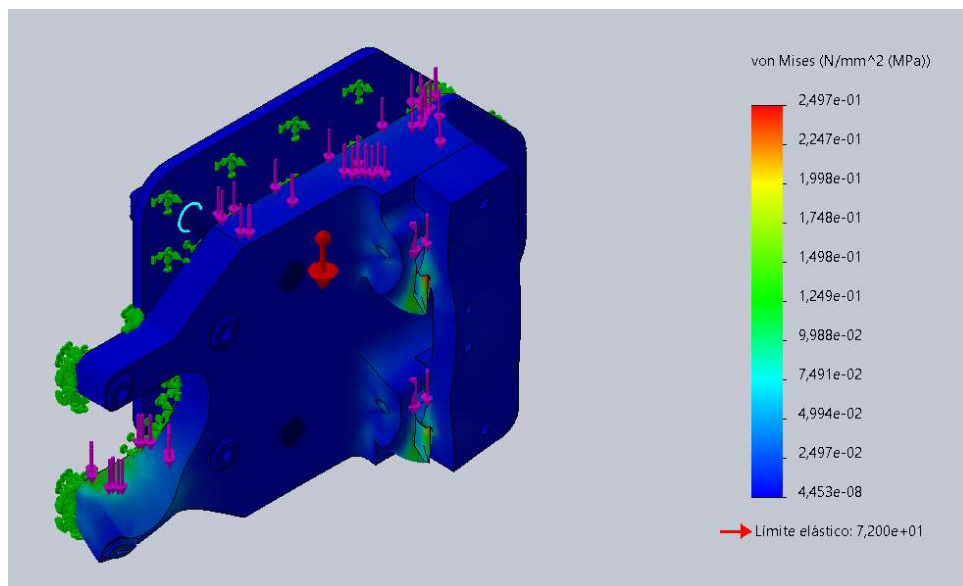
### Figura 51

*Diseño CAD de carretes del eje X*

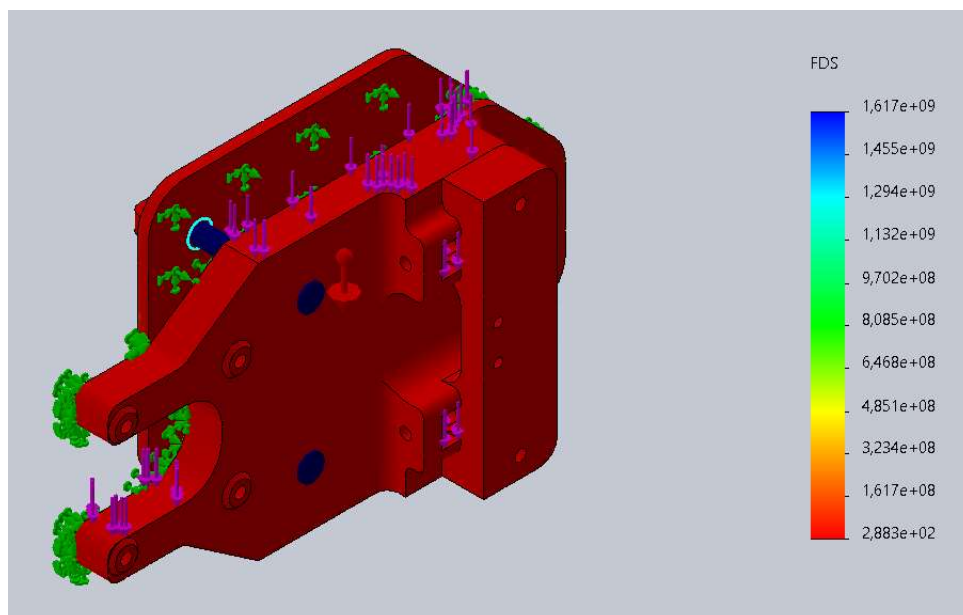


**Figura 52**

*Análisis de esfuerzos del carrete izquierdo eje X*

**Figura 53**

*Análisis del factor de seguridad del carrete izquierdo eje X*



Previo a la fabricación de las piezas es necesario estudiar si el diseño del componente más crítico que soporta las mayores cargas cumple con los requerimientos de resistencia. Los

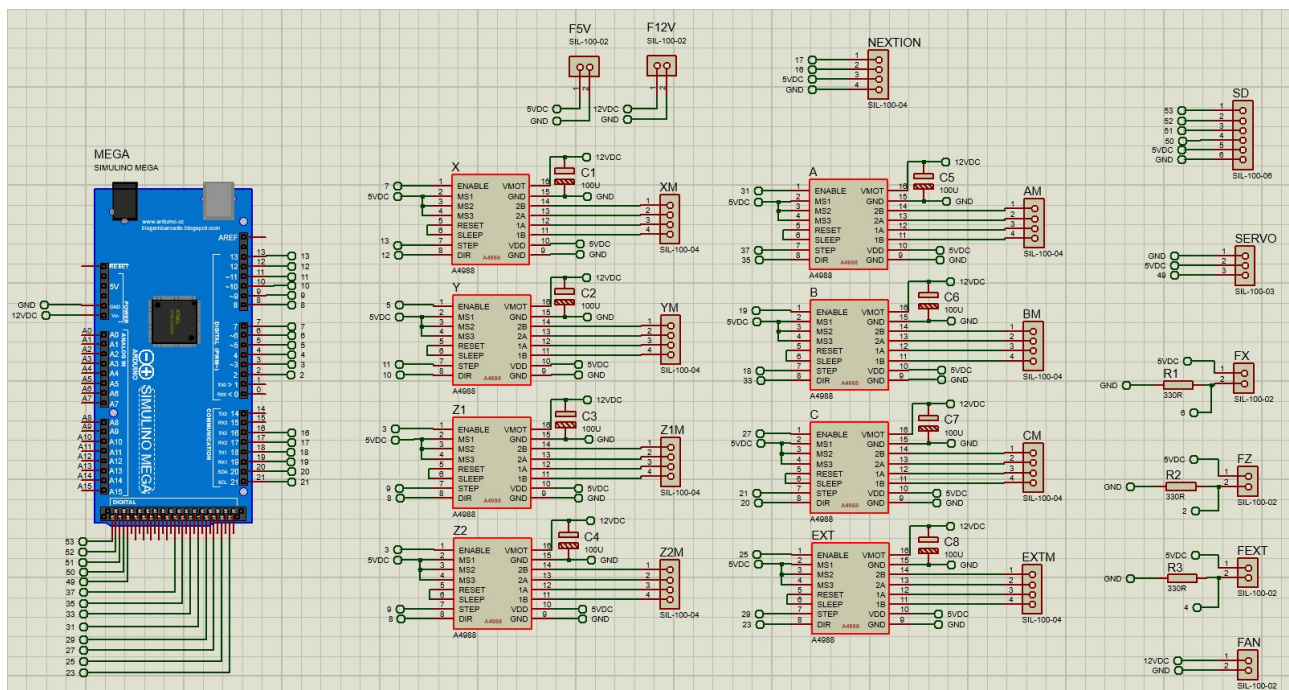
resultados de los análisis de esfuerzos (**Figura 52**) indican que la tensión máxima es mucho menor al límite elástico del material y el resultado del factor de seguridad (**Figura 53**) con un valor alto nos indica que la manufactura mediante impresión 3D con el material PLA cumple satisfactoriamente los requerimientos de carga. Una ventaja adicional del material es que al ser un polímero no se ve afectado por la corrosión además de su fácil mantenimiento.

### Subsistema Electrónico

El subsistema eléctrico consta del controlador, los drivers, el lector de tarjetas SD, los sensores, la pantalla táctil y la fuente de poder. Cada elemento representa una parte importante del circuito que permiten en control completo de la máquina. En la **Figura 54** podemos ver la configuración del circuito con todos sus componentes y conexiones.

**Figura 54**

### Componentes Electrónicos y Conexiones



*Nota.* Diseño Esquemático del circuito realizado en Proteus 8.

Luego de tener el diseño esquemático y verificar todas las conexiones de los elementos electrónicos a la placa de control se procede a realizar el diseño de la placa PCB, organizando todos los componentes y conectores en la placa para posteriormente realizar las conexiones.

El diseño de la PCB incluye el cálculo del ancho de pistas, este cálculo se basa en la aplicación del estándar general para el diseño de circuitos impresos ANSI-IPC 2221 (Laverde, 2020).

Para calcular el ancho de pista se necesita conocer tres datos: La corriente máxima que puede circular por la pista, el incremento máximo permitido de temperatura que puede soportar y el grosor. El ancho de una pista se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Ancho} = \frac{\text{Area}}{L * 1.378}$$

$$L: \text{grosor de la pista} = 1 \left[ \frac{\text{on}}{\text{ft}^2} \right]$$

$$\text{Area} = \left[ \frac{I}{k1 * \Delta T^{k2}} \right]^{\frac{1}{k3}}$$

$$I: \text{corriente maxima} = 3[A]$$

$$\Delta T: \text{incremento de temperatura} = 10[^\circ C]$$

$$k1: \text{constante definida por el estandar} = 0.0647$$

$$k2: \text{constante definida por el estandar} = 0.4281$$

$$k3: \text{constante definida por el estandar} = 0.6732$$

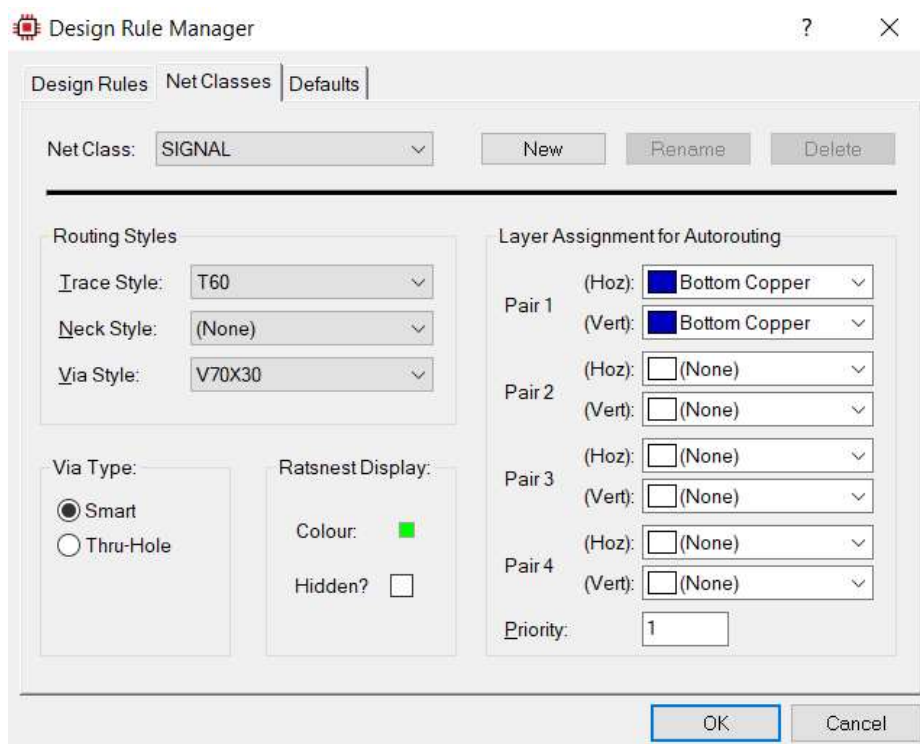
$$\text{Area} = \left[ \frac{3}{0.0647 * 10^{0.4281}} \right]^{\frac{1}{0.6732}} = 69.05$$

$$\text{Ancho} = \frac{69.05}{1 * 1.378} = 50.12[\text{mills}]$$

Este cálculo nos da un valor en *mills* que es la milésima parte de una pulgada, en Proteus el símbolo utilizado para esta unidad es [*th*], con este valor podemos realizar las configuraciones (**Figura 55**) en el ancho de pistas y las separaciones basándonos en las recomendaciones de la norma.

**Figura 55**

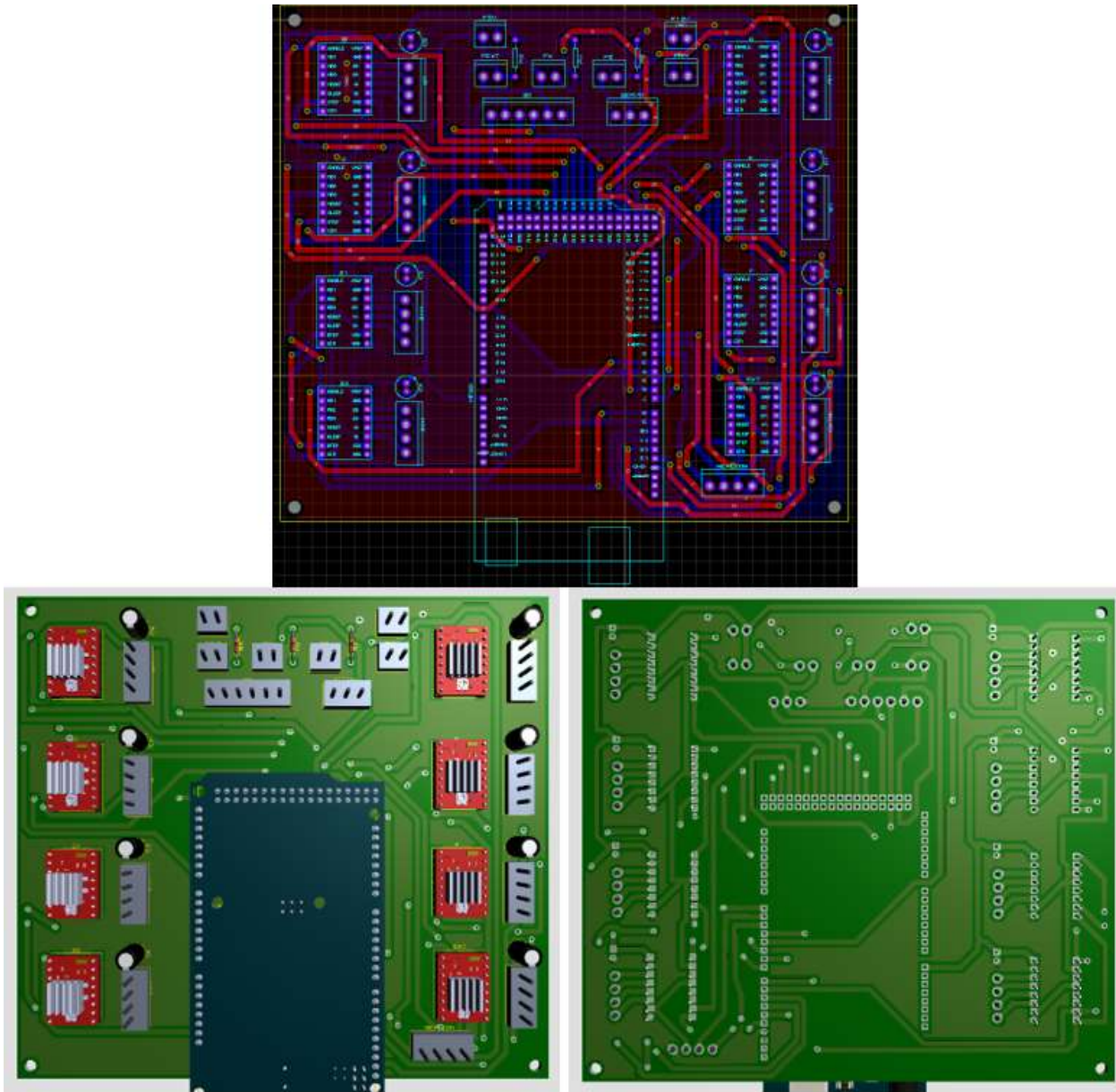
*Configuraciones para el trazo de pistas en la placa PCB*



Además, por la cantidad de elementos y caminos necesarios para conectar los mismos, fue necesario realizar una placa PCB de doble capa, lo cual nos permitió facilitar el trazado de pistas, siempre tomando en cuenta la facilidad que se debe dar para luego soldar. Se puede ver el diseño de la placa terminado en la **Figura 56**.

**Figura 56**

*Diseño final de la placa PCB*

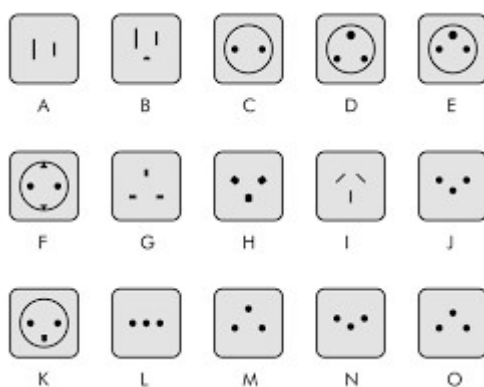


*Nota.* Superior vista 2D del diseño PCB. Inferior vista 3D del diseño PCB

**Tomacorriente.** En el mercado existe una gran variedad de tomacorrientes (**Figura 57**) y de estos su uso también depende del país. Sin embargo, en el Ecuador se utilizan generalmente del Tipo A y B en muchas de las instalaciones de nuestro diario vivir. Para nuestra maquina se ha seleccionado del tipo B debido a que este cuenta con conexión a tierra, lo que proporciona seguridad extra a nuestro equipo en el caso de sobretensiones.

**Figura 57**

*Tipos de tomacorrientes.*



*Nota.* Tomado de («Tomacorriente», 2021)

**Encendido.** El equipo necesita un switch que energice todo el sistema, y para ese uso existe una infinidad de opciones disponibles en el mercado, para la cual elegimos una en particular que además de su principal funcionamiento también brinda una seguridad extra al equipo y es que cuenta con un fusible integrado para proteger el circuito ante sobrecargas

**Figura 58.**



**Figura 58**

*Switch de encendido.*



*Nota. Tomado de (Fusible De Arcade Cabinet Switched Power Socket con interruptor y, s. f.)*

**Fuente de poder.** Hemos decidido utilizar una fuente de poder regulable **Figura 59** del modelo S-360-12 con una entrada de 110V/220V y salida de 12V. Es fuente va combinada con un circuito integrado que nos permite reducir el voltaje de salida a 5V para usarlo con los demás elementos conectados a la placa. Una ventaja de esta fuente es que nos permite regularla y así obtener el voltaje de salida adecuado, puesto que con otras fuentes tienden a haber caídas de tensión en el circuito.

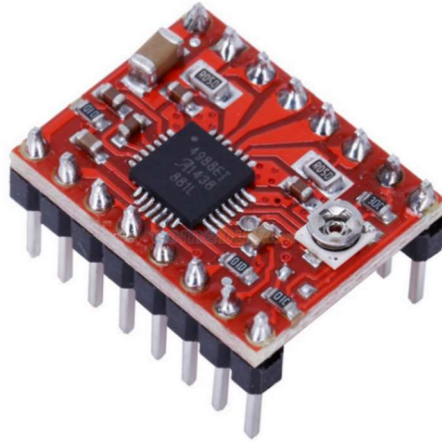
**Figura 59**

*Fuente de poder.*



*Nota. Tomado de (Velasco | Sonido y Electrónica - FUENTE DE PODER CONMUTADA 12V 30A, s. f.)*

**Drivers.** Para el diseño hay que prestar especial importancia a los drivers que controlan los motores, puesto que estos tienen diferentes configuraciones y además requieren calibraciones previas. En nuestra aplicación utilizaremos los Drivers A4988 (**Figura 60**) en microsteps para tener un movimiento suave en los motores.

**Figura 60***Driver A4988.*

*Nota.* Tomado de (A4988 Stepper Motor Driver Board – HandsOn Tech, s. f.)

Como hemos visto en la **Figura 50** los motores de cada uno de los ejes y las bombas según su datasheet necesitan una corriente de 1.7A para su correcto funcionamiento. Ahora, para que el driver suministre esa corriente se necesita verificar cual será el voltaje de referencia que hay que utilizar, con este objetivo partimos de la siguiente ecuación:

$$I = \frac{V_{ref}}{8 * R_s}$$

Si de la misma despejamos el voltaje de referencia:

$$V_{ref} = 8 * I * R_s$$

Reemplazando los datos:

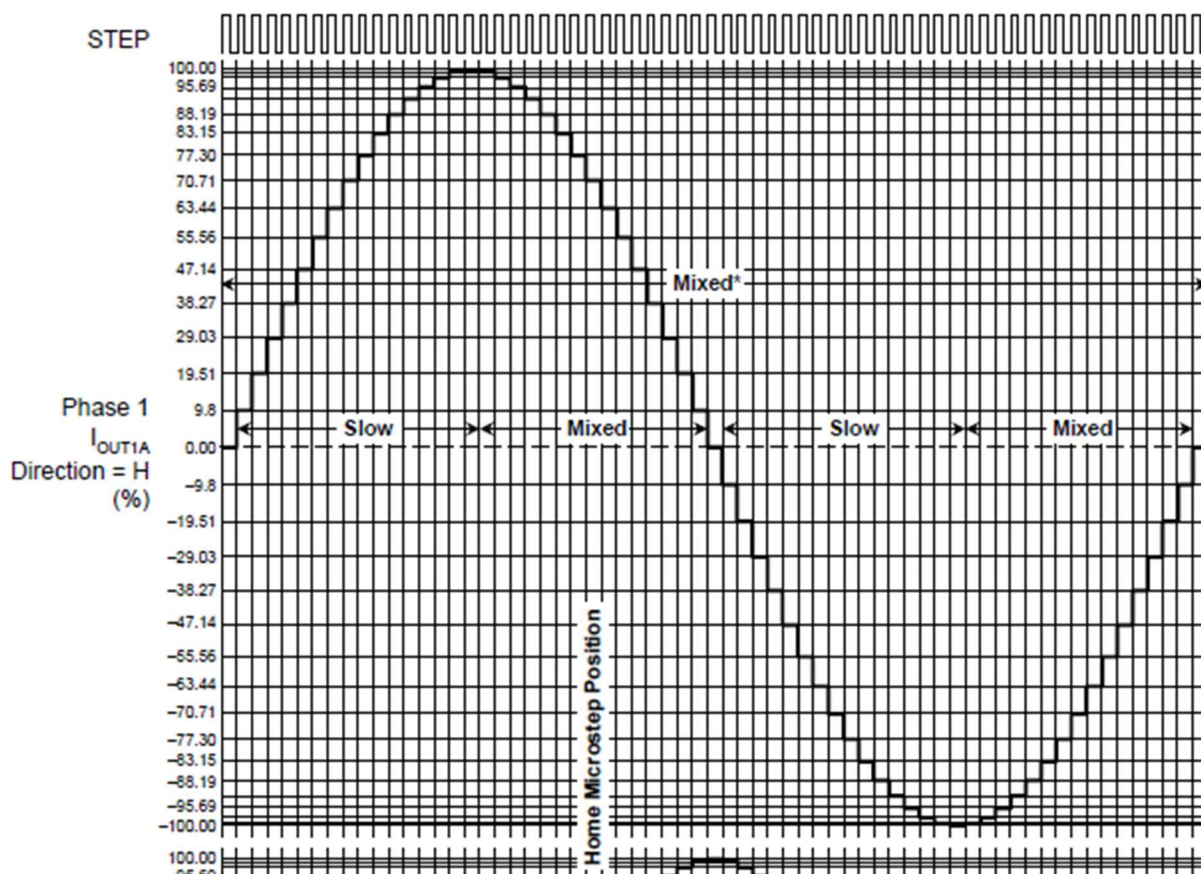
$$V_{ref} = 8 * 1.7 * 0.1$$

$$V_{ref} = 1.36 [V]$$

Al trabajar en pasos completos el driver proporciona el 100% de la corriente al motor, por lo que no se debe compensar estos valores como podemos ver en la **Figura 61**.

**Figura 61**

*Suministro de corriente en pasos completos.*



Por lo tanto, cada uno de los drivers deberá tener un voltaje de referencia igual a 1.6V para que los motores funcionen a su máxima capacidad.

En el caso del motor para el giro de herramienta, sus características varían en cuanto a la corriente necesaria para su movimiento. Si repetimos el proceso anterior podemos calcular el voltaje de referencia necesario para este driver.

$$V_{ref} = 8 * I * R_s$$

Reemplazando los datos:

$$V_{ref} = 8 * 0.7 * 0.1$$

$$V_{ref} = 0.56 [V]$$

Con esta información ya podremos conectar los 8 drivers que contiene la placa. Otra característica importante en los drivers es que por su uso elevan su temperatura, por este motivo se instalara un ventilador sobre estos drivers para asegurar s integridad.

### ***Subsistema Informático***

La automatización del proceso comienza con la facilidad que se le da al usuario de poder ingresar los parámetros de funcionamiento, adaptándose al tipo de postre que se desea realizar.

**Interfaz – Generar Código G.** La interfaz gráfica que permite ingresar todos los parámetros se diseñó y fue programada mediante el lenguaje de programación Python por su eficiencia y facilidad además de contar con las librerías y módulos necesarios para esta aplicación, utilizando Visual Studio Code como editor de código.

Python cuenta con el paquete Tkinter, el más utilizado para crear interfaces gráficas, una capa orientada a objetos. Este paquete nos permite utilizar widgets jerarquizados, para construir nuestra interfaz (**Figura 62**). Algunos de los más comunes son:

- Tk: raíz de la interfaz, sobre el cual van el resto de widgets.
- Frame: marco que permite agrupar diferentes widgets
- Label: etiqueta estática que permite mostrar texto o imagen
- Entry: etiqueta que permite introducir texto corto

- Button: ejecuta una función al ser pulsado
- Checkbutton: permite elegir una opción entre varias

**Figura 62**

*Componentes y organización de la interfaz gráfica*



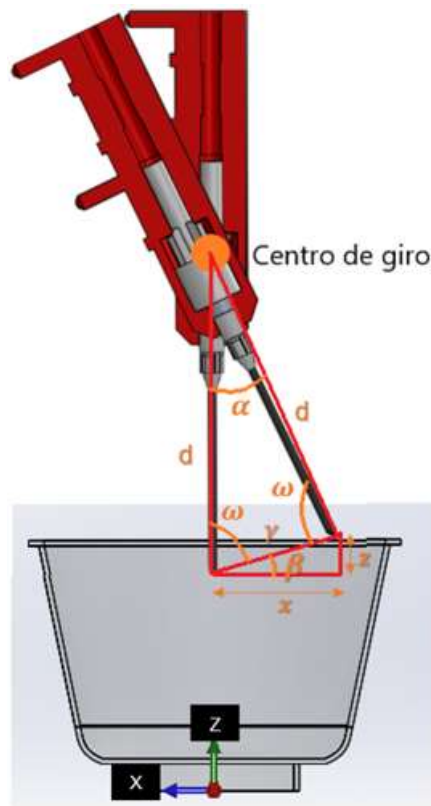
*Nota.* Cada widget se puede configurar según el programador, se permite modificar color de fondo, fuente, relieve, posición, etc.

La interfaz gráfica nos permite ingresar los parámetros principales para la creación de una flor decorativa, como el diámetro de la semilla, vueltas de pétalos, cantidad de pétalos por vuelta, vueltas de hojas, cantidad de vueltas por hojas, la velocidad de trabajo de la máquina y el nombre del documento a generar. Además, debemos escoger el tamaño del envase cargado en la máquina, con todos estos parámetros seteados se presiona el botón de generar código y se obtiene un archivo de texto con el código G específico para este tipo de flor.

En la programación es necesario considerar las compensaciones que se deben realizar para que la gubia quede siempre a la altura de la gelatina, esta compensación se debe realizar siempre que gira la herramienta para dar un nuevo ángulo de inserción, se debe realizar el análisis geométrico (**Figura 63**) necesario para obtener las fórmulas de las distancias e ingresarlas en el código para que se calculen de manera automática.

### Figura 63

*Geometría para la compensación de posición de la gubia*



$\alpha$  y  $d$  son datos conocidos y se necesita obtener las fórmulas para la compensación de la distancia en  $x$  y  $z$ .

$d$ : distancia del centro de giro hasta la punta de la gubia

$\alpha$ : ángulo de inserción de la gubia.

$$1) 2\omega + \alpha = 180$$

$$2) \omega + \beta = 90 + k$$

$k$ : inclinación antes de dar un nuevo ángulo a la gubia

Resolvemos el sistema de ecuaciones para obtener  $\beta$  en función de los datos conocidos:

$$\begin{array}{r} 2\omega + \alpha = 180 \\ -2\omega - 2\beta = -2(90 + k) \\ \hline \alpha - 2\beta = 180 - 2k \end{array}$$

$$\beta = \frac{-180 + 2(90 + k) + \alpha}{2}$$

Aplicamos la ley de cosenos para obtener  $\gamma$  en función de los datos ya conocidos:

$$\gamma^2 = d^2 + d^2 - 2dd * \cos(\alpha)$$

$$\gamma^2 = 2d^2 - 2d^2 * \cos(\alpha)$$

$$\gamma = 2d^2(1 - \cos(\alpha))$$

$$\gamma = \sqrt{2d^2(1 - \cos(\alpha))}$$

Con los valores de  $\beta$  y  $\gamma$  podemos obtener una fórmula para la compensación en el eje Z:

$$\text{sen}(\beta) = \frac{z}{\gamma}$$

$$z = \gamma * \text{sen}(\beta)$$

Para la compensación en el eje X se utiliza el dato ya conocido del ángulo de inserción de la gubia ( $\alpha$ ) y la distancia del centro de giro a la punta de la gubia ( $d$ ):

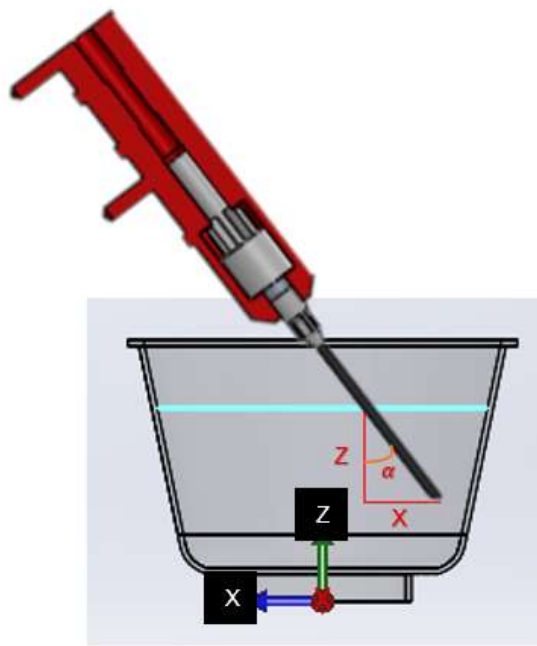
$$x = d * \text{sen}(\alpha)$$



Al momento de ingresar la gubia en la gelatina es necesario realizar un cálculo de la distancia en X que se debe mover todo el extrusor, ya que se realiza un movimiento simultáneo en los ejes X y Z, la distancia que ingresa en Z y el ángulo de inclinación del extrusor son datos conocidos, pero la distancia en X es variable según va aumentando el ángulo de inclinación, por lo tanto se necesita obtener una fórmula mediante un análisis geométrico (**Figura 64**) para que de esta manera la gubia entre en la gelatina sin destruir toda la base y realice solo el agujero necesario con la forma deseada.

### Figura 64

*Geometría de la inserción de la gubia*



$$\tan(\alpha) = \frac{X}{Z}$$

$$X = Z * \tan(\alpha)$$

**Firmware.** Como tal este es el código primario que usa nuestro Sistema para controlar todo el circuito. En internet podemos hallar unas versiones muy buenas, open source que pensábamos utilizar como es el caso de GRBL usado en máquinas CNC o Marlin comúnmente utilizado en impresoras 3D. mas no pudimos utilizar ninguno de ellos ya que nuestro dispositivo tiene necesidades específicas para nuestra aplicación. Por esta razón nos vimos en la obligación de programar nuestro propio firmware usando como base el código GcodeCNCDemo publicado por GNU Operating System para el control de la placa RUMBA. (*The GNU Operating System and the Free Software Movement*, s. f.)

Este código cuenta con 490 líneas de código en donde permite controlar una CNC de 6 ejes ingresando el número de pasos que debe dar cada motor y enviando el comando a través del puerto serial, desde nuestro computador hacia la placa. Nuestra programación en su última versión cuenta con 1323 líneas de código que permiten:

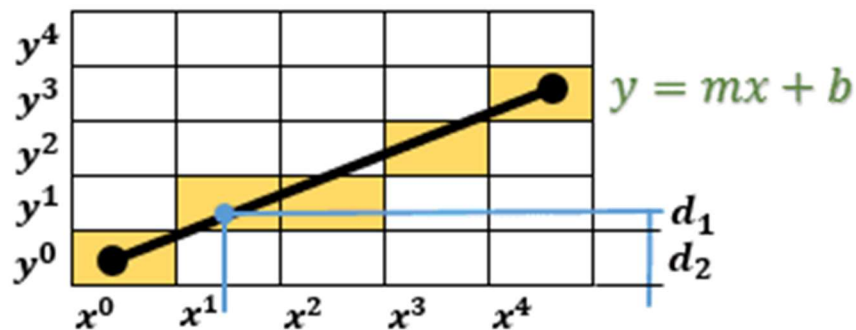
- Controlar la maquina desde el computador a través de la comunicación serial ingresando a un modo denominado como desarrollador. Este sirve para realizar pruebas, control de motores y configuraciones de la máquina.
- Control de la maquina a través de una pantalla touch. Permite enviar y recibir información desde el controlador y la pantalla.
- Lectura de tarjetas SD. Esta opción da a la maquina completa autonomía de funcionamiento. Así ya no es necesario tener un computador conectado, sino que desde la pantalla táctil se puede seleccionar un archivo en la tarjeta SD y el programa automáticamente ira leyendo línea a línea todo el código G hasta finalizar el proceso.
- Realimentación a través de sensores de posición o fines de carrera para identificar las posiciones en las coordenadas deseadas.
- Lectura de archivos en formato txt con todos los comandos a utilizar y también es capaz diferenciar entre comandos y comentarios en el código G.

- Configuración entre el número de pasos que debe dar cada motor para mover cierta cantidad de milímetros, grados o volumen de tinta expulsada desde las bombas.
- Cálculo de velocidades máximas y mínimas que es capaz de dar el sistema sin perder pasos en el proceso. Luego de hacer los cálculos respectivos se concluye que el eje X puede moverse a una velocidad máxima de 400mm/s y el eje Z puede avanzar hasta 84mm/s. El eje Z es más lento debido a su configuración mecánica.
- Diferentes menús combinados con la pantalla táctil para realizar operaciones de control.
- Controlar el ángulo al que está ubicada la herramienta y la posibilidad de variarlo según la necesidad.
- Control de un servomotor para sostener o liberar las herramientas.

Una de las partes más críticas dentro de esta programación es la aplicación del Algoritmo de Bresenham. Lo que hace este algoritmo es que, en base a la recta generada entre 2 puntos, calcula las coordenadas dentro de una matriz que más se acerquen a la recta buscada **Figura 65**.

**Figura 65**

*Ejemplo de funcionamiento del algoritmo de Bresenham.*

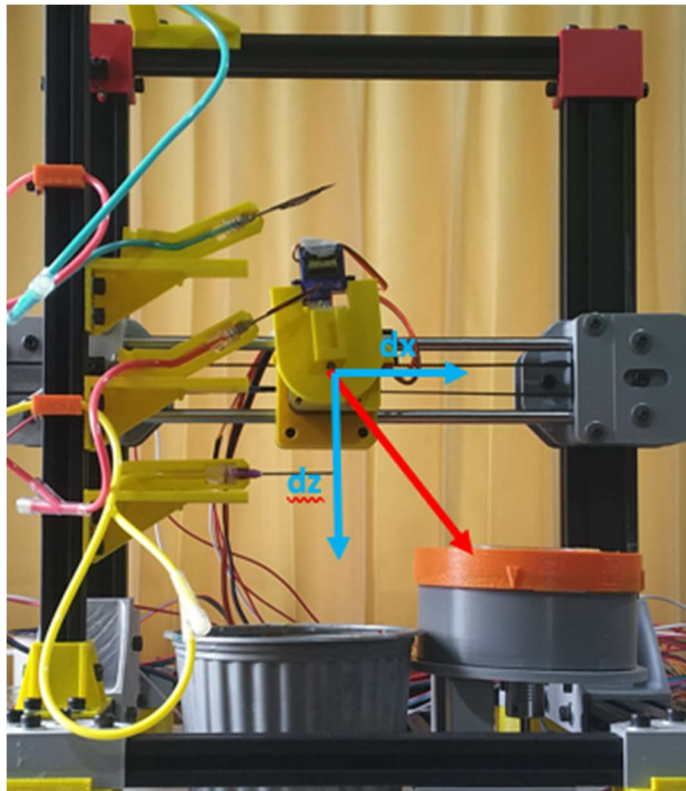


*Nota. Tomado de (Algoritmo de Bresenham - GlosarioIT: Glosario Informático, s. f.)*

En el caso de los motores lo que hará el algoritmo es determinar el número de pasos que debe moverse cada motor alternadamente para alcanzar la trayectoria indicada en el código.

### Figura 66

*Movimiento combinado de motores.*



**Pantalla.** Siempre es necesaria la instalación de un panel desde donde controlar los equipos, y para suplir esta necesidad hemos implementado una Pantalla Nextion (**Figura 67**) modelo NX4832t035. Esta marca de pantallas es perfecta para trabajar con Arduino y representan una gran ventaja al momento de programar ya que sustituyen a las tradicionales pantallas LCD o Led y cuentan con su propia interfaz de desarrollo desde el computador (**Figura 68**) en donde el usuario puede construir varias pantallas de navegación, botones, indicadores y tanto enviar como recibir información entre la pantalla y la placa de Arduino. Otra gran ventaja es que cuentan con su propia memoria interna y así no saturar de información la memoria del Arduino como se trabajaba con las pantallas tradicionales.

#### **Figura 67**

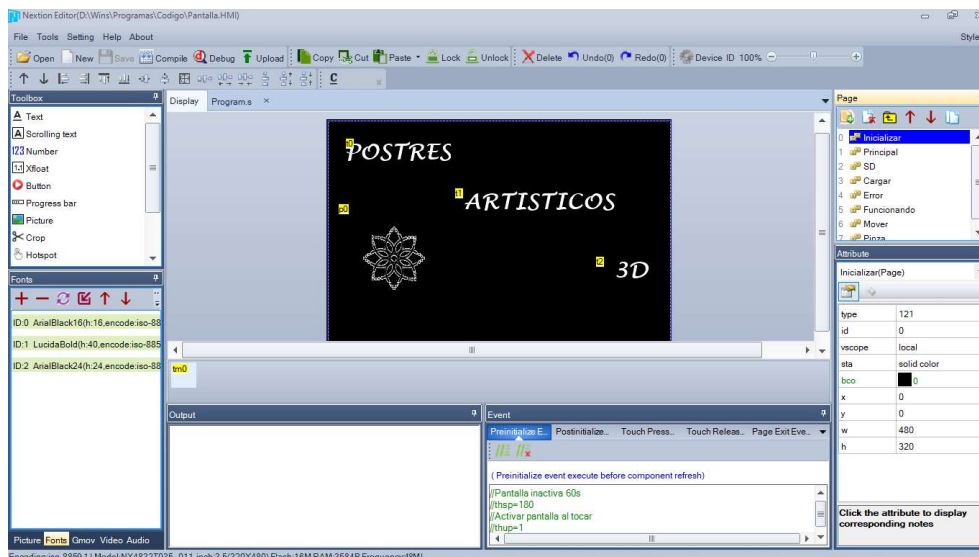
*Pantalla Nextion.*



*Nota.* Tomado de (NX4832T035 - Nextion, s. f.)

Figura 68

Interfaz de desarrollo.

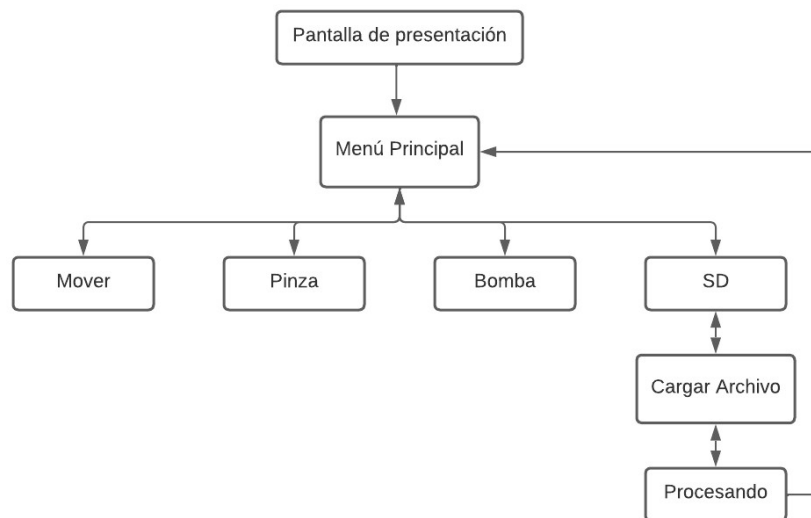


El desarrollo de la HMI fue considerando guía GEDIS buscando obtener una interfaz intuitiva y fácil de manejar. Como resultado se obtuvo la siguiente arquitectura de pantallas

Figura 69.

Figura 69

Arquitectura de pantallas.



Una vez definida la arquitectura de pantallas, se procede a diseñar cada una de ellas con su propósito específico. A continuación, se hará una pequeña descripción de cada una de ellas:

***Pantalla de presentación.*** Es la primera pantalla en mostrarse al encender la máquina, y aparece durante el tiempo que tarda en inicializar el equipo. **Figura 70.**

### **Figura 70**

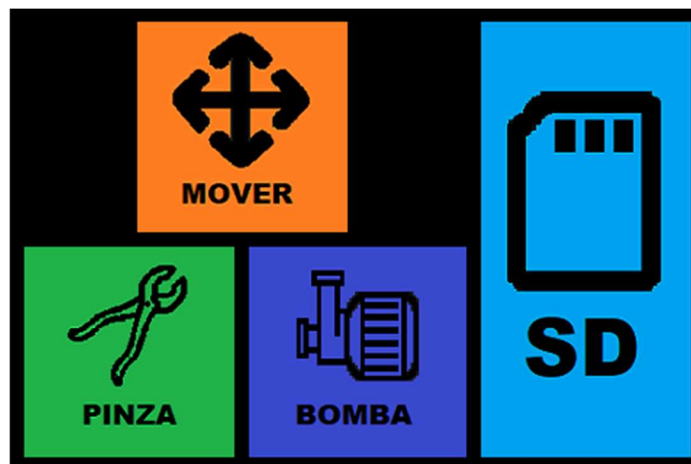
*Pantalla de presentación.*



***Menú principal.*** Esta pantalla consta de 4 botones que dirigen a las diferentes funcionalidades de la máquina y desde cada una de ellas se puede regresar a este menú. **Figura 71.**

**Figura 71**

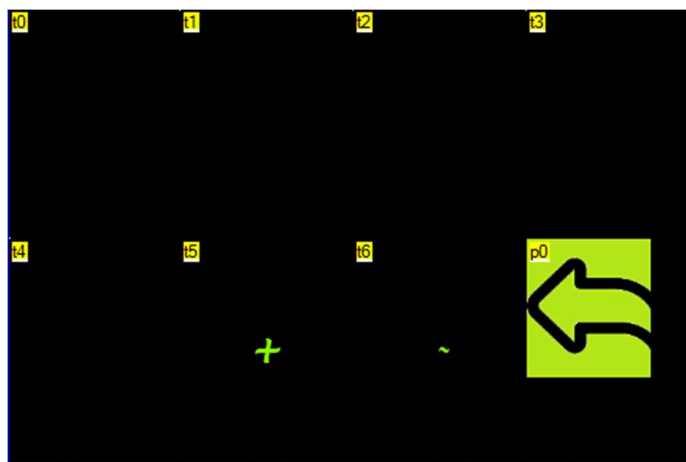
*Menú Principal.*



**SD.** En esta pantalla se enlistan todos los archivos leídos en la tarjeta SD, se muestran como máximo 5 archivos y se puede ir a los 5 siguientes o anteriores. **Figura 72.**

**Figura 72**

*Pantalla de lectura de tarjeta SD.*





**Cargar Archivo.** Esta pantalla pide confirmar si el archivo seleccionado es el correcto antes de iniciar el trabajo. **Figura 73.**

**Figura 73**

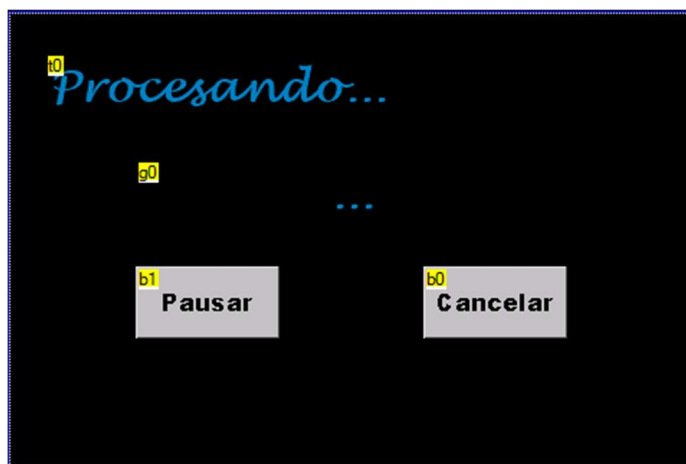
*Pantalla de cargar archivo.*



**Procesando.** Esta pantalla aparece en el momento que la maquina empieza a funcionar y permite al usuario cancelar o pausar el trabajo. **Figura 74.**

**Figura 74**

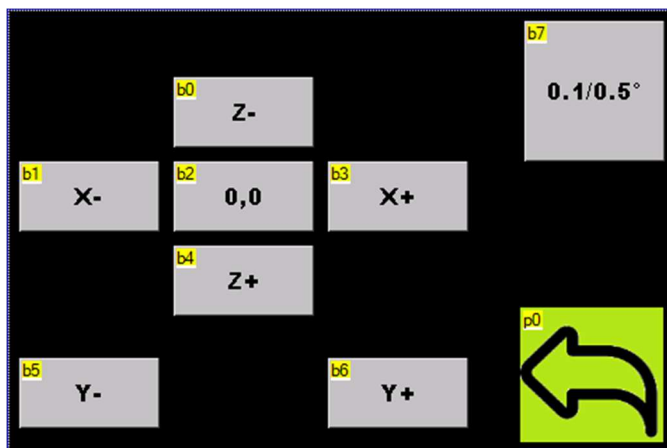
*Pantalla de procesando.*



**Mover.** Esta pantalla se puede acceder desde el menú principal, en la cual podemos definir distancia o el ángulo que se desea mover para cualquier eje. También nos permite hacer home y la maquina vaya al punto donde sus coordenadas sean 0. **Figura 75.**

**Figura 75**

*Pantalla de mover ejes.*



**Pinza.** En esta pantalla se puede controlar el abrir o cerrar la pinza y también cambiar el ángulo de esta. **Figura 76.**

**Figura 76**

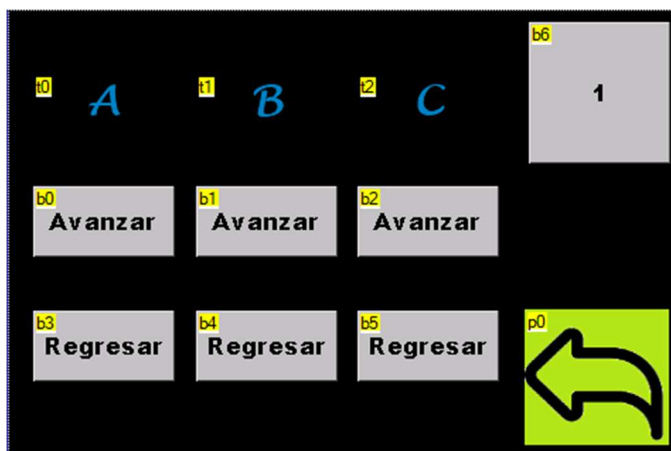
*Pantalla de control de pinza.*



**Bomba.** En esta pantalla se puede mover cada una de las bombas, cambiar de dirección y definir que volumen de líquido se desea mover. **Figura 77.**

**Figura 77**

*Pantalla de mover bombas.*



## CAPÍTULO 4

### Pruebas y Resultados

Una vez construido e integrado el sistema, el siguiente paso es realizar pruebas de funcionamiento de máquina. Por lo tanto, se realizaron las siguientes pruebas:

#### **Precisión en el movimiento del equipo**

Al tratarse de una máquina de control numérico por computador es importante realizar movimientos coordinados y precisos para alcanzar las formas deseadas en las gelatinas. Además, en el caso de las bombas peristálticas se manejan pequeños volúmenes de tinta en cada inserción. Por lo tanto, es fundamental conocer que variabilidad existe entre los movimientos deseados y los reales para determinar si existe un error significativo en el proceso de producción. Por las razones antes mencionadas se ha planteado un análisis estadístico para cada uno de los ejes y bombas.

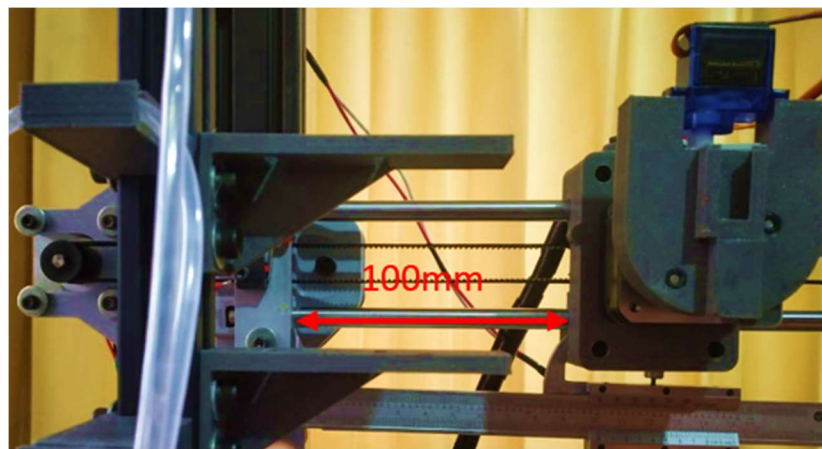
### ***Movimientos Independientes Ejes X, Y y Z***

Tanto el eje X como el eje Z realizan movimientos lineales en la máquina, por esta razón ambos serán analizados de forma conjunta.

El experimento consiste en tomar un total de 20 datos para cada eje. Esto implica que el carro se moverá 100mm en el eje X (**Figura 78**), se registrará esta distancia y posteriormente se moverá 100mm en el eje Z (**Figura 79**). En cada ocasión las distancias avanzadas serán registradas para luego ser analizadas.

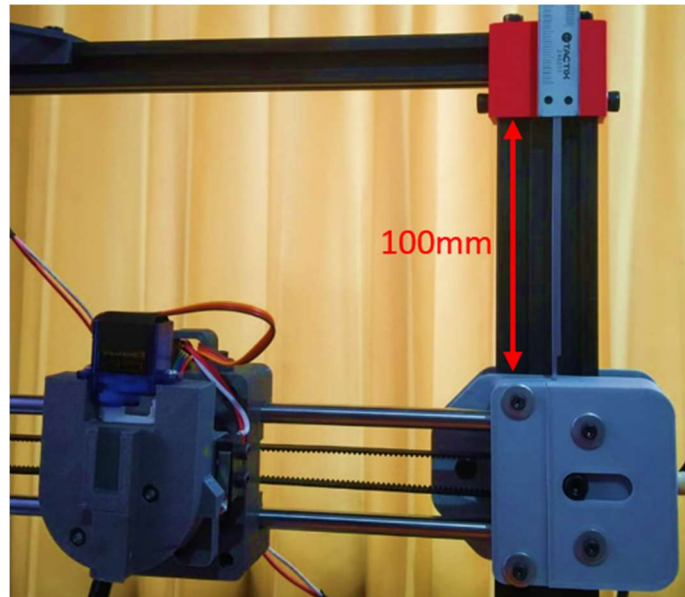
#### **Figura 78**

*Desplazamiento para el eje X.*



**Figura 79**

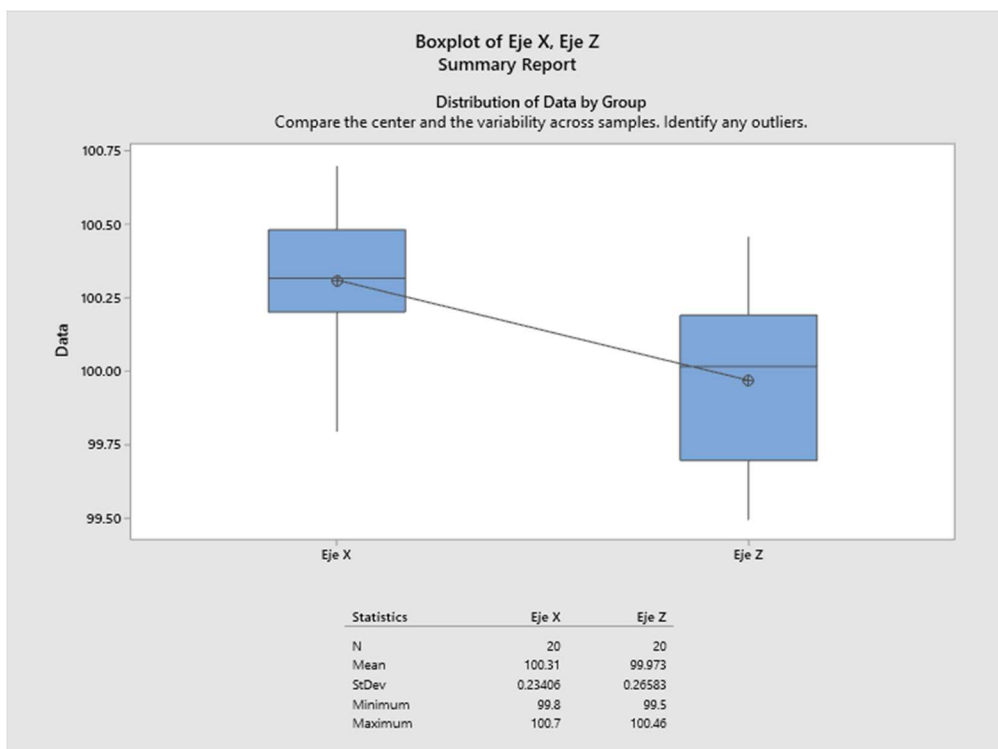
*Desplazamiento para el eje Z.*



Una vez recopilados los datos los valores fueron ingresados en el software Minitab de donde se obtuvo la **Figura 80**. De esta se observa que el eje X en general da valores mayores a 100mm a diferencia del Z. En lo que respecta la exactitud se observa una desviación de 0.23mm y 0.26mm para los ejes X y Z respectivamente. También en el diagrama se observa que el eje X es más preciso que el eje Z. Estos resultados son óptimos y representan un efecto contraproducente al movimiento de la máquina para el diseño de las flores.

**Figura 80**

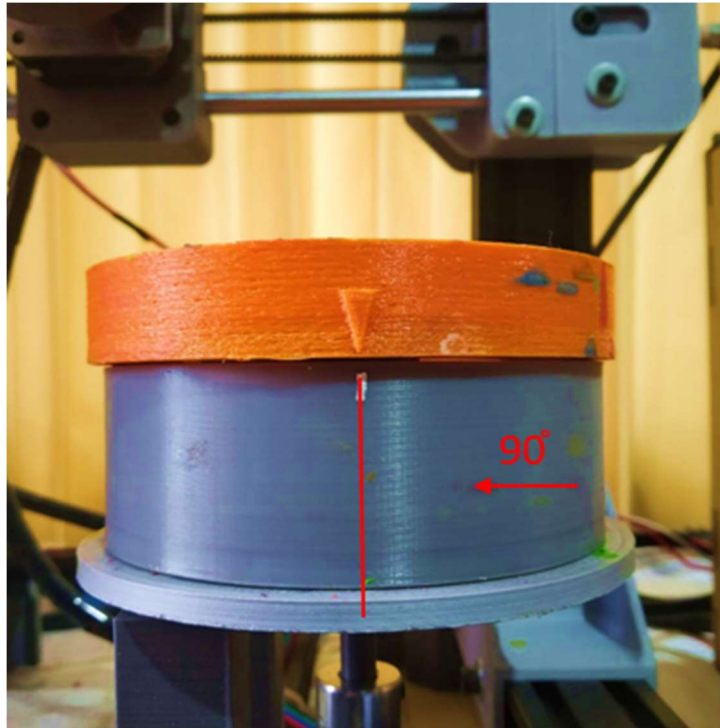
Diagrama de cajas para eje X y Z.



En lo que al eje Y respecta, este se mueve de forma angular por lo que para la toma de datos se hicieron movimientos de 90 grados y se verifico que se cumpliera cada medida. Como indica la **Figura 81** se alinearon las piezas en movimiento con las piezas móviles para determinar cuál era la desviación en cada giro.

**Figura 81**

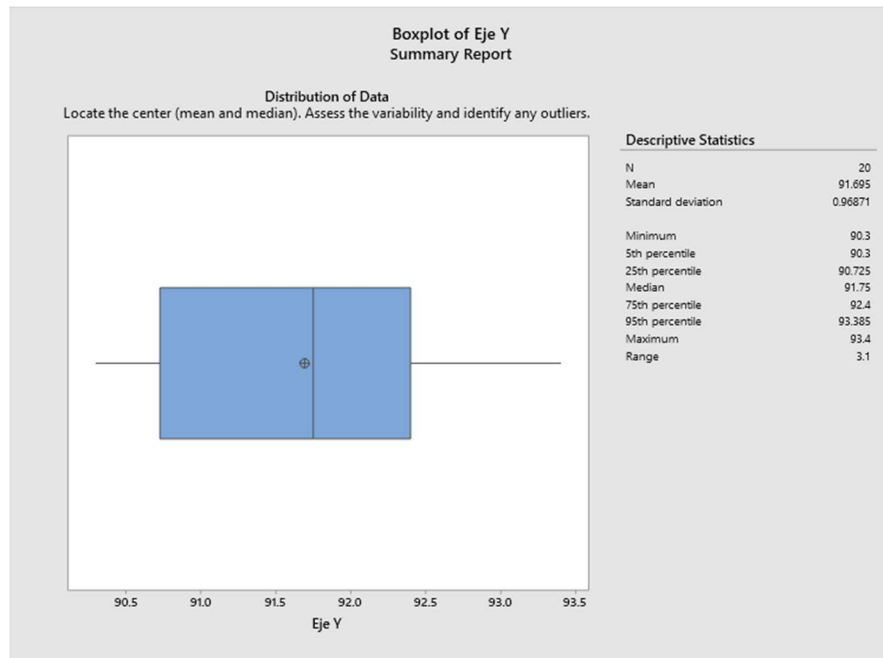
*Toma de datos para el eje Y.*



Ya habiendo tomado los datos se obtuvo una desviación de 0.96 grados. Nuevamente los resultados de la **Figura 82** no afectan al rendimiento final por lo que no es necesario hacer correcciones.

## Figura 82

Diagrama de caja para el eje Y.



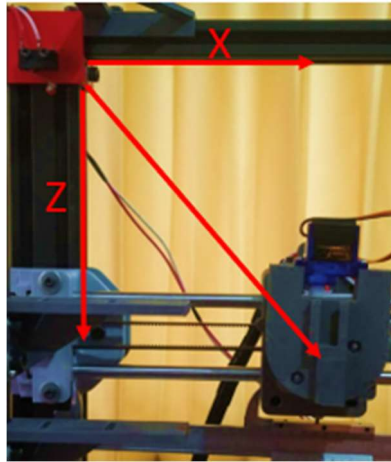
### **Movimientos coordinados**

La estructura de la maquina permite que solo sea posible realizar movimientos coordinados entre el eje X y Z **Figura 83**. Por esta razón se realizaron 20 movimientos coordinados para verificar que variación existe. Los movimientos fueron a partir del punto (0,0) de la maquina



### Figura 83

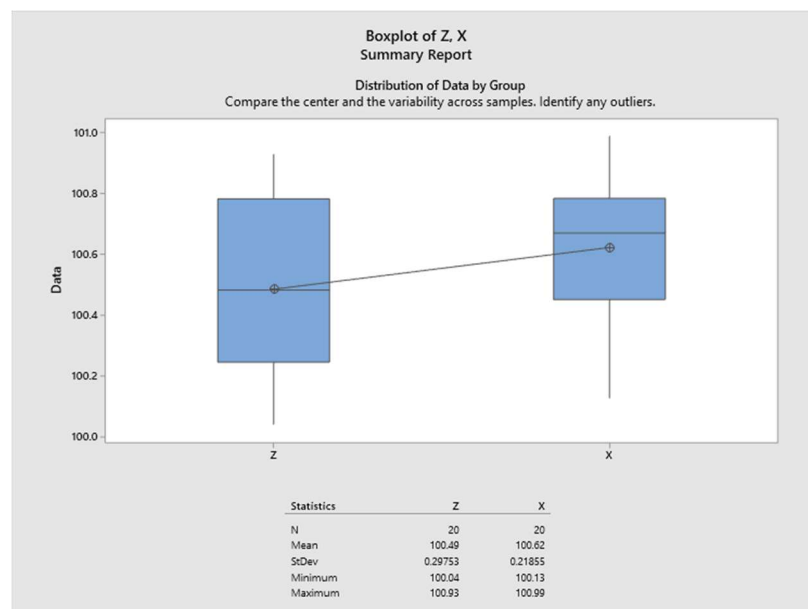
*Movimientos diagonales entre eje X y Z.*



Para verificar la precisión se midió el avance tanto en el eje X como en el Z y los resultados fueron los mostrados en la **Figura 84** de la que se observa nuevamente que el eje Z presenta una mayor variabilidad, pero sigue siendo muy baja en ambos ejes como para afectar en el resultado final.

### Figura 84

*Diagrama de cajas para movimientos combinados entre 2 ejes.*



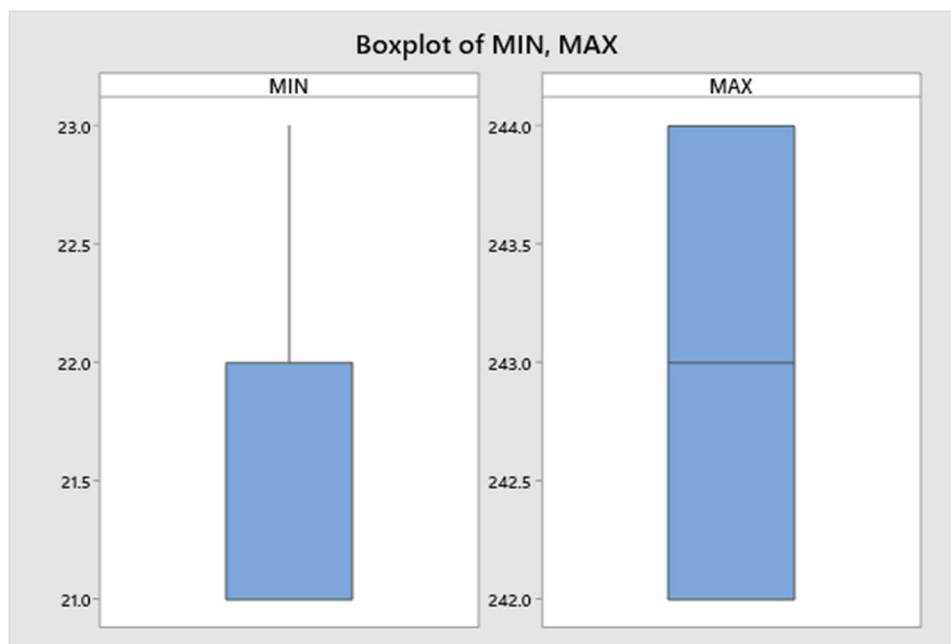
## Bombas

Durante las pruebas se determinó que la velocidad de trabajo tiene gran relevancia en los resultados finales; altas velocidades provocan que los motores tiendan a perder pasos. Por esta razón luego de probar el funcionamiento de las bombas a varias velocidades se determinó que los valores óptimos son desde 20.3rev/min hasta 406.09rev/min.

A partir de las velocidades halladas se hizo una serie de ensayos para conocer cuál es el caudal capaz de entregar una bomba en estas condiciones. El experimento consistió en medir cuanto líquido envía la bomba en un minuto de trabajo sin interrupciones en 15 ocasiones. Para esto se utilizó la balanza y el líquido a movilizar fue agua.

### Figura 85

*Diagrama de caja para caudales.*



De los resultados obtenidos (**Figura 85**) se determinó que el caudal de las bombas medio es de 21.93ml/min a una velocidad de 20.3rev/min y de 242.93ml/min a una velocidad de 406.09rev/min con desviaciones estándar de 0.703 y 0.798 respectivamente.

Como en el experimento anterior también se desea conocer que exactitud existe al momento de suministrar un volumen deseado de líquido, para ello se ordenó enviar 10 ml de agua y con una balanza se verificó que valor llegaba al frasco (**Figura 86**). Este procedimiento se lo repitió 15 veces para cada bomba y luego se analizaron los datos obtenidos.

### **Figura 86**

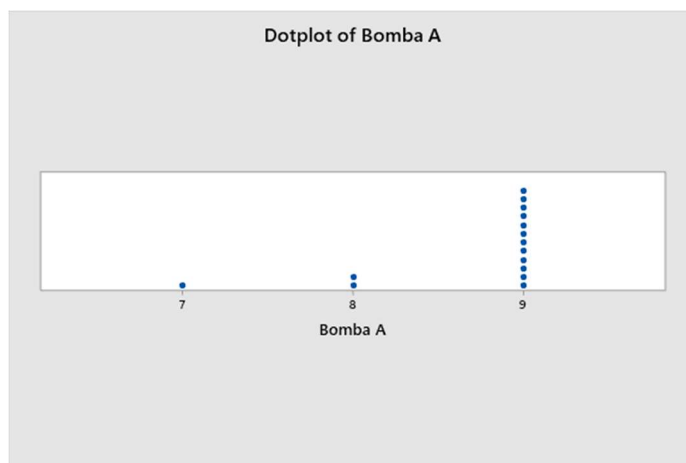
*Medida del volumen de líquido enviado por cada bomba.*



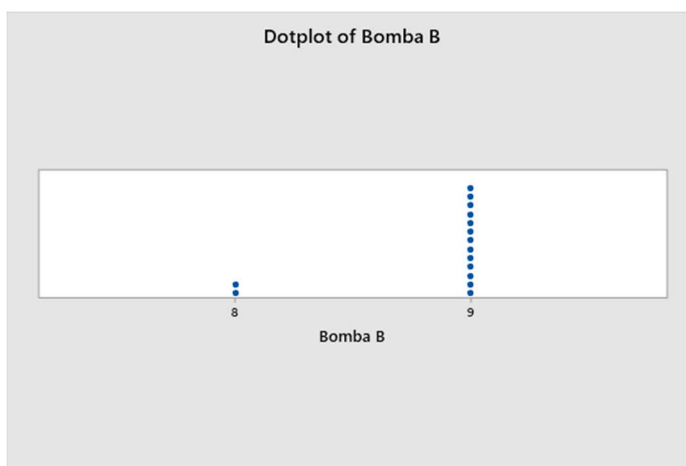
A continuación, se verificará que error existe en el volumen entregado por cada una, para determinar si este es significativo en el resultado final. De los datos tomados se presentan las siguientes graficas:

**Figura 87**

*Grafica de puntos para la bomba A.*

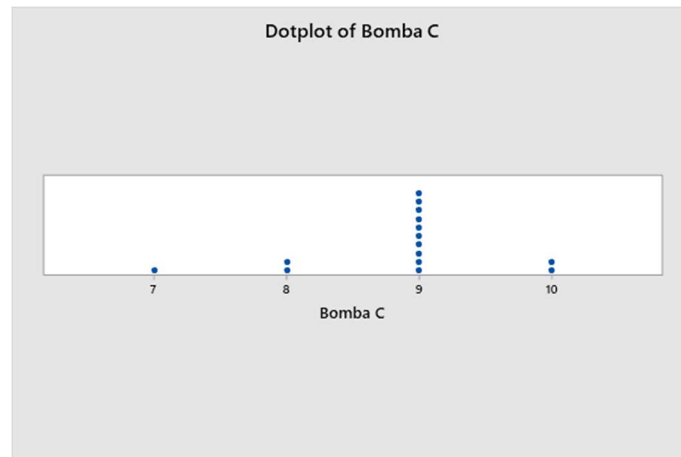
**Figura 88**

*Grafica de puntos para la bomba B.*



**Figura 89**

*Grafica de puntos para la bomba C.*



De los valores obtenidos se observa que las bombas cuentan con una precisión alta más es necesario realizar una calibración para corregir su exactitud.

**Pruebas comparativas entre las decoraciones hechas a mano y fabricadas con la máquina.**

Para esta aplicación se ha planteado realizar un diseño experimental chi cuadrado que permita analizar datos cualitativos de un producto. Con esto en mente se ha reunido un grupo de en total 20 personas, de las cuales 10 tienen conocimientos sobre repostería y las otras 10 no poseen estudios de este tipo para que evalúen algunas características del producto (**Figura 90**).

**Figura 90**

*Estudio cualitativo del producto.*



El motivo del experimento es determinar si existe alguna relación entre las opiniones de las personas acerca de las características de las gelatinas considerando sus conocimientos en gastronomía o si los resultados son similares para ambos grupos, se realizará el análisis de diferentes características sensoriales teniendo en cuenta como un parámetro si las gelatinas fueron decoradas manualmente o automáticamente, los resultados de las encuestas los podemos observar en la **Tabla 8**.

**Tabla 8**

*Evaluación sensorial de la decoración manual y automática por parte de los consumidores.*

<b>1</b>		<b>Olor</b>				
<b>Conocimiento del consumidor</b>	<b>Decoración</b>	Muy Bueno	Bueno	Neutro	Malo	Muy Malo
Gastronomía	Manual	2	3	5		
General	Manual	3	1	6		
Gastronomía	Automática		2	7	1	
General	Automática		7	2		1
<b>2</b>		<b>Color</b>				
		Muy Bueno	Bueno	Neutro	Malo	Muy Malo
Gastronomía	Manual	8	2			
General	Manual	10				
Gastronomía	Automática	4	4	2		
General	Automática	1	6	3		
<b>3</b>		<b>Simetría</b>				
		Muy Bueno	Bueno	Neutro	Malo	Muy Malo
Gastronomía	Manual	7	2	1		
General	Manual	5	5			
Gastronomía	Automática	5	5			
<b>General</b>	Automática	5	5			
<b>4</b>		<b>Atractivo Visual</b>				
		Muy Bueno	Bueno	Neutro	Malo	Muy Malo
Gastronomía	Manual	9	1			
General	Manual	10				
Gastronomía	Automática	7	3			
General	Automática	5	2	3		

<b>5</b>		<b>Sabor</b>				
<b>Conocimiento del consumidor</b>	<b>Decoración</b>	Muy Bueno	Bueno	Neutro	Malo	Muy Malo
Gastronomía	Manual	1	7	1	1	
General	Manual	4	5	1		
Gastronomía	Automática	1	6	1	2	
General	Automática	4	5	1		
<b>6</b>		<b>Textura</b>				
		Muy Bueno	Bueno	Neutro	Malo	Muy Malo
Gastronomía	Manual	6	1	3		
General	Manual	6	2	2		
Gastronomía	Automática	6	1	3		
General	Automática	6	2	2		

En primer lugar, planteamos las hipótesis que someteremos a prueba, siendo H0 la hipótesis nula y H1 la alternativa:

H0: “La calificación dada es independiente del nivel de conocimiento sobre gastronomía.”

H1: “La calificación dada depende del nivel de conocimiento sobre gastronomía.”

En segundo lugar, con la ayuda de Minitab19 realizamos la prueba estadística chi-cuadrado de asociación para analizar los datos y determinar si se rechaza la hipótesis nula en cada uno de los casos del análisis sensorial. Los resultados se pueden observar en el ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..

Se establece las reglas de decisión, o las condiciones para rechazar la hipótesis nula (H0):

- Si el valor-p es  $\leq$  a 0.05



- El valor estadístico de prueba  $X^2$  debe ser menor al límite de aceptación según los grados de libertad (gl) , si el valor está del lado de derecho de la curva, la hipótesis nula es rechazada.

$$\text{Grados de libertad (gl)} = (\text{n}^\circ \text{ de filas} - 1) \times (\text{n}^\circ \text{ de columnas} - 1)$$

En el análisis de cada una de las pruebas realizadas tomando en cuenta la decoración manual y automática, se puede observar que el valor p (nivel de significancia mínimo) es mayor a 0.05 en todos los casos, y analizando la gráfica de distribución todos los valores del estadístico de prueba  $X^2$  se encuentran al lado izquierdo del límite por lo tanto se encuentra dentro de la zona de aceptación, estos resultados nos indican que se debe aceptar la hipótesis nula que plantea que “La calificación dada es independiente del nivel de conocimiento sobre gastronomía.”.

Independientemente del método de decoración el análisis estadístico nos da un resultado favorable a la hipótesis nula, esto significa que, aunque los consumidores tengan conocimiento en gastronomía no existe una diferencia considerable en el análisis sensorial del producto. Por lo tanto, la máquina cumple con su objetivo de acelerar el proceso de decoración sin influir drásticamente en la calidad del producto final. En las encuestas se pudo observar una respuesta menos favorable al color de las muestras realizadas por la máquina, pero no es una variable crítica ya que se puede corregir mediante la modificación en la receta de la tinta, marcando de mejor manera los colores, en la **Figura 91** podemos observar las muestras utilizadas en el análisis sensorial.

**Figura 91**

*Muestras decoradas de manera manual y automática para el análisis sensorial*

**Test de compresión en las gelatinas**

Culminada la fabricación de los postres se realizó un ensayo de compresión en la máquina de ensayos universales del laboratorio de mecánica de los materiales para determinar la máxima fuerza de compresión que las gelatinas pueden resistir antes y después del proceso de decorado. (**Figura 92**)

**Figura 92**

*Test de compresión a las gelatinas.*



*Nota.* Ensayo realizado con la máquina de ensayos universales del laboratorio de mecánica de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

De los resultados obtenidos se obtiene que promedio de fuerza en compresión que la gelatina base puede resistir es de 91.27N y en el caso de la gelatina decorada el valor promedio es de 53.83N. Estos valores son representativos al momento de manipular las gelatinas fuera del recipiente. Por lo que se recomienda que los postres no sean desmolidos hasta cuando vayan a ser consumidos para evitar que se deformen y afectar la calidad del producto.

**Resultados Finales**

Habiendo realizado las pruebas respectivas para verificar el correcto funcionamiento del equipo. A continuación, en la **Tabla 9** , se presenta un resumen de los resultados obtenidos según el alcance indicado en la **Tabla 1**.

**Tabla 9***Resultados alcanzados*

CARACTERÍSTICA	RESULTADOS
<b>Capacidad de fabricación</b>	El proceso manual de decoración realizado por una sola persona tarda entre 19 y 20 minutos dependiendo del modelo de la flor, mientras que el prototipo automatizado realiza la decoración en un tiempo de 8 a 10 minutos, existe un ahorro del 50% del tiempo cumpliendo con lo propuesto.
<b>Cantidad de colores</b>	Como se indica en el alcance, el prototipo es capaz de intercambiar entre 3 colores diferentes con sus respectivas gubias.
<b>Cambio de herramienta</b>	Se realizó el cambio de herramienta autónomo, para poder utilizar tres tipos de gubias en un mismo modelo de flor sin necesidad de intervención del usuario, además que el acople permite cambiar fácilmente a otras gubias para realizar distintos estilos.
<b>Volumen de trabajo</b>	El volumen de trabajo excede los valores propuestos en el alcance con un valor en Z de 180mm y en X de 190mm.
<b>Tamaño de recipiente</b>	El prototipo permite realizar diseños en ambos tipos de recipientes, solo es necesario cambiar el acople del eje Y, el cual es un mecanismo de fácil manipulación y no necesita de herramientas adicionales.

CARACTERÍSTICA	RESULTADOS
<b>Software</b>	<p>En cuanto a software se realizaron 2 diferentes para el equipo:</p> <p>Software de computador capaz de generar el código G que la maquina seguirá para dibujar la flor según los parámetros establecidos en su interfaz gráfica. Para posteriormente exportarlo en un archivo de formato txt.</p> <p>Programa de Arduino que comunica y controla cada uno de los elementos para seguir las instrucciones leídas en un archivo txt.</p>
<b>Seguridad</b>	<p>Se configuró y calibro el equipo para realizar movimiento precisos y seguros evitando choques entre los componentes, es responsabilidad del usuario no manipular ningún elemento mientras el prototipo está trabajando ya que en ninguna parte del proceso es necesaria la intervención humana.</p> <p>Por seguridad del usuario se deshabilitan todos los motores al inicio y final del proceso y la pantalla indica cuando se encuentra trabajando y cuando ha terminado.</p>

En la **Figura 93** se observa un diseño completamente construido por el prototipo listo para el consumo humano.

**Figura 93***Resultado Final*

Basándonos en el libro de (Dieter & Schmidt, 2012) del diseño para ingeniería en la **Tabla 10** se realizó las especificaciones de diseño de nuestro prototipo.

**Tabla 10***Especificaciones del diseño del producto*

<b>Especificaciones del diseño del producto</b>	
<b>Identificación del producto</b>	
<i>Nombre</i>	Jellytry v.1.0
<i>Funciones básicas</i>	Decoración automática de postres 3D con diseños florales con 3 tipos de herramientas.
<i>Características especiales</i>	Versatilidad en los parámetros de diseño mediante una interfaz gráfica.
<i>Objetivos clases de rendimiento</i>	<p><i>Eficiencia:</i> 150% comparado con el proceso manual</p> <p><i>Precisión:</i> <math>\pm 0.2</math> mm en los ejes X, Z. <math>\pm 0.96^\circ</math> eje Y</p>
<i>Entorno de servicio</i>	<p><i>Condiciones de uso:</i> Personal capacitado, verificar siempre que las bombas estén cargadas y purgar algo de tinta al inicio de cada producción.</p> <p><i>Almacenamiento:</i> Lugar seco y libre de polvo a temperatura ambiente</p> <p><i>Transportación:</i> Desconexión de los 3 módulos y transporte individual de cada uno.</p> <p><i>Uso y mal uso predecible:</i> Taponamiento de mangueras y gubias por falta de limpieza luego de la producción.</p>

<i>Requiere capacitación al usuario</i>	Si, se debe realizar una capacitación inicial para entender las funciones principales de la máquina.
<b><i>Identificación del mercado</i></b>	
<i>Descripción del mercado objetivo y su tamaño</i>	Locales comerciales y salas de eventos, negocios enfocados en repostería.
<i>Demanda anticipada del mercado</i>	9200 por año.
<i>Productos de la competencia</i>	Postres 3D realizados artesanalmente.
<i>Marca</i>	Postres Artísticos 3D
<b><i>Fecha límite del proyecto</i></b>	
<i>Tiempo para completar el proyecto</i>	6 meses
<i>Plazos fijos del proyecto</i>	Diseño mecánico y construcción: 3 meses Diseño del circuito electrónico y control de ejes y bombas: 1 mes Programación de firmware e interfaz gráfica: 1 mes Calibración y pruebas de funcionamiento: 1 mes
<b><i>Descripción Física</i></b>	
<i>Dimensiones externas</i>	Alto: 430mm Ancho: 337mm Largo: 352mm
<i>Volumen de trabajo</i>	Z 180mm X 190mm Y 360°
<i>Tamaño de los recipientes</i>	Pequeño 60 x 40mm Grande 90 x 40mm



<i>Herramientas</i>	3 herramientas con cambio automático
<i>Componentes</i>	<p>CPU: Incluye la placa de control, fuente de alimentación y ventilador.</p> <p>Máquina: Espacio de trabajo de decoración</p> <p>Bombas: Emplazamiento de las bombas y contenedores de tinta.</p>
<b>Requerimientos Financieros</b>	
<i>Costo objetivo de fabricación</i>	\$755
<i>Precio del producto final</i>	\$1000
<b>Objetivos del ciclo de vida</b>	
<i>Vida útil</i>	<p>3 años, luego de este tiempo requerirá cambio de algunos componentes.</p> <p>Además la vida útil depende del cuidado de la máquina, su uso y mantenimiento constante.</p>
<i>Costo de instalación y operación</i>	\$0.40 ctvs. por hora de trabajo incluyendo el kW/h en Ecuador y el precio de amortización de la máquina.
<i>Programa de mantenimiento</i>	<p>Usuario:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajustar tornillos de las bombas o cambiar mangueras en caso de desgaste.</li> <li>• Tensionar las bandas.</li> <li>• Limpieza de las gubias y mangueras con agua caliente.</li> <li>• Engrasar varilla del eje Z</li> </ul> <p>Técnico:</p>

---

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actualizaciones de software y firmware</li> <li>• Cambio de componentes mecánicos o electrónicos.</li> <li>• Calibraciones especiales que requieran modificar posicionamientos en las herramientas.</li> </ul>
<i>Fiabilidad</i>	Las partes críticas que deberán ser cambiadas constantemente según el uso serán las mangueras de silicona internas de la bomba peristáltica y las bandas de los ejes.
<i>Componentes reciclables</i>	El prototipo fue ensamblado en su mayoría con componentes impresos en PLA, por lo tanto se pueden reciclar e incluso realizar filamento.  De igual manera perfiles de aluminio y motores se puede reutilizar en nuevos proyectos.
<b><i>Requerimientos Legales y Sociales</i></b>	
<i>Seguridad y responsabilidad del producto</i>	Los componentes mecánicos no están en contacto con las tintas comestibles, se utiliza bombas peristálticas y gubias de acero inoxidable.  El usuario debe conocer los peligros potenciales de la máquina para evitarlos.
<i>Propiedad intelectual</i>	La máquina pertenece a la empresa auspiciante Postres 3D que vende sus productos bajo el RUC del propietario: 1757656929001

---

---

**Especificaciones de manufactura**


---

*Requerimientos de manufactura*

Conocimientos en procesos de manufactura, incluyendo impresión 3D.

Conocimiento en diseño mecánico y electrónico.

Conocimiento en programación.

---

## CAPÍTULO 5

### Conclusiones y Recomendaciones

#### Conclusiones

- La construcción del equipo requirió un completo estudio del proceso de elaboración de postres 3D, por lo que fue necesario visitar y aprender la metodología y recetas utilizadas dentro de la empresa, y de esta forma identificar las características que el equipo deberá cumplir y los materiales necesarios.
- A partir de los requerimientos de construcción identificados se procedió a realizar varios prototipos de prueba, separando la maquina en diferentes módulos específicos, y según estos diseños se realizaron varios estudios y análisis, en busca de obtener las mejores características para la máquina que permitan asegurar la calidad del producto final.
- El transporte de tinta es vital para el funcionamiento de la máquina en la decoración de las gelatinas, por esta razón, debido a sus características, se optó por el diseño de bombas peristálticas, las cuales evitan que sus componentes mecánicos entren en contacto directo con los líquidos a bombear. Además, con el uso de motores a pasos se obtuvo un control preciso sobre el volumen de líquido aplicado en cada inserción, lo que a su vez permitió disminuir el uso de tinta por cada flor.
- Para realizar la sujeción de los envases plásticos con la base de gelatina fue necesario diseñar un mecanismo intercambiable para alternar entre frascos grandes y pequeños,

además se utilizó segmentos de manguera de silicona para evitar que los frascos se desvíen de su posición debido a la inercia en cada movimiento del eje.

- Se diseñó e implemento el mecanismo para realizar cambios de herramienta, el cual nos permite trabajar con 3 diferentes colores y tipos de gubias, así generar el diseño completo de una flor. Este mecanismo aprovecha la precisión de los motores para completar la tarea en un espacio reducido. Además, se utilizaron imanes de neodimio para mejorar el agarre de las herramientas.
- Se diseñó un circuito de control para el funcionamiento de todo el equipo incluyendo sensores, actuadores, y elementos de control como la pantalla táctil.
- Los firmwares utilizados para maquinas CNC de código abiertos no pudieron ser utilizados para nuestra aplicación por lo que, a partir de una base publicada en la página oficial de GNU, nos vimos en la obligación de desarrollar nuestro propio firmware programado en IDE de Arduino. Desde este programa podemos manejar la máquina tanto desde el computador como también desde la pantalla táctil a través de comunicación serial.
- Mediante Python se realizó un programa y una interfaz gráfica para generar el código G según los parámetros de la flor que el usuario necesite. Este programa genera un archivo de texto plano, que posteriormente se guardará en una tarjeta SD para que la maquina pueda leerlo y seguir sus instrucciones línea a línea.
- Al tratarse de desarrollo tecnológico enfocado a la gastronomía no se puede obtener resultados técnicos exactos, si no que depende de la respuesta sensorial del usuario al producto final, estos datos solo pueden ser analizados de manera estadística lo cual nos permite obtener una relación entre las variables y determinar si hubo una respuesta favorable al automatizar el proceso de decoración.

- El ingeniero mecatrónico al tener conocimiento en varios campos es capaz de idear soluciones en diferentes disciplinas no necesariamente relacionadas a la carrera, basta con saber lo necesario del proceso para poder dar una solución que genere beneficios y facilite procesos en cualquier área.
- La automatización de procesos es a menudo relacionada como un riesgo de desempleo, sin embargo, el objetivo de automatizar un proceso repetitivo o de riesgo es procurar el bienestar del ser humano y permitir enfocar su tiempo en otras labores de la empresa, en nuestro caso el marketing, ventas y administración para conseguir más clientes.

### **Recomendaciones**

- No manipular la maquina mientras está encendida, puesto que se trabaja con objetos cortopunzantes que pueden lastimar gravemente al operador.
- Verificar siempre que las bombas y los recipientes estén cargados de tinta puesto que si existen burbujas en los conductos estas impedirán que las bombas trabajen correctamente.
- Para hacer modificaciones en el firmware o ingresar en modo desarrollador para el control desde el computador, es necesario desconectar la pantalla táctil para que la comunicación serial no se vea interrumpida.
- Para un correcto funcionamiento de la maquina esta deberá ser ubicada en un soporte fijo que evite en lo posible las vibraciones.
- Se recomienda revisar periódicamente que las partes mecánicas estén bien ajustadas, tensión en las bandas y tornillos Z lubricados para prolongar la vida útil de la máquina.
- Al finalizar la producción se recomienda limpiar por completo las gubias, mangueras, bombas y frascos para evitar residuos que posteriormente puedan solidificarse y tapar las mangueras.

- Verificar que, al cargar la tinta desde los envases, la misma llegue hasta las gubias y no haya retorno, en caso de existir un retorno de tinta realizar ajuste en los tornillos de apriete de la manguera de silicona. Este ajuste se debe revisar periódicamente ya que la manguera se desgasta por el uso.

## CAPÍTULO 6

### Bibliografía

- A4988 Stepper Motor Driver Board – HandsOn Tech.* (s. f.). Recuperado 1 de diciembre de 2022, de <https://handsontec.com/index.php/a4988-stepper-motor-driver-board/>
- Algoritmo de Bresenham—GlosarioIT: Glosario Informático.* (s. f.). Recuperado 2 de diciembre de 2022, de [https://www.glosarioit.com/Algoritmo\\_de\\_Bresenham](https://www.glosarioit.com/Algoritmo_de_Bresenham)
- Almeida, F., & Molina, S. (2021). *Estudio del comportamiento reológico de las soluciones acuosas con dos tipos de bentonita de la región andina utilizados para lodos de perforación.* Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.
- Almeida-Bodero, I., Sotomíngua-Espinoza, G., & Cisneros-Pérez, N. (2021). *Aplicación de la manufactura aditiva en el procesamiento de alimentos Application of additive manufacturing in food processing Aplicação de manufatura aditiva no processamento de alimentos.* 6(9), 21.
- AWS. (2022, octubre 2). *¿Qué es Python?* <https://aws.amazon.com/es/what-is/python/>
- Bomba de jeringa – Advanced Instrumentations.* (s. f.). Recuperado 30 de noviembre de 2022, de <https://advanced-inst.com/bomba-de-jeringa/>
- Contreras, L. (2017, enero 26). *Dinara Kasko y el arte de la repostería con impresión 3D.* 3Dnatives. <https://www.3dnatives.com/es/dinara-kasko-reposteria-3d-26012017/>
- REGLAMENTO DE INVERSIONES DEL CODIGO ORGANICO DE LA PRODUCCION, n.º 757, Presidencia de la Republica (2011). <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/05/Literal-3.-Reglamento-del-Codigo-Organico-de-la-Produccion-Comercio-e-Inversiones-COPCI.pdf>
- Dieter, G., & Schmidt, L. (2012). *ENGINEERING DESIGN* (4th Edition). McGraw Hill.
- Fusible De Arcade Cabinet Switched Power Socket con interruptor y.* (s. f.). YaEsta.com. Recuperado 1 de diciembre de 2022, de <https://www.yaesta.com/b00f1yt0oc-fusible-de-arcade-cabinet-switched-power-socket-con-interruptor-y-5amp-jamma/p>

- GELITA. (2022, enero 15). *Propiedades Viscoelásticas*. Propiedades de la Gelatina.  
<https://www.gelita.com/es/conocimientos/gelatina/propiedades-de-la-gelatina/textura/propiedades-viscoelasticas>
- Isaac. (2019). *Nema 17: Todo sobre el motor paso a paso compatible con Arduino*.  
<https://www.hwlibre.com/nema-17/?msclkid=6e28dfa8d08b11ec910cbd7099728ae8>
- Jürgen Gausemeier & Stefan Moehring. (2003). *INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN*. 10.
- Laverde, A. (2020). *Norma IPC 2221B - Diseño de PCB*. Aldelta Technologies.  
<https://www.aldeiatec.com/blog-diseno-con-normas-y-certificaciones/norma-ipc-2221b-para-diseno-de-pcb-actualizacion/>
- Lema, A. O. L. (2018). *SISTEMA DE IMPRESIÓN PARA EL DEPÓSITO DE SEMICONDUCTORES ORGÁNICOS EMBEBIDOS EN MATERIALES POLIMÉRICOS [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO]*.  
<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/28687>
- Llamas, L. (2016, agosto 23). *Motores paso a paso con arduino y driver A4988 o DRV8825*.  
<https://www.luisllamas.es/motores-paso-paso-arduino-driver-a4988-drv8825/>
- Machado, M. (2010). *Automatización de los procesos productivos en la planta II división partes y piezas para la Empresa Indurama S. A.* Universidad de Cuenca.
- Miyatake, M., Narumi, K., Sekiya, Y., & Kawahara, Y. (2021). Flower Jelly Printer: Slit Injection Printing for Parametrically Designed Flower Jelly. *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1-10.  
<https://doi.org/10.1145/3411764.3445346>
- Mompeán, J. A. G. (2021, mayo 19). *Bomba peristáltica: ¿cuál es su funcionamiento y sus usos?* - Gargil Suministros. <https://gargil.es/bomba-peristaltica-cual-es-su-funcionamiento-y-sus-usos/>



- Morgado, L. del C. (2020). *Tendencias y desafíos de la impresión 3D en el procesado de alimentos* [UNIVERSIDAD DE SEVILLA]. 02-2020.  
<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/103891/DEL%20CASTILLO%20MORGADO%20LUCIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Naranjo, M. (2021, octubre 1). *Qué es el firmware de un dispositivo y por qué es importante que lo actualices*. <https://computerhoy.com/reportajes/tecnologia/firmware-dispositivo-importante-actualices-923641>
- NX4832T035—Nextion*. (s. f.). Recuperado 4 de diciembre de 2022, de <https://nextion.tech/datasheets/nx4832t035/>
- PCM. (2019). *Tecnología de las bombas peristálticas: Su funcionamiento*.  
<https://www.pcm.eu/es/petroleo-y-gas/soluciones-pcm/transporte-en-superficie-tecnologias/tecnologia-de-las-bombas-peristalticas>
- Postres Artísticos 3D (@postresartisticos3d) • Instagram photos and videos*. (s. f.). Recuperado 1 de noviembre de 2022, de <https://www.instagram.com/postresartisticos3d/>
- Ramirez, J. (2006). *Introducción a la reología de los alimentos* (1.<sup>a</sup> ed., Vol. 6). Recitela.
- Ramirez, W. (2018, diciembre 16). *POSTRES 3D*. Guía Artesanal del Ecuador.  
<https://guiaartesanaldeecuador.com/postres-3d/>
- Román, A. (2019). *Arduino Mega 2560*. Proyecto Arduino. <https://proyectoarduino.com/arduino-mega-2560/>
- Rosales, F., & Hernandez, F. (2010). *Static and Dynamic Yield Stresses of Aerosil® 200 Suspensions in Polypropylene Glycol*.  
[https://www.ar.ethz.ch/ARONLINE\\_FREE/AppIRheolSampleArticle20\\_22787.pdf](https://www.ar.ethz.ch/ARONLINE_FREE/AppIRheolSampleArticle20_22787.pdf)
- Rousselot. (2020, junio 24). *Entender la versatilidad de la gelatina*.  
<https://www.rousselot.com/es/rousselot-functional-ingredients/medios/blog/entender-la-versatilidad-de-la-gelatina>

- Set Gubias gelatina 3d Ref C. (s. f.). *Gadgets pasteleros*. Recuperado 1 de noviembre de 2022, de <https://www.gadgetsplasteleros.com/producto/set-gubias-gelatina-3d-ref-c/>
- The GNU Operating System and the Free Software Movement*. (s. f.). Recuperado 2 de diciembre de 2022, de <https://www.gnu.org/>
- Tomacorriente. (2021, octubre 8). *Cables y Conductores Eléctricos*.  
<https://cablesyconductores.com/tomacorriente/>
- Tomalá, M., & Vélez, J. (2018, julio 21). *ECUADOR: EL SECTOR ARTESANAL COMO FACTOR DE DESARROLLO DEL PAÍS*. <https://1library.co/article/ecuador-sector-artesanal-factor-desarrollo-pa%C3%ADs.yr14m97q>
- Trejo, P. (2022). *Los postres en 3D de la repostera y arquitecta Dinara Kasko*. GOURMET DE MÉXICO. <https://gourmetdemexico.com.mx/comida-y-cultura/los-postres-en-3d-de-la-repostera-y-arquitecta-dinara-kasko/>
- Ulrich, K., & Eppinger, S. (2013). *Diseño y desarrollo de productos* (Quinta). Mc Graw Hill.
- UNIT ELECTRONICS. (2018). *Servomotor SG90 RC 9g*.  
<https://uelectronics.com/producto/servomotor-sg90-rc-9g/>
- Ureta, S. (2015, enero 30). *Motores paso a paso en impresión 3D (II): Criterios de selección de motores y drivers*. dima3D printers. <https://www.dima3d.com/motores-paso-a-paso-en-impresion-3d-ii-criterios-de-seleccion-de-motores-y-drivers/>
- Velasco | *Sonido y Electrónica—FUENTE DE PODER CONMUTADA 12V 30A*. (s. f.).  
Recuperado 2 de diciembre de 2022, de  
<http://www.velasco.com.ec/velasco/producto.php?id=2798>
- Velasco, E., & Revelo, D. (2019). *Impresión 3D: la nueva revolución industrial*. 1(13), 60 71.
- Winger, R., & Wall, G. (2006). *Food product innovation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/j7193e/j7193e.pdf>

Yeguas, L. G. (2020). *Estudio de la bioimpresión de hidrogeles aplicados a la generación de piel artificial mediante impresión láser BA-LIFT* [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID]. <https://oa.upm.es/65708/>

## Apéndices