



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE MECATRÓNICA**

**DISEÑO MECATRÓNICO DE UNA MÁQUINA SECADORA DE  
BOTELLAS DE VIDRIO EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE  
CERVEZA ARTESANAL**

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

**AUTORES: RONALD ISMAEL LÓPEZ TORRES**  
**EDISSON DANIEL SOLANO SOLANO**  
**TUTOR: ING. EUGENIO CÁRDENAS CADME, M.Sc.**

Cuenca – Ecuador

2023

# CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Ronald Ismael López Torres con documento de identificación N° 0105487722 y Edison Daniel Solano Solano con documento de identificación N° 0105869242; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 18 de enero del 2023

Atentamente,



---

**Ronald Ismael López Torres**  
**0105487722**



---

**Edisson Daniel Solano Solano**  
**0105869242**

# **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Ronald Ismael López Torres con documento de identificación N° 0105487722 y Edison Daniel Solano Solano con documento de identificación N° 0105869242, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: "Diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal ", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 18 de enero del 2023

Atentamente,



---

**Ronald Ismael López Torres**  
**0105487722**



---

**Edisson Daniel Solano Solano**  
**0105869242**

# **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Angel Eugenio Cárdenas Cadme con documento de identificación N° 0301631966, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO MECATRÓNICO DE UNA MÁQUINA SECADORA DE BOTELLAS DE VIDRIO EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL , realizado por Ronald Ismael López Torres con documento de identificación N° 0105487722 y Edison Daniel Solano Solano con documento de identificación N° 0105869242, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 18 de enero del 2023

Atentamente,



---

**Ing. Angel Eugenio Cárdenas Cadme, M.Sc.**  
**0301631966**

# Dedicatoria

## ***Ronald Ismael***

El presente proyecto de titulación está dedicado a Dios por permitirme alcanzar este logro tan anhelado y esperado en mi vida, y por darme la sabiduría para lograr este objetivo alcanzado.

Principalmente agradezo a mis padres Rolando y Mónica, por apoyarme desde el comienzo de mis estudios hasta el final, por saber guiarme por el camino del bien y formarme con todos los valores de una persona buena, responsable y bondadosa, muchas gracias por todo el sacrificio que han realizado para ayudarme a cumplir esta meta tan importante en mi vida.

Dedico a mi hermano Christian, quién desde el cielo me protege y me cuida, por darme esa fortaleza para cada día levantarme y seguir adelante, a mi hermana Heydi por siempre estar a mi lado y sacarme esa sonrisa cuando más lo necesito.

A mi enamorada Fernanda por estar siempre a mi lado desde el comienzo de mi carrera y apoyarme incondicionalmente sin importar la situación, gracias por ayudarme a no darme por vencido y terminar con esta meta propuesta en mi vida.

Finalmente quiero dedicar a toda mi familia, por ser parte de este proceso y por todo el apoyo que me han brindado en este proceso, a mis amigos Luis, Joffre, Josué y Edison que siempre han estado ahí para darme la mano en cualquier momento.

## ***Edisson Daniel***

El presente trabajo de titulación esta dedicado a Dios por darme esa fuerza y guiarme en este proceso para obtener uno de los anhelos mas deseados en mi vida.

Principalmente va dedicado a mis padres por su gran esfuerzo, trabajo y sacrificio en todos estos años de carrera universitaria, gracias a su enorme esfuerzo he logrado llegar hasta aquí a

cumplir una meta más en mi vida, son los mejores padres. De igual manera a toda mi familia que siempre estuvieron presentes demostrandome su apoyo y con las ganas de verme salir adelante.

También va dedicado para mi amigo Ronald, compañero de tesis que a lo largo de esta carrera universitaria siempre hemos logrado salir de cualquier problema, los mejores deseos para el siempre.

Para mi mejor amiga Andrea que siempre estuvo apoyandome en los buenos y malos momentos y con las ganas de siempre verme feliz y brindarme su apoyo cuando más lo he necesitado.

Finalmente quiero dedicar a mis amigos que estuvieron presentes a lo largo de estos años de estudio a mis amigos Miguel, Juan Diego, Christian que siempre me apoyaron cuando mas lo necesité de verdad mil gracias hermanos, y en general para todos mis amigos que de una u otra forma siempre me ayudaron, los llevaré siempre en mi corazón.

# Agradecimientos

## *Ronald Ismael*

Agradezco a Dios por permitirme llegar a cumplir esta meta tan importante en mi vida, por darme salud y sabiduría y por protegerme con su bendición durante este largo camino.

De igual manera a la Universidad Politécnica Salesiana por permitirme ser parte de tan prestigiosa institución, a la carrera de mecatrónica por el apoyo brindado durante todo este proceso, a los docentes por ser parte del aprendizaje obtenido durante estos 5 años.

Finalmente quiero agradecer al Ing. Eugenio Cárdenas, por el acompañamiento y apoyo brindado durante toda la realización del proyecto de titulación, aportando con su conocimiento y responsabilidad, mis sinceros agradecimientos al Ing. Luis Reina por abrirme las puertas y permitirme realizar el trabajo de titulación en tan honorable empresa, de igual manera mi más sincero agradecimiento al Ing. Diego Urgiles por su valiosa colaboración en la redacción y ayuda en la sección del abstract.

## *Edisson Daniel*

Quiero agradecer a Dios, quien con su bendición siempre me llevó por el camino de bien y que me llena de bendición siempre y a toda mi familia por estar siempre presentes.

De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador, a la carrera de Mecatrónica, a mis profesores que siempre fueron vitales para el conocimiento requerido durante todo este proceso de estudio.

También quiero agradecer al Ing. Diego Urgiles por su grandiosa colaboración en la redacción para la escritura correcta del abstract.

Para culminar quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. Eugenio Cárdenas, que fue el guía primordial para el desarrollo de este proyecto, quien con su enseñanza, honestidad y su colaboración permitió la culminación de este proyecto.

Este documento fue realizado enteramente en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X



# Índice

<b>Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación</b>	<b>I</b>
<b>Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana</b>	<b>II</b>
<b>Certificado de dirección del trabajo de titulación</b>	<b>III</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>IV</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>VI</b>
<b>Resumen</b>	<b>XIV</b>
<b>Abstract</b>	<b>XV</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Problema</b>	<b>1</b>
2.1. Antecedentes . . . . .	1
2.2. Descripción del problema . . . . .	3
2.3. Importancia y alcances . . . . .	4
2.4. Delimitación . . . . .	4
2.4.1. Espacial o geográfica . . . . .	4
2.4.2. Temporal . . . . .	5
2.4.3. Sectorial o institucional . . . . .	5
2.5. Problema General . . . . .	6
2.6. Problemas Específicos . . . . .	6
<b>3. Objetivos</b>	<b>6</b>
3.1. Objetivo General . . . . .	6
3.2. Objetivos Específicos . . . . .	6
<b>4. Hipótesis</b>	<b>7</b>
4.1. Hipótesis General . . . . .	7
4.2. Hipótesis Específicas . . . . .	7

<b>5. Marco Teórico</b>	<b>7</b>
5.1. Proceso de fabricación de cerveza artesanal	7
5.1.1. Procesos previos	8
5.1.2. Molinado	8
5.1.3. Tratamiento de agua	8
5.2. Maceración	9
5.3. Hervido	9
5.4. Fermentación y Maduración	10
5.4.1. Fermentación primaria	10
5.4.2. Fermentación secundaria	10
5.4.3. Maduración	11
5.4.4. Carbonatación forzada y envasado	11
5.5. Producción	11
5.6. Automatización	12
5.6.1. Inspección de botellas y envases de vidrio	13
5.7. Secado	13
5.7.1. Métodos generales de secado	14
5.8. Tipos de sistemas de secado de botellas de vidrio	14
5.8.1. Sistema FastRack	14
5.8.2. Linadry	15
5.8.3. Flexidry	16
5.8.4. Calidad de aire comprimido	16
5.8.5. Secadores de aire desecantes	16
5.8.6. Secadores de tipo refrigerativos	17
5.8.7. Secador refrigerativo de aire	17
5.8.8. Secadores frigoríficos	17
5.8.9. Secadores de membrana	17
5.9. Elemento a considerar en el diseño	18
5.9.1. Banda transportadora	18
5.9.2. Bandas	18
5.9.3. Rodillos	19
5.9.4. Estructura Metálica	20
5.9.5. Tambor	21
5.9.6. Motor electrico para banda transportadora	21
5.9.7. Relación rodillo motor	22

5.9.8. Boquilla de aire LECHLER . . . . .	24
<b>6. Marco metodológico</b>	<b>25</b>
6.1. Establecimiento de los parámetros iniciales para el diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal . . . . .	26
6.1.1. Datos iniciales tomados en la Cervecería La Paz . . . . .	26
6.1.2. Cálculo de caudal constante utilizado . . . . .	26
6.1.3. Ancho de bandas: . . . . .	28
6.1.4. Velocidad de la banda: . . . . .	28
6.1.5. Espacio entre botellas en la línea de producción : . . . . .	29
6.1.6. Espacio total para la construcción del diseño : . . . . .	29
6.1.7. Tipos de cerveza y cantidad de producción : . . . . .	29
<b>7. Propuestas de diseño</b>	<b>29</b>
7.1. Diseño dinámico de la secadora de botellas de vidrio . . . . .	29
7.2. Cálculo del área de soplado de la boquilla . . . . .	30
7.3. Diseño mecánico de la máquina secadora de botellas de vidrio . . . . .	34
7.3.1. Cálculo del diámetro de tubería para flujo de aire . . . . .	34
7.4. Propuestas de diseño mecánico . . . . .	35
7.5. Simulación dinámica de la máquina secadora de botellas . . . . .	39
7.6. Simulación dinámica de la máquina secadora de botellas . . . . .	39
7.7. Tabla de Particulares diseñados . . . . .	40
7.8. Diagrama de eventos discretos para el accionamiento de la máquina secadora de botellas . . . . .	44
7.9. Diagrama de accionamiento de la electroválvula . . . . .	46
<b>8. Resultados</b>	<b>47</b>
<b>9. Cronograma</b>	<b>50</b>
<b>10. Presupuesto</b>	<b>52</b>
10.1. Talento humano . . . . .	52
10.2. Recursos materiales . . . . .	52
<b>11. Conclusiones</b>	<b>53</b>

<b>12. Recomendaciones</b>	<b>53</b>
<b>Referencias</b>	<b>56</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>56</b>
<b>Anexo A: Matriz de Consistencia Lógica</b>	<b>56</b>
<b>Anexo B: Planos de construcción</b>	<b>58</b>

# Lista de Tablas

- 1. Tipos de bandas . . . . . 19
- 2. Parámetros de carga de alimentación por rodillos. . . . . 24
- 3. Cálculo del área de soplado de boquilla . . . . . 31
- 4. Cálculo del diámetro de tubería para flujo de aire . . . . . 34
- 5. Tabla de particulares . . . . . 41
- 6. Tabla de particulares . . . . . 44
- 7. Parámetros iniciales para el diseño mecatrónico . . . . . 48
- 8. Cronograma de actividades. . . . . 51
- 9. Recurso de talento humano . . . . . 52
- 10. Recurso de talento humano . . . . . 52
- 11. Matriz de consistencia . . . . . 57

## Lista de Figuras

1.	Ubicación satelital . . . . .	5
2.	Esquema de fabricación de cerveza artesanal. . . . .	8
3.	Distribución de la planta . . . . .	12
4.	Sistema FastRack. . . . .	15
5.	Sistema Linadry. . . . .	15
6.	Sistema Flexidry. . . . .	16
7.	Esquema de una cinta transportadora. . . . .	18
8.	Rodillo de Banda Transportadora. . . . .	20
9.	Estructura Metálica de Cinta Transportadora. . . . .	20
10.	Tambor. . . . .	21
11.	Motor. . . . .	22
12.	Parámetros de carga de alimentación por rodillo. . . . .	23
13.	Metodología del proceso . . . . .	25
14.	Velocidad de trabajo en la boquilla . . . . .	28
15.	Simulación dinamica de la boquilla . . . . .	32
16.	Simulación de la presion a trabajar . . . . .	33
17.	Primera propuesta de diseño mecánico . . . . .	36
18.	Segunda propuesta de diseño mecánico . . . . .	37
19.	Propuesta final de diseño mecánico. . . . .	38
20.	Simulación dinámica de la secadora de botellas . . . . .	39
21.	Simulación dinámica de la secadora de botellas . . . . .	40
22.	Diagrama de eventos discretos . . . . .	45
23.	Diagrama de conexión de la electroválvula . . . . .	46
24.	Plano de accionamiento electroválvula . . . . .	47
25.	Prototipo secador de botellas . . . . .	50

## Resumen

Este proyecto se enfocó en realizar el diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio en la “Cervecería artesanal La Paz” ubicada en la provincia del Azuay, en Cuenca, Ecuador; para realizar el diseño se identificó el problema existente en la línea de producción, el mismo que era dado por las deficiencias en el proceso de etiquetado ya que no se garantizaba la adherencia de la misma, lo cuál producía un cuello de botella.

Para realizar el diseño mecatrónico se procedió a identificar los parámetros iniciales como: geometría de la estructura, materiales, condiciones de diseño, dimensionamiento del área de construcción, manejo de presiones. etc

Para el análisis estructural y de fluidos se procedió a realizar todos los cálculos necesarios para la realización del diseño, los mismos que fueron utilizados para la simulación, comprobación y evaluación del diseño.

A partir de todos los datos y cálculos obtenidos se procedió a realizar la simulación mecánica y dinámica de fluidos, de todos los componentes necesarios para el diseño de la máquina, obteniendo así los resultados deseados en el diseño y cumpliendo con las condiciones dadas, se llegó a obtener un diseño mecatrónico que solventa todos los requerimientos de funcionamiento.

## **Abstract**

This project focused on carrying out the mechatronic design of a labelling machine for glass bottles in the cervecería artisanal "La Paz".

The Company is located in the province of Azuay, in Ecuador ; The design was the result to identify particular problems in the production line this is during the labelling bottles stage the same that produce a bottleneck.

For making the mechatronic design, the initial parameters are structure geometry materials, design constraints, specific measures, control pressure management.

For the structural and fluid analysis, the mathematical calculations were made for determining the design, this ones were validated, verified and evaluated using a simulation software.

Finally, from mathematical calculations and data were made fluids analysis and mechanical simulation using the whole components for the machine, thus the results achieved to satisfy with the engineering conditions for getting a mechatronic system design to comply the requirements for launching machine out.



# 1. Introducción

Cervecería artesanal La Paz es una empresa que se encuentra ubicada en la ciudad de Cuenca, muy conocida a nivel nacional e internacional, lleva varios años en el mercado cervecero siendo su fuerte la exportación y teniendo una gran demanda en el exterior, por lo que su producto es de muy buena calidad y es acogido en varios lugares del mundo.

Esta empresa posee varios equipos y máquinas automatizadas, las mismas que en algunos casos reemplazan la mano de obra, otra parte de su maquinaria es semi automatizada y esto produce un trabajo tedioso para los operarios en algunas etapas de la producción de cerveza como es en el caso del secado de la botella para posteriormente pasar al etiquetado.

El proyecto que se presenta en el documento titulado “DISEÑO MECATRÓNICO DE UNA MÁQUINA SECADORA DE BOTELLAS DE VIDRIO EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL” que tiene una orientación a elaborar el diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio para automatizar esta etapa de producción semiautomatizada en la línea de producción de la cervecería La Paz.

Como parte fundamental de este proyecto fue indispensable realizar un levantamiento de información y toma de datos requeridos para diseñar la máquina, a partir de estos datos se ha tenido un conversatorio con los operarios para que se indique las condiciones y requerimientos para realizar la propuesta.

Una vez obtenida esta información, se llevó a cabo un estudio, análisis, cálculos, simulación y evaluación del diseño propuesto para la máquina secadora de botellas la misma que fue diseñada con las especificaciones requeridas en la planta de producción y realizando un diseño mecatrónico con todos los parámetros que influyen en la misma.

## 2. Problema

### 2.1. Antecedentes

En el año 2017 según los últimos datos recopilados por la Asociación, la actividad de producción de cerveza artesanal en Ecuador generó 13 millones de dólares en ventas y en el 2018 se generó un índice de crecimiento del 10% (LÍDERES, 2019).

La elaboración de la cerveza como alternativa a la producción de forma industrial, se proyecta como una industria de gran crecimiento en el país, se ha podido constatar en otros países latinoamericanos que la producción de cerveza artesanal está en constante crecimiento como es

el caso de: Argentina 3%, Chile 1%, Colombia 1% del total de la producción; con crecimientos interanuales de entre el 30% y el 40%. Actualmente en el Ecuador, existen alrededor de 42 cervecerías artesanales que ocupan una mano de obra alrededor de 1667 operarios, los mismos se encuentran distribuidos en las principales ciudades del país, considerando que Quito y Guayaquil son las ciudades consideradas el principal mercado a nivel nacional, el consumo de este tipo de cerveza se da principalmente en bares y restaurantes. De los 50 millones de litros de cerveza anuales que se consume en Ecuador, 720 mil litros se producen de forma artesanal representando el 2%, lo que hace de la industria de la cerveza artesanal sea un nicho de mercado por explotar. Si se llegase a captar solo el 5% del mercado, esto representaría 21 millones de dólares anuales y se convertiría en una industria muy atractiva para la inversión (Gómez, 2015).

Según la Asociación de Cervecerías Artesanales ASOCERV del Ecuador "Las cervecerías artesanales cumplen con tres características: emprendimientos con métodos e ingredientes tradicionales de producción (sin conservantes, colorantes o saborizantes químicos); emprendimientos independientes (sin participación de cervecerías industriales en su patrimonio); y, emprendimientos pequeños (con menos del 1% de la participación del mercado)"(Asocerv, 2021).

Según los últimos datos recopilados en el mercado, las cervezas industriales monopolizan el 98%, el siguiente lugar ocupan las cervezas importadas con un porcentaje del (1,4%) y el último lugar ocupan las cervezas artesanales con un índice del (0,59%). El Ecuador registra en el SRI alrededor de 160 cervecerías con 232 diferentes marcas artesanales, llegando a ser así una fuente de trabajo para aproximadamente 1200 personas; es importante recalcar que en el 2018 se obtuvo un crecimiento considerable del 20% (Jaramillo, 2020).

Es importante considerar los sistemas mecatrónicos como un aporte eficaz ya que gracias a estos, existen diferentes variables a considerar oportunas referentes a tiempos de producción, por ende un incremento de ganancias, mediante la automatización de más de una de las etapas y procesos de producción, teniendo así también un beneficio no solo automatizado si no también humano, reduciendo el trabajo pesado a los trabajadores (FREEPIK, 2020).

La Mecatrónica en la industria se convierte en una rama que permite al profesional ser capaz de desarrollar, diseñar, controlar y calcular de manera automatizada diferentes programas, sistemas y maquinaria de tipo industrial, que son utilizadas en los procesos de producción. Llegando así a ejecutar dichos procesos obteniendo resultados de calidad (VALENCIA, 2018).

La cervecería La Paz es una empresa industrial dedicada a la preparación, embotellado y distribución de cerveza artesanal, la misma que dispone de diferentes tipos de sistemas, ya sean estos automatizados, semi automatizados y manuales para la elaboración de bebidas de moderación en sus diferentes presentaciones.

En la etapa de etiquetado posterior al envasado de la cerveza artesanal, se evidencia la falta de adherencia de las etiquetas en las botellas, esto debido a las partículas de agua que se generan en la botella efecto de la condensación de la humedad del aire que se encuentra alrededor del envase ya que el fluido envasado se encuentra a una temperatura de 0 a 4°C.

Durante este proceso la solución de la empresa fue ubicar un operador a la salida de la envasadora previo a la etiquetadora, este proceso empleaba de 3 a 5 operadores los mismos que retiraban las botellas de la línea de producción, mientras otro operador secaba las botellas manualmente empleando un paño, para que posteriormente los envases retornen al proceso de etiquetado por parte de otro operario, esta acción genera retrasos en la producción y disminución en el caudal de producción por lotes de cada una de las bebidas.

## **2.2. Descripción del problema**

La cervecería artesanal La Paz, es una empresa especializada en la producción y elaboración de bebidas de moderación a nivel nacional e internacional, generando diversos productos en base a cerveza.

En la Cervecería La Paz, se identifica una problemática en la producción, dentro de la línea de embotellado, sellado y etiquetado. El problema radica en la etapa del etiquetado, ya que la botella envasada y sellada llega con partículas de humedad ya sea por condensación de agua o por cerveza que ha salpicado en el momento de llenado de la botella, esto provoca que la etiqueta no se adhiera al producto, como consecuencia de esto, los productos no tienen una adecuada presentación ya sea porque la etiqueta se desprende, desplazado o se ha arrugado y maltratado. Con el fin de cumplir con la producción requerida, se ha improvisado un espacio de trabajo en el cual diferentes operarios de producción paran la máquina etiquetadora, retiran las botellas de la línea de producción, secan manualmente con un paño, paletizan las mismas y vuelven a introducir las botellas de cerveza en la línea para que continúe su proceso.

Esto genera un cuello de botella en la línea de producción dando como resultado pérdidas en los tiempos, disminución en la cantidad de producto envasado y mano de obra subempleada en la planta.

### **2.3. Importancia y alcances**

Se propone resolver el cuello de botella que se genera en la línea de producción de embotellado, sellado y etiquetado de la Cervecería La Paz, mediante el diseño mecatrónico de un sistema adaptable a la línea de producción ya existente, proporcionando la facilidad de secado de cada una de las botellas ya producidas generando mayor producción y disminuyendo tiempos de trabajo

Con los antecedentes en los cuales se menciona, que cervecería La Paz en su línea de producción de envasado, sellado y etiquetado mantiene un problema visible en la que las botellas de vidrio generan humedad debido a la condensación de aire y cerveza sobre su superficie, obligando la intervención manual para el secado y posterior etiquetado. Para ello se pretende generar una solución mecatrónica que suprima la intervención manual de secado como etiquetado, empleando una técnica que mantenga la calidad del producto y sin modificar sus prestaciones.

La solución propuesta permitirá mantener una línea automatizada en el proceso de embotellado, sellado, secado y posterior etiquetado sin la intervención manual de algún operador mejorando los tiempos de producción asignadas dentro de la empresa, optimizando así las actividades de mano de obra que se requieran en actividades de producción.

### **2.4. Delimitación**

El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

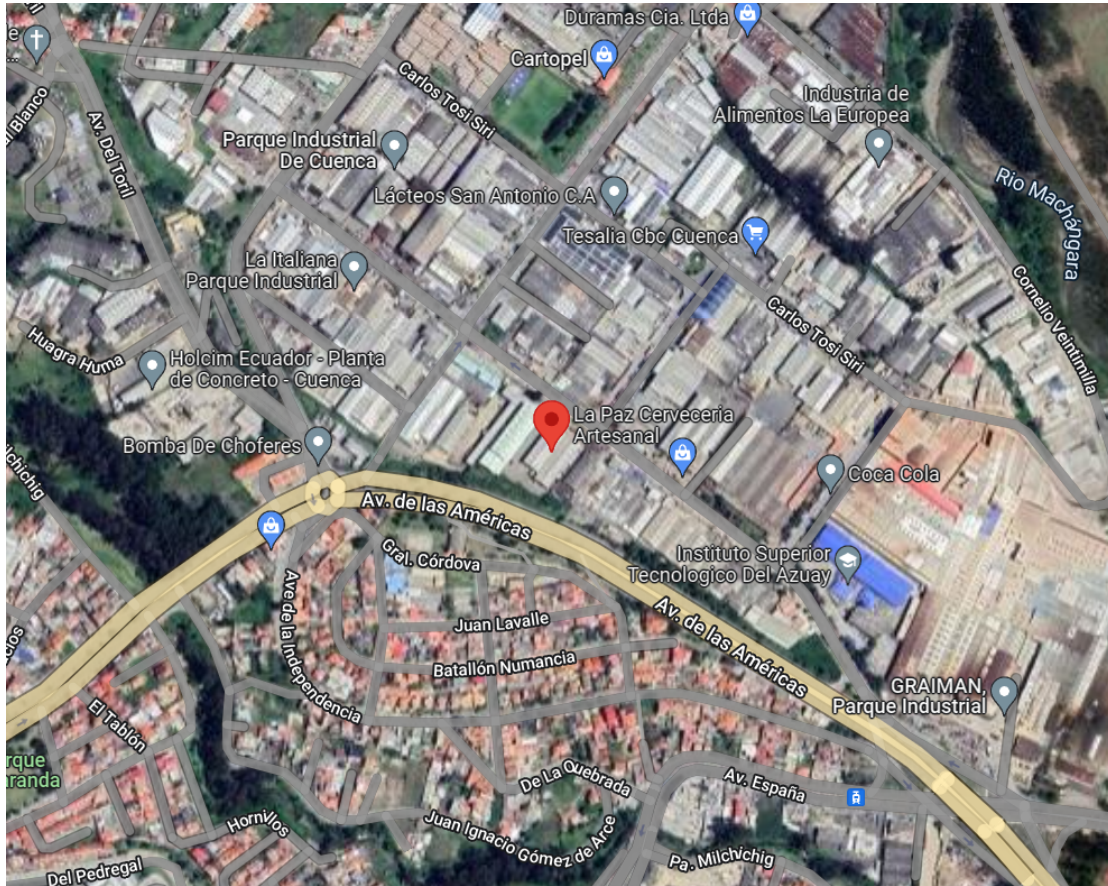
#### **2.4.1. Espacial o geográfica**

Los datos serán recabados en el parque industrial de la ciudad de Cuenca provincia del Azuay en la Cervecería La Paz.

Cervecería La Paz dispone de una planta de producción de  $1500m^2$ , se encuentra ubicada en el sector del Parque Industrial, Cuenca, Ecuador; la cual cuenta con tecnología de alta gama llegando a ser una empresa con industria 4.0 para brindar un servicio de calidad.

**Figura 1**

*Ubicación satelital.*



**Nota:** Se puede observar la ubicación satelital de la Cervecería La Paz, de acuerdo a *La Paz Cervecería Artesanal · Octavio Chacón Moscoso 3-09, Cuenca (2022)*.

#### **2.4.2. Temporal**

El desarrollo de este proyecto se llevó a cabo en los meses de Agosto del año 2022 hasta Enero del año 2023.

#### **2.4.3. Sectorial o institucional**

El proyecto será desarrollado en el sector industrial de la ciudad de Cuenca en la Cervecería La Paz.

## **2.5. Problema General**

¿Se podrá diseñar un sistema mecatrónico para una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal ?

## **2.6. Problemas Específicos**

- ¿Se podrá identificar las variables iniciales para el diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal ?
- ¿ Es posible proponer el diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal ?
- ¿Se logrará evaluar el diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal ?

## **3. Objetivos**

### **3.1. Objetivo General**

- Diseñar un sistema mecatrónico para una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal.

### **3.2. Objetivos Específicos**

- Identificar las variables iniciales para el diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal.
- Proponer el diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal.
- Evaluar el diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal.

## **4. Hipótesis**

### **4.1. Hipótesis General**

- Se realizará el diseño de un sistema mecatrónico para una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal.

### **4.2. Hipótesis Específicas**

- Se identificará las variables iniciales para el diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal.
- Se propondrá el diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal.
- Se evaluará el diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal.

## **5. Marco Teórico**

### **5.1. Proceso de fabricación de cerveza artesanal**

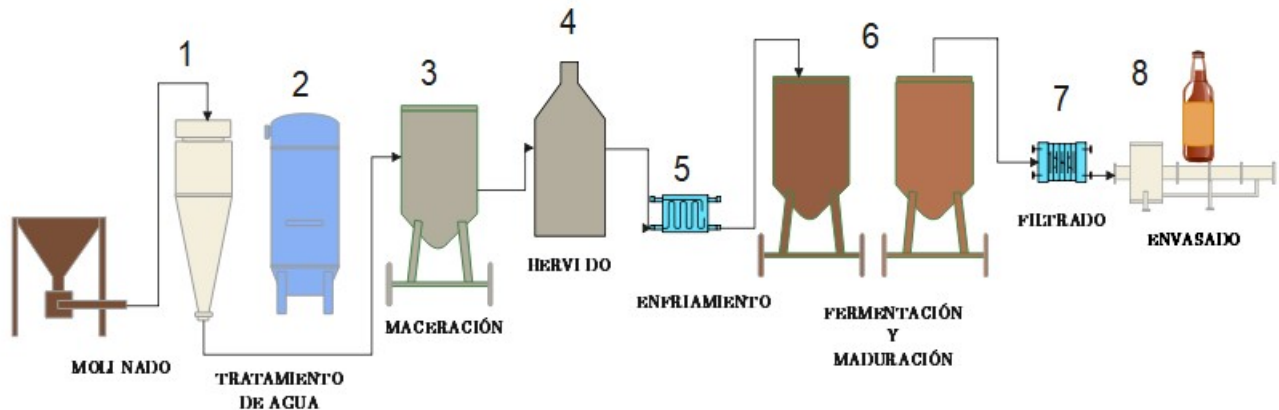
En este apartado se puede visualizar el proceso de fabricación de cerveza artesanal el cual esta compuesto de varias etapas que se explican a continuación, este proceso se puede evidenciar en la figura 2. En esta sección se puede analizar cada una de las etapas para la producción de cerveza artesanal, estas etapas se enumeran a continuación.

- Molinado
- Tratamiento de agua
- Maceración
- Hervido
- Enfriamiento
- Fermentación y maduración
- Filtrado

- Envasado

**Figura 2**

*Esquema de fabricación de cerveza artesanal.*



**Nota:** Se puede observar el esquema de fabricación de cerveza artesanal.

### 5.1.1. Procesos previos

Se entiende por procesos previos a un conjunto de operaciones en secuencia que se da para obtener un producto terminado.

### 5.1.2. Molinado

Primero se muele la malta, es una área completamente equipada con un molinillo industrial como herramienta principal y una báscula que pesa todo el grano y crea una mezcla para cada lote (Balaguer Serra, 2017)

### 5.1.3. Tratamiento de agua

Por un lado, la preparación de la mezcla de maltas y, por otro lado, el igualmente importante tratamiento del agua en cada proceso para obtener el líquido deseado. Para ello se cuenta con tanques de gran volumen y un pequeño laboratorio donde se procesa y analiza el agua del tanque para obtener un líquido con las propiedades deseadas (Balaguer Serra, 2017)



## 5.2. Maceración

En esta primera fase, el licor se transporta a una caldera, la misma que calienta a 71°C. Posteriormente cuando se alcanza la temperatura deseada, se añade una mezcla de maltas, el almidón se convierte en azúcares fermentables con la ayuda de enzimas y el mosto debe agitarse a la temperatura adecuada entre 62 y 68°C. Ambas recetas se hacen con un simple remojo de acuerdo al tiempo requerido para cada receta. Terminado el tiempo de maceración, se debe circular para optimizar la extracción de azúcares y luego se separa la mezcla para obtener la sustancia requerida, lista para la siguiente etapa del proceso (Balaguer Serra, 2017)

## 5.3. Hervido

Posteriormente a la obtención del mosto se pasa a la temperatura de ebullición. Para obtener un resultado eficaz es importante llevar a cabo un proceso de forma adecuada, el mismo que debe cumplir con los siguientes requerimientos. Según (Balaguer Serra, 2017) este proceso es necesario por las siguientes :

- Detener la acción de las enzimas.
- Se esteriliza el mosto, eliminando hongos, bacterias y levaduras
- Suprimir compuestos volátiles indeseados, tales como aceites de lúpulo ásperos, compuestos de azufre, cetonas y ésteres.
- Se coagula las proteínas y polifenoles no requeridos.
- Se extrae y se disuelve las resinas blandas – alfa-ácidos y beta-ácidos.
- En este proceso se provoca el amargor y otros beneficios de los lúpulos.
- Se evapora el agua para condensar el mosto al volumen y la densidad deseada.
- Promover la creación de melanoidinas y pirazinas, y caramelizar algunos de los azúcares presentes, que añaden un sinfín de aromas e intensifican el color.
- Se ajusta el pH a un nivel favorable para la fermentación.

Este proceso debe durar como mínimo una hora (en cada receta ya se especifica su duración) (Balaguer Serra, 2017)

Para la cocción del licor se utiliza una caldera que produce 1.000 litros por tiempo de cocción. Después de hervir, se debe filtrar el mosto para separarlo del lúpulo agregado a la olla (cada receta tiene cantidades específicas, tipos de lúpulo y tiempos de ebullición del lúpulo) (Balaguer Serra, 2017)

Continuando con el proceso Balaguer Serra (2017) indica que llega la exigencia de pasar el mosto a la temperatura de fermentación, para cumplir este proceso se hará uso de los intercambiadores industriales de calor, lo cuál permitirá que este proceso se realice con mayor rapidez.

Según (Balaguer Serra, 2017) es fundamental por los siguientes motivos:

- Dejar el mosto a 30-50°C durante largos períodos de tiempo aumenta la posibilidad de infestación por bacterias y levaduras salvajes.
- También se producirá oxidación, pero está bien hasta que el mosto esté por debajo de los 2°C y se inocule la levadura.

## **5.4. Fermentación y Maduración**

Una vez que la cerveza ya está a la temperatura deseada, se agrega la levadura al fermentador y se oxigena la cerveza y se le da tiempo para trabajar. Esto toma un poco más de 15 días, dependiendo del tipo de cerveza (Balaguer Serra, 2017)

### **5.4.1. Fermentación primaria**

Este proceso comienza y termina con el llenado de la levadura en el fermentador, esto sucede en los primeros 5 días, según el tipo de receta que cree.

### **5.4.2. Fermentación secundaria**

Una vez que han cesado las actividades antes mencionadas y se confirma que todos los subproductos de levadura se han sedimentado, la cerveza se transfiere a un segundo fermentador 8 de la misma capacidad para clarificar la cerveza. La receta Īpanema utiliza dry hopping (técnica de dry hopping), que introduce flores frescas de lúpulo en el fermentador. Por lo tanto, puede añadir amargor al sabor y al aroma del lúpulo fresco (Balaguer Serra, 2017)

### **5.4.3. Maduración**

Es la etapa final antes del embotellado y carbonatación de la cerveza, por lo que en estos depósitos el sabor final de la cerveza acaba con la actividad de la levadura ya reducida. Por ello, disponemos de un gran depósito (5.000 litros) para la última cerveza, que tiene una crianza de unas dos semanas antes de ser carbonatada y embotellada (Balaguer Serra, 2017)

### **5.4.4. Carbonatación forzada y envasado**

Una vez finalizada la maduración, la cerveza es carbonatada y embotellada. Por esta razón, las llenadoras isobáricas se utilizan para llenar simultáneamente botellas de cerveza deseadas en cada estilo (Balaguer Serra, 2017)

## **5.5. Producción**

China lidera el mundo en producción de cerveza con 92 millones de hl, como segundo productor se encuentra Estados Unidos con 256 millones de hl, Brasil con 140,5 millones de hl y finalmente Alemania con 95,62 millones de hl (Galicia Gonzáles, 2019)

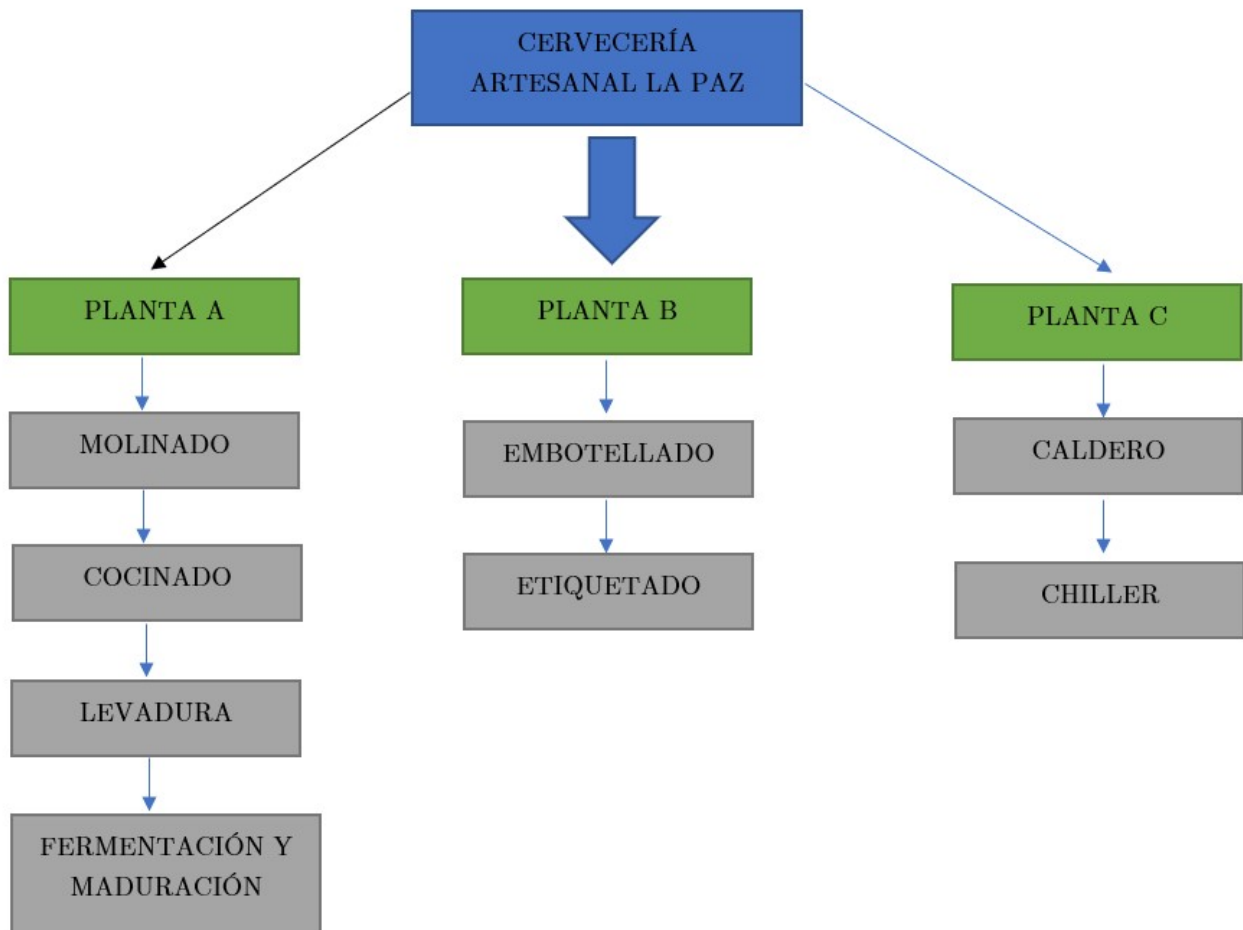
Entre los años 2008 y 2016 se ha tenido un incremento de la cerveza artesanal de un 2.000 por ciento a nivel mundial, razón por la cuál la elaboración de cerveza artesanal se considera en pleno auge (Galicia Gonzáles, 2019)

A nivel mundial, existen alrededor de 10.000 microcervecerías, representando un 86% de ellas ubicadas en Estados Unidos y en Europa, es importante recalcar que Europa supera en volumen de producción a Estados Unidos, como dato adicional España se encuentra en el cuarto puesto de producción de cerveza Europea (Galicia Gonzáles, 2019)

En la figura 3 se indica como esta distribuida la planta en la Cervecería La Paz, la misma cuenta con una amplia línea de producción debido a la demanda que contiene, se encuentra distribuida en 3 principales plantas, las mismas que están subdivididas según las áreas determinadas para las diferentes fases de la elaboración de la cerveza, se subdivide en planta A la misma que contiene dos operaciones, planta B, contiene tres y planta C dos operaciones todo esto de acuerdo al diseño de planta de la empresa.

**Figura 3**

Distribución de la planta .



**Nota:** Se puede visualizar la distribución de la planta para la producción (INDUSTRIA, 2017).

## 5.6. Automatización

En la cervecería La Paz, el proceso de producción cuenta con una importante cantidad de maquinaria, automatizada y semi automatizada. En este sentido, se puede evidenciar en la empresa que dicha maquinaria cuenta con un alto índice de automatización, por lo que podemos observar aproximadamente un 85% de procesos de producción llevados a cabo de forma automática y controlados mediante PLC, esto disminuye la intervención de algunos operarios en planta (Feicán y Diego, 2021).

### **5.6.1. Inspección de botellas y envases de vidrio**

Todas las botellas y recipientes de vidrio son sometidas a diferentes pruebas, estas garantizan que cumplan con los estándares de O-I. Las diferentes cámaras de alta definición montadas en la máquina escanean alrededor de 800 botellas por minuto, se encuentran ubicadas en diferentes ángulos, esto sirve para detectar los errores más pequeños. Otra parte del proceso de prueba involucra una máquina que aplica presión al envase de vidrio para conocer el grosor de la pared, su resistencia y la hermeticidad del recipiente. Los organismos de inspección realizan muestras de forma manual y visual esto les permite garantizar la calidad del envase (Cherusker, 2020)

Si uno de los recipientes de vidrio no cumple o pasa la prueba, se devuelve al primer proceso de fabricación, siendo así el mismo utilizado como chatarra. Caso contrario los recipientes que pasan la pruebas están listos para su envío a los fabricantes, se llenan en contenedores y luego se distribuyen a supermercados, restaurantes, hoteles y otros establecimientos para el disfrute de compradores y clientes (Cherusker, 2020)

Los recipientes de vidrio pueden ser reciclados una infinidad de veces, dichos recipientes se pueden mover de un contenedor a un estante en solo 30 días. Es por eso que los consumidores realizan el proceso de reciclaje para que al final del uso comience nuevamente el ciclo de fabricación (Cherusker, 2020)

### **5.7. Secado**

Este proceso refiere a la eliminación total de otros líquidos orgánicos que se encuentran en el recipiente, el material sólido o las relativamente pequeñas partículas de agua.

Al contrario el proceso de evaporación indica la eliminación de grandes cantidades de agua, el proceso se lleva a cabo en forma de vapor en su punto de ebullición. En este proceso la mayoría de veces el agua se elimina en forma de vapor o con aire comprimido (Jaramillo, 2020)

### **5.7.1. Métodos generales de secado**

Los procesos de secado se clasifican por lotes, el material es transportado a la planta de secado y su respectivo proceso se controla durante un período de tiempo o continuamente, por último el material seco se obtiene en un régimen continuo(Jaramillo, 2020)

Los procesos de secado segun (Jaramillo, 2020) También se clasifican por los métodos utilizados para aplicar calor y eliminar vapor de agua.

- a. En esta categoría, el calor se aplica por contacto directo, entre la presión atmosférica y el aire caliente, el vapor de agua se elimina por el mismo aire.
- b. En el proceso de secado al vacío, cuanto menor es la presión, más rápido se evapora la humedad y el calor se aplica indirectamente a través del contacto y la penetración con las paredes metálicas, la temperatura más baja a través del vacío también se puede usar para ciertos materiales específicos que producen decoloración o descomposición cuando son expuestos a temperaturas más altas.
- c. Por último la liofilización, es un proceso de sublimación del directamente del material congelado.

## **5.8. Tipos de sistemas de secado de botellas de vidrio**

### **5.8.1. Sistema FastRack**

Este tipo de sistema de secado mantiene las botellas seguras sin que entren en contacto con la superficie, suspende las botellas por la parte del cuello dejandolas boca abajo y secándolas por completo, permite colocar una botella arriba de otra aprovechando el espacio máximo para poder almacenar más botellas (Krones, 2018)

#### **Figura 4**

*Sistema FastRack.*



**Nota:** Se puede observar un sistema FastRack, de acuerdo a (Krones, 2018).

#### **5.8.2. Linadry**

Es un secador de recipientes de vidrio individual que consta de uno a tres módulos, su función es emitir un soplado de aire en la superficie de los envases, será utilizado previo al proceso de secado, en la figura 5 se evidencia el sistema (Krones, 2018)

#### **Figura 5**

*Sistema Linadry.*



**Nota:** Se puede observar la imagen de un sistema Linadry, de acuerdo a (Krones, 2018).

### 5.8.3. Flexidry

Es una máquina secadora compacta que se ubica en la banda transportadora, consta de un módulo y su función es realizar un soplado parcial de envases o tapones, se utiliza detrás de la envasadora o detrás de la etiquetadora, en la figura 6 se aprecia el sistema (Krones, 2018)

#### Figura 6

*Sistema Flexidry.*



**Nota:** Se puede observar un sistema Flexidry, de acuerdo a (Krones, 2018).

### 5.8.4. Calidad de aire comprimido

El aire comprimido en productos alimenticios es de suma importancia debido a que puede ser dañino para la salud de las personas, ya que no es un aire puro por naturaleza.

Los vapores y aceites afectan el sabor de los productos alimenticios y esto provoca daños para el consumidor, por lo tanto el aire comprimido bien empleado mejora la calidad y genera seguridad.

En diferentes cervecerías se utiliza el aire comprimido para controlar cilindros y válvulas, para lo cual en un un proceso de llenado o secado de los envases se utiliza válvulas para eliminar la mayoría de impurezas del aire comprimido (FESTO, 2019)

### 5.8.5. Secadores de aire desecantes

Este tipo de secadores operan según el principio que la humedad siempre se dirige hacia el lado más seco de la botella, es así que este prototipo elimina el vapor de agua del aire comprimido haciéndolo pasar por un material de tipo desecante absorbente, cuando entra



en contacto el material absorbente el vapor de agua convierte al aire húmedo en aire seco (CompAir, 2020)

#### **5.8.6. Secadores de tipo refrigerativos**

Este tipo de secadores evitan la humedad, mantienen la temperatura a la que sale el producto a diferencia de otros que calientan el líquido, trabaja con una válvula de entrada que enfría el aire comprimido a 35 grados Fahrenheit, es así que trabaja con un ambiente de menor humedad eliminando contaminantes del mismo (EACSA, 2021)

#### **5.8.7. Secador refrigerativo de aire**

Este tipo de secadores en la industria son de alta gama, por sus costos y puntos de rocío, consta de un sistema intercambiador de calor, usa un controlador SIGMA y su servicio es muy grande gracias a las alargadas tuberías de paso de flujo que posee que son de aluminio y resistentes a la corrosión, además acumula el frío sobrante en un acumulador térmico el mismo que después puede funcionar sin estar conectado a ningún tipo de energía (COMPRESORES, 2023)

#### **5.8.8. Secadores frigoríficos**

Este tipo de secadores son los más utilizados en la industria debido a que poseen dos intercambiadores, uno de aire-aire y un siguiente de calor aire-refrigerante, este modelo de secadores eliminan la humedad del aire comprimido realizando así una condensación de agua en su interior (AtlasCopco, 2020)

#### **5.8.9. Secadores de membrana**

Este tipo de secadores no son tan comunes en el mercado industrial pero su idea es innovadora en la actualidad debido a que no requiere agentes secantes y ahorra energía ya que precisa poco aire para refrigeración.

En estos secadores, el aire fluye hacia la parte de abajo a través de un tubo principal situado en la mitad, luego fluye por un filtro pequeño que elimina partículas de agua o cualquier tipo de líquido embotellado que pueda contener el aire. El aire se seca al desplazarse por una membrana de tipo especial (kaishan, 2021)

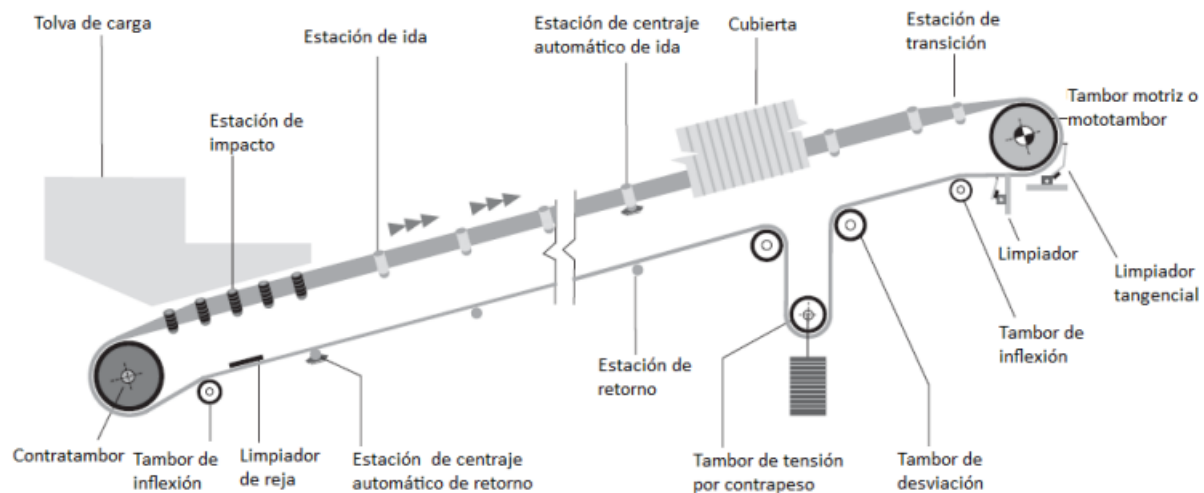
## 5.9. Elemento a considerar en el diseño

### 5.9.1. Banda transportadora

Por lo general en una banda transportadora se analiza el tipo de material que sea factible para transportar, puede ser fabricada de urdimbre el cual es un material idóneo para realizar esfuerzos de tracción longitudinales, puede soportar esfuerzos secundarios como el impacto. Principalmente las bandas pueden tener un recubrimiento externo de PVC, caucho entre otros materiales. La banda transportadora tiene grandes ventajas como lo es en transporte de carga, atrae las tensiones que se generan en el momento de arranque, son resistentes a los efectos de la temperatura y químicos (calor, aceite, grasa que contienen los materiales etc) (Daza y Umbarila, 2019).

#### Figura 7

*Esquema de una cinta transportadora.*



**Nota:** Se puede observar el esquema de una cinta transportadora, de acuerdo a (Maldonado Quispe, 2018).

### 5.9.2. Bandas

El objetivo principal de la banda es soportar el tipo de material que se transporta y deslizarlo de un punto a otro. Considerando los componentes principales que conforma una

cinta transportadora. También podemos verlo como un componente elevado en el ámbito económico en general, las cuales en gran cantidad son utilizadas en las plantas industriales con el objetivo principal de automatizar la fase del transporte y generar mejores tiempos de producción, en la tabla 1 se puede observar los tejidos de las bandas y su designación abreviada. (Maldonado Quispe, 2018)

**Tabla 1**

*Tejidos de las Bandas y su designación Abreviada.*

Nombre común	Designación abreviada
Algodón	B
Rayón	Z
Políester	E
Poliamida	P
Cable de acero	St

**Nota:** En la tabla 1 se puede observar los diferentes tejidos de las bandas y su designación abreviada, la información a sido tomada de (Maldonado Quispe, 2018).

### 5.9.3. Rodillos

Segun (Maldonado Quispe, 2018) un rodillo es un elemento que tiene un cilindro y puede girar. Es uno de los componentes primordiales de una banda transportadora. El correcto funcionamiento de la banda depende mucho de su tamaño y la calidad. En su gran totalidad provocan el desgaste de la banda transportadora, lo cual disminuye la vida útil del material. La distancia que existe entre los rodillos esta dictaminada por el ancho de la banda y la densidad del material que se transporta, además de esto los rodillos pueden trabajar en distintas áreas automatizadas como lo son los transportes de productos, bebidas, comida y muchas variedades más en la parte de producción en serie. En la figura 8 podemos visualizar el rodillo de una banda transportadora.

## Figura 8

*Rodillo de Banda Transportadora.*



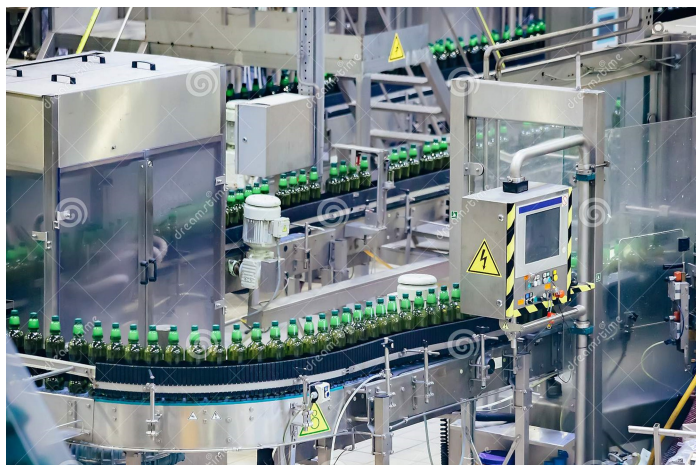
**Nota:** Se puede observar el rodillo de una Banda transportadora, de acuerdo a (Maldonado Quispe, 2018).

### 5.9.4. Estructura Metálica

Una estructura es la base principal para formar una banda transportadora. En si es el elemento más simple de la banda, en la que su función primordial es transportar cargas de material, bandas, rodillos y otros elementos que conforman la parte de la entrada y descarga del material. Como podemos observar en la figura 9 (Maldonado Quispe, 2018).

## Figura 9

*Estructura Metálica de Cinta Transportadora.*



**Nota:** Se puede observar la estructura Metálica de Cinta Transportadora, de acuerdo a (Maldonado Quispe, 2018).

### 5.9.5. Tambor

Básicamente existen los tambores motrices que son los principales que pueden transmitir la fuerza de la banda y por otra parte los que no son motrices suelen hacer un cambio de trayectoria hacia la banda (Daza y Umbarila, 2019).

Así como los rodillos, los tambores también suelen ser recubiertos, pueden tener un recubrimiento de goma para aumentar su capacidad de transmisión, esto se da gracias al aumento de fricción entre la banda (Daza y Umbarila, 2019)

### Figura 10

*Tambor.*



**Nota:** Se puede observar el tambor de una Cinta Transportadora, de acuerdo a (Daza y Umbarila, 2019).

### 5.9.6. Motor eléctrico para banda transportadora

Los Motores eléctricos son los más utilizados para convertir energía eléctrica en mecánica. Este tipo de motores se utiliza en la industria para bandas transportadoras especialmente en la industria alimenticia, son trifásicos compactos, están diseñados específicamente para niveles de humedad y temperatura, en las plantas industriales se trabaja con cintas de rodillos motores, esta etapa requiere de una serie de motores eléctricos para trabajar de una manera sincronizada, también son motores que se pueden regular a diferentes velocidades dependiendo

de la demanda de producción que se necesite o el tiempo requerido para el proceso (OMRT, 2019).

Entre las principales características de estos motores se encuentra que son de alta potencia, poseen una construcción robusta y versátil y trabaja con un convertidor de frecuencia de alto rendimiento (Maldonado Quispe, 2018).

### **Figura 11**

*Motor eléctrico.*



**Nota:** Se puede observar un motor eléctrico, de acuerdo a (Maldonado Quispe, 2018).

#### **5.9.7. Relación rodillo motor**

Caso de carga de alimentación por rodillo.

Descripción general.

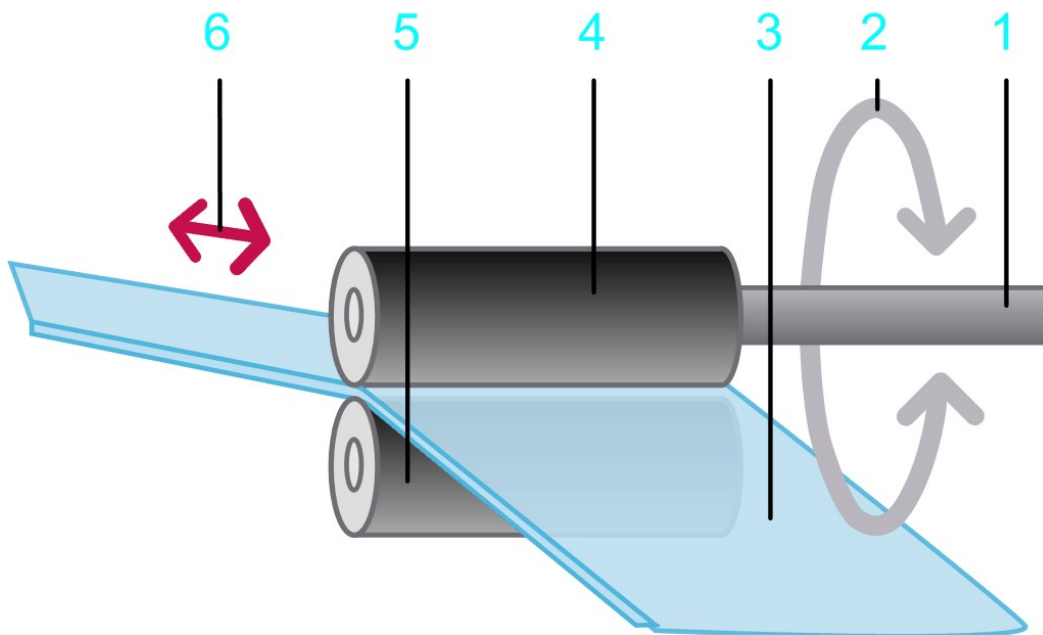
El caso de carga alimentación por rodillo se genera para alimentar material plano, por ejemplo, para poder transportar láminas o planchas, en la figura 12 se puede evidenciar los parámetros de carga de alimentación por rodillo, la cual esta detallada por numerales (Huaman Valencia, 2014)

- 1 Eje de entrada

- 2 Movimiento giratorio en el eje de entrada
- 3 Carga: lámina o plancha
- 4 Rodillo motor
- 5 Rodillo conducido
- 6 Movimiento lineal de la carga descrito por el perfil de movimiento

**Figura 12**

*Parámetros de carga de alimentación por rodillo.*



**Nota:** En la siguiente figura se puede observar los parámetros de carga de alimentación por rodillo en el cuál se especifican 6 ítems descritos en la parte de arriba, los mismos que serán especificados en la tabla 2, de acuerdo a (Huaman Valencia, 2014).

**Tabla 2**

Parámetros de carga de alimentación por rodillos.

<b>Diámetro de rodillo motor</b>	Diámetro del rodillo motor que está conectado al motor. Se determina la relación de transmisión entre el movimiento lineal de la carga y el movimiento giratorio del eje de entrada.	Longitud
<b>Masa de la carga</b>	Masa del material que se transporta a través de rodillos.	Masa
<b>Momento de inercia de rodillo motor</b>	Momento de inercia del rodillo motor que está conectado al motor.	Momento de inercia
<b>Momento de inercia de rodillo conducido</b>	<p>Momento de inercia del rodillo conducido. Se divide la inercia entre el cuadrado de la relación del diámetro del rodillo mediante la siguiente ecuación:</p> $J = \frac{J_{Driven\ roll}}{(d_{Driven\ roll}/d_{Drive\ roll})^2}$ <p>J Debe calcular el momento de inercia si el rodillo motor y el rodillo conducido tienen diámetros diferentes.  J_(Driven roll): Momento de inercia del rodillo conducido.  d_(Driven roll) Diámetro del rodillo conducido.  d_(Drive roll) Diámetro del rodillo motor.</p>	Momento de inercia
<b>Momento de inercia de los rodillos adicionales</b>	<p>Para realizar el cálculo se identifica si el rodillo motor y los rodillos adicionales tienen diámetros diferentes, si es así se divide la inercia entre el cuadrado de la relación del diámetro del rodillo mediante la siguiente ecuación:</p> $J = \frac{J_{Additional\ roll}}{(d_{Additional\ roll}/d_{Drive\ roll})^2}$ <p>J Debe calcular el momento de inercia si el rodillo motor y el rodillo adicionales tienen diámetros diferentes.  J_(Additional roll): Momento de inercia del rodillo adicional.  d_(Driven roll) Diámetro del rodillo adicional.  d_(Drive roll) Diámetro del rodillo motor.</p>	Momento de inercia
<b>Fuerza constante adicional</b>	En esta sección se analiza los valores, cuando un valor es positivo indica que la fuerza se aplica en la dirección positiva de la carga. Un valor negativo indica que la fuerza se aplica en la dirección negativa de la carga.	Fuerza
<b>Fuerza de tracción del material</b>	La fuerza de tracción adicional que depende del material de la carga, que es la lámina o la plancha en esta aplicación.	Fuerza
<b>Fuerza de fricción dinámica</b>	El valor absoluto del par durante el movimiento es constante, independientemente de la velocidad. Cuando está detenido (velocidad=0), este par no se produce. La fricción dinámica entre cuerpos sólidos sería un ejemplo típico de este tipo de par.	Fuerza
<b>Fuerza de fricción viscosa</b>	Fuerza adicional dependiente de la velocidad en el eje de entrada. Este parámetro puede tener un valor positivo, o 0. El valor absoluto de la fuerza es proporcional al valor absoluto de la velocidad. La dirección de la fuerza es opuesta a la dirección del movimiento. La fuerza de fricción viscosa tiene lugar por la fricción de un fluido.	Fuerza por velocidad
<b>Perfil de movimiento seleccionado</b>	El perfil de movimiento que se utiliza como base para los cálculos de este eje. El perfil de movimiento del caso de carga alimentación por rodillo describe un movimiento lineal de la carga, que es la lámina o la plancha en esta aplicación.	Movimiento lineal
<b>Perfil de carga seleccionado</b>	Perfil de carga utilizado en combinación con otro diagrama de movimiento para definir una carga adicional. Permite definir una carga aplicada sobre un servoeje durante secuencias de movimiento específicos.	Fuerza

**Nota:** En la tabla 2 se puede observar los parámetros de alimentación por rodillos, la información ha sido tomada de (Huaman Valencia, 2014).

### 5.9.8. Boquilla de aire LECHLER

Las boquillas de aire se utilizan para dispersar el aire o el vapor en un ventilador concentrado y recto. Generalmente, las boquillas de aire tienen un patrón de pulverización de abanico



plano o de chorro sólido respectivo de abanico redondo. Cuando se utilizan boquillas de aire convencionales, el aire se sopla a través de un solo orificio. A menudo se produce un ruido fuerte, como un chirrido de oídos y un silbido. Para evitar este desagradable ruido, Lechler ha diseñado boquillas de aire especiales de varios canales. El nivel de sonido y el consumo de aire de estas boquillas son muy bajos (GmbH, 2020)

- Beneficios al usar las boquillas de aire lechler:
- La baja presión de aire de funcionamiento con la misma fuerza de soplado.
- Menor consumo de aire.
- Mejora de la eficiencia del soplado a grandes distancias.
- Menores costos de operación. (GmbH, 2020)

## 6. Marco metodológico

En el siguiente apartado se analiza y se calcula todo lo relacionado al diseño mecatrónico de la máquina secadora de botellas, existen varias secciones desarrolladas a continuación, en la figura 13 se puede ver el proceso a seguir.

**Figura 13**

Metodología del proceso



**Nota:** En la siguiente figura se identifica la metodología del proceso la misma que consta de 7 etapas, desde la definición de parámetros iniciales hasta la parte final de simulación y evaluación .

## **6.1. Establecimiento de los parámetros iniciales para el diseño mecánico de una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal**

Para el siguiente proyecto se ha recopilado información real desde la planta de la cervecería la misma que ha sido utilizada para el desarrollo del proyecto.

- En primera instancia se recopiló los datos reales de acuerdo a la necesidad que surgía en la planta, todos los datos son tomados de acuerdo al espacio que se tiene para trabajar e identificando todas las variables que intervienen en el proceso de diseño.
- Se realizó una visita a la planta de la cervecería La Paz, tomando datos efectivos para el análisis y diseño de la máquina secadora de botellas de vidrio, para recopilar los datos se tuvo un acercamiento con las personas encargadas en el manejo de la planta las mismas que nos proporcionaron la información necesaria para satisfacer todas las dudas y datos requeridos.

### **6.1.1. Datos iniciales tomados en la Cervecería La Paz**

En esta sección se especifica la presión de aire requerida por la empresa para trabajar, los datos indicados en la parte baja son las presiones con las que se trabaja en la planta, el valor considerado en el diseño es de 6,89 Bar debido a que es la presión constante de trabajo en la línea de producción.

Compresor  $\rightarrow 100hp$

100psi  $\rightarrow 6,89Bar$

90psi  $\rightarrow 6,20Bar$

120psi  $\rightarrow 8,27Bar$

De acuerdo a los datos obtenidos anteriormente sobre presión se procede a realizar un análisis de tiempos y temperatura en la que el compresor llega a estabilizarse a la presión requerida, obteniendo como valores: 5 minutos para estabilizarse alcanzando una temperatura de 15°C.

### **6.1.2. Cálculo de caudal constante utilizado**

En el siguiente apartado se especifica el caudal de aire constante con el que se trabaja en la línea de producción, para el cálculo se ha tomado como referencia:

El tamaño del tanque del compresor.

La presión constante de trabajo.

Tiempo que tarda el compresor en estabilizarse a la presión constante de trabajo.

$$50l \times 6,89 \text{ Bar} / 5 \text{ min} = 68,9 \text{ litros} \times \text{minuto} = 0,001148 \text{ m}^3 / \text{s} = 4,13 \text{ m}^3 / \text{h} \quad (1)$$

### **Cálculo de caudal máximo para utilizar**

En el siguiente apartado se especifica el caudal de aire máximo con el que se puede trabajar en la línea de producción, para el cálculo se ha tomado como referencia:

El tamaño del tanque del compresor.

La presión constante de trabajo.

Tiempo que tarda el compresor en estabilizarse a la presión constante de trabajo.

$$50l \times 8,27 \text{ Bar} / 5 \text{ min} = 82,7 \text{ litros} \times \text{minuto} = 0,001378 \text{ m}^3 / \text{s} = 4,9608 \text{ m}^3 / \text{h} \quad (2)$$

### **Velocidad a trabajar**

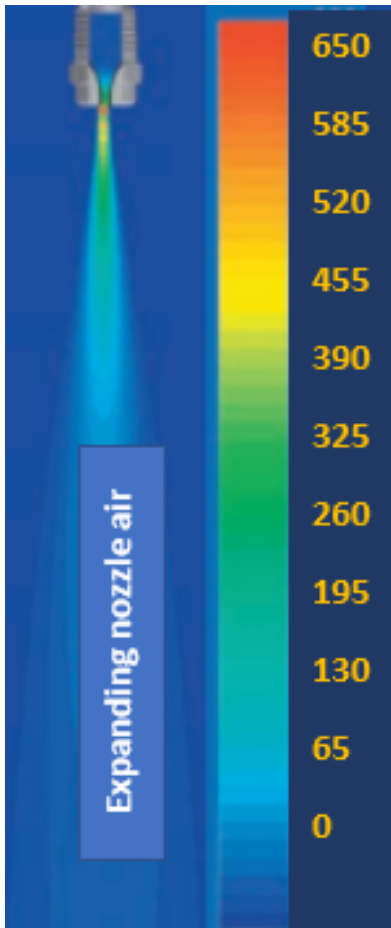
La velocidad con la que se trabaja en el diseño es de  $V = 325 \text{ m/s}$ , este dato es tomado de acuerdo al catálogo de la boquilla LECHLER, la misma que ha sido analizada y comprobada para realizar el diseño. GmbH (2020)

En la figura 14 se observa el tipo de velocidades capaces de soportar la boquilla, con relación al área de soplado que posee, de acuerdo a esta imagen se identifica que la mayor área que cubre en el caso de secado para el tipo de botella que se necesita secar en la cervecería La Paz es la velocidad indicada anteriormente, para lo cual se procede a realizar una simulación dinámica de la boquilla y un prototipo de la misma en impresión 3D para su evaluación.

A continuación se especifican los datos utilizados para el desarrollo del diseño.

## Figura 14

Velocidad de trabajo en la boquilla.



**Nota:** Se puede observar la velocidad respecto al área de soplado de la boquilla de acuerdo a (GmbH, 2020)

### 6.1.3. Ancho de bandas:

El espacio físico que se tiene para trabajar en el diseño es de 25cm que se encuentran las bandas juntas.

### 6.1.4. Velocidad de la banda:

La velocidad a la que trabaja la banda principalmente es de 1750 rpm, esto debido a que es una velocidad constante que se utiliza en la planta la cual justifica su cantidad de producción.

### **6.1.5. Espacio entre botellas en la línea de producción :**

Por lo general el espacio que se tiene en la línea de producción es de 8cm, este espacio se da debido a la velocidad de la banda y por la cantidad de botellas que se producen a diario.

### **6.1.6. Espacio total para la construcción del diseño :**

El espacio disponible de construcción máxima es de 1,16m de alto por 1,80m de largo que viene a ser el área máxima que se tiene para poder trabajar en la línea de producción.

### **6.1.7. Tipos de cerveza y cantidad de producción :**

- **Cerveza 593 de 630 ml:** para este tipo de cerveza la producción es de 4450 botellas por hora.
- **Cerveza apachita de 630 ml:** para este tipo de cerveza la producción es de 4000 botellas por hora.
- **Cerveza 593 grande:** para este tipo de cerveza la producción es de 3800 botellas por hora.
- **Cerveza envase ancho:** para este tipo de cerveza la producción es de 4450 botellas por hora.

## **7. Propuestas de diseño**

### **7.1. Diseño dinámico de la secadora de botellas de vidrio**

Para obtener el modelo dinámico de la boquilla de aire se procedió a realizar una investigación sobre boquillas de soplado para aire comprimido, la misma que tiene todas las características necesitadas para el desarrollo del proyecto.

Para realizar el diseño se procedió a buscar la guía de la boquilla seleccionada, aplicando fórmulas de desarrollo, realizando los cálculos necesitados para posteriormente pasar al diseño de la misma utilizando un software de apoyo denominado SolidWorks.

En este Ítem se identifica la velocidad con la que se va a trabajar  $V= 325\text{m/s}$  , esta velocidad se ha tomado de referencia del catalogo de la boquilla, esta considerada debido a que se ha analizado, y es a esta velocidad en la cuál tenemos mayor incidencia de aire en la botella para el proceso de secado, en las fórmula se ha calculado el área debido a que se

necesita saber este dato para ver la incidencia de soplado de la boquilla respecto a la botella, esto se detalla en el apartado 6.0.1 referencia velocidad a trabajar

### **Aspectos técnicos de las boquillas de aire**

El ángulo de pulverización es normalmente de 20° y responden a las siguientes características.

- Varios canales de aire de flujo optimizado
- Reducción de la turbulencia
- Un flujo de aire uniforme, dirigido y poderoso
- Reducción del desarrollo del ruido
- Reducción del consumo de aire
- Relación entre la tasa de flujo estándar y la de operación

### **Flujo estándar :**

Cantidad unitaria de gas a 101.325 Pa y 273,15 K

### **Flujo de operación :**

Tasa de flujo en las condiciones reales de funcionamiento

## **7.2. Cálculo del área de soplado de la boquilla**

En esta sección se detalla los datos y cálculos realizados para obtener los valores del área de soplado de la boquilla hacia la botella, en la tabla 3 se puede evidenciar las incógnitas a encontrar y la descripción correspondiente de cada una.

**Tabla 3***Cálculo del área de soplado de la boquilla.*

<b>Datos</b>	<b>Descripción</b>
A= Área de la boquilla	Este valor es la incógnita que se necesita encontrar.
Q= Caudal	Este valor es calculado en el apartado 6.0.1 referencia caudal.
V= Velocidad	Este valor se obtiene de la tabla de parámetros de velocidades de la boquilla, apartado 6.0.1 referencia velocidad a trabajar.

**Nota:** En la tabla 3 se detalla el cálculo realizado para obtener el área de soplado de la boquilla, el cálculo se emplea a partir de la fórmula general para obtener el valor requerido descrito a continuación:

**Transformación a  $m^3/h$** 

$$A = \frac{Q}{V} \quad (3)$$

$$A = \frac{4,13m^3}{325m/s} \quad (4)$$

$$A = \frac{4,13m^3/h}{1,170000m/h} \quad (5)$$

$$A = 3,529x10^{-6}m^2 \quad (6)$$

**Transformación a  $m^3/s$** 

$$A = \frac{Q}{V} \quad (7)$$

$$A = \frac{4,13m^3/h}{325m/s} \quad (8)$$

$$A = \frac{0,0011m^3/s}{325m/s} \quad (9)$$

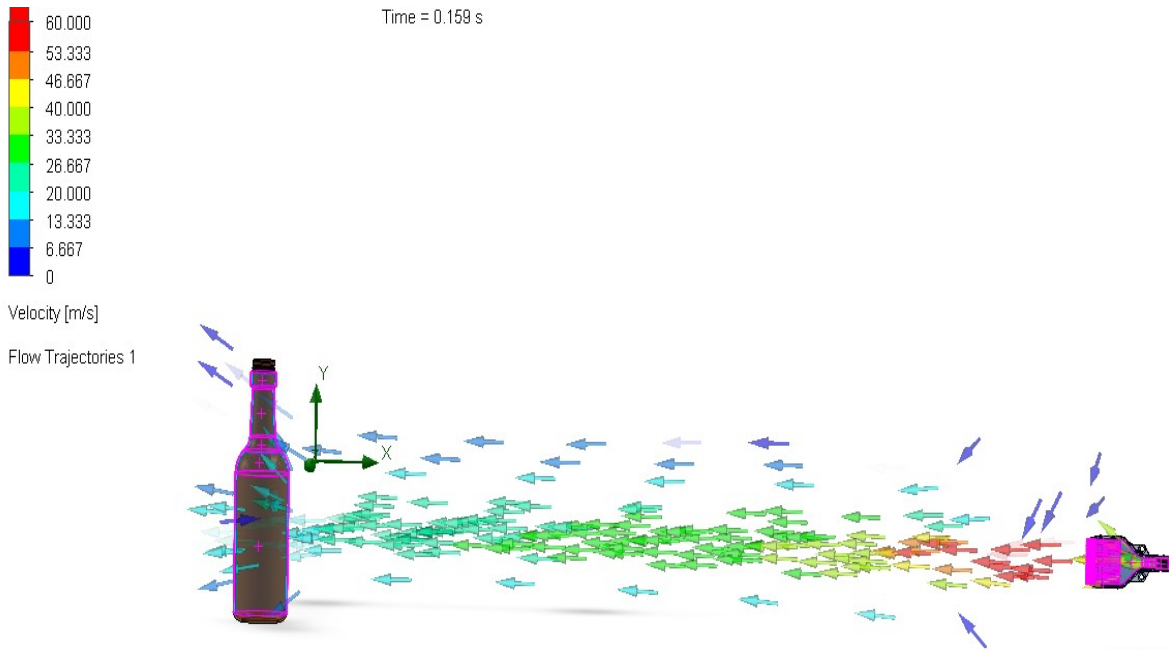
$$A = 3,384 \times 10^{-6} m^2 \quad (10)$$

### Simulación dinámica de la boquilla de aire

En este apartado se realiza la simulación del área de soplado de la boquilla respecto a la botella, utilizando el software SolidWorks, en la simulación se trabaja con la presión constante requerida de 6,89 Bar, el caudal calculado y la velocidad utilizada en los cálculos, utilizando un mallado del 84%, en la figura 15 se puede evidenciar el resultado.

**Figura 15**

Simulación dinámica de la boquilla .



**Nota:** Se puede ver la simulación del soplado de la boquilla hacia la botella para el proceso de secado .

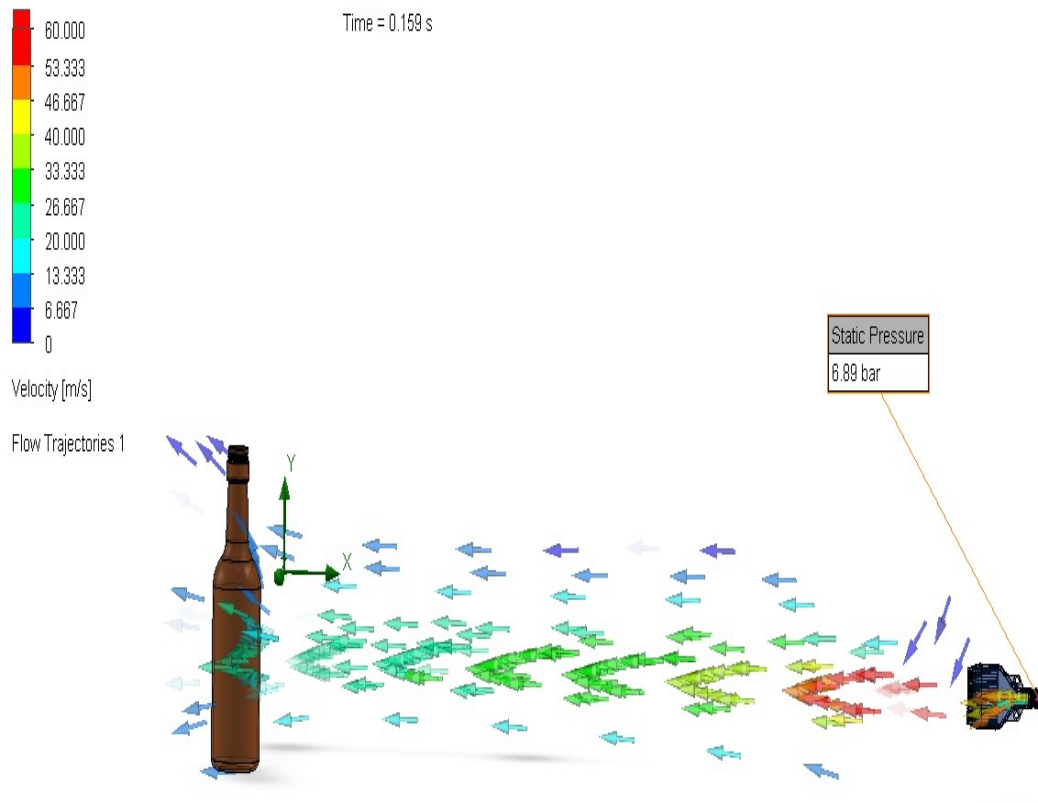


### Valores utilizados en la simulación

En este ítem se coloca la presión deseada de 6,89 Bar, este valor es utilizado como frontera de acuerdo a las especificaciones dadas en la planta, que es la presión constante de trabajo, tiene el valor deseado para la simulación y diseño de la máquina se ha trabajado con un mallado del 84% y el caudal calculado anteriormente, cumpliendo así las condiciones requeridas para el diseño, en la figura 16 se muestra el resultado.

**Figura 16**

Simulación de la presión a trabajar .



**Nota:** En la siguiente imagen se observa el valor de frontera utilizado como condición para la simulación del fluido de aire hacia la botella .

### 7.3. Diseño mecánico de la máquina secadora de botellas de vidrio

En esta sección se realiza todos los cálculos mecánicos y estructurales para realizar el diseño mecánico de la máquina, así también se realiza el diseño de tres propuestas de diseño, explicando y descartando cada una de las propuestas hasta obtener una final con los requerimientos deseados.

#### 7.3.1. Cálculo del diámetro de tubería para flujo de aire

En el siguiente apartado se realiza el cálculo para determinar el diámetro mínimo de construcción de la tubería de paso de aire para mantener el flujo constante necesitado a la salida de las mangueras, en la tabla 4 se puede observar los datos y descripción de cada ítem.

**Tabla 4**

*Cálculo del diámetro de tubería para flujo de aire.*

Datos	Descripción
D= Diámetro	Este valor es la incógnita que se necesita encontrar.
A= Área	Este valor se obtiene del cálculo del área de soplado de la boquilla en el ítem 7.0.1 referencia cálculo de soplado de la boquilla.

**Nota:** En la tabla 4 se detalla el cálculo realizado para obtener el diámetro de tubería para flujo de aire, este cálculo de tubería se utilizará para llegar con la presión y caudal deseado a cada boquilla de aire comprimido.

$$D = \sqrt{\frac{(4A)}{\pi}} \quad (11)$$

$$D = \sqrt{\frac{4(3,384x10^{-6})}{\pi}} \quad (12)$$

$$D = 2,075x10^{-3} \quad (13)$$

$$D = 0,081in \quad (14)$$

**Diámetro de tubería para flujo de aire aplicando la siguiente fórmula para su comprobación**

$$r = \sqrt{\frac{(A)}{\pi}} \quad (15)$$

$$r = \sqrt{\frac{(3,384x10^{-6}m^2)}{\pi}} \quad (16)$$

$$D = (1,0370x10^{-3}) * (2) \quad (17)$$

$$D = 2,075x10^{-3}m \quad (18)$$

$$D = 0,081in \quad (19)$$

## 7.4. Propuestas de diseño mecánico

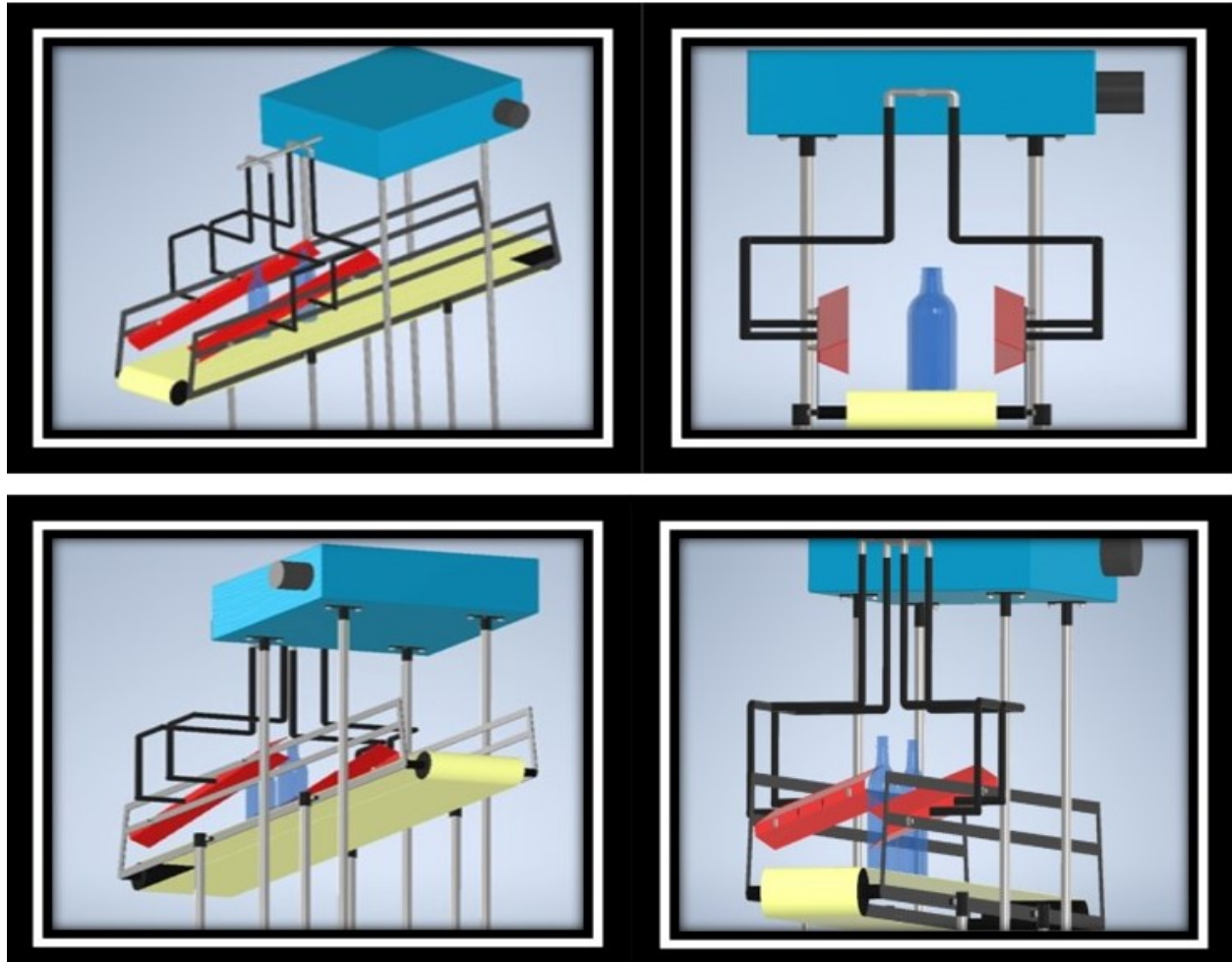
### Primera propuesta de diseño

En la figura 17 se evidencia la primera propuesta de diseño mecánico de la máquina secadora de botellas de vidrio, la misma que consta de soportes fijos anclados al suelo, mangueras de distribución conectadas a un perfil para el soplado, una tubería de repartición de aire, banda transportadora, un acople no regulable para la sujeción de botellas y una caja de disminución de ruido para la entrada del flujo de aire.

Ésta propuesta de diseño realizada no se ha podido considerar para el desarrollo del proyecto debido a diversos factores estudiados y evaluados como son los perfiles de soplado que en este caso no cumplían con una área de soplado adecuada para el secado de las botellas, tampoco se considera debido a que el ruido del flujo de aire es muy alto y la caja no disminuye en su mayoría y también por las pérdidas de presión que se obtiene en el sistema de secado debido a las irregularidades y ubicaciones de las tuberías que conducen el flujo de aire desde la entrada hasta la salida.

**Figura 17**

Primera propuesta de diseño mecánico.



**Nota:** En la siguiente imagen se visualiza la primera propuesta de diseño mecánico de la máquina secadora de botellas de vidrio.

### **Segunda propuesta de diseño**

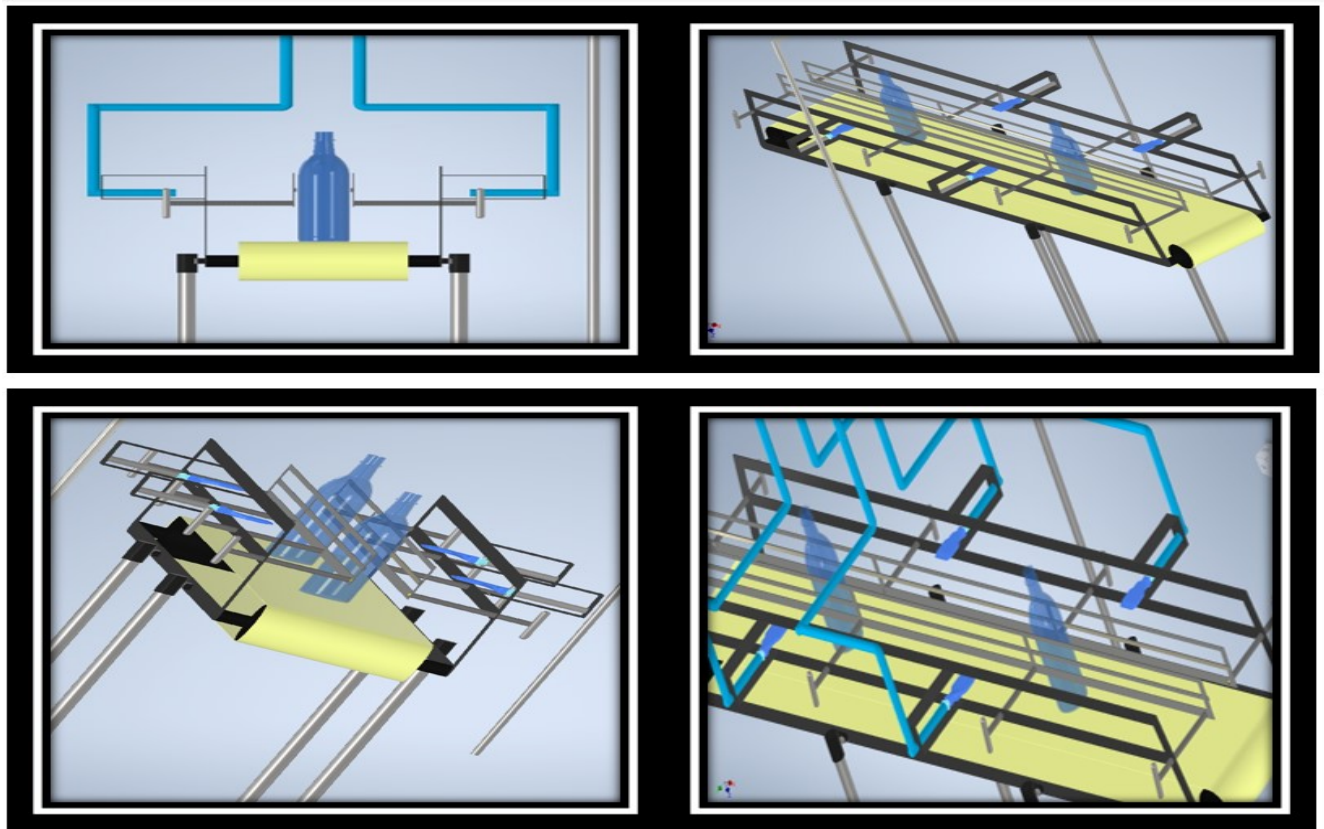
En la figura 18 se muestra la segunda propuesta de diseño mecánico de la máquina secadora de botellas de vidrio, la misma que consta de soportes fijos anclados al suelo, mangueras de distribución de soplado directamente hacia las botellas, una tubería de repartición de aire, banda transportadora, y un acople regulable para la sujeción de botellas.

Ésta propuesta de diseño realizada no se ha podido considerar para el desarrollo del proyecto debido a diversos factores estudiados y evaluados como son las mangueras de soplado

que producían mucho ruido para el secado, también por las pérdidas de presión que se obtiene en el sistema de secado debido a las irregularidades y ubicaciones de las tuberías que conducen el flujo de aire desde la entrada hasta la salida y debido a que la tubería de entrada y repartición de aire comprimido no tiene sujeción esta en el aire.

**Figura 18**

Segunda propuesta de diseño mecánico .



**Nota:** En la siguiente imagen se puede ver la segunda propuesta de diseño mecánico de la máquina secadora de botellas de vidrio.

### **Propuesta de diseño final**

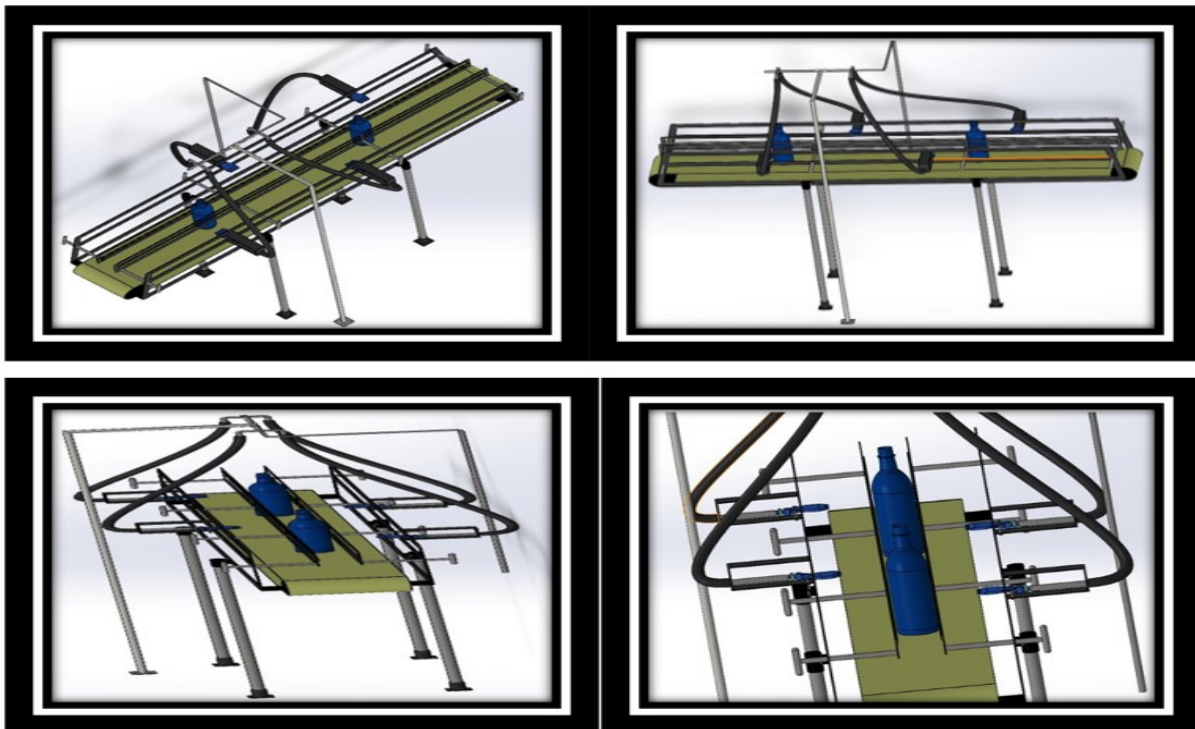
En la figura 19 se observa la tercera propuesta de diseño mecánico de la máquina secadora de botellas de vidrio, la misma que consta de soportes fijos anclados al suelo, mangueras de distribución de soplado de 1/2 con acoples a 1/4 que conectan directamente a la entrada de la boquilla diseñada, una tubería de repartición de aire, banda transportadora, y un acople

regulable para la sujeción de botellas para que no se rompan ni se desplacen de la línea, pernos de sujeción para la boquilla y acoples para regulación de altos y anchos para la salida del aire.

Ésta propuesta de diseño ha sido considerada para realizar el proyecto de la máquina secadora de botellas de vidrio, esto se ha decidido luego de haber realizado cálculos, simulaciones y evaluaciones de todos los elementos conformados en la misma, con este diseño se garantiza el área de soplado hacia la botella, la disminución de ruido de soplado debido al modelo de la boquilla y el secado a lo largo de la banda debido a la ubicación y presión que ejercen las boquillas.

### Figura 19

Propuesta final de diseño mecánico .



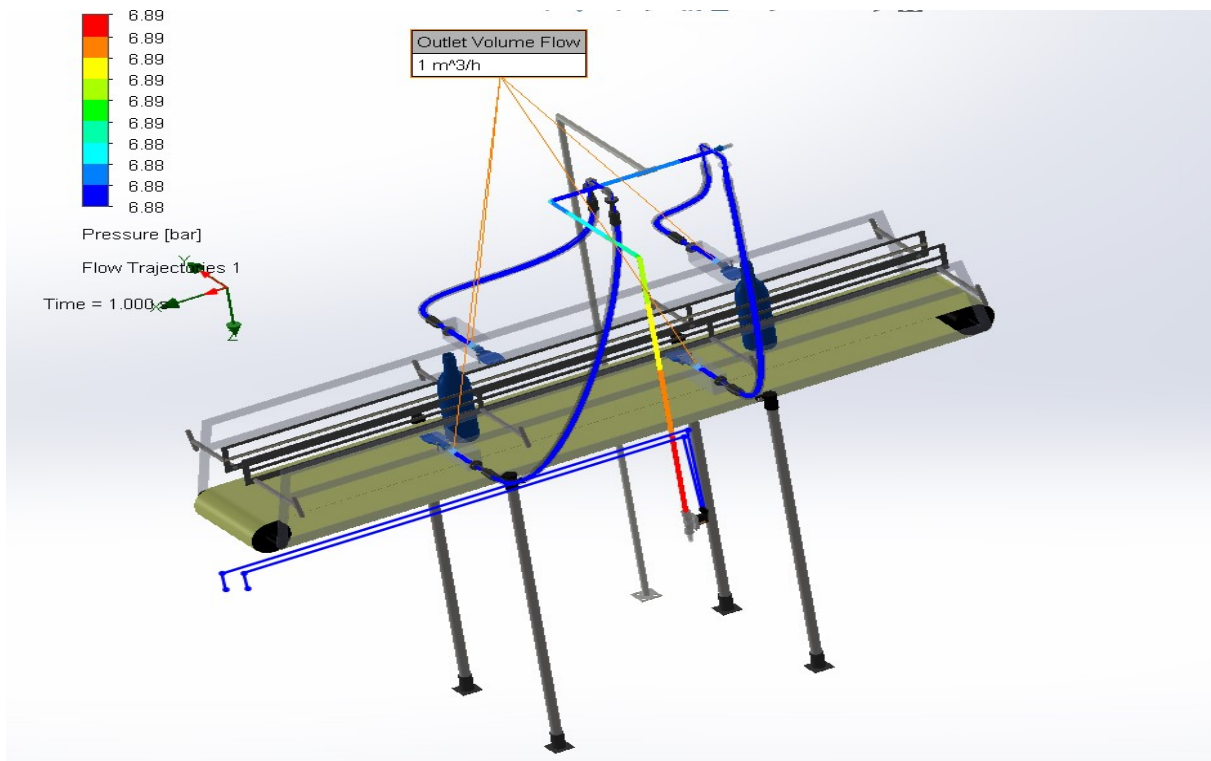
**Nota:** En la siguiente imagen se evidencia la propuesta final de diseño mecánico de la máquina secadora de botellas de vidrio.

## 7.5. Simulación dinámica de la máquina secadora de botellas

En la siguiente sección se observa la simulación dinámica de la máquina secadora de botellas, se muestra los datos necesarios para el diseño en el cuál se involucra el caudal, en la figura 20 se puede evidenciar los valores utilizados como frontera y la salida a cada una de las boquillas para realizar el secado, con esto se puede observar que se cumple la condición de llegar con el caudal de aire necesitado a cada una de las boquillas de aire.

**Figura 20**

Simulación dinámica de la secadora de botellas .



**Nota:** En la siguiente imagen se observa la simulación en solidworks de la máquina completa identificando el caudal en cada una de sus salidas para verificar que el caudal sea constante y llegue al flujo deseado.

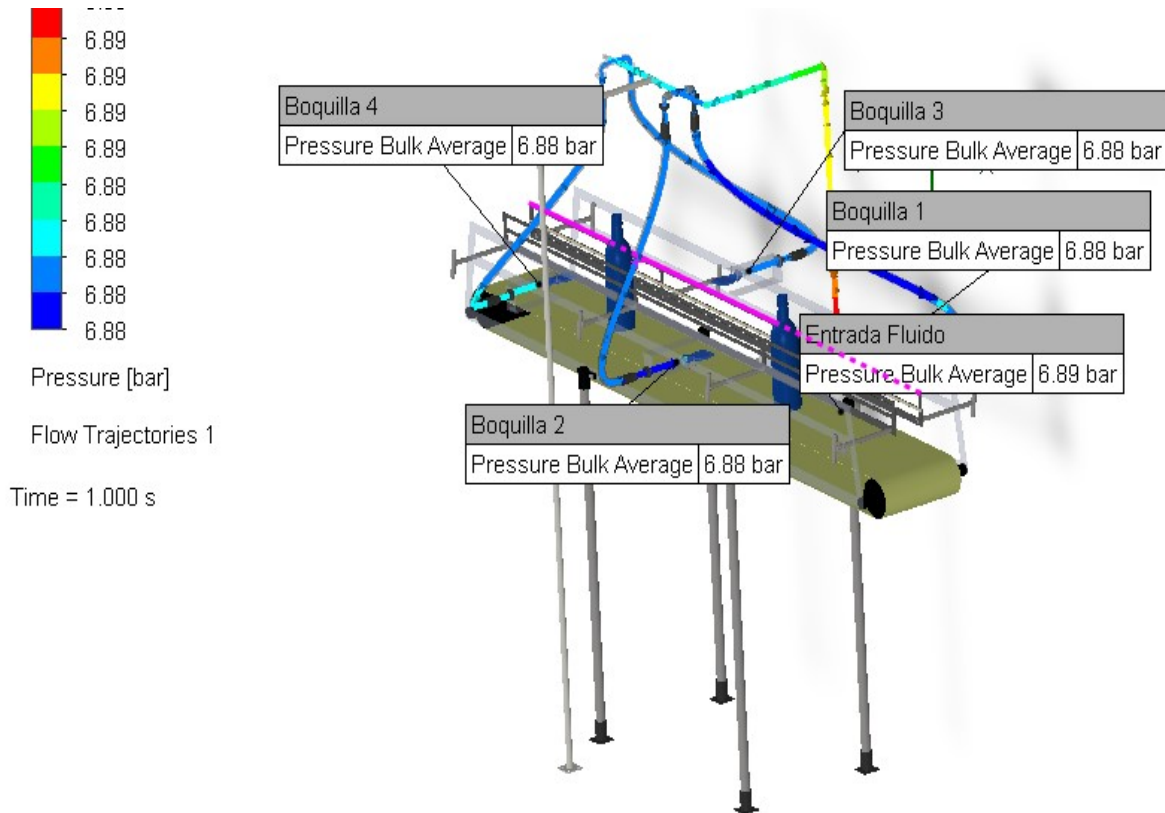
## 7.6. Simulación dinámica de la máquina secadora de botellas

En la siguiente sección se observa la simulación dinámica de la máquina secadora de botellas, se muestra los datos necesarios para el diseño en el cuál involucra la presión constante

de trabajo, en la figura 21 se muestra los valores utilizados como frontera y la salida a cada una de las boquillas para realizar el secado, con esto se puede observar que se cumple la condición de llegar con la presión de aire necesitada a cada una de las boquillas de aire.

**Figura 21**

Simulación dinámica de la secadora de botellas .



**Nota:** En la siguiente imagen visualizamos la simulación en SolidWorks de la máquina completa identificando las presión constante de trabajo en la entrada y verificando las presiones de salida en cada una de sus mangueras para verificar que presión se obtiene al realizar el diseño y confirmar que la presión sea adecuada para el proceso.

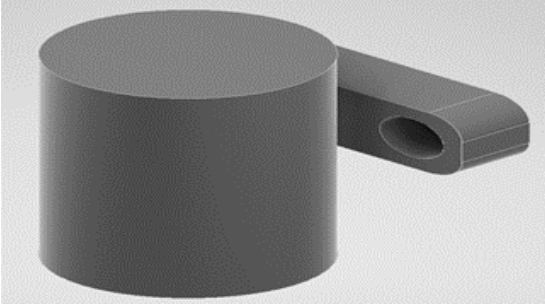
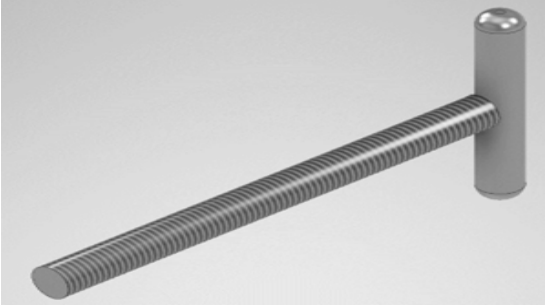
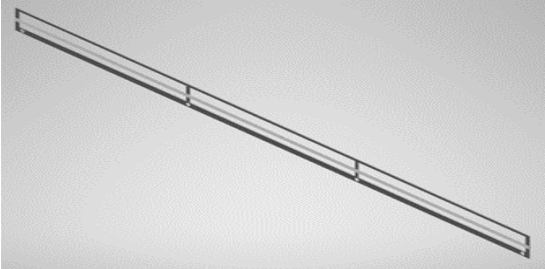
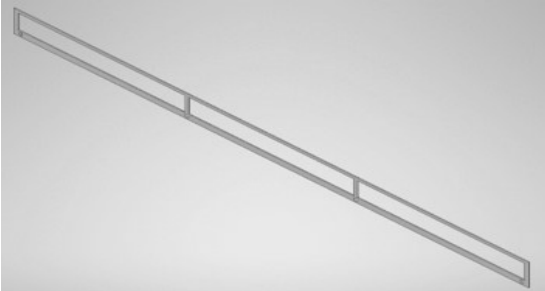
### 7.7. Tabla de Particulares diseñados

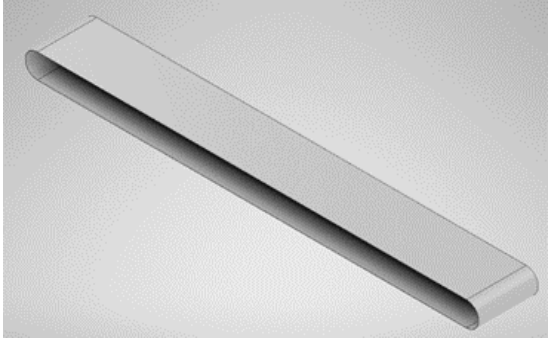
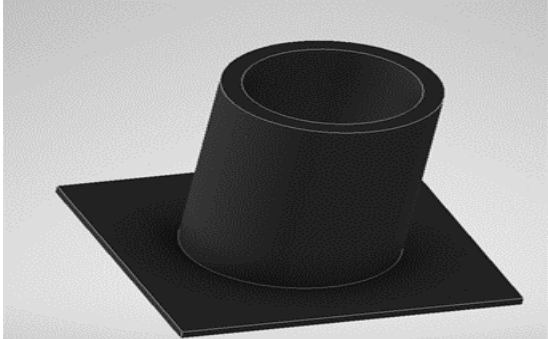
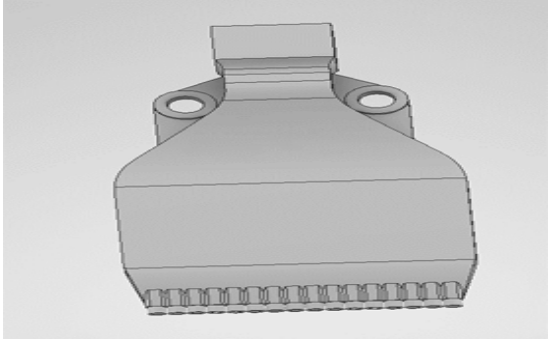

En la siguiente tabla se observa los particulares considerados en el diseño del proyecto, se ha realizado una tabla de todos los elementos utilizados en el ensamblaje de la máquina.

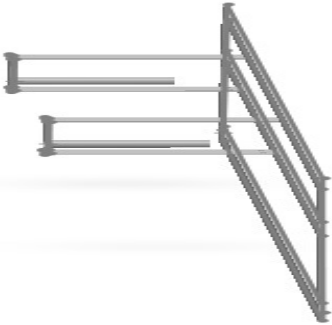
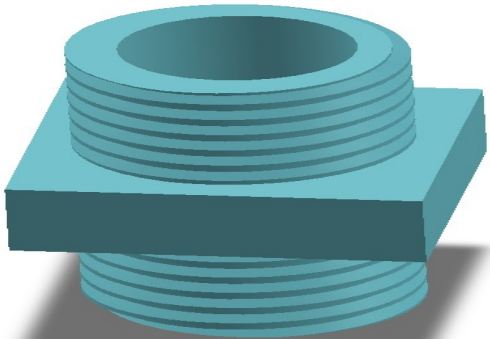
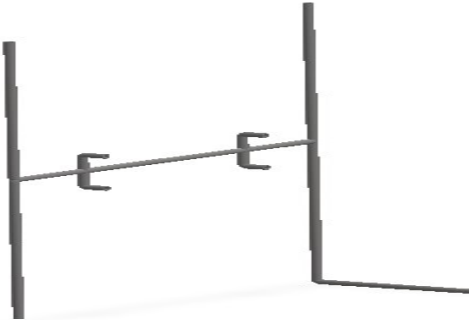
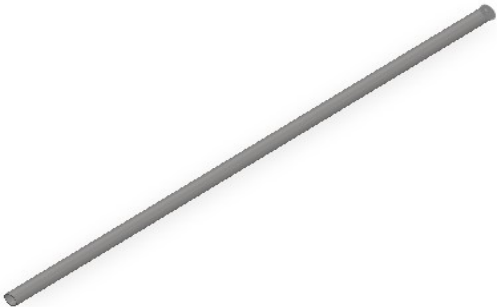


**Tabla 5**

*Tabla de particulares.*


Elemento	Figura
Acople base lateral	
Ajuste lateral	
Ajuste botella	
Base botella	

Elemento	Figura
Banda transportadora	
Base soporte	
Cuerpo boquilla	
Soporte al suelo	

Elemento	Figura
Soporte lateral	
Acople boquilla	
Tubería manguera	
Tubo base	

**Tabla 6**

*Tabla de particulares.*

Elemento	Figura
Manguera de 1/2	

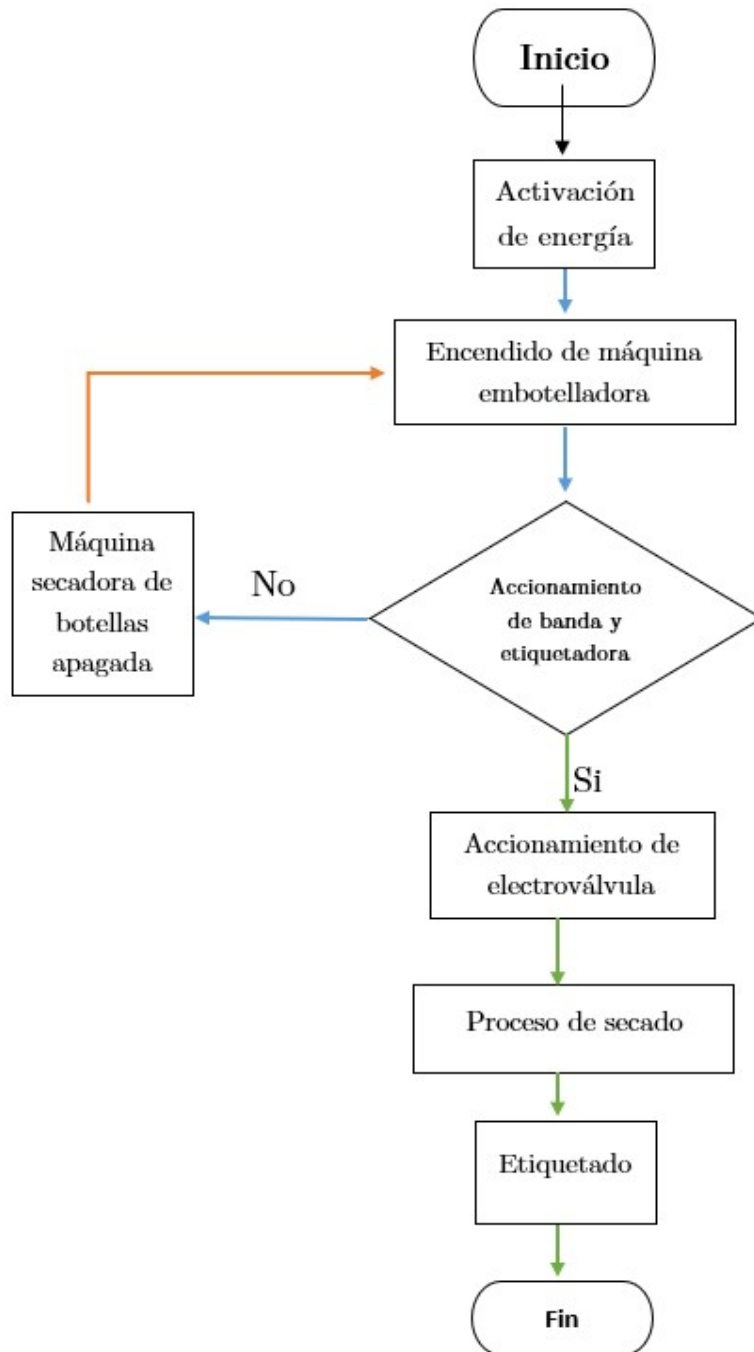
**Nota:** En la tabla 6 podemos visualizar los particulares con su descripción y su representación gráfica.

### **7.8. Diagrama de eventos discretos para el accionamiento de la máquina secadora de botellas**

En esta sección se explica el diagrama de eventos discretos, el mismo que fue realizado para el accionamiento de etapa del secado de botellas, el diagrama empieza con la activación de energía, la misma que dará un pulso para encender la máquina embotelladora, si esta se enciende también activará la banda y la máquina etiquetadora, si todo esto se encuentra activo recibirá un pulso la electroválvula para abrirse y dejar pasar el flujo de aire para el proceso de secado de las botellas y posteriormente el etiquetado, si las condiciones mencionadas anteriormente no se cumplen de tal manera, no se tendrá salida de flujo de aire de la máquina secadora de botellas, esto se puede evidenciar en la figura 22.

**Figura 22**

Diagrama de eventos discretos .



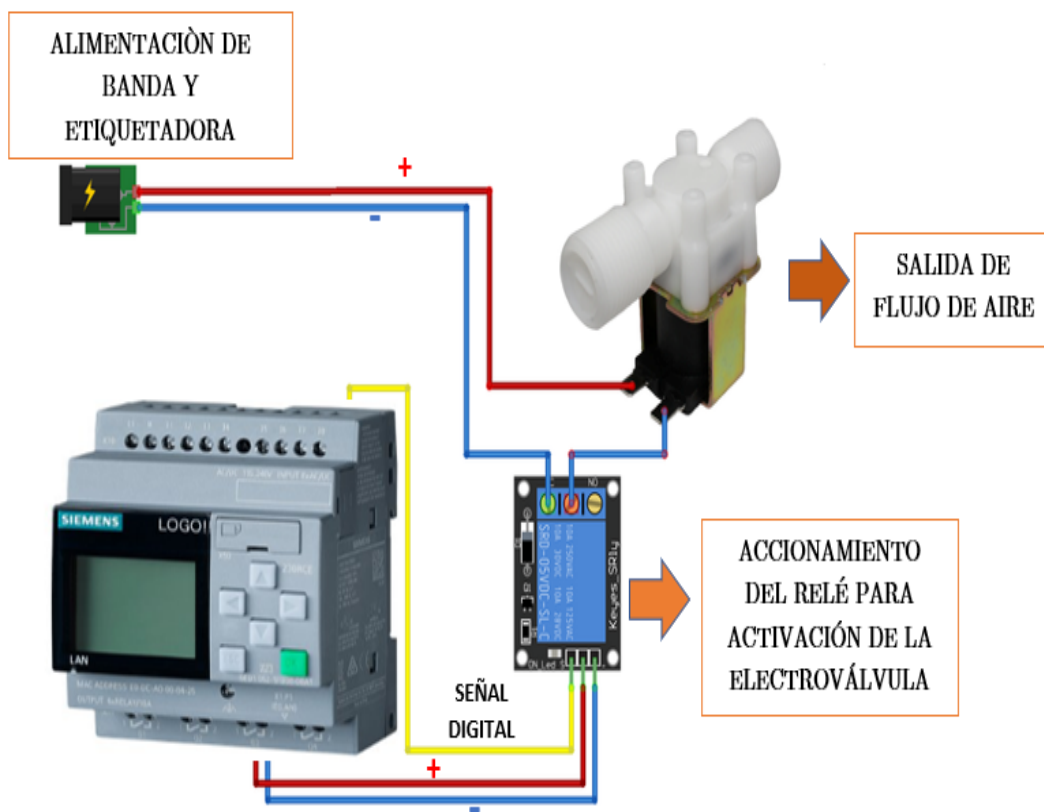
**Nota:** En la siguiente imagen se puede analizar el diagrama de flujo de los eventos discretos.

## 7.9. Diagrama de accionamiento de la electroválvula

En el siguiente diagrama se evidencia la conexión eléctrica cuando se activa la banda transportadora y la etiquetadora, esto se realiza entre el PLC, el relé y la electroválvula para obtener la activación de la misma y posteriormente dar la salida de flujo de aire comprimido, como se puede ver en la figura 23.

**Figura 23**

Diagrama de conexión de la electroválvula .



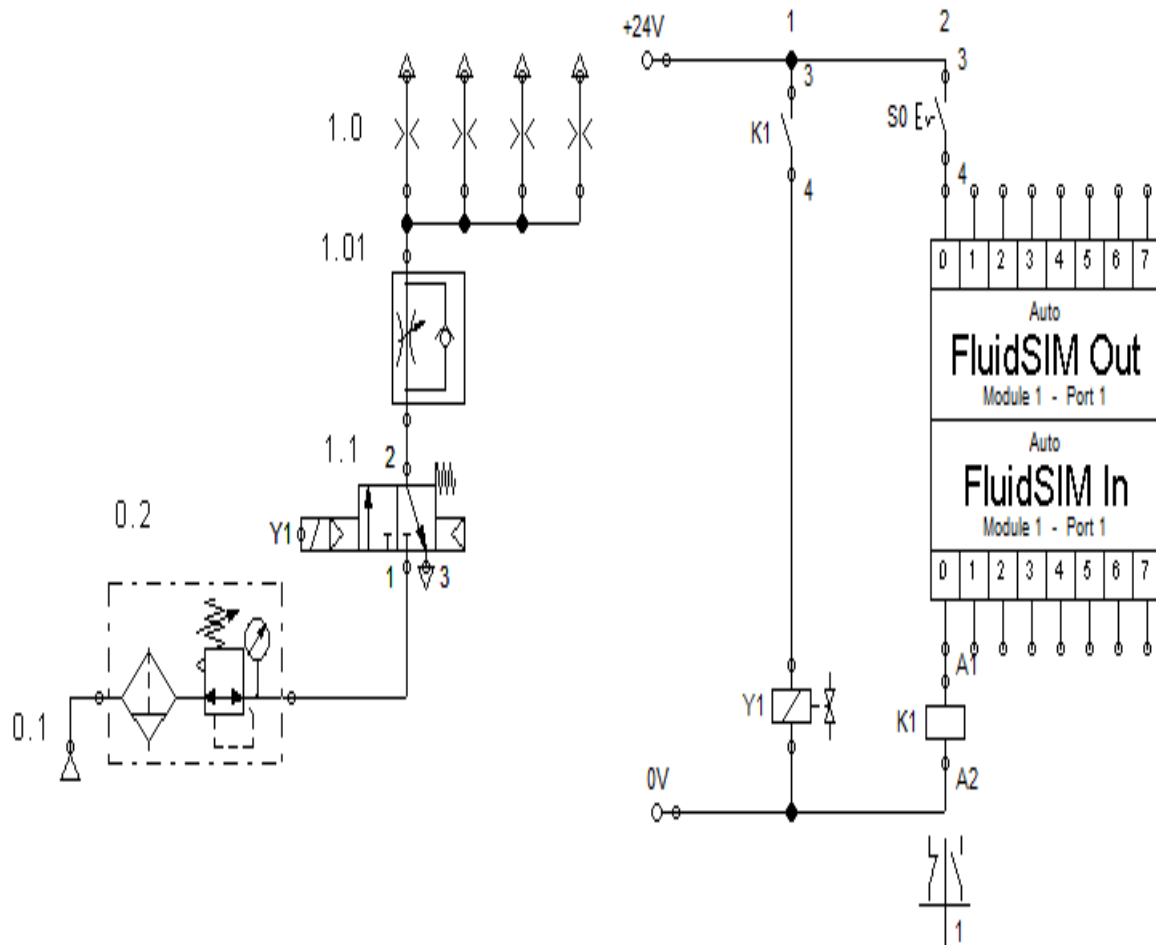
**Nota:** En la siguiente imagen se puede evidenciar el diagrama de conexión para la activación de la electroválvula.

En el siguiente texto se describe el plano realizado para el accionamiento de la electroválvula, en el cual se tiene una marca colocada como 1.0 que es el efector que representa las 4 salidas de flujo de aire, la marca 1.01 una válvula reguladora. 1.1 la electroválvula de paso , 0.2 la unidad de mantenimiento conectada al 0.1 que es la alimentación.

Por otra parte se visualiza el diagrama eléctrico donde interactúa el PLC, con la electroválvula y las terminales positivas y negativas, todo esto se puede ver en la figura 24.

**Figura 24**

Plano de accionamiento electroválvula .



**Nota:** En la siguiente imagen se puede visualizar el plano de accionamiento de la electroválvula.

## 8. Resultados

### Establecimiento de los parámetros iniciales

En esta sección se evidencia los parámetros iniciales obtenidos previos a la realización del

diseño mecatrónico de la máquina secadora de botellas de vidrio.

**Tabla 7**

*Parámetros iniciales para el diseño mecatrónico.*

<b>Parámetros</b>	<b>Resultados</b>
Presión constante de trabajo	100psi $\rightarrow$ 6,89Bar
Presión máxima a utilizar	120psi $\rightarrow$ 8,27Bar
Ancho de cinta transportadora	25cm
Espacio total de construcción	1,16m de alto por 1,80m
Velocidad del motor de la cinta transportadora	1750 rpm
Espacio entre botellas	8cm
Área de soplado de la boquilla	$3,529 \times 10^{-6} m^2$
Caudal constante utilizado	4,13 m <sup>3</sup> /h
Caudal máximo a utilizar	4,9608 m <sup>3</sup> /h
Diámetro de tubería de flujo de aire	0,081in

**Nota:** En la tabla 7 se observa los valores de los parámetros iniciales obtenidos para el diseño.

### **Simulación dinámica de la boquilla de aire**

Luego de realizar todos los cálculos involucrados dentro del desarrollo mecatrónico del diseño de la máquina secadora de botellas de vidrio, se procedió a realizar la simulación dinámica de la boquilla de aire con respecto a la botella, en la figura 15 se observa el área de soplado como simulación, utilizando la condición de frontera de 6,89 Bar que es la presión constante y el caudal utilizado, realizando la simulación con un mallado del 84% en el software SolidWorks, obteniendo como resultado una simulación para comprobar el área de soplado que cubre la boquilla hacia la botella, evidenciando así los valores requeridos para el diseño.

### **Diseño estructural de la máquina secadora de botellas**

Teniendo en cuenta los parámetros iniciales, cálculos, y simulaciones se procedió a realizar



el diseño estructural con todo lo antes mencionado, el diseño involucra diámetros de tubería, geometría de construcción, materiales, áreas y comprobación de funcionamiento, el resultado del diseño final se explica y se muestra en la figura 19.

### **Simulación dinámica de la máquina secadora de botellas de vidrio**

En la simulación dinámica de la máquina secadora de botellas de vidrio se puede observar los valores obtenidos en cada una de sus salidas, teniendo como resultado un valor de presión de 6,89 Bar, obteniendo así un resultado satisfactorio de acuerdo a lo requerido en las condiciones iniciales de presión constante de trabajo, la simulación ha sido realizada en el software SolidWorks, ocupando valores de frontera antes mencionados y con un mallado del 84%, en la figura 21 se puede apreciar lo descrito anteriormente.

### **Evaluación del diseño mecatrónico**

Finalmente para la evaluación del diseño mecatrónico se procedió a realizar la construcción de un prototipo a escala reducida para comprobar el funcionamiento del mismo, se realizó una impresión de la boquilla en 3D en material PLA, se construyó una banda transportadora de rodillos con un motor eléctrico de 24v, y 4 boquillas de salida para el flujo de aire comprimido, se comprobó el área de secado y la humedad de la botella obteniendo así seca el área de la botella que se necesita para pegar la etiqueta, cumpliendo así con las condiciones de diseño, esto de puede evidenciar en la figura 25.

## Figura 25

Prototipo secador de botellas .



**Nota:** En la siguiente imagen se puede evidenciar el prototipo realizado para comprobar el funcionamiento del mismo.

## 9. Cronograma

En esta sección se adjunta el cronograma de actividades programadas, para el desarrollo de este trabajo de titulación, en el cuál se detalla el número de 400 horas tomadas para su cumplimiento.

**Tabla 8**

*Cronograma de actividades.*

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																										
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6				HORAS
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Identificar las variables iniciales para el diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal.	Análisis de producción de la planta en la cervecería la Paz.	X	X																							10
	Primer acercamiento a la máquina envasadora y etiquetadora para toma de datos técnicos y métricos visibles en la misma.		X	X																						15
	Toma de medidas métricas del espacio para la ubicación de la máquina secadora de botellas.			X	X																					15
	Identificación de los elementos que se encuentran en la máquina de la línea de envasado y etiquetado de botellas de vidrio.				X	X																				15
	Establecimiento de las condiciones iniciales del proceso de producción, tiempos, y número de botellas que se transportan en la línea de envasado y etiquetado.					X	X																			15
Proponer el diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal.	Identificar el tipo de secador de botellas que se va a implementar, tomando en cuenta los datos iniciales.					X	X																			20
	Elaboración del diseño dinámico.					X	X																			30
	Elaboración del diseño estructural.							X	X																	30
	Elaboración del diseño neumático.								X	X																30
	Elaboración del diseño de control de eventos discretos.										X	X														30
	Elaboración del diseño electrónico.												X	X												30
	Depuración de los diseños elaborados.														X	X										20
Evaluar el diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal.	Diseño de la simulación mecatrónica de la máquina secadora de botellas de vidrio.																	X	X	X	X				30	
	Pruebas de la simulación mecatrónica diseñada para la implementación del secador de botellas de vidrio.																					X	X		30	
	Redacción de documento	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	80
<b>Total de horas empleadas</b>																							<b>400</b>			

**Nota:** La tabla 8 presenta las actividades para cumplir con los objetivos planteados.

## 10. Presupuesto

### 10.1. Talento humano

La tabla 9 presenta los costos por hora de los autores y tutor del proyecto.

**Tabla 9**

*Recurso de talento humano.*

Cargo	Nombre	Costo hora	horas al mes	Total de horas	Costo total
Tutor	Eugenio Cardenas	20\$	8	48	960 \$
Autor 1	Edisson Solano	8\$	–	400	3200 \$
Autor 2	Ronald López	8\$	–	400	3200 \$

**Nota:** En la tabla 9 se observa el costo de las 400horas establecidas en el cronograma de trabajo y el costo de las horas de revisión por parte del docente revisor que se calendarizarán al inicio de TT2.

### 10.2. Recursos materiales

La tabla 10 presenta los costos de los software y laboratorios a utilizar en el proyecto.

**Tabla 10**

*Recursos materiales.*

Denominación	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Software	3	1000	3000 \$
Laboratorios	3	200	600 \$

**Nota:** En la tabla 10 se observa el costo a considerar de diferentes elementos para el desarrollo del trabajo de titulación, con referencia al uso del software Solidworks, Inventor y Autocad se coloca un aproximado del costo total de las licencias. De igual manera el costo por el uso de los laboratorios es un aproximado de acuerdo al número de horas proyectadas a utilizar.

## **11. Conclusiones**

De acuerdo al primer objetivo se pudo concluir que los parámetros iniciales tomados son de suma importancia para realizar el diseño de la máquina secadora de botellas de vidrio, los mismos son utilizados en el desarrollo para realizar los cálculos, simulaciones y evaluaciones correspondientes, obteniendo así un diseño con las especificaciones y requerimientos dados.

Respecto al segundo objetivo que trata sobre el diseño mecánico de la máquina secadora de botellas se pudo concluir que los cálculos realizados para el diseño mecánico son factibles de acuerdo a lo necesitado, en el proyecto se han realizado tres propuestas de diseño, las mismas que fueron comparadas y evaluadas para ver cuál cumplía con lo requerido, de acuerdo a esto se tomo una tercera propuesta como final la misma que cumple todas las especificaciones requeridas de diseño mecatrónico.

El tercer objetivo planteado en el proyecto hace referencia a la simulación y evaluación del diseño, en este caso se pudo concluir que los diseños mecánicos y dinámicos son evaluados respecto a las condiciones dadas cumpliendo así con los requerimientos iniciales para el desarrollo del proyecto, cumpliendo así con el área de secado de la botella , normas, dimensionamiento de construcción, materiales y pruebas realizadas para el correcto funcionamiento del mismo.

## **12. Recomendaciones**

Como recomendaciones para el desarrollo del proyecto, sería factible realizar un estudio de mercado en diferentes embotelladoras para verificar la acogida del proyecto y si es viable realizar la implementación en otras empresas, también sería necesario realizar un análisis de costos para la implementación.

## Referencias

- AtlasCopco. (2020). *Secadores de aire frigoríficos - Atlas Copco Ecuador*. Descargado 2023-01-26, de <https://www.atlascopco.com/es-ec/compressors/products/air-dryers/refrigerant-air-dryers>
- Balaguer Serra, D. (2017). *Diseño de una planta de elaboración de cerveza artesanal. microcervecería*. Descargado 2022-06-23, de [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/111383/Memoria\\_Vol\\_I.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/111383/Memoria_Vol_I.pdf)
- Cheruserker. (2020). *Cómo se hacen las botellas y frascos de vidrio*. Descargado 2022-06-23, de <https://www.o-i.com/es/our-story/como-se-hacen-las-botellas-y-frascos-de-vidrio/>
- CompAir. (2020). *Secador de aire comprimido | iso 8573 1 calidad del aire | CompAir*. Descargado 2023-01-26, de <https://www.compair.com/es-es/air-treatment-and-accessories/downstream-and-ancillary-equipment/compressed-air-dryer>
- COMPRESORES, K. (2023). *Secadores SECOTEC para compresores de aire con flujos de 325 a 1060 scfm*. Descargado 2023-01-26, de <https://ec.kaeser.com/productos-y-soluciones/tratamiento-de-aire-comprimido/secadores/secadores-refrigerativos/secadores-refrigerativos-grandes-dimensiones-secotec/>
- Daza, P. C. B., y Umbarila, H. F. A. (2019). Diseño de una máquina lavadora y secadora para reciclaje de plástico sede tecnología mecánica ud. , 89.
- EACSA. (2021). *Tipos de secadores de aire comprimido - Energía en Aire Comprimido*. Descargado 2023-01-26, de <https://energiaenaire.com.mx/tipos-secadores-aire-comprimido/>
- Feicán, B., y Diego, J. (2021). Diseño de un plan de mantenimiento preventivo mecánico y electrónico para la empresa cervecería artesanal la paz en la ciudad de cuenca-ecuador. , 89.
- FESTO. (2019). *Automatización de cervecerías artesanales | Festo MX*. Descargado 2023-01-26, de [https://www.festo.com/mx/es/e/soluciones/sectores-industriales/procesado-y-ensado-de-alimentos/automatizacion-de-cervecerias-artesanales-id\\_67237/](https://www.festo.com/mx/es/e/soluciones/sectores-industriales/procesado-y-ensado-de-alimentos/automatizacion-de-cervecerias-artesanales-id_67237/)
- FREEPIK. (2020). LA IMPORTANCIA DE LA MECATRÓNICA EN LA INDUSTRIA. Descargado de <https://orientacion.universia.edu.pe/infodetail/orientacion/consejos-tecnoversia/la-importancia-de-la-mecatronica-en-la-industria-5585.html>

- Galicía Gonzáles, M. (2019). *Diseño y dimensionamiento de una línea de elaboración de cerveza artesana acondicionada en botella con levadura no-saccharomyces, con una capacidad de 6.000 i/ semana en abanto ciérvana (vizcaya)*. (phdthesis). Descargado 2022-05-31, de [https://oa.upm.es/56981/1/TFG\\_MARIA\\_GALICIA\\_GONZALEZ.pdf](https://oa.upm.es/56981/1/TFG_MARIA_GALICIA_GONZALEZ.pdf)
- GmbH, L. (2020). *lechler\_brochure\_chemicalindustry\_es.pdf*.
- Gómez, C. A. M. (2015). Análisis prospectivo al 2020 de la industria de la cerveza artesanal en el Ecuador como generadora de crecimiento económico. , 101.
- Huaman Valencia, E. R. (2014). Tecnología de bandas transportadoras.
- INDUSTRIA, M. D. (2017). CERVEZA ARTESANAL, UNA ACTIVIDAD EN CRECIMIENTO EN MISIONES. Descargado de <https://www.industria.misiones.gob.ar/noticias/457-cerveza-artesanal-una-actividad-en-crecimiento-en-misiones>
- Jaramillo, P. P. (2020). Cervezas artesanales, un mercado que emerge bien. , 6.
- kaishan. (2021). *Tipos de secadores para aire comprimido - Tecnología en Compresión*. Descargado 2023-01-26, de <https://tecencompresion.com/tipos-de-secadores-para-aire-comprimido/>
- Krones. (2018). Krones linadry y flexidry. , 13.
- La paz cerveceria artesanal · octavio chacón moscoso 3-09, cuenca*. (2022). Descargado 2022-06-10, de <https://www.google.com/maps/place/La+Paz+Cerveceria+Artesanal/@-2.8784914,-78.9808126,1233m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x0:0xcfe14700aa5505de!8m2!3d-2.8785627!4d-78.978559>
- LÍDERES. (2019). Las cervecerias artesanales crecen en medio de los desafíos. *EL COMERCIO.COM*. Descargado de <https://www.revistalideres.ec/lideres/cervecerias-artesanales-crecimiento-desafios-informe.html>
- Maldonado Quispe, V. D. (2018). *“Cálculo, selección y simulación de accionamiento de motor eléctrico – banda transportadora industrial”*. Descargado 2022-05-31, de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5951/IEmaquvd.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- OMRT. (2019). *MOTORES PARA CORREAS TRANSPORTADORAS para trabajo continuo*. Descargado 2023-01-26, de <https://www.omemotors.es/motores-para-cintas-transportadoras>
- VALENCIA, C. E. D. E. E. I. D. (2018). El auge de la mecatrónica en la industria 4.0. Descargado de <https://ceeivalencia.emprenemjunts.es/?op=8&n=16846#:~:text=La%20Mecatr%C3%B3nica%20Industrial%20es%20una,programados%2C%20planificar%20el%20montaje%20y>

# **ANEXOS**



## Anexo A: Matriz de Consistencia Lógica

Tabla 11

Matriz de consistencia.

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
Título: Diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal.				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Se podrá diseñar un sistema mecatrónico para una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal ?	Diseñar un sistema mecatrónico para una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal.	Se realizará el diseño de un sistema mecatrónico para una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal.	VI: Diseño. VD: Tiempo de operación.	Diseño mecánico y electrónico. Secadora de botellas de vidrio.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Se podrá identificar las variables iniciales para el diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal ?	Identificar las variables iniciales para el diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal.	Se identificará las variables iniciales para el diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal.	VI: Variables iniciales. VD: Diseño mecatrónico	Botellas de vidrio
¿ Es posible proponer el diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal ?	Proponer el diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal.	Se propondrá el diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal.	VD: Diseño mecatrónico	Mecanismo de secado de botellas.
¿Se logrará evaluar el diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal ?	Evaluar el diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal.	Se simulará el diseño mecatrónico de una máquina secadora de botellas de vidrio en una línea de producción de cerveza artesanal.		Simulación del secador de botellas de vidrio.

**Nota:** La matriz de consistencia presentada facilita identificar la relación que existe entre las variables y los objetivos además de como se relaciona con el marco teórico referencial.

# Anexo B: Planos de construcción