



**Diseño y construcción un prototipo agitador de miel de caña de azúcar mediante un sistema automático de depósito, para la fabricación de panela moldeable que permita mejorar la productividad del sector cañicultor artesanal**

Cortéz Dávalos, Jheison Iván

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

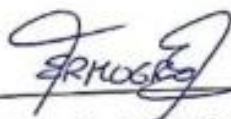
Trabajo de Unidad de Integración Curricular, previo a la obtención del Título de Ingeniero en  
Mecatrónica

Ing. Mogro Borja, María Fernanda

29 de febrero del 2024

Latacunga

## Reporte de verificación de contenido

Ing. Mogro Borja, María Fernanda

C. C.: 0503199598



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

**Carrera de Mecatrónica**

**Certificación**

Certifico que el trabajo de unidad de integración curricular: **"Diseño y construcción un prototipo agitador de miel de caña de azúcar mediante un sistema automático de depósito, para la fabricación de panela moldeable que permita mejorar la productividad del sector cañicultor artesanal"** fue realizado por el señor **Cortéz Dávalos, Jheison Iván**, 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 analizada 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.

Latacunga, 29 de febrero del 2024

**Ing. Mogro Borja, María Fernanda**

C. C.: 0503199598



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

**Carrera de Mecatrónica**

**Responsabilidad de autoría**

Yo, **Cortéz Dávalos, Jheison Iván**, con cédula de ciudadanía n° 1718123928, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de unidad de integración curricular: **Diseño y construcción un prototipo agitador de miel de caña de azúcar mediante un sistema automático de depósito, para la fabricación de panela moldeable que permita mejorar la productividad del sector cañicultor artesanal**, es de mi 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.

**Latacunga, 29 febrero de 2024**

**Cortéz Dávalos, Jheison Iván**

**C.C.: 1718123928**



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

**Carrera de Mecatrónica**

**Autorización de publicación**

Yo **Cortéz Dávalos, Jheison Iván**, con cédula de ciudadanía n° 1718123928, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de unidad de integración curricular: **Diseño y construcción un prototipo agitador de miel de caña de azúcar mediante un sistema automático de depósito, para la fabricación de panela moldeable que permita mejorar la productividad del sector cañicultor artesanal** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

**Latacunga, 29 de febrero de 2024**

**Cortéz Dávalos, Jheison Iván**

C.C.: 1718123928

### **Dedicatoria**

Dedicado a mi núcleo familiar en especial a mi madre Angélica que con su apoyo, sacrificio e inagotable dedicación por formarme como un profesional y hombre de bien y para bien, he logrado completar una etapa más de vida académica con aspiraciones de utilizar el conocimiento adquirido a lo largo de los años en la mejora constante.

A mi padre Luis que, gracias a sus enseñanzas y experiencias, transmitió la disciplina y valentía necesarias para formar un camino donde rendirse no es una opción.

Mi hermana Joselin de decisiones inquebrantables, con quien hemos sido cómplices de las situaciones donde sabíamos que podríamos salir adelante sin la necesidad de pedir ayuda demostrando de lo que somos capaces de hacer gracias a lo aprendido por nuestro núcleo familiar.

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios, el Universo, la vida en si por hacerme dueño de las decisiones que me llevo a estudiar esta carrera, y conocer a una familia de diferentes madres, pero de igual aspiraciones, donde un aporte de conocimiento tanto académico como de ser humano fueron nutrición en el día a día con el pasar del tiempo.

También a mi tutora de tesis, quien me ha brindado su ayuda a pesar de las adversidades que con una actitud de positivismo además de su conocimiento estuvo presente en este proceso para que se realice el proyecto.

Un Agradecimiento muy especial y sincero a mis amig@s de confianza quienes estuvieron al pendiente en el desarrollo de este propósito.

**ÍNDICE DE CONTENIDO**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Carátula.....</b>                               | <b>1</b>  |
| <b>Reporte de verificación de contenido .....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>Certificación .....</b>                         | <b>3</b>  |
| <b>Responsabilidad de autoría .....</b>            | <b>4</b>  |
| <b>Autorización de publicación .....</b>           | <b>5</b>  |
| <b>Dedicatoria .....</b>                           | <b>6</b>  |
| <b>Agradecimiento.....</b>                         | <b>7</b>  |
| <b>Índice de contenido .....</b>                   | <b>8</b>  |
| <b>Índice de figuras .....</b>                     | <b>14</b> |
| <b>Índice de tablas.....</b>                       | <b>17</b> |
| <b>Resumen.....</b>                                | <b>18</b> |
| <b>Abstract .....</b>                              | <b>19</b> |
| <b>Capítulo I Planteamiento del problema .....</b> | <b>20</b> |
| <b>Antecedentes.....</b>                           | <b>20</b> |
| <b>Planteamiento del problema .....</b>            | <b>21</b> |
| <b>Descripción del proyecto .....</b>              | <b>22</b> |
| <b>Justificación e importancia .....</b>           | <b>23</b> |
| <b>Importancia .....</b>                           | <b>24</b> |



|   |    |
|---|----|
| Innovación .....  | 24 |
| Alcance.....  | 25 |
| Objetivos del proyecto.....                             | 25 |
| <i>Objetivo general</i> .....                           | 25 |
| <i>Objetivos específicos</i> .....                      | 25 |
| Metodologías .....                                      | 26 |
| <i>Revisión bibliográfica</i> .....                     | 26 |
| <i>Experimentación</i> .....                            | 26 |
| <i>Inductivo</i> .....                                  | 26 |
| Hipótesis .....   | 27 |
| <i>Variables de investigación</i> .....                 | 27 |
| <i>Variables dependientes</i> .....                     | 27 |
| <i>Variables independientes</i> .....                   | 27 |
| Capítulo II Fundamentación Teórica e Investigación..... | 28 |
| Caña de azúcar .....                                    | 28 |
| Panela.....   | 29 |
| Proceso de producción de Panela.....                    | 30 |
| Corte de caña de azúcar .....                           | 32 |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Apilamiento de caña de azúcar .....</b>       | <b>33</b> |
| <b>Transporte de la panela .....</b>             | <b>34</b> |
| <b>Molienda de caña de azúcar .....</b>          | <b>36</b> |
| <b>Melado .....</b>                              | <b>38</b> |
| <b>Clarificación .....</b>                       | <b>40</b> |
| <b>Evaporación y concentración .....</b>         | <b>42</b> |
| <b>Punteo de miel.....</b>                       | <b>46</b> |
| <b>Batido de miel.....</b>                       | <b>47</b> |
| <b>Moldeo de la panela .....</b>                 | <b>48</b> |
| <b>Empacado .....</b>                            | <b>49</b> |
| <b>La Automatización y la agricultura .....</b>  | <b>50</b> |
| <b>Metodología del diseño .....</b>              | <b>51</b> |
| <b>Motor eléctrico siemens .....</b>             | <b>52</b> |
| <b>Arranque de un MTI.....</b>                   | <b>53</b> |
| <b>Variador de frecuencia.....</b>               | <b>54</b> |
| <b>Arduino UNO.....</b>                          | <b>54</b> |
| <b>Sensor HC-SR04 .....</b>                      | <b>55</b> |
| <b>Módulo convertidor de voltaje DC/DC .....</b> | <b>56</b> |

|  |    |
|--|----|
| Servomotor .....                                   | 57 |
| Pulsadores .....                                   | 58 |
| Luces piloto .....                                 | 59 |
| Acero inoxidable 304 .....                         | 60 |
| Termoplástico (Poliamida 6) .....                  | 61 |
| Softwares utilizados en el proyecto .....          | 62 |
| <i>Software de programación de PLC</i> .....       | 62 |
| <i>Software CAD</i> .....                          | 63 |
| Arduino IDE .....                                  | 64 |
| Capítulo III Selección de materiales .....         | 66 |
| Diseño conceptual .....                            | 66 |
| <i>Requerimientos</i> .....                        | 66 |
| Descripción del proyecto .....                     | 66 |
| <i>Necesidades del cliente</i> .....               | 67 |
| <i>Material aportado por el cliente</i> .....      | 68 |
| <i>Diseño eléctrico y electrónico</i> .....        | 68 |
| Parámetros del controlador programable (PLC) ..... | 68 |
| Selección del variador de frecuencia .....         | 71 |

|   |           |
|---|-----------|
| Selección del sensor de nivel .....   | 75        |
| Selección del actuador.....   | 77        |
| <b>Capítulo IV Diseño e implementación del prototipo agitador de miel de caña de azúcar</b>                     | <b>83</b> |
| Diseño mecánico.....  | 83        |
| <i>Tolva</i> .....  | 83        |
| Esfuerzos tangenciales.....   | 85        |
| Esfuerzos longitudinales.....   | 85        |
| Presión interna.....  | 86        |
| Diseño eléctrico.....   | 88        |
| <i>Elemento de seguridad</i> .....  | 89        |
| <i>Dimensionamiento de protección para los variadores de frecuencia entrada bifásica salida trifásica</i> ..... | 89        |
| Interruptor termomagnético del variador.....  | 90        |
| Interruptor termomagnético de la alimentación del PLC.....  | 91        |
| Algoritmo de programación .....   | 92        |
| Construcción de la parte mecánica.....  | 93        |
| Implementación del sistema electrónico .....  | 96        |
| Implementación de la programación Ladder .....  | 96        |
| <b>Capítulo V Análisis de pruebas y resultados</b> .....  | <b>98</b> |
| Pruebas de calibración .....  | 98        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Validación de la hipótesis .....</b>                 | <b>101</b> |
| <i>Datos obtenidos en modo manual .....</i>             | <i>101</i> |
| <i>Datos obtenidos en modo automático .....</i>         | <i>102</i> |
| <b>Capítulo VI Conclusiones y recomendaciones .....</b> | <b>107</b> |
| <b>Conclusiones.....</b>                                | <b>107</b> |
| <b>Recomendaciones.....</b>                             | <b>108</b> |
| <b>Bibliografía .....</b>                               | <b>109</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> <i>Caña de azúcar</i> .....                                      | 29 |
| <b>Figura 2</b> <i>Panela</i> .....  | 30 |
| <b>Figura 3</b> <i>Proceso de producción de panela</i> .....                     | 31 |
| <b>Figura 4</b> <i>Corte de la caña de azúcar</i> .....                          | 33 |
| <b>Figura 5</b> <i>Apilamiento de la caña de azúcar</i> .....                    | 34 |
| <b>Figura 6</b> <i>Transporte de la panela</i> .....                             | 35 |
| <b>Figura 7</b> <i>Molienda</i> .....  | 37 |
| <b>Figura 8</b> <i>Traslado y limpieza del guarapo</i> .....                     | 37 |
| <b>Figura 9</b> <i>Melado</i> .....  | 39 |
| <b>Figura 10</b> <i>Boca del horno</i> .....                                     | 39 |
| <b>Figura 11</b> <i>Cortezas vegetales</i> .....                                 | 40 |
| <b>Figura 12</b> <i>Mezcla llausa agua</i> .....                                 | 41 |
| <b>Figura 13</b> <i>Descachazado</i> .....                                       | 42 |
| <b>Figura 14</b> <i>Distribución de las pailas contenedoras de guarapo</i> ..... | 43 |
| <b>Figura 15</b> <i>Boca del horno</i> .....                                     | 44 |
| <b>Figura 16</b> <i>Tronera</i> .....  | 44 |
| <b>Figura 17</b> <i>Cambio de guarapo a miel</i> .....                           | 45 |
| <b>Figura 18</b> <i>Bagazo y leña</i> .....                                      | 46 |
| <b>Figura 19</b> <i>Punteo de la miel</i> .....                                  | 47 |
| <b>Figura 20</b> <i>Proceso de batido de miel</i> .....                          | 48 |
| <b>Figura 21</b> <i>Moldeo de la panela</i> .....                                | 49 |
| <b>Figura 22</b> <i>Empacado de la panela</i> .....                              | 50 |
| <b>Figura 23</b> <i>Automatización y agricultura</i> .....                       | 51 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 24</b> Organización del proceso estándar para el desarrollo de productos..... | 52 |
| <b>Figura 25</b> Motor eléctrico Siemens.....   | 53 |
| <b>Figura 26</b> Arranque de un MTI.....  | 53 |
| <b>Figura 27</b> Variador de frecuencia.....  | 54 |
| <b>Figura 28</b> Arduino UNO.....   | 55 |
| <b>Figura 29</b> Sensor HC-SR04.....  | 56 |
| <b>Figura 30</b> Módulo convertidor de voltaje DC/DC.....                               | 57 |
| <b>Figura 31</b> Servomotor DS3225 25 kg.....   | 58 |
| <b>Figura 32</b> Pulsadores.....  | 59 |
| <b>Figura 33</b> Luces piloto .....   | 60 |
| <b>Figura 34</b> Acero inoxidable .....   | 61 |
| <b>Figura 35</b> Termoplástico.....   | 62 |
| <b>Figura 36</b> Software de programación PLC.....                                      | 63 |
| <b>Figura 37</b> Software de diseño CAD.....  | 64 |
| <b>Figura 38</b> Arduino IDE.....   | 65 |
| <b>Figura 39</b> Sistemas del prototipo agitador.....                                   | 67 |
| <b>Figura 40</b> Diseño de la tolva.....  | 83 |
| <b>Figura 41</b> Dimensiones de la tolva .....  | 84 |
| <b>Figura 42</b> Propiedades mecánicas del acero AISI 304.....                          | 88 |
| <b>Figura 43</b> Variador de frecuencia DFL 100-00150T4.....                            | 89 |
| <b>Figura 44</b> Interruptor termomagnético del variador.....                           | 90 |
| <b>Figura 45</b> Interruptor termomagnético de la alimentación del PLC.....             | 91 |
| <b>Figura 46</b> Conexión electrónica del PLC.....                                      | 92 |
| <b>Figura 47</b> Diagrama Grafcet.....  | 93 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 48</b> <i>Prototipo agitador de miel</i> .....            | 94  |
| <b>Figura 49</b> <i>Construcción de la tolva</i> .....              | 95  |
| <b>Figura 50</b> <i>Construcción del mecanismo de agitado</i> ..... | 95  |
| <b>Figura 51</b> <i>Construcción de la tolva</i> .....              | 96  |
| <b>Figura 52</b> <i>Programación Ladder</i> .....                   | 97  |
| <b>Figura 53</b> <i>Programación Ladder</i> .....                   | 97  |
| <b>Figura 54</b> <i>Tabla T-Student</i> .....                       | 105 |



## ÍNDICE DE TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 1</b> <i>Necesidades del cliente</i> .....  | 67  |
| <b>Tabla 2</b> <i>Material aportado por el cliente</i> .....   | 68  |
| <b>Tabla 3</b> <i>Parámetros del controlador lógico programable</i> .....                                  | 69  |
| <b>Tabla 4</b> <i>Criterios de selección y alternativas para selección un PLC</i> .....                    | 70  |
| <b>Tabla 5</b> <i>Criterios de selección y alternativas para selección el variador de frecuencia</i> ..... | 72  |
| <b>Tabla 6</b> <i>Alternativas para la selección del variador de frecuencia</i> .....                      | 73  |
| <b>Tabla 7</b> <i>Criterios de selección y alternativas para selección del sensor de nivel</i> .....       | 75  |
| <b>Tabla 8</b> <i>Alternativas para la selección del variador de frecuencia</i> .....                      | 76  |
| <b>Tabla 9</b> <i>Criterios de selección y alternativas para selección del sensor de nivel</i> .....       | 77  |
| <b>Tabla 10</b> <i>Alternativas para la selección del actuador</i> .....                                   | 78  |
| <b>Tabla 11</b> <i>Parámetros dirigidos a los requerimientos de los sistemas y subsistemas</i> .....       | 79  |
| <b>Tabla 12</b> <i>Selección del concepto de los elementos presentes en cada subsistema</i> .....          | 80  |
| <b>Tabla 13</b> <i>Principales componentes presentes en el prototipo</i> .....                             | 88  |
| <b>Tabla 14</b> <i>Principales componentes presentes en el prototipo</i> .....                             | 90  |
| <b>Tabla 15</b> <i>Principales componentes presentes en el prototipo</i> .....                             | 91  |
| <b>Tabla 16</b> <i>Nomenclatura del GRAFCET</i> .....  | 92  |
| <b>Tabla 17</b> <i>Pruebas de calibración para 5 moldes de panela</i> .....                                | 98  |
| <b>Tabla 18</b> <i>Pruebas de calibración para 15 moldes de panela</i> .....                               | 99  |
| <b>Tabla 19</b> <i>Pruebas de calibración para 25 moldes de panela</i> .....                               | 100 |
| <b>Tabla 20</b> <i>Pruebas de calibración para 30 moldes de panela</i> .....                               | 100 |
| <b>Tabla 21</b> <i>Datos obtenidos en modo manual</i> .....  | 101 |
| <b>Tabla 22</b> <i>Datos obtenidos en modo manual de producción de 25 moldes</i> .....                     | 102 |
| <b>Tabla 23</b> <i>Datos obtenidos en modo automático de producción de 25 moldes</i> .....                 | 102 |
| <b>Tabla 24</b> <i>Datos obtenidos en modo automático</i> .....  | 103 |

## Resumen

En la industria agroalimentaria, uno de los procedimientos clave es la producción de panela, ya sea en forma moldeable o en polvo. En el caso específico de la elaboración de panela moldeable, un paso crucial implica batir la miel de caña de azúcar para obtener una mezcla uniforme que luego se coloca en moldes correspondientes, como se lleva a cabo en la finca Yaguira. Actualmente, esta etapa se realiza de manera manual y artesanal por los trabajadores del lugar. Sin embargo, esta práctica se enfrenta a desafíos significativos, como la baja productividad debido a su naturaleza repetitiva y la considerable exigencia física que conlleva. Ante esta realidad, surge la necesidad imperante de introducir maquinaria para automatizar este proceso en la fabricación de panela en molde. La implementación de maquinaria no solo busca incrementar la eficiencia en los tiempos de producción, sino también mejorar la calidad del producto final y reducir las pérdidas de panela. Es esencial lograr estos avances sin comprometer la tradición en la elaboración de la panela, manteniendo la coherencia con los requisitos del consumidor final. Este documento aborda una investigación exhaustiva del estado actual de la miel de caña de azúcar y la producción de panela. A partir de esta investigación, se han identificado las necesidades del cliente y se han convertido en requisitos técnicos. Este proceso ha dado lugar al diseño de un prototipo que abarca aspectos mecánicos, eléctricos y electrónicos, junto con un sistema de automatización para el vaciado de la panela. El documento detalla el proceso de construcción y ensamblaje de los diversos componentes integrados en el prototipo, incluyendo pruebas de funcionamiento y la validación de hipótesis con los resultados deseados.

*Palabras clave:* industria agroalimentaria, panela moldeable, agitador de miel, deposito automático, tolva.

## Abstract

In the agri-food industry, one of the key procedures is the production of panela, either in moldable or powdered form. In the specific case of moldable panela production, a crucial step involves beating the sugarcane honey to obtain a uniform mixture that is then placed in corresponding molds, as is done at the Yaguira farm. Currently, this step is carried out manually and artisan ally by local workers. However, this practice faces significant challenges, such as low productivity due to its repetitive nature and the considerable physical demands involved. Given this reality, the imperative need arises to introduce machinery to automate this process in the manufacture of molded panela. The implementation of machinery not only seeks to increase efficiency in production times, but also to improve the quality of the final product and reduce panela losses. It is essential to achieve these advances without compromising the tradition in the production of panela, while maintaining consistency with the requirements of the final consumer. This paper addresses a comprehensive investigation of the current state of sugarcane honey and panela production. From this research, customer needs have been identified and converted into technical requirements. This process has resulted in the design of a prototype that encompasses mechanical, electrical and electronic aspects, together with an automation system for the emptying of the panela. The document details the process of construction and assembly of the various components integrated in the prototype, including functional tests and validation of hypotheses with the desired results.

*Keywords:* agri-food industry, moldable panela, honey agitator, automatic tank, hopper.

## Capítulo I

### Planteamiento del problema

#### Antecedentes

La tecnología de producción de panela no ha variado sustancialmente a través de los años, debido a que el producto es obtenido como el resultado del cocimiento y evaporación del jugo de caña de manera artesanal. El proceso en general consiste en moler la caña, separar las impurezas, calentar el jugo, descachazar, evaporar hasta el punto de miel, realizar el batido y finalmente el moldeo.

Por la importancia de este tema, se han realizado trabajos similares, los cuales se presentan a continuación:

“Construcción de un prototipo mecánico de batido para mejorar el proceso de producción de panela granulada artesanal” desarrollado por (Collaguazo & Játiva, 2007) perteneciente a la Universidad Politécnica Nacional manifiestan que la forma actual del batido a mano puede ser sustituido por una máquina que garantice uniformidad de batido en la miel y evite la cercanía entre la batea y el operador logrando que la máquina produzca de 14 a 16 libras y se reduzca el tiempo de producción de 30 min a 10 min, para esto será necesario verificar el punto de la miel adecuado para que exista facilidad al momento de granular y el producto se obtiene totalmente libre de humedad.

Por su parte el autor (Castellanos, 2019) de la Universidad Autónoma de Bucaramanga, Colombia, ha desarrollado el “Diseño y construcción de una máquina para la producción de panela pulverizada”, en este tema se establece como el proceso de automatización sirve para mejorar la producción de panela, mediante el uso de herramientas tecnológicas se optimizara el rendimiento, la eficiencia y tener un control de cada etapa del proceso así se garantizara una mejor calidad en el producto final.

(Portocarrero, 2019) en la Universidad Nacional de Piura Perú desarrollo un prototipo con el objetivo de automatizar el proceso de cristalización de la panela granulada a partir de la miel de caña de azúcar, esta máquina fue diseñada mecánicamente con una capacidad de 180 litros, una velocidad que oscila entre 70 y 118 RPM y una potencia de 4 HP. Se realizaron pruebas para determinar las dimensiones, geometría y material adecuado para su construcción, además, se incorporó un sistema de control manual de lazo cerrado y el uso de software de ingeniería para regular la velocidad y el encendido/apagado de los componentes y programar el controlador. Todo esto con el fin de mejorar y aumentar la eficiencia del proceso de producción de panela granulada.

En la parroquia de Pacto, ubicada en la provincia de Pichincha, la mayoría de las familias se dedican a la producción de panela utilizando métodos orgánicos y cuentan con diversas certificaciones nacionales e internacionales que avalan la calidad de sus productos, como por ejemplo la certificación EC-BIO-141 de Agricultura de Ecuador, las políticas BPM (Buenas Prácticas de Manufactura), la certificación orgánica de CCPP de Italia, la certificación BCS ÖKO-GARANTIE de Alemania, entre otras. Además, tanto la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA) como el Gobierno Provincial de Pichincha brindan capacitaciones a los cultivadores de caña de azúcar sobre los requisitos necesarios para obtener la Notificación Sanitaria de los productos. Actualmente, la panela se presenta en diferentes formas, ya sea moldeada o pulverizada, y se ha venido produciendo de manera orgánica por generaciones, sin la utilización de químicos y con una maquinaria mínima, aunque esta actividad requiere de un gran esfuerzo físico.

### **Planteamiento del problema**

En la zona de Pacto actualmente, la producción de panela depende en gran medida a la mano de obra familiar, lo que desencadena una serie de desafíos que afectan la rentabilidad del producto. La elaboración artesanal de la panela se lleva a cabo utilizando métodos

rudimentarios y obsoletos, lo que hace que el producto final no sea consistente en términos de calidad y dificulta el acceso a un mercado diverso. La producción artesanal se enfoca principalmente en la elaboración de panela en molde o en polvo, utilizando principalmente trapiches que funcionan con motores de combustión interna en un 85% del proceso, mientras que el 15% restante es impulsado por animales de carga como mulas, burros y caballos.

Uno de los procesos más importantes en la elaboración de la panela es el "batido de la miel", en este paso se requiere de un gran esfuerzo físico por parte de los trabajadores y no se somete a un control sanitario riguroso, la elaboración de la panela en esta etapa enfrenta la falta de control sanitario y control de tiempo de producción. Al no controlar el tiempo en que la miel debe pasar de un estado adhesivo a uno moldeable se provoca la pérdida de una cantidad significativa de producto durante el traslado de las pailas a los moldes debido a derrames involuntarios y a la solidificación de la miel en la paila mientras se lleva a cabo el proceso, echando a perder el lote de producción.

### **Descripción del proyecto**

El presente trabajo de integración curricular sobre: "Diseño y construcción un prototipo agitador de miel de caña de azúcar mediante un sistema automático de depósito, para la fabricación de panela moldeable que permita mejorar la productividad del sector cañicultor artesanal" se consideró lo siguiente:

Se realizó una fundamentación teórica que abordó todos los componentes involucrados para el desarrollo de un prototipo de agitador automático para la miel de caña de azúcar. Esta fundamentación se basó en fuentes bibliográficas confiables, que incluyeron repositorios digitales, normativas, manuales y artículos pertinentes.

Se determinó el procedimiento estándar utilizado para la realización de la panela, así como los equipos que son utilizados actualmente, las normativas vigentes y cada uno de los componentes que pueden mejorar el rendimiento y la optimización de la materia prima para la elaboración de una mayor cantidad de producto final. Para lograr esto, se describirán con

detalle los distintos conjuntos de componentes mecánicos, eléctricos, electrónicos y de control involucrados en la construcción y funcionamiento del dispositivo.

El primer sistema comprenderá un soporte mecánico que permita alojar los demás sistemas y este servirá como base para la tolva, aquí la miel de panela estará en constante movimiento gracias a un mecanismo de aspas, este conjunto de elementos mecánicos se diseñará en función de la capacidad de producción de la fábrica de miel, que es de 25 litros por volumen de producción y se llevará a cabo mediante un proceso de modelado y estudio computacional e ingeniería para asegurar la resistencia de los materiales de construcción.

El sistema subsiguiente del prototipo involucra la parte eléctrica-electrónica y se enfoca en la implementación de sensores y actuadores para facilitar el vertido de la panela moldeable en los recipientes correspondientes, y asegurar la entrega de torque necesario para el batido. Este sistema debe adaptarse al aumento del momento de fuerza que genera la densidad de la mezcla y para ello se requiere un sistema de control que monitoree la evolución del proceso en tiempo real evitando así la pérdida o el desperdicio del lote de producción.

Finalmente, para comprobar que el prototipo es capaz de agitar la miel para producir la panela y controlar el depósito del producto, se llevarán a cabo pruebas parciales de cada sistema y pruebas integrales para verificar el correcto funcionamiento del prototipo. El diseño de los diferentes equipos se enfocará en conseguir tiempos apropiados y un coste asequible, a la vez que cumple con los estándares de sanidad y los procedimientos de calidad. Además, se entregará la documentación necesaria del proyecto para garantizar su viabilidad.

### **Justificación e importancia**

La finalidad de crear un prototipo automatizado para la producción de panela moldeada es optimizar la eficiencia y rentabilidad del proceso productivo mediante la reducción del trabajo manual y la maximización de los recursos naturales. Además, su implementación permitirá garantizar una mayor uniformidad y consistencia en la producción, mejorando así la calidad del producto final. Asimismo, el uso de un prototipo automatizado reduciría los riesgos asociados a

la pérdida de lotes de producción al disminuir la probabilidad de errores humanos, sin dejar de lado el método tradicional de producción de panela orgánica, lo que reforzaría la seguridad alimentaria y la salud pública. En consecuencia, el desarrollo de un prototipo automatizado para la producción de panela moldeada tiene múltiples justificaciones técnicas que pueden optimizar la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad de la agroindustria panelera.

### **Importancia**

El objetivo del prototipo es mejorar la calidad de la panela moldeada mediante la implementación de un sistema de control de tiempos que evite derrames y pérdidas de lotes. La automatización también proporcionará beneficios en términos de higiene, ya que la manipulación manual del operario será eliminada, lo que reducirá el riesgo de enfermedades profesionales asociadas al cansancio y al esfuerzo físico. La implementación del prototipo permitirá una mayor eficiencia en la producción, al tiempo que se garantiza un control más preciso y seguro del proceso de fabricación de la panela moldeada.

### **Innovación**

El uso de tecnología para automatizar procesos en la agricultura no es común y puede proporcionar una ventaja competitiva significativa. Además, la automatización puede mejorar la eficiencia y la productividad, permitiendo un mayor volumen de producción con menos esfuerzo humano. También puede reducir el riesgo de errores humanos y garantizar la uniformidad en la producción, lo que resultará en una mayor calidad del producto final. La implementación de la automatización también puede reducir los costos de producción a largo plazo, ya que se requiere una inversión inicial en tecnología, pero el ahorro de tiempo y recursos humanos puede generar un retorno de inversión a largo plazo. En general, reemplazar un trabajo manual y artesanal por un prototipo que permita la automatización del proceso puede ser una innovación disruptiva que transforma la forma en que se realiza la agricultura y puede



proporcionar una ventaja competitiva significativa a los productores que adopten esta tecnología.

### **Alcance**

El proceso de elaboración de panela consta de múltiples etapas. En primer lugar, se lleva a cabo el cultivo de la caña de azúcar, la cual se cosecha y se traslada a la fábrica de panela. Una vez allí, la caña de azúcar es sometida a un proceso de molienda para extraer el jugo de caña conocido como "guarapo". Este jugo es sometido a un proceso de cernido y limpieza para eliminar impurezas y luego se procede al hervido y evaporación para obtener la miel de panela. En este punto, es donde entra en acción el prototipo, el cual se encarga del batido de la miel para obtener la panela moldeada que será empacada en la etapa final del proceso. La automatización del proceso de batido permite mejorar la eficiencia y la calidad del producto final, ya que se asegura una mezcla uniforme de la miel antes de ser moldeada.

### **Objetivos del proyecto**

#### ***Objetivo general***

Diseñar y construir un prototipo agitador de miel de caña de azúcar mediante un sistema automático de depósito, para la fabricación de panela moldeable que permita mejorar la productividad del sector cañicultor artesanal.

#### ***Objetivos específicos***

Investigar el estado del arte de la miel de caña de azúcar y producción de panela para obtener información de parámetros los cuales faciliten la selección de materiales y equipos para el prototipado.

Diseñar un prototipo mecánico que albergue el sistema electrónico y de control además de la cantidad necesaria de miel de acuerdo con el número de moldes presentes en la producción.

Diseñar un sistema eléctrico-electrónico que permita obtener un funcionamiento correcto de sensores y actuadores presentes en el prototipo.

Diseñar un sistema de Automatización Industrial, permitiendo un control del sistema eléctrico-electrónico

Construir el diseño propuesto para obtener el prototipo funcional, verificando el correcto funcionamiento de cada una de las etapas integradas.

Validar experimentalmente el prototipo construido de acuerdo con las especificaciones establecidas para el proyecto, incorporando las mejoras en caso de ser necesario.

### **Metodologías**

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron diferentes metodologías y técnicas de recopilación de información entre las que se destacan:

#### ***Revisión bibliográfica.***

Necesaria para la búsqueda y análisis de fuentes bibliográficas, tales como libros, artículos científicos, tesis, entre otros, relacionados con el proceso de producción de panela y prototipos relacionados. Esta técnica permite conocer los antecedentes, el estado actual del conocimiento, y las diferentes posturas que existen sobre el tema.

#### ***Experimentación***

Este método se efectuará para analizar el comportamiento del sistema mediante pruebas del prototipo, además se utilizará para comprobar la hipótesis mediante la manipulación de variables.

#### ***Inductivo***

Mediante la ejecución de este método, se obtendrá conclusiones generales a partir de datos y conocimientos en el cumplimiento de objetivos específicos adquiridos durante la creación y pruebas de funcionamiento del prototipo propuesto en el desarrollo del presente proyecto

**Hipótesis**

¿La implementación de un prototipo agitador de miel de caña de azúcar mediante un sistema automático de depósito en la fabricación de panela moldeable mejorará la productividad del sector cañicultor artesanal al optimizar el proceso de producción?

***Variables de investigación***

A continuación, se detallarán las variables necesarias para el proyecto de investigación.

***Variables dependientes***

Prototipo agitador de miel de caña de azúcar mediante un sistema automático de depósito.

***Variables independientes***

Mejorar la productividad del sector cañicultor

## Capítulo II

### Fundamentación Teórica e Investigación

En esta sección, se realizará la investigación teórica del proyecto de titulación, destacando los aspectos más relevantes que se considerarán tanto en el proceso de diseño como en el de implementación de un agitador de miel de caña de azúcar mediante un sistema automático de depósito, para la fabricación de panela moldeable que permita mejorar la productividad del sector cañicultor artesanal

#### Caña de azúcar

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es una planta perenne perteneciente a la familia de las gramíneas. Su origen radica en Asia tropical, es cultivada en climas cálidos y húmedos alrededor del mundo. Su estructura presenta tallos fibrosos y jugosos que pueden crecer varios metros de altura, sus hojas son largas, estrechas y se agrupan en la parte superior de los tallos. (Mendonca, 2017)

A través del tiempo el cultivo de la caña de azúcar ha desempeñado un papel significativo en la economía global. La sacarosa contenida en los tallos se extrae mediante procesos de molienda y purificación para producir azúcar de caña, que es un ingrediente fundamental en la industria alimenticia. Además del azúcar de esta planta se pueden obtener diferentes productos como la panela, el ron, la melaza y el etanol. (Agrosavia, 2016)

**Figura 1***Caña de azúcar*

*Nota.* En la figura se observa la planta de la caña de azúcar de la plantación de la finca Yaguira-Pacto

**Panela**

La panela es un producto derivado de la caña de azúcar y se obtiene a través del proceso de evaporación del jugo de la caña. A diferencia del azúcar refinado, la panela conserva más nutrientes y minerales, ya que no se somete a procesos de refinación intensiva. El proceso para obtener la panela generalmente involucra hervir el jugo de caña de azúcar hasta que se evapore la mayor parte del agua, dejando atrás una sustancia densa y granulada. La panela es conocida por su color marrón oscuro y su sabor dulce característico. (Obando, 2010)

La panela se utiliza de diversas formas en la cocina. Como endulzante natural, puede rallarse, derretirse o disolverse en líquidos para agregar dulzor a una variedad de alimentos y bebidas. Es un ingrediente clave en bebidas tradicionales, como el aguapanela, una bebida caliente hecha disolviendo panela en agua.

En la repostería y en la preparación de postres, la panela también desempeña un papel importante, proporcionando su sabor característico y una dulzura natural. Su uso va más allá de simplemente endulzar, ya que muchos aprecian la panela por su proceso de producción menos intensivo y por conservar más nutrientes que otros edulcorantes procesados. (Corrales, 2012)

Además de su función como fuente de energía rápida debido a su contenido de sacarosa, la panela aporta beneficios nutricionales, siendo una fuente de minerales y vitaminas. En muchas culturas y comunidades, la panela es valorada por su producción artesanal y por ser una alternativa más natural y menos procesada a otros edulcorantes disponibles en el mercado. (Molinero, 2019)

## **Figura 2**

### *Panela*



*Nota.* En la figura se observa una panela moldeada. Tomada de (AVN, 2018)

## **Proceso de producción de Panela**

Según (Gonzales, 2009), el proceso de producción de panela es un método artesanal que inicia con la cosecha de caña de azúcar en climas cálidos. Una vez cosechada, la caña se somete a procesos de molienda para extraer el jugo. Posteriormente, el jugo filtrado se somete a una etapa de evaporación, donde se hierva a fuego lento para eliminar el exceso de agua, concentrando los azúcares y formando cristales.

Después de alcanzar la concentración deseada, el líquido se vierte en moldes, generalmente de madera o metal, dando a la panela su forma característica, que puede ser en bloques, cilindros u otras formas dependiendo de cada productor. Una vez vertida en los moldes, la panela se deja enfriar y endurecer, adquiriendo su textura sólida y granulada. Finalmente, tras este proceso, la panela se desmolda y se empaqueta para su distribución y venta, a menudo en bloques o envases que preservan su forma y calidad. (Corrales, 2012)

Es fundamental destacar que este proceso puede variar ligeramente según las prácticas locales y las tradiciones de cada región productora de panela. La producción artesanal es una característica distintiva, y este método se lleva a cabo a menudo en comunidades locales, contribuyendo a la economía agrícola en áreas tropicales al tiempo que conserva nutrientes importantes en el producto final. (Carlosama, 2009)

### **Figura 3**

*Proceso de producción de panela*



*Nota.* En la imagen se presenta el proceso tradicional de producción de la panela. Tomada de (DiarioHuila, 2021)

### **Corte de caña de azúcar**

El corte de la caña de azúcar es una fase esencial en la producción de azúcar y sus derivados, antes del proceso de cosecha, se realiza una preparación del campo, que implica la limpieza y eliminación de malezas para facilitar el corte. La elección del momento óptimo de cosecha es crítica, generalmente cuando la caña ha alcanzado la madurez adecuada en términos de contenido de azúcares. (Ortiz, 2012)

Tradicionalmente, el corte de caña se lo realiza de manera manual con machetes. Sin embargo, en la actualidad existen cosechadoras de caña, maquinarias especializadas, son comunes y agilizan significativamente el proceso. En algunas regiones o pequeñas plantaciones, el corte manual aún puede ser práctica común, donde los trabajadores, equipados con machetes, cortan las cañas a nivel del suelo. (Rebollar, 2017)

Después del corte, la caña se transporta a la siguiente fase del proceso. Las cosechadoras mecanizadas a menudo tienen sistemas integrados para cargar automáticamente la caña en vehículos de transporte. Este proceso de corte es continuo, ya que los campos se cosechan en secciones, asegurando un suministro constante para las instalaciones de procesamiento. (Ortiz, 2012)

Es importante destacar que el bagazo, los residuos de caña generados después del corte, puede tener usos adicionales. Puede ser aprovechado como combustible para la generación de energía o utilizado en otros procesos industriales, contribuyendo así a una gestión más sostenible de los subproductos de la caña de azúcar. La mecanización ha desempeñado un papel fundamental en mejorar la eficiencia y la productividad en la cosecha de caña de azúcar, especialmente en grandes plantaciones. (Corrales, 2012)



**Figura 4**

*Corte de la caña de azúcar*



*Nota.* En la imagen se presenta el proceso de corte de la caña de azúcar realizado por los zafreros de la finca Yaguira-Pacto

**Apilamiento de caña de azúcar**

El apilamiento de caña de azúcar de manera tradicional es una parte crucial del proceso de preparación para su procesamiento.

Después de la cosecha de la caña de azúcar, ya sea manualmente con machetes o mediante cosechadoras mecánicas, se inicia el proceso de apilamiento. Este paso sigue inmediatamente al corte para garantizar la frescura y calidad de la caña. Los trabajadores seleccionan las cañas cortadas, eliminando aquellas que no cumplen con los estándares de calidad, se agrupan las cañas en haces o montones para facilitar el transporte y la manipulación posterior, luego las cañas agrupadas se apilan en forma de pilas o montones en el campo. Esta disposición permite una mejor circulación de aire y ayuda a prevenir la fermentación prematura o la pérdida de calidad. (Rebollar, 2017)

En algunas regiones, especialmente donde hay riesgo de lluvias o condiciones climáticas adversas, las pilas de caña pueden cubrirse con hojas de la misma planta o con

otros materiales para protegerlas de la humedad y prevenir la descomposición. Una vez que las pilas están formadas, la caña de azúcar puede esperar en el campo hasta que sea el momento de transportarla a la instalación de procesamiento. Esto puede ocurrir en el mismo día o según el cronograma de operaciones. (Agrosavia, 2016)

### **Figura 5**

#### *Apilamiento de la caña de azúcar*



*Nota.* En la imagen se presenta el apilamiento de la caña de azúcar realizado por los zafreros de la finca Yaguira-Pacto

### **Transporte de la panela**

En la región Noroccidental de Pichincha, donde numerosos productores de panela operan, el transporte de la caña hasta la fábrica se realiza mediante diversos vehículos, especialmente cuando hay una red de caminos adecuados. La viabilidad de esta práctica se ve influenciada por la distancia a recorrer, las características topográficas del terreno y la eficiencia general del proceso. Este método se ha demostrado como una opción eficaz y eficiente para el traslado de la materia prima. (Rebollar, 2017)

En el contexto del proyecto de integración curricular en esta área, se ha adoptado una estrategia más tradicional, utilizando animales de carga para facilitar la fase del proceso. Estos animales, ya sean caballos o mulas, están equipados con una montura o angarilla

específicamente adaptada para este propósito. Conocida como "angarilla", esta estructura se coloca sobre el lomo del animal, cubierta con una capa protectora de tela según la denominación de los trabajadores. El transporte de la caña utilizando esta metodología demora entre 15 y 30 minutos, dependiendo de la distancia y las características geográficas del terreno, realizándose semanalmente de 17 a 25 recorridos llamados "viajes". Cada viaje realizado por el animal tiene la capacidad de cargar un estimado de 10 a 15 unidades de panela moldeable. Este enfoque, además de respetar las prácticas locales, destaca la integración de métodos tradicionales con procesos más contemporáneos en el ciclo de producción de la panela. (Ortiz, 2012)

Es fundamental resaltar que el lapso entre el corte de la caña y la extracción del jugo no debe superar los 3 a 6 días. Exceder este periodo compromete de manera significativa la calidad del producto final. La frescura de la caña es esencial para asegurar que el jugo obtenido conserve sus propiedades óptimas y evite cualquier deterioro que podría afectar negativamente la calidad de la panela resultante. Este riguroso control temporal es una salvaguarda esencial para garantizar un producto final de la más alta calidad. (Agrosavia, 2016)

### **Figura 6**

*Transporte de la panela*



*Nota.* En la imagen se presenta el transporte de la panela de la caña de azúcar realizado por los zafreros de la finca Yaguira-Pacto

### **Molienda de caña de azúcar**

Según (Agrosavia, 2016) después de la detallada fase de apilamiento de la caña, se inicia una etapa vital en el proceso. En esta etapa, se utiliza un motor de combustión de 15 hp para poner en marcha un complejo mecanismo conocido como trapiche. Este dispositivo, compuesto por masas paralelas, ruedas dentadas, una banda y una polea, requiere la participación de dos personas. Una de ellas se encarga de introducir la caña en un extremo del trapiche, mientras que la otra, denominada bagacero, organiza los residuos de caña molidos y los acumula en un área específica. Estos residuos, conocidos como bagazo, se dejan secar durante 3 a 4 semanas para luego ser reutilizados como combustible en los hornos de la fábrica, como se muestra en la Figura 6.

El propósito principal de la Figura 7 es visualizar la esencia de esta etapa: la extracción del jugo de caña o guarapo. Este líquido se recoge en recipientes estratégicamente conectados, los cuales dirigen el guarapo hacia contenedores o pailas, marcando así el inicio de la siguiente fase del proceso. Es crucial destacar que los recipientes cuentan con un sistema de filtrado eficiente diseñado para evitar que impurezas o elementos no nutritivos avancen junto con el guarapo. (Maya & Ordoñez, 2017)

El proceso de molienda, una actividad repetitiva y esencial, ocupa entre 2 y 3 horas en la finca La Yaguira. Este período puede variar en otras instalaciones de producción de panela, dependiendo del tamaño del contenedor del guarapo y de las especificaciones técnicas de la maquinaria utilizada en cada fábrica. Aunque laborioso, este paso es crucial para extraer el jugo de la caña de manera eficiente y garantizar la calidad del producto final. (Ramos, 2020)

**Figura 7***Molienda*

*Nota.* En la imagen se presenta el proceso de molienda de la caña de azúcar realizado por los zafreros de la finca Yaguira-Pacto

**Figura 8***Traslado y limpieza del guarapo*

*Nota.* En la imagen se presenta el proceso de molienda de la caña de azúcar realizado por los zafreros de la finca Yaguira-Pacto

## **Melado**

En el proceso de producción de panela, el melado juega un papel significativo. Después de la molienda de la caña de azúcar, se obtiene un líquido conocido como guarapo, que es esencialmente el jugo de la caña. Este guarapo contiene azúcares, minerales y otros compuestos solubles. Para transformar este jugo en panela, se lleva a cabo la etapa de melado. (Maya & Ordoñez, 2017)

La primera fase del melado implica la cocción del guarapo en grandes calderas. Durante este proceso de ebullición, el agua se evapora gradualmente, concentrando los azúcares y otros componentes presentes en el guarapo. A medida que la ebullición continúa, se obtiene un líquido espeso y viscoso, conocido como melado. (Castillo, 2004)

El melado resultante tiene un color oscuro y un sabor característico debido a la caramelización de los azúcares durante la cocción. Además de ser un paso crucial en la producción de panela, el melado también se utiliza en la fabricación de otros productos, como la melaza, que es un subproducto valioso.

Después de obtener el melado, se procede a la siguiente fase del proceso de producción de panela. El melado se vierte en moldes específicos, donde se solidifica y adquiere la forma deseada. Posteriormente, estos bloques de panela se enfrían y se encuentran listos para ser empacados y distribuidos. (Castillo, 2004)

El melado, al ser una fase intermedia entre el guarapo y la panela final, contribuye a la concentración de sabores y nutrientes esenciales. Su proceso de obtención implica conocimientos específicos sobre la gestión del calor y el tiempo de cocción para lograr la calidad deseada en el producto final, la panela. (Ramos, 2020)

**Figura 9**

*Melado*



*Nota.* En la imagen se presenta el proceso de melado de la caña de azúcar realizado por los zafreros de la finca Yaguira-Pacto

**Figura 10**

*Boca del horno*



*Nota.* En la imagen se presenta la boca del horno para producción de panela de la finca Yaguira

### **Clarificación**

Cuando el guarapo llega a las pilas y el horno está en marcha, comienza la fase de limpieza, se añade cáscaras vegetales machacadas que fueron limpiadas de previamente, como se observa en la Figura 11. Se mezcla estas cáscaras con agua, y eso nos da una sustancia viscosa llamada "Llausa", como se muestra en la Figura 12.

### **Figura 11**

*Cortezas vegetales*



*Nota.* En la imagen se presenta el proceso la Llausa machucada



**Figura 12***Mezcla llausa agua*

*Nota.* En la imagen se presenta el proceso la mezcla obtenida de llausa y agua

Según la información proporcionada por el INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias) a través de (Castellanos, 2019) se enfatiza la importancia de controlar la temperatura del guarapo durante la producción de panela. Este control es crucial para alcanzar la temperatura óptima de 50°C a 55°C en el horno. Aumentar la temperatura tiene como objetivo principal inducir la coagulación de impurezas y llausa, formando una capa más grande y densa conocida como "cachaza". La siguiente fase, llamada "descachazado", implica la cuidadosa eliminación de esta cachaza del guarapo, un paso esencial para purificar el líquido.

Este proceso de descachazado no solo impacta la calidad del producto final, sino que también se distingue por su enfoque sostenible. La cachaza retirada se deposita en recipientes a través de tamices, donde se almacena para su posterior reutilización. En este caso, la cachaza se convierte en un valioso alimento vitamínico para el ganado en general, contribuyendo así a cerrar el ciclo de producción de manera sostenible.

Este ciclo de descachazado se repite entre 2 y 3 veces, y a medida que avanza, se observa un cambio en el color de la capa de impurezas, que evoluciona de un tono café a uno crema claro. Al mismo tiempo, el guarapo comienza su proceso de ebullición, marcando un punto crucial en la Figura 13 que evidencia la transformación y refinamiento continuo del líquido hacia la producción final de panela. Este meticuloso proceso no solo garantiza la pureza del producto, sino que también destaca la combinación de precisión técnica y cuidado medioambiental en la producción de la panela.

### **Figura 13**

#### *Descachazado*



*Nota.* En la imagen se presenta el proceso de descachazado de la miel de caña de azúcar cocida.

### **Evaporación y concentración**

Después de depositar y limpiar el guarapo, se da inicio a la fase crucial de evaporación del agua que contiene. Este proceso requiere un suministro constante de calor proveniente del horno, y es esencial mantener una alimentación continua para asegurar la evaporación máxima

del agua. Para llevar a cabo esta tarea, se utilizan tres pailas, detalladas en la Figura 12, que se disponen de manera descendente desde la boca del horno hasta la parte llamada "tronera", como se muestra en la Figura 14.

Según la investigación realizada por (Vargas, 2022), durante el recorrido del guarapo desde la paila 3 hasta la paila 1, se logra alcanzar los 70° Brix. En este punto, el jugo de caña de azúcar adquiere el nombre de "miel" y se encuentra en la paila 1. Esto marca el inicio del proceso de concentración, buscando alcanzar el punto ideal de 80° Brix, equivalente a una aproximación de los 120 °C, como se muestra en la Figura 15. Este proceso de concentración es fundamental para obtener la consistencia y las propiedades deseadas en la formación final de la panela, marcando un hito crucial en la producción.

#### **Figura 14**

*Distribución de las pailas contenedoras de guarapo*



*Nota.* En la imagen se presenta el proceso de distribución de las pailas contenedoras de guarapo de la finca Yaguira-Pacto

**Figura 15**

*Boca del horno*



*Nota.* En la imagen se presenta la boca del horno de la finca Yaguira-Pacto

**Figura 16**

*Tronera*



*Nota.* En la imagen se presenta el proceso de corte de la caña de azúcar realizado por los zafreros de la finca Yaguira-Pacto

**Figura 17***Cambio de guarapo a miel*

*Nota.* En la imagen se presenta el cambio de guarapo a miel de caña de azúcar realizado en la finca la Yaguira

Es importante destacar que, para llevar a cabo el proceso de concentración de forma efectiva, es esencial garantizar un suministro constante de combustible, que en este caso está compuesto por bagazo y leña, para los "meladores". No solo se trata de contar con suficiente cantidad de este combustible, sino también de tenerlo estratégicamente ubicado al lado del horno. Esta disposición estratégica busca ahorrar tiempo y evitar esfuerzos adicionales al momento de introducir el bagazo en el horno, como se detalla con precisión en la Figura 16. Este enfoque logístico no solo mejora la eficiencia del proceso, sino que también asegura una alimentación continua y sin interrupciones del horno. (Quezada, 2018)

## Figura 18

### Bagazo y leña



*Nota.* En la imagen se indica la leña y el bagazo utilizados en el proceso de cocción de la miel de caña de azúcar en la finca la Yaguira

### Punteo de miel

En la finca La Yaguira, el proceso se realiza de manera completamente artesanal, prescindiendo de dispositivos para medir los grados Brix o la temperatura en Celsius. En su lugar, se emplea un método tradicional y práctico. Consiste en tomar un recipiente con agua limpia y, al mismo tiempo, extraer la miel, como se muestra en la Figura 19. En un movimiento ágil, la miel se toma con la mano, se presiona y moldea, dando lugar a una masa de miel. La textura de esta masa, ilustrada en la Figura 20, es evaluada por los experimentados meladores. Ellos, a través de la percepción de su dureza, determinan si se ha alcanzado el punto de panela moldeable. (Quezada, 2018)

De acuerdo con la información proporcionada por (Hernández, 2019), el punto de panela moldeable se ubica entre los 90° a 94° Brix, equivalente a una variación de temperatura de 118°C a 125°C. Exceder este rango de temperatura afecta de manera significativa la calidad

del producto final, pudiendo resultar en la formación de una panela en polvo. En caso de que esto ocurra, se implementa una solución práctica: se añade más guarapo hervido para reducir los grados Brix, y se repite el proceso del punto, asegurando así que la panela obtenida cumpla con los estándares deseados de consistencia y calidad. Este enfoque, basado en la destreza y experiencia del melador, demuestra la adaptabilidad y el conocimiento profundo en la producción artesanal de panela en la finca La Yaguira. (Quezada, 2018)

### **Figura 19**

#### *Punteo de la miel*



*Nota.* En la imagen se presenta el punteo de la miel de caña de azúcar

### **Batido de miel**

Cada etapa del proceso se ejecuta con un control meticuloso, se presta atención a la textura de la miel y se extrae para depositarla en los contenedores designados como se observa en la Figura 20. En este punto se iniciará el batido de la miel con una pala de madera. Durante el proceso de agitación de la miel sus propiedades adherentes se transforman en una solución moldeable, un paso indispensable para lograr la consistencia y textura ideal. (Quezada, 2018)

Es fundamental mantener el ritmo de batido constante y esto no influye solo en la formación de la panela, sino que también desempeña un papel crucial en la determinación del color y por ende en el sabor del producto final, este proceso se extiende por un lapso de 7 a 10 minutos, Cuando el batido es concluido se realiza la recolección de la panela que se esparce por los bordes de la tolva, es importante destacar que el enfoque central de este proyecto de titulación será el batido de la panela, y no solo se resaltarán la importancia estratégica de esta etapa en la producción de panela, sino también la contribución única que este proyecto aporta a la comprensión y mejora de este proceso artesanal.

### **Figura 20**

*Proceso de batido de miel*



*Nota.* En la imagen se presenta el proceso de batido de la miel de caña de azúcar en la finca la Yaguira-Pacto

### **Moldeo de la panela**

En la fase del moldeo de la panela, se vierte el contenido de la tolva, que consiste en la miel después de ser batida, en una variedad de moldes adaptados a las especificaciones y requerimientos de cada uno de los clientes. Para realizar de manera correcta esta tarea se emplean herramientas como palas y “maquicharina” obsérvese en la Figura 18, siendo la última un contenedor diseñado para el transporte eficiente de la miel batida desde la tolva de agitación



hasta los diferentes moldes. El tiempo requerido en esta actividad varia desde los 15 hasta los 20 minutos, dependiendo de la destreza y experiencia del operador a cargo. Una vez que la panela se solidifique en los moldes se procederá a retirarlos para obtener la panela moldeada final. (Artunduaga & Arrigui, 2003)

### **Figura 21**

#### *Moldeo de la panela*



*Nota.* En la imagen se presenta el proceso de moldeo de la panela

### **Empacado**

La fase final del proceso de producción implica el empaquetado de la panela. Se realiza la agrupación de cinco columnas, cada una compuesta por cinco tapas de panela, en un costal o saquillo, el cual se ata posteriormente. Cada uno de estos costales empacados se conoce como "media carga". Por lo tanto, se requieren dos de estos costales para conformar un lote completo de 25 tapas de panela, tal como se muestra en la Figura 22. (Artunduaga & Arrigui, 2003)

**Figura 22***Empacado de la panela*

*Nota.* En la imagen se presenta el empackado de la panela de la finca Yaguira

**La Automatización y la agricultura**

La implementación de la automatización en la agricultura se refiere al proceso de incorporar tecnologías y sistemas automatizados en las actividades agrícolas con el propósito de mejorar la eficiencia, la productividad y la sostenibilidad en la cadena de producción agrícola. Este enfoque tecnológico busca optimizar diversas tareas, como siembra, cultivo, cosecha, procesamiento y gestión de recursos, mediante el empleo de dispositivos electrónicos, sensores, sistemas de control y análisis de datos.

En el contexto del proceso de fabricación de panela, la relación entre la automatización y la producción de panela implica la aplicación de sistemas automatizados en diversas etapas, desde la extracción del jugo de caña de azúcar hasta el empaquetado del producto final. Esta automatización abarca el uso de equipos y dispositivos especializados para realizar operaciones como manipulación, filtrado, evaporación, cristalización y empaque del jugo de caña, con el objetivo de optimizar la eficiencia, la calidad y la rentabilidad en el proceso de fabricación de panela.

**Figura 23***Automatización y agricultura*

*Nota.* En la imagen se presenta un proceso de agricultura automatizado

**Metodología del diseño**

El proceso estándar para la elaboración de un producto comprende seis etapas distintas, como se representa en la Figura 24, utilizadas para describir las diversas actividades y datos relacionados con el desarrollo. Este procedimiento inicia con una fase de planificación que establece una conexión con las actividades más avanzadas de investigación y tecnología en el desarrollo. La culminación de la fase de planificación es la formulación de la declaración de la misión del proyecto, que sirve como punto de partida para la etapa de investigación del concepto y proporciona orientación al equipo de desarrollo. El punto final del proceso de desarrollo del producto es la introducción del producto en el mercado. (Artunduaga & Arrigui, 2003)

**Figura 24**

*Organización del proceso estándar para el desarrollo de productos*



*Nota.* En la imagen se presenta la organización del proceso estándar del desarrollo de productos.

**Motor eléctrico siemens**

Los motores eléctricos Siemens son dispositivos que convierten la energía eléctrica en energía mecánica. Se encuentran en una amplia gama de aplicaciones, desde pequeños electrodomésticos hasta grandes máquinas industriales.

Siemens ofrece una amplia variedad de motores eléctricos, incluyendo:

- Motores de inducción: Son los más comunes y se caracterizan por su robustez, confiabilidad y eficiencia.
- Motores síncronos: Ofrecen un alto rendimiento y control preciso de la velocidad.
- Motores de corriente continua: Son ideales para aplicaciones que requieren un alto par a bajas velocidades.

Los motores Siemens están diseñados para ofrecer un alto rendimiento, eficiencia y confiabilidad. Además, están disponibles en una amplia gama de tamaños, potencias y velocidades para satisfacer las necesidades específicas de cada aplicación. (SIEMENS, 2024)

### Figura 25

*Motor eléctrico Siemens*



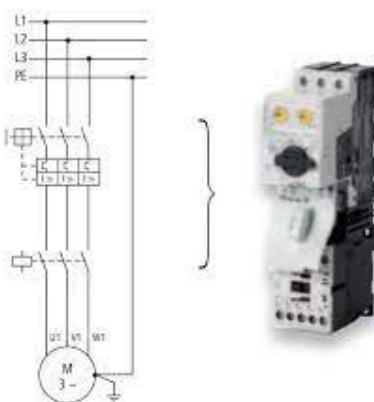
*Nota.* En la imagen se muestra un motor Siemens. Tomado de (Improselec, 2024)

### Arranque de un MTI

El motor trifásico de inducción destaca como el tipo de motor eléctrico más prevalente en todas las industrias, principalmente debido a su diseño sencillo, versatilidad en la aplicación y eficiencia operativa. A lo largo del tiempo, se han desarrollado diversos métodos de arranque para adaptarse mejor a los procesos industriales y minimizar el impacto del arranque tanto en la red eléctrica como en la carga mecánica. A continuación, se presenta una introducción a los principales métodos de arranque utilizados en los motores trifásicos de inducción. (Syzcominsa , 2022)

### Figura 26

*Arranque de un MTI*



*Nota.* En la imagen se presenta la conexión de arranque de un MTI. Tomado de (Syzcominsa , 2022)

## Variador de frecuencia

Un variador de frecuencia es un componente crucial en entornos industriales, ubicado entre la fuente de alimentación y el motor. Su principal función radica en regular la energía entregada al motor, ajustando tanto la frecuencia como la tensión de salida según las necesidades específicas del proceso. Estos dispositivos desempeñan un papel fundamental en la optimización de la eficiencia energética en diversas aplicaciones industriales, como bombas o ventiladores.

Los variadores de frecuencia permiten adaptar la velocidad de los motores eléctricos al requerimiento real de la aplicación, lo que puede conducir a una reducción sustancial del consumo de energía, estimada entre un 20% y un 70%. (ABB, 2024)

### Figura 27

*Variador de frecuencia*



*Nota.* En la imagen se presenta un variador de frecuencia. Tomado de (Difasel, 2024)

## Arduino UNO

La placa Arduino UNO destaca por su versatilidad y facilidad de uso, convirtiéndola en una opción ideal para proyectos electrónicos de diversos tipos. Basada en el microcontrolador ATmega328P. Además, cuenta con una conexión USB, conector Jack de alimentación y

terminales ICSP para programación. Su diseño compacto la hace adecuada para una amplia gama de aplicaciones, desde proyectos educativos hasta prototipos avanzados. (Arduino UNO, 2021).

### **Figura 28**

*Arduino UNO*



*Nota.* En la imagen se presenta un Arduino UNO. Tomado de (Keterangan, 2022)

### **Sensor HC-SR04**

El sensor HC-SR04 es un dispositivo económico que emplea tecnología de ultrasonido para calcular la distancia entre objetos en un rango de 2 a 450 centímetros. Su popularidad radica en su diseño compacto, eficiencia energética y precisión, así como en su accesible precio. Ampliamente utilizado en diversos campos, desde la robótica hasta la automatización, este sensor se destaca por su versatilidad y facilidad de integración en proyectos de todo tipo. Consiste en dos transductores piezoeléctricos, uno para emitir señales ultrasónicas y otro para recibir las señales reflejadas, además de la electrónica necesaria para su funcionamiento. (Naylamp Mechatronics, 2023).

**Figura 29***Sensor HC-SR04*

*Nota.* En la imagen se presenta el sensor HC-SR04. Tomado (Novatronicec, 2020)

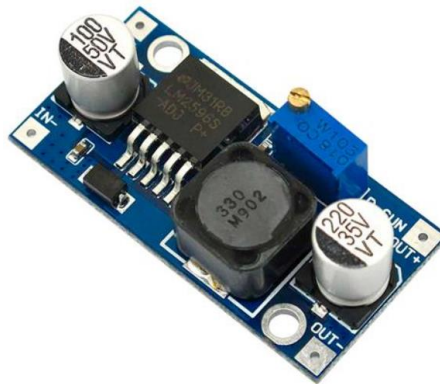
**Módulo convertidor de voltaje DC/DC**

El convertidor de voltaje DC-DC Step-Down 3A LM2596 desempeña el papel de proporcionar un voltaje de salida constante que es inferior al voltaje de entrada, asegurando estabilidad ante fluctuaciones tanto en el voltaje de entrada como en la carga. Este dispositivo, con la capacidad de soportar corrientes de salida de hasta 3 A, acepta un rango de voltaje de entrada que va desde 4.5V hasta 40V, y puede generar un voltaje de salida entre 1.23V y 37V. La selección precisa del voltaje de salida se logra mediante un potenciómetro multivuelta, lo que ofrece flexibilidad en la configuración. Además, estos convertidores DC/DC, esenciales en la electrónica moderna, son capaces de transformar un nivel de voltaje a otro, ya sea mayor o menor, lo que los convierte en componentes fundamentales para diversas aplicaciones electrónicas. (Naylamp Mechatronics, 2023)



**Figura 30**

*Módulo convertidor de voltaje DC/DC*



*Nota.* En la imagen se observa un convertidor de voltaje DC/DC LM2596. Tomada de (Novatronicec, 2020)

**Servomotor**

El servomotor es un dispositivo electrónico empleado para la transmisión de torque, ofreciendo un control preciso tanto en velocidad como en posición. Este componente consta de un motor de corriente continua conectado a un conjunto de engranajes, los cuales son responsables de generar el movimiento requerido.

El servomotor DSSERVO 3225 Servo 25KG resalta como una opción robusta para aplicaciones que requieren un servo digital resistente al agua de alto par, presenta un rendimiento óptimo, es especialmente adecuado para condiciones ambientales extremas.

### Figura 31

Servomotor DS3225 25 kg



*Nota.* En la imagen se presenta la adaptación de DSERVO 3225

### Pulsadores

Los pulsadores en un tablero de control son dispositivos fundamentales diseñados para enviar señales o comandos al sistema mediante la acción de ser presionados. Estos componentes desempeñan un papel clave en la interfaz de usuario de numerosos paneles de control, permitiendo a los operadores interactuar de manera manual con el sistema. Presentan una acción momentánea, lo que significa que la conexión eléctrica se activa únicamente mientras se mantiene presionado el botón. (Dynamoelectronics, 2021).

## Figura 32

### *Pulsadores*



*Nota.* En la imagen se presentan los pulsadores. Tomada (TES, 2018)

### **Luces piloto**

Las luces piloto en un tablero de control desempeñan un papel crucial al proporcionar indicadores visuales para informar rápidamente sobre el estado o la operación de un sistema. Estos indicadores luminosos, también conocidos como testigos o indicadores, están diseñados para asociarse con funciones o estados específicos del sistema, como encendido, apagado, activado, desactivado o estados de alarma. Cada luz piloto suele tener un color diferenciado para indicar distintos estados; por ejemplo, el verde podría señalar que una función está activa, mientras que el rojo indica un problema o un estado de alarma.

Estas luces piloto se integran en el tablero de control de manera que sean fácilmente visibles y accesibles para los operadores, permitiéndoles identificar rápidamente el estado general del sistema sin necesidad de inspecciones detalladas. Además, la construcción duradera de estas luces asegura su resistencia y fiabilidad, ya que a menudo están activas durante períodos prolongados. (Electro Industrial , 2018)

**Figura 33***Luces piloto*

*Nota.* En la figura se observan luces pilotos utilizadas en el prototipo. Tomado de (Electro Industrial , 2018)

**Acero inoxidable 304**

El acero inoxidable 304, también conocido como acero inoxidable opaco o mate, es un tipo de acero austenítico que se caracteriza por no ser magnético y no poder ser endurecido mediante tratamiento térmico. Este material es altamente dúctil y presenta una excelente soldabilidad. Con una composición principalmente de 18% de cromo y 8% de níquel, con un contenido de carbono limitado al 0,08%, el acero inoxidable 304 es ampliamente utilizado en diversas industrias, incluyendo la química, farmacéutica, de alimentos, aeronáutica, naval, arquitectura y transporte. Además, se emplea en la fabricación de cubiertos, vajillas, piletas, revestimientos de ascensores y una amplia variedad de aplicaciones industriales y domésticas. (Importaceros, 2021)

**Figura 34**

*Acero inoxidable*



*Nota.* En la imagen se observa láminas de Acero inoxidable 304. Tomada de (Importaceros, 2021)

**Termoplástico (Poliamida 6)**

El Grilon es un termoplástico derivado de la poliamida 6, que se distingue por sus destacadas propiedades mecánicas, eléctricas, térmicas y químicas, además de su capacidad para ser modificado con aditivos como el MoS<sub>2</sub>. Este material ofrece una buena resistencia a diversos agentes químicos, aunque no a los óxidos concentrados, y es fácil de mecanizar. En cuanto a su estabilidad térmica, puede soportar temperaturas continuas de 10 a 100 °C, dependiendo de la carga. Su superficie es apta para ser teñida, impresa o estampada con color utilizando métodos convencionales. Presenta una alta resistencia a los golpes, una excelente resistencia mecánica, y una buena resistencia a la fatiga y al desgaste. Con una dureza elástica y una alta resistencia a la abrasión, el Grilon es recomendado para una variedad de aplicaciones en la fabricación de piezas técnicas. (Ensinger , 2024)

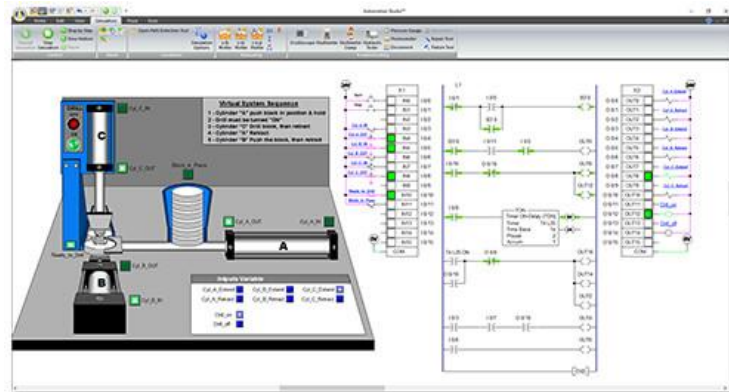
**Figura 35***Termoplástico*

*Nota.* En la imagen se presenta termoplástico (Poliamida 6). Tomada de (Ensinger , 2024)

**Softwares utilizados en el proyecto*****Software de programación de PLC***

Un software de programación PLC, es un entorno integral de ingeniería desarrollado por las distintas marcas de los fabricantes con el objetivo de realizar la programación, configuración y diagnóstico de sistemas de automatización industrial. Su principal función es facilitar la programación de controladores lógicos programables (PLC) y otros dispositivos de automatización, abarcando una amplia gama de productos en el ámbito de la automatización industrial.

Dentro de sus características destacadas este tipo de softwares permiten la configuración de diversos dispositivos de automatización, como variadores de frecuencia, interfaces hombre-máquina (HMI) y otros periféricos. Además, ofrece capacidades de simulación que permiten a los ingenieros probar y depurar programas antes de su implementación en el entorno real. El software también proporciona herramientas de diagnóstico que facilitan la identificación y solución de problemas en los sistemas automatizados. (infoPLC, 2024)

**Figura 36***Software de programación PLC*

*Nota.* En la imagen se presenta un ejemplo de software de programación para PLC. Tomado de (infoPLC, 2024)

### **Software CAD**

Un software de diseño asistido por computadora (CAD) y de diseño de productos en 3D es ampliamente utilizado en ingeniería mecánica y diseño industrial. Este tipo de programas permite la creación de modelos tridimensionales de piezas y ensamblajes mediante herramientas de diseño y funciones de modelado paramétrico. Facilita la gestión de ensamblajes complejos, permitiendo a los usuarios colocar y relacionar componentes de manera precisa. (ADR, 2017)

Además, que generan automáticamente dibujos técnicos a partir de modelos 3D, incluyendo vistas de sección, detalles y dimensiones, simplificando la documentación del diseño. También ofrece herramientas de simulación que permiten evaluar el comportamiento y el rendimiento de los modelos en condiciones específicas, como análisis de tensiones, análisis de movimiento y simulaciones de flujo. Con capacidades de renderización, posibilita la creación de imágenes realistas y visualizaciones de alta calidad de los modelos 3D. (ADR, 2017)

### Figura 37

Software de diseño CAD



*Nota.* En la figura se observa la representación de softwares de diseño CAD. Tomada de (ADR, 2017)

### Arduino IDE

Arduino IDE, es un entorno de desarrollo integrado diseñado específicamente para programar placas Arduino. Estas placas de prototipado electrónico de código abierto permiten a los usuarios crear proyectos interactivos mediante la programación de microcontroladores. La plataforma Arduino IDE proporciona un entorno simplificado y fácil de usar para escribir, cargar y ejecutar código en estas placas.

Entre sus características fundamentales se encuentra un editor de código que permite a los usuarios escribir programas en lenguaje de programación C/C++ para controlar las funciones de las placas Arduino. Además, facilita la compilación del código y su carga en la placa Arduino mediante un proceso simple y accesible con un solo botón. El entorno también incluye un conjunto de librerías integradas que simplifican el desarrollo al proporcionar funciones y rutinas comunes. (Estevez, 2021)



**Figura 38***Arduino IDE*

*Nota.* En la imagen se presenta el ícono del de Arduino IDE. Tomada de (Estevez, 2021)

## Capítulo III

### Selección de materiales

En esta sección se realizará la selección de los componentes necesarios para el diseño y construcción de un prototipo agitador de miel de caña de azúcar mediante un sistema automático de depósito, para la fabricación de panela moldeable que permita mejorar la productividad del sector cañicultor artesanal de la parroquia Pacto.

#### Diseño conceptual

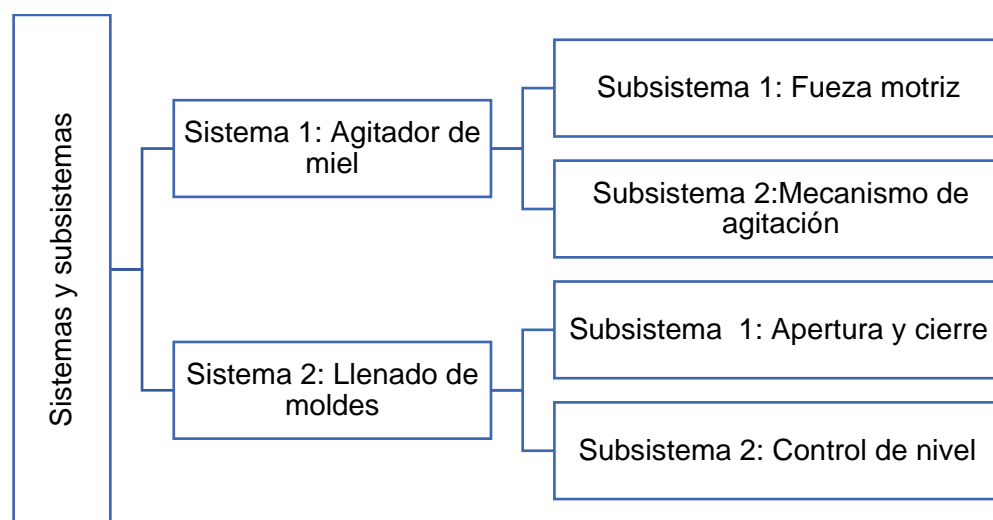
##### *Requerimientos*

Para la elaboración de este prototipo se tomó en cuenta los siguientes requerimientos de diseño:

- Capacidad de producción de un lote de 25 unidades en un intervalo menor a 20 minutos.
- La distribución del sistema de automatización
- Adaptabilidad a la cantidad de producto obtenido del proceso de cocción de la miel
- Dimensiones que se acoplen a los equipos existentes del proceso
- Repuestos de fácil adquisición y reposición
- Componentes eléctricos de bajo impacto a la red energética

#### Descripción del proyecto

Este proyecto engloba diversos sistemas y subsistemas, como se muestra en la Figura 39. Estos componentes operarán de manera conjunta para facilitar el proceso de batido del prototipo diseñado.

**Figura 39***Sistemas del prototipo agitador*

*Nota.* En la imagen se presenta los sistemas y subsistemas necesarios para realizar el prototipo agitador de miel de caña de azúcar.

### ***Necesidades del cliente***

La finca Yaguira ha establecido los requisitos detallados en la Tabla 1 los cuales son esenciales para la fase de construcción y diseño del prototipo agitador de miel de caña de azúcar mediante un sistema automático de depósito, para la fabricación de panela moldeable que permita mejorar la productividad del sector cañicultor artesanal. Cada requisito recibe una calificación en una escala del 1 al 5 donde 1 indicara una importancia menor y 5 indicara una importancia mayor.

**Tabla 1***Necesidades del cliente*

| <b>Núm.</b> | <b>Necesidad</b>               | <b>Importancia</b> |
|-------------|--------------------------------|--------------------|
| 1           | Dimensiones                    | 4                  |
| 2           | Control del lote de producción | 5                  |
| 3           | Operabilidad de la máquina     | 3                  |
| 4           | Silencioso                     | 2                  |

| Núm. | Necesidad                                       | Importancia |
|------|---|-------------|
| 5    | Repuestos                                       | 3           |
| 6    | Consumo de energía eléctrica                    | 3           |
| 7    | Adaptabilidad a la red de suministro energético | 5           |
| 8    | Fácil mantenimiento                             | 3           |
| 9    | Resistente a la intemperie                      | 5           |
| 10   | Económico                                       | 4           |
| 11   | Control de las dimensiones del producto         | 5           |
| 12   | Calidad del producto                            | 5           |

### ***Material aportado por el cliente***

Los propietarios de la finca Yaguira, productora de panela proporciono algunos elementos para el diseño e implementación del prototipo de agitador de miel de caña de azúcar. Estos elementos se detallarán en la Tabla 2.

**Tabla 2**

### ***Material aportado por el cliente***

| Núm.<br>Métrica | Núm.<br>Requerimiento | Métrica                          | Unidad |
|-----------------|-----------------------|----------------------------------|--------|
| 1               | 1,8,9                 | Acero inoxidable 304 alimenticio | mm     |
| 2               | 2,5,10,12             | Grilon                           | mm     |

### ***Diseño eléctrico y electrónico***

#### **Parámetros del controlador programable (PLC)**

Para la selección de un PLC se debe evaluar diferentes parámetros que se ajustan a los requerimientos propios de la máquina y a la necesidad de los propietarios de la finca Yaguira. Para la programación de este controlador se utilizará lenguaje de programación Ladder, frecuentemente empleados en ambientes industriales, el costo emerge como un elemento

crucial al momento de optar por un PLC. La eficiencia económica y la relación entre costos y beneficios son factores determinantes, especialmente al considerar el presupuesto disponible para el proyecto.

Cada parámetro se evalúa en una escala del 1 al 5, donde 1 representa una importancia mínima y 5 indica la máxima relevancia. En la Tabla 3, se detallan estos parámetros esenciales para la elección del PLC, ofreciendo una referencia para evaluar y ponderar las opciones de manera eficaz.

**Tabla 3**

*Parámetros del controlador lógico programable*

| <b>Parámetro</b>  | <b>Importancia</b> |
|---|--------------------|
| Diseño Robusto  | 4                  |
| Flexibilidad para integrar procesos inherentes a la producción panelera | 5                  |
| Dimensiones   | 3                  |
| Costo   | 3                  |
| Lenguaje de programación  | 2                  |
| Disponibilidad en el mercado  | 3                  |

*Nota.* Parámetros requeridos al momento de seleccionar el PLC

Los factores más significativos se orientan hacia la necesidad de contar con un diseño resistente que pueda soportar las condiciones climáticas de la zona, así como la constante

adaptación de maquinaria automatizada para la producción de panela. Esto subraya la importancia de la flexibilidad para la integración de procesos en este ámbito. Además, se reconoce que el costo es un factor esencial a considerar, razón por la cual se propone la selección de un PLC, con diversas opciones evidenciadas.

**Tabla 4**

*Criterios de selección y alternativas para selección un PLC*

| Criterio de selección   | Peso | PLC Simatic S7-1200 6ES7 214-1BE30-0XB0 |                 | PLC OMRON CJ2M – CPU21-ET2 |                 | Módulo lógico programable LOGO 8 |                 |
|---|------|---|-----------------|----------------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|
|   |      | Cal                                     | Eval. Ponderada | Cal                        | Eval. Ponderada | Cal                              | Eval. ponderada |
| Diseño Robusto  | 0.2  | 10                                      | 2               | 10                         | 2               | 7                                | 1.4             |
| Flexibilidad para integrar procesos inherentes a la producción panelera | 0.25 | 10                                      | 2.5             | 10                         | 2.5             | 5                                | 1.25            |
| Dimensiones   | 0.15 | 7                                       | 1.05            | 6                          | 0.9             | 10                               | 1.5             |
| Costo   | 0.15 | 6                                       | 0.9             | 5                          | 0.75            | 10                               | 1.5             |

| Criterio de selección        | Peso     | PLC Simatic S7-1200 6ES7 214-1BE30-0XB0 |                 | PLC OMRON CJ2M – CPU21-ET2 |                 | Módulo lógico programable LOGO 8 |                 |
|------------------------------|----------|---|-----------------|----------------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|
|                              |          | Cal                                     | Eval. Ponderada | Cal                        | Eval. Ponderada | Cal                              | Eval. ponderada |
| Lenguaje de programación     | 0.1      | 8                                       | 0.8             | 8                          | 0.8             | 10                               | 1               |
| Disponibilidad en el mercado | 0.15     | 8                                       | 1.2             | 5                          | 0.75            | 10                               | 1.5             |
| <b>Total</b>                 | <b>1</b> |   | <b>8.45</b>     |                            | <b>7.7</b>      |                                  | <b>8.15</b>     |
| ¿Selección?                  |          |   | Si              |                            | No              |                                  | No              |

*Nota.* Evaluación de las diferentes alternativas de PLC, en base a los criterios de selección previamente establecidos

En base a la información obtenida la alternativa adecuada es el PLC Simatic S7-1200 6ES7 214-1BE30-0XB0, ya que destaca en los criterios clave como los es la robustez y la flexibilidad que presenta además de la importancia de su disponibilidad en el mercado ya que se consiguió el controlador en menor tiempo.

### **Selección del variador de frecuencia**

En base a la disponibilidad de la red que se utiliza en el lugar, se requiere que el variador de frecuencia tenga los siguientes parámetros, dando una importancia de 1 a 5 siendo, 1 nada importante y 5 como su máximo para ello se detalla en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Criterios de selección y alternativas para selección el variador de frecuencia*

| <b>Parámetro</b>  | <b>Importancia</b> |
|---|--------------------|
| Dimensión adecuada  | <b>2</b>           |
| Flexibilidad para<br>manipular la frecuencia<br>de salida | <b>4</b>           |
| Entrada bifásica  | <b>5</b>           |
| Salida trifásica  | <b>4</b>           |
| Costo   | <b>5</b>           |
| Entrada analógica<br>programable                          | <b>4</b>           |
| Entrada digital<br>programable                            | <b>2</b>           |
| Capacidad de trabajo<br>(Hp)                              | <b>4</b>           |

*Nota.* Parámetros requeridos al momento de seleccionar el Variador de Frecuencia

Los parámetros con más importancia que resaltan, es la alimentación del dispositivo, como se va a programar y que tenga la facilidad para el operario de manipular la frecuencia a trabajar dependiendo de los lotes de producción, para ello se evalúa entre las diferentes propuestas mostradas en la Tabla 6.



Tabla 6

*Alternativas para la selección del variador de frecuencia*

| Criterio de selección                                      | Peso | Variador de Frecuencia ABB ACS580 |                 | Variador de Frecuencia Difase DFL – SYSTEMS DFL330N01100T2 |                 | Variador de Frecuencia Siemens SINAMICS G120 |                 |
|--|------|-----------------------------------|-----------------|--|-----------------|--|-----------------|
|  |      | Cal                               | Eval. Ponderada | Cal  | Eval. Ponderada | Cal  | Eval. Ponderada |
| <b>Dimensión adecuada</b>                                  | 0.07 | 7                                 | 0.49            | 9  | 0.63            | 8  | 0.56            |
| <b>Flexibilidad para manipular la frecuencia de salida</b> | 0.13 | 9                                 | 1.17            | 10   | 1.3             | 8  | 1.04            |
| <b>Entrada bifásica</b>                                    | 0.17 | 10                                | 1.7             | 10   | 1.7             | 10   | 1.7             |
| <b>Salida trifásica</b>                                    | 0.13 | 10                                | 1.3             | 10   | 1.3             | 10   | 1.3             |
| <b>Costo</b>   | 0.17 | 5                                 | 0.85            | 9  | 1.53            | 6  | 1.02            |

| Criterio de selección                | Peso | Variador de Frecuencia ABB ACS580 |                 | Variador de Frecuencia Difasel DFL – SYSTEMS DFL330N01100T2 |                 | Variador de Frecuencia Siemens SINAMICS G120 |                 |
|--------------------------------------|------|-----------------------------------|-----------------|---|-----------------|--|-----------------|
|                                      |      | Cal                               | Eval. Ponderada | Cal   | Eval. Ponderada | Cal  | Eval. Ponderada |
| <b>Entrada analógica programable</b> | 0.13 | 10                                | 1.3             | 9   | 1.17            | 10   | 1.3             |
| <b>Entrada digital programable</b>   | 0.07 | 10                                | 0.7             | 10  | 0.7             | 10   | 0.7             |
| <b>Capacidad de trabajo (Hp)</b>     | 0.13 | 10                                | 1.3             | 10  | 1.3             | 10   | 1.3             |
| <b>Total</b>                         | 1    |                                   | 8.81            |   | 9.63            |  | 8.92            |
| <b>¿Selección?</b>                   |      |                                   | No              |   | Si              |  | No              |

*Nota.* Evaluación de las diferentes alternativas para el Variador de Frecuencia, en base a los criterios de selección previamente establecidos.

Los variadores de frecuencia tomados en cuenta presentan características muy similares y adecuadas para este proyecto el criterio de selección fundamental ha sido el precio

de adquisición y es por ello que se elige el variador DFL SYSTEMS DFL330N01100T2, que controlará el motor trifásico.

### **Selección del sensor de nivel**

El dispositivo que se selecciona tiene relación directa con la cantidad de panela que se suministrara para cada molde es por ello que se plantean los siguientes parámetros y su importancia directa intercalada entre 1 y 5, siendo 1 la menos importante y 5 la que más resalta.

#### **Tabla 7**

*Criterios de selección y alternativas para selección del sensor de nivel.*

| <b>Parámetro</b>                         | <b>Importancia</b> |
|--|--------------------|
| Dimensión adecuada                       | 3                  |
| Rango de medición                        | 4                  |
| Adaptabilidad al entorno físico          | 5                  |
| Costo                                    | 5                  |
| Facilidad de instalación y mantenimiento | 4                  |

*Nota.* Parámetros requeridos al momento de seleccionar el Sensor de Nivel

En base a los diferentes parámetros y sus importancias se encuentran las siguientes alternativas de sensores como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8

*Alternativas para la selección del variador de frecuencia*

| Criterio de selección                           | Peso | Sensor de ultrasonido SICK UM30 |                      | Sensor de ultrasonido HC-SR04 |                      | Sensor de ultrasonido VEGA VEGAPULS 6X |                      |
|---|------|---------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------|--|----------------------|
|   |      | Cal                             | Evaluación Ponderada | Cal                           | Evaluación ponderada | Cal                                    | Evaluación ponderada |
| <b>Dimensión adecuada</b>                       | 0.14 | 10                              | 1.4                  | 10                            | 1.4                  | 10                                     | 1.4                  |
| <b>Rango de medición</b>                        | 0.19 | 10                              | 1.9                  | 10                            | 1.9                  | 10                                     | 1.9                  |
| <b>Adaptabilidad al entorno físico</b>          | 0.24 | 10                              | 2.4                  | 7                             | 1.68                 | 10                                     | 2.4                  |
| <b>Costo</b>                                    | 0.24 | 4                               | 0.96                 | 10                            | 2.4                  | 3                                      | 0.72                 |
| <b>Facilidad de instalación y mantenimiento</b> | 0.19 | 7                               | 1.33                 | 10                            | 1.9                  | 7                                      | 1.33                 |
| <b>Total</b>                                    | 1    |                                 | 7.99                 |                               | 9.28                 |  | 7.75                 |
| <b>¿Selección?</b>                              |      |                                 | No                   |                               | Si                   |  | No                   |

Cabe recalcar que el sensor de nivel HC- SR04, no es de un ambiente industrial, pero por la aplicación donde se demanda el uso de este, se ha elegido como adecuado además de que la diferencia de costos es notable.

### **Selección del actuador.**

El actuador que se seleccione es el encargado de abrir y cerrar la compuerta de vaciado presente en una de las esquinas de la tolva, es decir que tiene que presentar un torque y velocidad adecuada para evitar derrames de panela, por ello se presentan los parámetros y su importancia en la Tabla 9.

**Tabla 9**

*Criterios de selección y alternativas para selección del sensor de nivel*

| <b>Parámetro</b>                         | <b>Importancia</b> |
|--|--------------------|
| Dimensión adecuada                       | 2                  |
| Par de torsión                           | 5                  |
| Velocidad de respuesta                   | 5                  |
| Costo                                    | 3                  |
| Facilidad de instalación y mantenimiento | 4                  |
| Acondicionamiento electrónico            | 4                  |

*Nota.* Parámetros requeridos al momento de seleccionar el actuador

Los parámetros para tomar en cuenta para la selección del actuador permiten mostrar las siguientes alternativas como se muestra en la Tabla 10.

**Tabla 10***Alternativas para la selección del actuador*

| Criterio de selección                           | Motor NEMA 54<br>SHINAMO STP-<br>43D2073-01 |     |                      | Servomotor<br>DS3225 25 Kg |                      | Motor NEMA 23<br>SHINAMO STP-<br>42D221-C1 |                      |
|---|---|-----|----------------------|----------------------------|----------------------|--|----------------------|
|   | Peso  | Cal | Evaluación Ponderada | Cal                        | Evaluación ponderada | Cal  | Evaluación ponderada |
| <b>Dimensión adecuada</b>                       | 0.09  | 10  | 0.9                  | 10                         | 0.9                  | 10   | 0.9                  |
| <b>Par de torsión</b>                           | 0.22  | 10  | 2.2                  | 10                         | 2.2                  | 10   | 2.2                  |
| <b>Velocidad de respuesta</b>                   | 0.22  | 10  | 2.2                  | 10                         | 2.2                  | 10   | 2.2                  |
| <b>Costo</b>                                    | 0.13  | 5   | 0.65                 | 9                          | 1.17                 | 6  | 0.78                 |
| <b>Facilidad de instalación y mantenimiento</b> | 0.17  | 7   | 1.19                 | 10                         | 1.7                  | 7  | 1.19                 |

| Criterio de selección                | Peso | Motor NEMA 54<br>SHINAMO STP-<br>43D2073-01 |                      | Servomotor<br>DS3225 25 Kg |                      | Motor NEMA 23<br>SHINAMO STP-<br>42D221-C1 |                      |
|--------------------------------------|------|---|----------------------|----------------------------|----------------------|--|----------------------|
|                                      |      | Cal   | Evaluación Ponderada | Cal                        | Evaluación ponderada | Cal  | Evaluación ponderada |
| <b>Acondicionamiento electrónico</b> | 0.17 | 6   | 1.02                 | 8                          | 1.36                 | 6  | 1.02                 |
| <b>Total</b>                         | 1    |   | 8.16                 |                            | 9.53                 |  | 8.29                 |
| <b>¿Selección?</b>                   |      |   | No                   |                            | Si                   |  | No                   |

*Nota.* Evaluación de las diferentes alternativas para el actuador, en base a los criterios de selección previamente establecidos

### Tabla 11

*Parámetros dirigidos a los requerimientos de los sistemas y subsistemas*

| Parámetro                         | Importancia |
|-----------------------------------|-------------|
| Movimiento Uniforme del contenido | 4           |
| Repuestos y mantenimiento simple  | 4           |
| Costo de fabricación              | 5           |
| Salida de panela                  | 5           |

| <b>Parámetro</b>        | <b>Importancia</b> |
|-------------------------|--------------------|
| Bajo consumo energético | 4                  |
| Sistema modular         | 5                  |
| Ruido                   | 2                  |

*Nota.* Categorización de la importancia de los requerimientos de los sistemas y subsistemas

Los elementos que componen los subsistemas han sido tratados con una selección de concepto, enfocándolos en la fuerza y elementos de transmisión, y que influye directamente en la estructura del soporte tanto del contenedor como del sistema de transmisión de movimiento, se ha categorizado, con elementos de uso común, facilitando la adquisición, instalación y mantenimiento de estos

**Tabla 12**

*Selección del concepto de los elementos presentes en cada subsistema*

| <b>Criterio de Selección</b>             | <b>Conceptos</b>             |                        |                                |              |               |
|--|------------------------------|------------------------|--------------------------------|--------------|---------------|
|  | <b>Fuerza de Transmisión</b> |                        | <b>Elemento de Transmisión</b> |              |               |
|  | <b>Motor de combustión</b>   | <b>Motor Trifásico</b> | <b>Banda dentada</b>           | <b>Cinta</b> | <b>Cadena</b> |
| <b>Movimiento uniforme del contenido</b> | +                            | +                      | +                              | +            | +             |



|   |    |    |    |    |    |
|---|----|----|----|----|----|
| <b>Repuestos y mantenimiento simple</b> | -  | +  | -  | -  | +  |
| <b>Costo de implementación</b>          | -  | +  | -  | +  | +  |
| <b>Salida de panela</b>                 | 0  | 0  | 0  | +  | +  |
| <b>Bajo consumo energético</b>          | -  | +  | +  | +  | +  |
| <b>Sistema modular</b>                  | +  | +  | -  | -  | +  |
| <b>Ruido</b>                            | 0  | 0  | +  | -  | -  |
| <b>Suma +</b>                           | 2  | 5  | 3  | 4  | 6  |
| <b>Suma 0</b>                           | 2  | 2  | 1  | 0  | 0  |
| <b>Suma -</b>                           | 3  | 0  | 3  | 3  | 1  |
| <b>Evaluación neta</b>                  | -1 | 5  | 0  | 1  | 5  |
| <b>Lugar 1</b>                          | 2  | 2  | 1  | 0  | 0  |
| <b>¿Continuar?</b>                      | No | Si | No | No | Si |

*Nota.* Evaluación de los distintos elementos a través de los criterios de selección más relevantes

La recopilación de información a través de este método resalta, en que un motor de combustión no puede estar como fuente de fuerza motriz debido a un detalle como lo es el humo que genera su uso, por ende, el usuario se vería afectado en su salud como incomodidad además de poner en riesgo las diferentes características físicas de la panela (color, sabor, entre otras), es por ello los valores en la evaluación neta.

Los elementos de transmisión presentan una relevancia significativa entre ellos, el motivo de que la evaluación neta de la opción cadena esa relacionado a inconvenientes mecánicos, ya que puede patinar, reduciendo significativamente la eficiencia, desgaste prematuro del elemento entre otros además de que se puede tener una sobrecarga involuntaria del sistema, y es ahí donde la selección del elemento es notoria.

## Capítulo IV

### Diseño e implementación del prototipo agitador de miel de caña de azúcar

En este capítulo, se llevará a cabo el diseño del prototipo agitador de miel de caña de azúcar, utilizando diferentes cálculos y software de simulación en la parte mecánica como en el sistema de control, además se abordará la construcción e implementación del prototipo agitador de miel de caña de azúcar mediante un sistema automático de depósito. Será esencial considerar

#### Diseño mecánico

##### *Tolva*

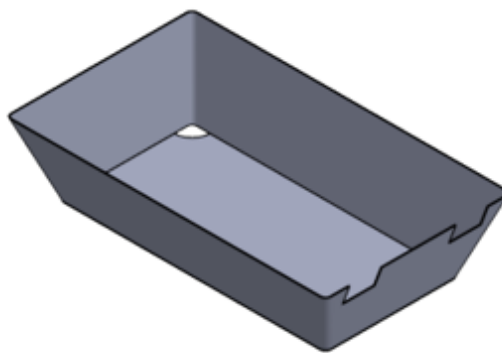
Para el dimensionamiento de las variables y dimensiones de la agitadora de miel de caña de azúcar es importante partir de la necesidad. En nuestro caso se pretende realizar cargas de 15 litros de miel de caña el cual tiene una densidad de 1.8kg/litro es decir en nuestro proyecto se tiene un peso de 45 kg

$$p = \frac{1.8kg}{l} * \frac{1000l}{m^3} = 1800 kg/m^3$$

Para el dimensionamiento se presenta el siguiente bosquejo de las dimensiones de la tolva del prototipo.

#### **Figura 40**

*Diseño de la tolva*

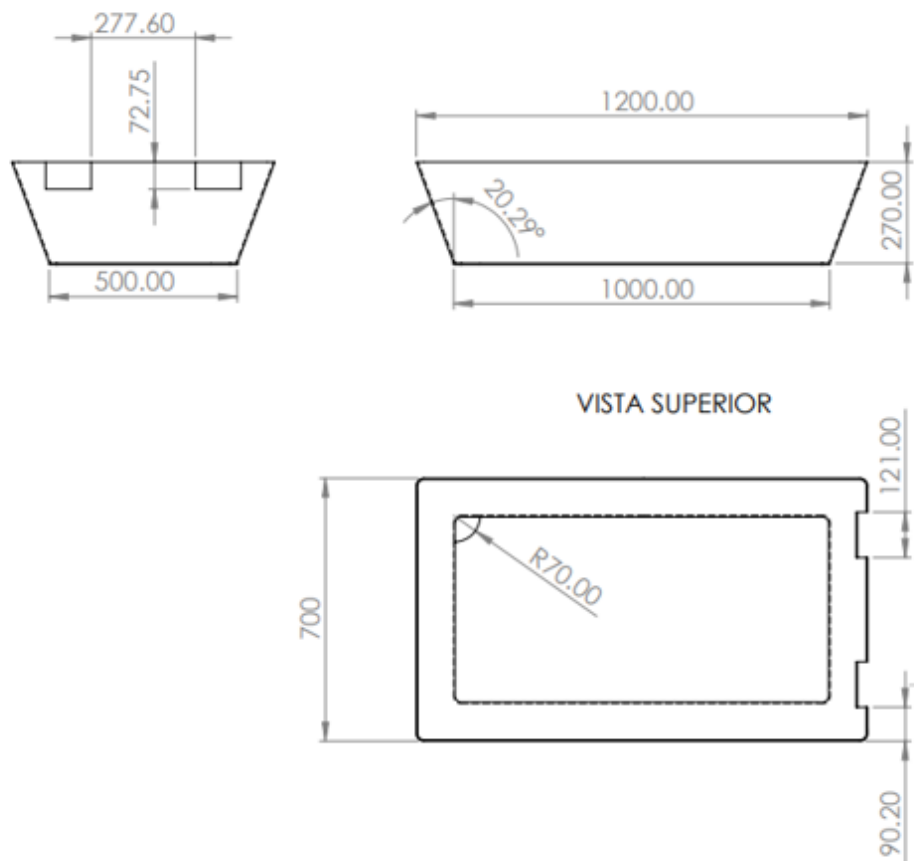


*Nota.* En la imagen se presenta el diseño de la tolva realizada en el software SolidWorks

Para el diseño de la tolva se tiene en cuenta las especificaciones y requerimientos de los propietarios de la finca, sobre todo en lo referente a las dimensiones. Estas dimensiones se observarán en la Figura 41

**Figura 41**

*Dimensiones de la tolva*



*Nota.* En la imagen se indican las dimensiones de tolva requeridas por el usuario para que el diseño sea óptimo

$$V = \left( \frac{B + b}{2} * \frac{L + l}{2} * h \right)$$

$$V = \left( \frac{0.7m + 0.5m}{2} * \frac{1.2m + 1m}{2} * 0.27m \right)$$

$$V = 0.01782 m^3$$

$$V = 0.01782 \text{ m}^3$$

Sabiendo que 1000 litros corresponden a 1 metro cubico obtenemos que nuestra capacidad es de 178.2

$$V = 0.01782 \text{ m}^3 * \frac{1000l}{\text{m}^3}$$

$$V = 178.2 \text{ litros}$$

Sin embargo, el movimiento generado por los ejes al batir la miel de azúcar no nos permite operar a su capacidad por que el líquido tiende a salir del tanque considerando estos factores se tiende a ocupar únicamente 1/3 de la capacidad de la máquina por lo cual se tiene un volumen 50 litros ocúpales.

Para considerar el espesor de la plancha a ocupar se considera que la miel tiene un comportamiento liquido por lo cual ejercerá una presión sobre todas las caras de la batidora provocando esfuerzos tangenciales, longitudinales y presiones.

### **Esfuerzos tangenciales.**

$$\sigma_t = \frac{p_i(d_i + t)}{2 * t}$$

Donde:

$$\sigma_t = \text{Esfuerzo tangencial}$$

$$p_i = \text{Presión interna } \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}^2}$$

$$d_i = \text{diámetro interno } m$$

$$t = \text{Espesor } m$$

### **Esfuerzos longitudinales.**

$$\sigma_l = \frac{p_i(d_i)}{4 * t}$$

Donde:

$$p_i = \text{Presión interna } \frac{kg}{m * s^2}$$

$$d_i = \text{diámetro interno } m$$

$$t = \text{Espesor } m$$

### Presión interna.

$$P_i = p * g * r_i$$

Donde:

$$p_i = \text{Presión interna } \frac{kg}{m * s^2}$$

$$p = \text{Densidad relativa promedio de la carga } \frac{kg}{m^3}$$

$$r_i = \text{Radio interno } m$$

$$g = \text{Constante de la gravedad } \frac{m}{s^2}$$

$$P_i = p * g * r_i$$

$$P_i = 1800 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * 1.2m$$

$$P_i = 1800 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * 1.2m$$

$$P_i = 21168 \frac{kg}{m * s^2}$$

$$P_i = 21.168KPa$$

$$P_i = 0.021168MPa$$

Para el cálculo del esfuerzo cortante consideramos la siguiente ecuación aplicando factor de seguridad

$$\tau_{max} = \frac{S_{Sy}}{\eta}$$

Donde:

- $S_{S_y} = \text{Resistencia de fluencia al corte}$
- $\eta = \text{Factor de corte}$

Para el diseño de la tolva de según el criterio de seguridad de máquinas es de 4.0 ya que estará sometido a cargas a presión:

$$S_{S_y} = 0.5 * S_y$$

Donde:

- $S_{S_y} = \text{Resistencia de fluencia al corte}$
- $S_y = \text{Resistencia a la fluencia del material a utilizar } 205\text{MPa}$

$$\tau_{max} = \frac{205\text{MPa}}{8}$$

$$\tau_{max} = 25.63$$

Para determinar el espesor mediante el despeje de las ecuaciones

$$2 * \tau_{max} = \frac{p_i(d_i + t)}{2 * t} - \frac{p_i(d_i)}{4 * t}$$

$$t = \frac{p_i * Dc}{4\tau_{max} - P_i}$$

$$t = \frac{p_i * r_i}{4\tau_{max} - P_i}$$

$$t = \frac{0.021168\text{MPa} * 0.5\text{m}}{4 * 25.63\text{MPa} - 0.021168\text{MPa}}$$

$$t = 1.03 * 10^{-3}\text{m}$$

$$t = 1\text{mm}$$

De acuerdo al cálculo se seleccionó una plancha de 1.9 mm

**Figura 42**

*Propiedades mecánicas del acero AISI 304*

| PROPIEDADES MECÁNICAS |       |                      |       |                   |                         |         |
|-----------------------|-------|----------------------|-------|-------------------|-------------------------|---------|
| RESISTENCIA MECÁNICA  |       | PUNTO DE FLUENCIA    |       | Elongación % Min. | PRUEBAS DE DUREZA (MAX) |         |
| Kg / mm <sup>2</sup>  | Psi   | Kg / mm <sup>2</sup> | Psi   |                   | ROCKWELL B              | VICKERS |
| 49                    | 69500 | 18                   | 25500 | 40                | 81,7                    | 160     |

Nota. En la imagen se presentan las propiedades mecánicas del acero AISI 30. Tomado de (Import Aceros, 2018)

**Diseño eléctrico**

El diseño eléctrico incluye componentes clave como el variador de frecuencia, el PLC, estos elementos son esenciales para arrancar el motor trifásico e impulsar el movimiento del agitador de miel de caña de azúcar.

**Tabla 13**

Principales componentes presentes en el prototipo

| Componentes                   | Descripción   |
|-------------------------------|---|
| <b>1 PLC</b>                  | Controlador lógico programable responsable de llevar a cabo el control del proceso.         |
| <b>Variador de frecuencia</b> | Inversor de frecuencia encargado de ajustar y regular la velocidad del motor.               |
| <b>Pulsadores</b>             | Dispositivos electromecánicos utilizados para abrir o cerrar circuitos eléctricos           |
| <b>Luces indicadoras</b>      | Dispositivos luminosos empleados para visualmente señalar el estado operativo del prototipo |
| <b>Fusible</b>                | Dispositivo de seguridad que protege el circuito  |



### ***Elemento de seguridad***

Se requieren dispositivos de seguridad para proteger los componentes que desempeñan funciones de trabajo, como los motores, o control, como los variadores de frecuencia. La adecuada selección de cada dispositivo de seguridad asegura la protección de los componentes de potencia. Entre los elementos de seguridad a utilizar se incluyen el fusible, el portafusibles y el interruptor termomagnético, los cuales están detalladamente descritos.

### ***Dimensionamiento de protección para los variadores de frecuencia entrada bifásica salida trifásica***

El variador de frecuencia de modelo DFL100-00150T4, tiene una corriente nominal de 5 A y con una alimentación de 220 V.

### **Figura 43**

*Variador de frecuencia DFL 100-00150T4*



*Nota.* En el figura se observa el variador de frecuencia DFL 100-00150T4. Tomado (Difasel, 2024)



### Interruptor termomagnético de la alimentación del PLC.

**Tabla 15**

*Principales componentes presentes en el prototipo*

| Componente                            | Consumo de corriente |
|---------------------------------------|----------------------|
| PLC Simatic S7-1200 6ES7212-1BE40-0XB | 2.0 A                |

$$I_{I.Termo_2} = I_{Variador} \times 1.25$$

$$I_{I.Termo_2} = 2.0 A \times 1.25$$

$$I_{I.Termo_2} = 2.5 A$$

**Figura 45**

*Interruptor termomagnético de la alimentación del PLC*

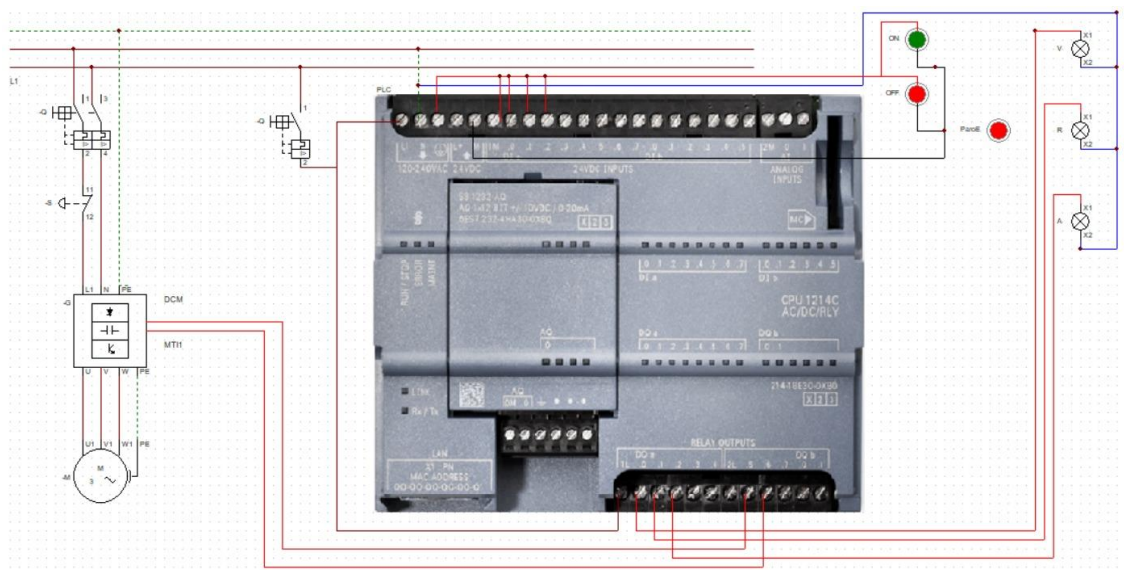


*Nota.* En la figura variador de frecuencia DFL 100-0015T4. Tomado de (ClaroShop , 2019)

El interruptor termomagnético que cumple con los requisitos de corriente 2.5 A, para el PLC.

**Figura 46**

Conexión electrónica del PLC



*Nota.* En la imagen se presenta la simulación del circuito de potencia y de control del sistema.

### Algoritmo de programación

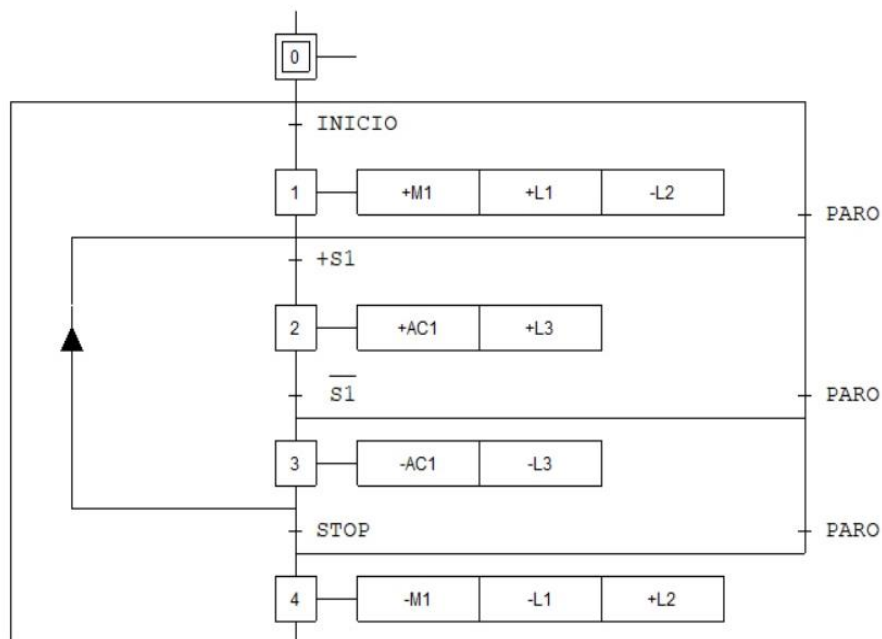
En la Tabla 16 se presenta el Grafset utilizado en el proceso realizado por la agitadora de miel de caña de azúcar y en la Figura 47 se presentará el diagrama Grafset del proceso.

**Tabla 16**

*Nomenclatura del GRAFCET*

| Descripción                                | Descripción                |
|--|----------------------------|
| INICIO = Botón de inicio                   | +L2 = Luz rojo encendida   |
| +M1 = arranque de motor de tolva           | -L2 = Luz roja apagada     |
| +L1 = Luz verde encendida                  | +L3 = Luz verde encendida  |
| -L1 = Luz verde apagado                    | -L3 = Luz verde apagada    |
| +S1 = Sensor salida estado "1"             | +AC1 = Actuador estado "1" |
| $\overline{S1}$ = Sensor salida estado "0" | -AC1 = Actuador estado "0" |
| STOP = Botón paro de ciclo                 | PARO = Paro de emergencia  |

**Figura 47**  
*Diagrama Grafcet*



De acuerdo con la secuencia del Grafcet del sistema, se lleva a cabo la programación en lenguaje Ladder mediante el uso del software TIA Portal V17. El programa se compone de seis secciones principales: el modo automático, las salidas, el modo manual y el bloque principal (main). En el bloque principal, el programa está estructurado en bloques de funciones, específicamente para el modo automático, el modo manual y las salidas. El modo automático realiza el batido y llenado de 25 moldes de panela por cada parada que sea accionada.

### **Construcción de la parte mecánica**

Se realizó la construcción de la estructura mecánica diseñada en el capítulo anterior siguiendo los parámetros establecidos. La configuración principal de la máquina, que se sometió a un análisis mecánico, se presenta en la Figura 47.

**Figura 48**

*Prototipo agitador de miel*



*Nota.* En la imagen se muestra la tolva construida en acero 304 tipo alimenticio y Grilon e implementada en la finca Yaguira-Pacto.

En la Figura 48, se observa la construcción de la tolva en el taller de mecanizado en la cual se fue fabricada con acero AISI 304 de tipo alimentario basándose en cada uno de los requerimientos de los propietarios de la finca Yaguira.

**Figura 49**

*Construcción de la tolva*



*Nota.* En la figura se observa el proceso de construcción de la tolva

El siguiente paso será la construcción del mecanismo biela manivela realizada en material Grilon basándose en los requerimientos necesarios para realizar el proceso de agitado de la miel.

**Figura 50**

*Construcción del mecanismo de agitado*



*Nota.* En la figura se observa el proceso de construcción del mecanismo para agitar la miel

## Implementación del sistema electrónico

Para la implementación del sistema electrónico los componentes utilizados fueron colocados en un tablero de control. El tamaño debe ser adecuado para colocar cada uno de los dispositivos eléctricos que darán el funcionamiento idóneo al prototipo.

### Figura 51

Construcción de la tolva



*Nota.* En la figura se observa la conexión electrónica de cada uno de los dispositivos en el tablero de control

## Implementación de la programación Ladder

En la siguiente sección, se presentará la programación Ladder diseñada para supervisar el funcionamiento del PLC. Esta programación se organiza en seis secciones distintas, cada una de las cuales se encargará de controlar aspectos específicos, como el agitado de la miel de caña de azúcar en la tolva y la visualización de los indicadores ubicados en el tablero de control. Véase en la Figura 51 y la Figura 52



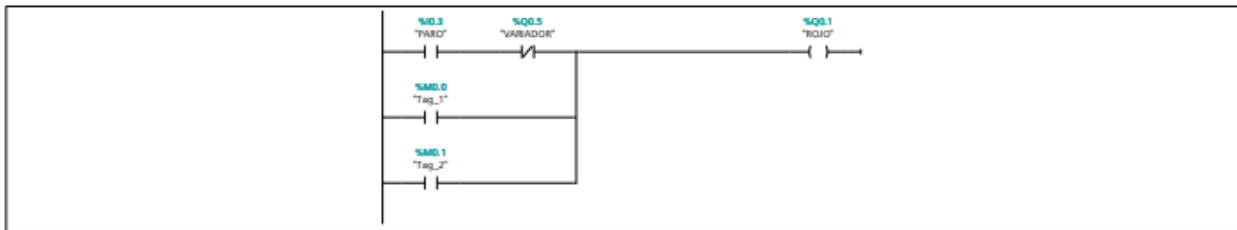
**Figura 52**  
*Programación Ladder*



**Network 2:**



**Network 3:**

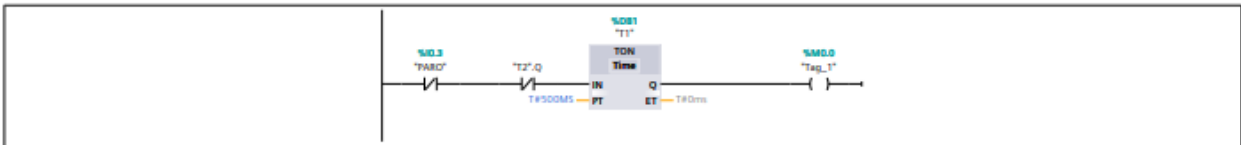


**Figura 53**  
*Programación Ladder*

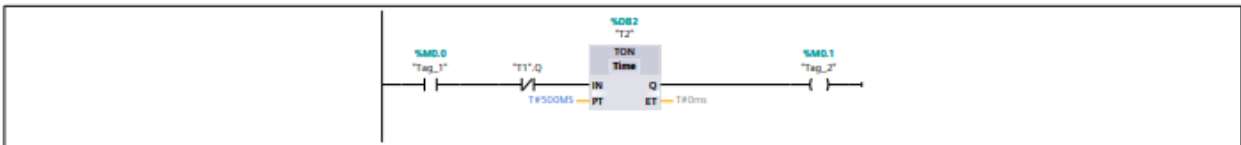
**Network 4:**



**Network 5:**



**Network 6:**



## Capítulo V

### Análisis de pruebas y resultados

En este capítulo se desarrollarán las pruebas de funcionamiento del prototipo agitador de miel de caña de azúcar

#### Pruebas de calibración

**Tabla 17**

*Pruebas de calibración para 5 moldes de panela*

| Producción por lotes (5 moldes con panela) | Tempo (min: s) | Frecuencia aplicada al motor<br>Hz | Observaciones  |
|--|----------------|------------------------------------|--|
| 1  | 9:18           | 30                                 | Batido demasiado lento, panela de aspecto reseco, inconvenientes al vaciado                        |
| 2  | 7:35           | 40                                 | Batido lento, Panela con aspecto reseco, vaciado demoroso  |
| 5  | 5:07           | 50                                 | Batido normal, Panela con buen aspecto, vaciado adecuado   |
| 3  | 3:45           | 60                                 | Batido rápido, riesgo de quemaduras por salpicaduras, Panela de muy buen aspecto, vaciado adecuado |

**Tabla 18***Pruebas de calibración para 15 moldes de panela*

| <b>Producción por lotes<br/>(15 moldes con<br/>panela)</b> | <b>Tempo (min: s)</b> | <b>Frecuencia<br/>aplicada al motor<br/>(Hz)</b> | <b>Observaciones</b>  |
|--|-----------------------|--|---|
| 1  | 15:32                 | 30   | Batido demasiado lento, panela de aspecto arrozado, problemas al vaciado se resaca el contenido<br>Batido lento, Panela con aspecto |
| 2  | 13:28                 | 40   | granulado, vaciado con complicaciones<br>Batido normal, Panela con buen aspecto,  |
| 3  | 9:10                  | 50   | vaciado adecuado<br>Batido rápido, riesgo de quemaduras por salpicaduras, Panela de muy buen aspecto,                               |
| 4  | 8:03                  | 60   | correcto vaciado  |

**Tabla 19***Pruebas de calibración para 25 moldes de panela*

| <b>Producción por lotes<br/>(25 moldes con panela)</b> | <b>Tempo (min: s)</b> | <b>Frecuencia<br/>aplicada al motor<br/>(Hz)</b> | <b>Observaciones</b>  |
|--|-----------------------|--|---|
| 1  | -                     | 30   | Motor no rompe la inercia, sobre peso   |
| 2  | 22:15                 | 40   | Batido demasiado lento, Panela con aspecto granulado, inconvenientes al vaciado                 |
| 3  | 11:28                 | 50   | Batido normal, Panela con un aspecto ideal, vaciado adecuado                                    |
| 4  | 9:37                  | 60   | Batido rápido, riesgo de quemaduras por salpicaduras, Panela de aspecto ideal, vaciado adecuado |

**Tabla 20***Pruebas de calibración para 30 moldes de panela*

| <b>Producción por lotes<br/>(30 moldes con panela)</b> | <b>Tempo (min: s)</b> | <b>Frecuencia<br/>aplicada al motor<br/>(Hz)</b> | <b>Observaciones</b>   |
|--|-----------------------|--|--|
| 1  | -                     | 30   | Motor no rompe la inercia, sobre peso                        |
| 2  | -                     | 40   | Arranque forzado con exceso de vibración                     |
| 3  | 13 :10                | 50   | Batido normal, Panela con un aspecto ideal, vaciado adecuado |

| <b>Producción por lotes<br/>(30 moldes con panela)</b> | <b>Tiempo (min: s)</b> | <b>Frecuencia<br/>aplicada al motor<br/>(Hz)</b> | <b>Observaciones</b>  |
|--|------------------------|--|---|
| 4  | 10:50                  | 60   | Batido rápido, riesgo de quemaduras por salpicaduras, Panela de aspecto ideal, vaciado adecuado |

### Validación de la hipótesis

Para la validación de la hipótesis consideramos 12 muestras con respecto a los datos obtenidos de manera manual y de manera automática, por lo cual se considera que:

$h_0$ -

$h_1$ -

Se aplico el concepto de T-Student para la validación de hipótesis

### **Datos obtenidos en modo manual**

**Tabla 21**

*Datos obtenidos en modo manual*

| <b>Producción por lotes (25<br/>moldes por panela)</b> | <b>Tiempo</b> |
|--|---------------|
| 1  | 20:26         |
| 2  | 19:37         |
| 3  | 20:09         |
| 4  | 22:10         |
| 5  | 21:50         |
| 6  | 23:18         |
| 7  | 24:10         |
| 8  | 23:11         |
| 9  | 25:12         |

| <b>Producción por lotes (25<br/>moldes por panela)</b> | <b>Tiempo</b> |
|--|---------------|
| 10   | 24:11         |
| 11   | 24:40         |
| 12   | 26:35         |

**Tabla 22**

*Datos obtenidos en modo manual de producción de 25 moldes*

| <b>Envasado (lote de 25<br/>moldes por panela)</b> | <b>Tiempo</b> |
|--|---------------|
| 25   | 22.81         |
| Promedio   | 2.17          |
| Desviación estándar                                |               |
| Muestra  | 12            |
| Varianza   | 4.709         |

*Datos obtenidos en modo automático*

**Tabla 23**

*Datos obtenidos en modo automático de producción de 25 moldes*

| <b>Producción por lotes (25<br/>moldes por panela)</b> | <b>Tiempo</b> |
|--|---------------|
| 1  | 12:10         |
| 2  | 11:50         |
| 3  | 12:57         |
| 4  | 11:01         |
| 5  | 12:17         |
| 6  | 11:41         |
| 7  | 12:33         |
| 8  | 12:07         |
| 9  | 11:42         |

| Producción por lotes (25<br>moldes por panela) | Tiempo |
|--|--------|
| 10   | 11:09  |
| 11   | 12:50  |
| 12   | 13:45  |

**Tabla 24**

*Datos obtenidos en modo automático*

| Envasado (lote de 25<br>moldes por panela) | Tiempo  |
|--|---------|
| 25   | 11.97   |
| Promedio                                   | 10.02   |
| Desviación estándar                        |         |
| Muestra                                    | 12      |
| Varianza                                   | 100.400 |

Se aplica varianza común por medio de la ecuación:

$$vc = \frac{((n_1 - 1)v_1 + (n_2 - 1)v_2)}{n_1 + n_2 - 2}$$

$$vc = \frac{((12 - 1)(4.709) + (12 - 1)(100.4))}{12 + 12 - 2}$$

$$vc = \frac{51.799 + 1104.4}{22}$$

$$vc = 52.555$$

Error estándar de las diferencias de las medias:

$$ESM = \sqrt{(vc) \frac{n_1 + n_2}{n_1 * n_2}}$$

$$ESM = \sqrt{(52.555) \frac{12 + 12}{12 * 12}}$$

$$ESM = \sqrt{(52.555) \frac{24}{144}}$$

$$ESM = \sqrt{(52.555) \frac{24}{144}}$$

$$ESM = 2.96$$

Valor de la T-test será:

$$t_{cal} = \text{diferencia de las medias}$$

Se trabaja con un nivel de confianza de 0.05:

$$t_{cal} = \frac{0.95}{2.96}$$

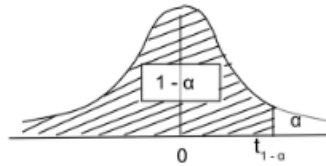
$$t_{cal} = 0.321$$

Con respecto a los grados de libertad y dependiendo de la tabla de distribución T Student mostrada en la Figura 54.



Figura 54

Tabla T-Student



| $\alpha$   | 0,10       | 0,05       | 0,025       | 0,01       | 0,005       | 0,0025       | 0,001       |
|------------|------------|------------|-------------|------------|-------------|--------------|-------------|
| $1-\alpha$ | 0,90       | 0,95       | 0,975       | 0,99       | 0,995       | 0,9975       | 0,999       |
| $v$        | $t_{0,90}$ | $t_{0,95}$ | $t_{0,975}$ | $t_{0,99}$ | $t_{0,995}$ | $t_{0,9975}$ | $t_{0,999}$ |
| 1          | 3,078      | 6,314      | 12,71       | 31,82      | 63,660      | 127,3        | 318,3       |
| 2          | 1,886      | 2,920      | 4,303       | 6,965      | 9,925       | 14,09        | 22,33       |
| 3          | 1,638      | 2,353      | 3,182       | 4,541      | 5,541       | 7,453        | 10,21       |
| 4          | 1,533      | 2,132      | 2,776       | 3,747      | 4,604       | 5,598        | 7,173       |
| 5          | 1,476      | 2,015      | 2,571       | 3,365      | 4,032       | 4,773        | 5,893       |
| 6          | 1,440      | 1,943      | 2,447       | 3,143      | 3,707       | 4,317        | 5,208       |
| 7          | 1,415      | 1,895      | 2,365       | 2,998      | 3,499       | 4,029        | 4,785       |
| 8          | 1,397      | 1,860      | 2,306       | 2,896      | 3,335       | 3,833        | 4,501       |
| 9          | 1,383      | 1,833      | 2,262       | 2,821      | 3,250       | 3,690        | 4,297       |
| 10         | 1,372      | 1,812      | 2,228       | 2,764      | 3,169       | 3,581        | 4,144       |
| 11         | 1,363      | 1,796      | 2,201       | 2,718      | 3,106       | 3,497        | 4,025       |
| 12         | 1,356      | 1,782      | 2,179       | 2,681      | 3,055       | 3,428        | 3,930       |
| 13         | 1,350      | 1,771      | 2,160       | 2,650      | 3,012       | 3,372        | 3,852       |
| 14         | 1,345      | 1,761      | 2,145       | 2,624      | 2,977       | 3,326        | 3,787       |
| 15         | 1,341      | 1,753      | 2,131       | 2,602      | 2,947       | 3,286        | 3,733       |
| 16         | 1,337      | 1,746      | 2,120       | 2,583      | 2,921       | 3,252        | 3,686       |
| 17         | 1,333      | 1,740      | 2,110       | 2,567      | 2,898       | 3,222        | 3,646       |
| 18         | 1,330      | 1,734      | 2,101       | 2,552      | 2,878       | 3,197        | 3,610       |
| 19         | 1,328      | 1,729      | 2,093       | 2,539      | 2,861       | 3,174        | 3,579       |
| 20         | 1,325      | 1,725      | 2,086       | 2,528      | 2,845       | 3,153        | 3,552       |
| 21         | 1,323      | 1,721      | 2,080       | 2,518      | 2,831       | 3,135        | 3,527       |
| 22         | 1,321      | 1,717      | 2,074       | 2,508      | 2,819       | 3,119        | 3,505       |

*Nota.* La zona rallada es la región de rechazo y la zona transparente es la zona de aceptación de la hipótesis nula

Con respecto a la tabla mostrada en la Figura 54 podemos observar que el grado de libertad obtenido es 22:

- $h_o: t_{cal} > t_{0,95}$  se acepta
- $h_o: t_{cal} < t_{0,95}$  se rechaza

$$t_{cal} < t_{0,95}$$

$$0,321 < 1,717$$

Se observa que la hipótesis nula se rechaza con la implementación de T Student por lo cual la hipótesis alternativa de acepta.

## Capítulo VI

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones

- Se diseñó y se construyó un prototipo agitador de miel de caña de azúcar cuyas dimensiones 1200 x 500 x 270 mm, con un sistema automático de depósito de panela en moldes, obteniendo una mejora significativa en la productividad de este proceso
- Se logró realizar una investigación el estado del arte de la miel de caña de azúcar y producción de panela de esta manera se efectuó la selección de los componentes necesarios para la construcción del presente prototipo, siendo estos: Motor eléctrico siemens, Variador de frecuencia, Arduino UNO, Sensor HC-SR04, Servomotor, Pulsadores y Luces piloto, entre otros
- Se diseñó un prototipo mecánico con acero inoxidable 304 de grado alimenticio que albergue tanto el sistema electrónico y de control, logrando adaptarse a la cantidad de miel requerida con una calibración de 50 Hz y establecer un lote de producción de 25 moldes.
- Se diseñó un sistema eléctrico-electrónico de tal manera que al dar marcha este prototipo, los sensores y actuadores lograron adaptarse al requerimiento de las dimensiones del producto final sin afectar al consumidor.
- El diseño eléctrico-electrónico presenta una configuración modular con el objetivo de incorporar sistemas de automatización adicionales, como una banda transportadora o sistemas automáticos de transporte de miel, siendo un diseño flexible y se adapta a las necesidades aun presentes en la fabricación de panela.
- La correlación existente entre los diferentes sistemas se verificó a través de la sinergia observada en el correcto funcionamiento del sistema agitador de miel y el sistema de depósito de moldes contribuyendo al rendimiento general del proceso.

- El prototipo se validó con un lote de producción de 25 unidades en un intervalo menor a 20 minutos, también se distribuyó el sistema automatizado adaptando la cantidad de producto final con unas dimensiones que se acoplan a los equipos utilizados los cuales poseen repuestos de fácil adquisición y reposición.

### **Recomendaciones**

- La información que se adquiera debe provenir de fuentes bibliográficas confiables, garantizando la fiabilidad y obtener un criterio más centrado a la información previamente adquirida, estos pueden ser repositorios académicos digitales, artículos científicos, revistas científicas entre otras.
- Analizar opciones mecánicas que permitan mitigar el inconveniente de vibración para obtener un funcionamiento óptimo del sistema.
- Utilizando la configuración modular presentes en el diseño eléctrico-electrónico, se recomienda integrar sistemas y subsistemas que mejore la rentabilidad del proceso reduciendo esfuerzos físicos con la mejorar del tratado y cuidado del proceso en general
- Incorporar un sistema de suministro de energía independiente para los diferentes sistemas a integrar en caso de hacerlo, y evitar inconvenientes como caídas de tensión, control de costos, entre otros además de ayudar a la vida útil de los equipos
- Cuidar el grado de inclinación especificado en la instalación que presenta la tolva garantizando un flujo constante y uniforme de depósito de panela ya que pueden presentarse como una perturbación directa en la productividad

## Bibliografía

- ABB. (2024). *Variador de frecuencia*. Recuperado el 11 de Enero de 2024, de <https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador>
- ADR. (2017). Obtenido de [https://www.adrformacion.com/knowledge/ingenieria-y-proyectos/\\_que\\_es\\_solidworks\\_.html](https://www.adrformacion.com/knowledge/ingenieria-y-proyectos/_que_es_solidworks_.html)
- Agrosavia. (2016). Obtenido de <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/18950?locale-attribute=en>
- Arduino UNO. (14 de Enero de 2021). *Arduino.cl*. Obtenido de <https://arduino.cl/arduino-uno/>
- Artunduaga, L., & Arrigui, L. (2003). Obtenido de <https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/1ba59922-e997-4159-acf6-a3c8caf1a3ad/content>
- AVN. (04 de abril de 2018). Obtenido de <https://www.el-carabobeno.com/el-papelon-es-monarca-en-la-cocina-criolla/>
- Carlosama, P. (2009). *Repositorio UPN*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1654/1/CD-2015.pdf>
- Castellanos, J. (2019). Obtenido de <https://www.studocu.com/co/document/politecnico-grancolombiano/ciencias-basicas/2019-tesis-jonatan-fernando-castellanos-hernandez/58515513>
- Castillo, M. (2004). *Repositorio ESPOL*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3786/1/6313.pdf>
- ClaroShop . (2019). Obtenido de <https://www.claroshop.com/producto/936000/interruptor-termomagnetico-din-2-polos-20-a>
- Collaguazo, K., & Játiva, J. (noviembre de 2007). *Repositorio UPS*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1994>
- Corrales, V. (mayo de 2012). *Repositorio UPS*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3982/1/UPS-ST000777.pdf>

- DiarioHuila. (03 de abril de 2021). Obtenido de <https://diariodelhuila.com/asi-produce-panela/>
- Difasel. (2024). Recuperado el 11 de Enero de 2024, de <https://difasel.com/index.php/product/variador-de-frecuencia-1hp/>
- Difasel. (2024). Obtenido de <https://difasel.com/index.php/product/variador-de-frecuencia-1hp/>
- Dynamoelectronics. (2021). Obtenido de <https://www.dynamoelectronics.com/tienda/servomotor-digital-ds3225mg/>
- Electro Industrial . (2018). Obtenido de <https://www.eivinieza.com.ec/automatizacion-y-control/luces-piloto/luces-piloto-16mm.html>
- Ensinger . (2024). Obtenido de <https://www.ensingerplastics.com/es-es/semielaborados/plastico/pa6-tecamid-6-natural>
- Estevez, J. (2021). Obtenido de <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/arduino-ide/>
- Gonzales, C. (2009). Obtenido de [https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/628/1/TCA\\_GonzalezCristian\\_2009.pdf](https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/628/1/TCA_GonzalezCristian_2009.pdf)
- Hernández, J. F. (2019). *Diseño y construcción de máquina para la producción de panela pulverizada*. Obtenido de Repositorio UNAB: <http://hdl.handle.net/20.500.12749/7025>
- Import Aceros. (2018). Obtenido de <https://www.importaceros.com/ecuador-quito/acero-inoxidable-304/>
- Importaceros. (2021). Obtenido de <https://www.importaceros.com/ecuador-quito/acero-inoxidable-304/>
- Improselec. (2024). Recuperado el 11 de Enero de 2024, de <https://improselec.com/producto/motor-siemens-iec-1-5hp-3600rpm/>
- infoPLC. (2024). Obtenido de <https://www.infoplcn.net/descargas/107-siemens/software-step7-tiaportal/tia-portal/3501-siemens-tia-portal-v18-requisitos-pc>
- Keterangan. (2022). Obtenido de <https://www.firgelliauto.com/id/products/arduino-uno-r3-microcontroller>

- Maya, D., & Ordoñez, N. (2017). *Repositorio ESPE*. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/12988>
- Mendonca, M. d. (febrero de 2017). *NIH*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5381655/>
- Molinero, R. (03 de enero de 2019). *Vanguardia*. Obtenido de <https://www.lavanguardia.com/comer/materia-prima/20190103/453830976290/panela-propiedades-beneficios-valor-nutricional.html>
- Naylamp Mechatronics. (2023). *Convertidor Voltaje Dc-Dc*. Recuperado el 26 de Enero de 2024, de <https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/196-convertidor-voltaje-dc-dc-step-down-3a-1m2596.html>
- Naylamp Mechatronics. (2023). *Sensor Ultrasonido HC -SR04*. Recuperado el 26 de Enero de 2024, de <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/10-sensor-ultrasonido-hc-sr04.html>
- Novatronicec. (2020). Obtenido de <https://novatronicec.com/index.php/product/hcsr04-sensor-ultrasonico/>
- Novatronicec. (2020). Obtenido de <https://novatronicec.com/index.php/product/regulador-de-voltaje-dc-dc-1m2596/>
- Obando, P. (2010). *UTN*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/2247/2/ARTICULO%20CIENTIFICO%20PANELA.pdf>
- Ortiz, H. (diciembre de 2012). Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342012000900020](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000900020)
- Portocarrero, R. (2019).
- Quezada, F. (2018). *KNE*. Obtenido de <https://knepublishing.com/index.php/KnE-Engineering/article/view/1409/3422>

Ramos, E. (7 de mayo de 2020). *El campesino* . Obtenido de <https://elcampesino.co/un-poco-de-historia-sobre-el-proceso-y-produccion-de-la-panela/>

Rebollar, S. (2017). *Redalyc*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/141/14153918014/html/>

SIEMENS. (2024). *Motores eléctricos SIMOTICS para la industria*. Recuperado el 8 de Enero de 2024, de <https://www.siemens.com/es/es/productos/accionamientos/motores-electricos.html>

Syzcominsa . (2022). Obtenido de <https://syzcominsa.pe/blog/arranque-y-proteccion-para-motores-asincronos-en-baja-tension>

TES. (2018). Obtenido de [https://tes-electric.com/portfolio\\_page/pulsadores-de-emergencia/](https://tes-electric.com/portfolio_page/pulsadores-de-emergencia/)

Vargas, L. (septiembre de 2022). *Repositorio UTA* . Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/36080/1/AL%20863.pdf>