

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:  
AUTOMATIZACIÓN DEL LLENADO DE BOTELLAS Y CONTROL DE CALIDAD  
DE SU CORONA APLICADO A LA EMPRESA AVERNO**

**AUTOR:  
OSCAR RUBÉN TOCTAGUANO VELÁSQUEZ**

**TUTOR:  
EDUARDO RODRIGO TORRES SANTOS**

**Quito, septiembre del 2021**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, Oscar Rubén Toctaguano Velásquez con documento de identificación N° 1712329620, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: AUTOMATIZACIÓN DEL LLENADO DE BOTELLAS Y CONTROL DE CALIDAD DE SU CORONA APLICADO A LA EMPRESA AVERNO mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo el derecho moral de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



---

Oscar Rubén Toctaguano Velásquez

C.I.: 1712329620

Quito, septiembre de 2021

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR**

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, AUTOMATIZACIÓN DEL LLENADO DE BOTELLAS Y CONTROL DE CALIDAD DE SU CORONA APLICADO A LA EMPRESA AVERNO, realizado por Toctaguano Velásquez Oscar Rubén, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, septiembre de 2021

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a central scribble, positioned above a horizontal line.

Eduardo Rodrigo Torres Santos

CI: 1713654604

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis padres y toda su gran paciencia, en todos estos años de fracasos y triunfos, que han sido testigos de la perseverancia y trabajo duro que he realizado en todas las actividades que me he propuesto.

A mi Abuela Rosita por ser el primer ejemplo de dedicación y perseverancia.

A mi Pecosita que lleno mi vida con toda la felicidad posible que podría esperar de una mujer y agradecido por su inmenso apoyo.

A todos mis hermanos de cuatro patas, que me acompañaron durante toda su vida y que los amé como aquellos hermanos humanos que nunca tuve.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por todos los conocimientos recibidos y haberme dado la oportunidad de cumplir con este sueño académico.

Agradezco al Ingeniero Eduardo Torres, MSc. por el voto de confianza de mi trabajo y guiarme para culminar el presente Trabajo de Titulación

## INDICE GENERAL

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR .....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xii
INTRODUCCIÓN .....	xiii
ANTECEDENTES .....	1
1.1 Planteamiento del Problema .....	1
1.2 Justificación .....	1
1.3 Descripción General de la Empresa: .....	2
1.4 Delimitación Geográfica: .....	2
1.5 Objetivos.....	3
1.5.1 Objetivo general. ....	3
1.5.2 Objetivos específicos.....	3
1.6 Metodología.....	4
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	5
2.1. Material de fabricación .....	5
2.2. Acero Inoxidable .....	5
2.3. Polipropileno .....	5
2.4. Cauchos de Silicona.....	6
2.5. Botella de vidrio .....	6
2.5.1 Boca .....	7
2.5.2 Cuello.....	7
2.5.3 Hombro .....	7
2.5.4 Cuerpo .....	7
2.5.5 Talón.....	7
2.5.6 Fondo.....	7
2.6 Llenado Isobáricos.....	7
2.7 Automatización.....	8

2.8	Sensor de presión.....	9
2.9	Sistemas Embebidos.....	10
2.10	Arduino Atmega 2560.....	11
2.11	Visión Artificial.....	12
2.12	Cámara Pixy2.....	12
2.13	Productividad Industrial.....	13
2.14	Proceso manual de llenado isobárico.....	13
	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.....	15
3.1	Componentes mecánicos.....	15
3.2	Banda transportadora modular.....	17
3.2.1	Motor monofásico.....	17
3.2.2	Cinta Modular.....	17
3.2.3	Tambor motriz.....	17
3.3	Cámara.....	18
3.4	Soporte que contiene la visión artificial.....	19
3.5	Sistema isobárico.....	19
3.6	Tablero electrónico.....	20
3.7	Diseño electrónico.....	21
3.7.1	Componentes de la llenadora isobárica.....	21
3.8	Algoritmo de control de Arduino.....	23
3.9	Softwares necesarios.....	25
3.9.1	Arduino (IDE) 1.8.13.....	25
3.9.1	Pixymon.....	25
3.10	Componentes Isobáricos.....	26
3.10.1	Presión de dióxido de carbono en la botella.....	26
3.10.2	Presión que ejerce el gas en el cuerpo de la botella.....	27
3.10.3	Presión que ejerce el gas entre el cuerpo y cuello de la botella.....	27
3.10.4	Presión que ejerce el gas en el cuello de la botella.....	28
3.11	Instrumentación del proceso.....	29
3.12	Diseño electro neumático.....	31

3.13 Tablero interno .....	32
3.14 Visión Artificial .....	35
RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	43
4.1 Procedimiento .....	43
4.2 Prueba del tablero de control .....	43
4.3 Prueba de arranque y paro de banda transportadora .....	44
4.4 Pruebas con la visión artificial .....	46
4.4.1 Análisis de pruebas de visión artificial .....	47
4.4.2 Análisis automático por visión artificial vs análisis manual .....	49
4.4 Funcionamiento de las etapas previas al llenado .....	51
4.5 Llenado isobárico .....	53
4.6 Materia Prima .....	55
4.7 Análisis de llenado isobárico .....	55
CONCLUSIONES .....	60
RECOMENDACIONES .....	62
REFERENCIAS .....	63
ANEXOS .....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Delimitación Geográfica .....	3
Figura 2.1. Partes de la botella de vidrio .....	6
Figura 2.2. Máquina de llenado isobárico .....	8
Figura 2.3 Sensor de presión HK3022.....	9
Figura 2.4 Elementos de un sistema embebido (área lógica) .....	10
Figura 2.5 Arduino Atmega 2560.....	11
Figura 2.6 Pixy2 .....	12
Figura 2.7 Proceso manual de llenado.....	14
Figura 3.1 Máquina llenadora con visión artificial.....	15
Figura 3.2 Banda.....	17
Figura 3.3 Cámara .....	18
Figura 3.4 Soporte .....	19
Figura 3.5 Sistema isobárico .....	20
Figura 3.6 Tablero electrónico.....	20
Figura 3.7 Diagrama de flujo de programación para el Arduino.....	24
Figura 3.8 Control de calidad corona de botellas .....	25
Figura 3.9 Barra de menú .....	26
Figura 3.10 Pieza usada en el sistema isobárico.....	29
Figura 3.11 Plano de instrumentación .....	30
Figura 3.12 Propiedades de dispositivos electro- neumáticos.....	31
Figura 3.13 Propiedades de dispositivos electro- neumáticos.....	32
Figura 3.14 Diseño eléctrico.....	33
Figura 3.15 Diseño del circuito de control y fuerza para el Motor .....	34
Figura 3.16 Conexión del Arduino con módulos relés.....	34
Figura 3.17 Aplicación de cámara Pixy2.....	36
Figura 3.18 Puerto micro USB tipo B .....	36
Figura 3.19 Puerto micro USB tipo B .....	37
Figura 3.20 Entrenamiento de la cámara .....	38

Figura 3.21 Asignación automática de la cámara.....	39
Figura 3.22 Entrenamiento final de la cámara.....	39
Figura 3.23 Entrenamiento para detectar coronas defectuosas.....	40
Figura 3.24 Entrenamiento para detectar coronas defectuosas.....	40
Figura 3.25 Detección de fallos en la botella .....	41
Figura 3.26 Habilitación de la cámara.....	42
Figura 4.1 Accionamiento de la banda transportadora .....	43
Figura 4.2 Accionamiento de la banda transportadora .....	44
Figura 4.3 Pruebas de funcionamiento de visión artificial .....	46
Figura 4.4 Accionamiento del cilindro rectangular para rechazo de botellas .....	47
Figura 4.5 Análisis de la corona visión artificial vs visión humana.....	50
Figura 4.6 Accionamiento del cilindro para alineación.....	51
Figura 4.7 Accionamiento del cilindro de empuje de botellas .....	52
Figura 4.8 Accionamiento del cilindro de alineación de botellas.....	52
Figura 4.9 Accionamiento de los cilindros que desplazan el sistema isobárico.....	53
Figura 4.10 Accionamiento de los cilindros neumáticos y su correspondiente luz piloto ...	54
Figura 4.11 Vástagos en posición inicial.....	54
Figura 4.12 Botella de vidrio utilizada .....	55
Figura 4.10 Análisis de la corona visión artificial vs visión humana.....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Componentes con sus respectivas características físicas.....	16
Tabla 3.2 características de la cámara Pixy2 .....	18
Tabla 3.3 Propiedades de dispositivos eléctricos y electrónicos .....	21
Tabla 3.4 Propiedades de dispositivos electro- neumáticos .....	22
Tabla 3.5 Simbología de plano instrumental .....	30
Tabla 3.6 Tabla de cilindros neumáticos .....	31
Tabla 3.7 Tabla de electroválvulas y sus accionamientos .....	32
Tabla 3.8 Componentes electrónicos internos del tablero .....	35
Tabla 4.1 Pruebas de revoluciones del eje.....	45
Tabla 4.2 Unidades analizadas por personal de la empresa AVERNO .....	48
Tabla 4.3 Unidades analizadas por visión artificial.....	49
Tabla 4.4 Análisis del sistema isobárico de llenado manual .....	56
Tabla 4.5 Análisis del sistema isobárico de llenado automatizado .....	57
Tabla 4.6 Análisis del sistema isobárico de llenado automatizado .....	59

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo la implementación de un sistema de llenado isobárico automático de botellas y el control de calidad de la corona, obteniendo un producto que cumpla con las características de calidad e inocuidad, además del incremento de eficiencia en el proceso de llenado, esto se logrará con la optimización de tiempos tanto en la supervisión de la corona como en el llenado de las botellas. Fue necesario un análisis bibliográfico sobre procesos de control de corona y llenado de botellas, eligiéndose como mejor opción para el control el análisis de imágenes por visión artificial, y el llenado isobárico que garantiza las propiedades organolépticas del producto final, para este último se consideró como base los parámetros establecidos en el llenado manual de la empresa. Además, se consideró un análisis de los componentes que se podrían implementar que permitirán llevar a cabo el proceso de llenado isobárico. Una vez establecidos los parámetros de todos los elementos que formaran parte del equipo, se procederá al diseño y construcción del sistema, relacionando la etapa de potencia y la etapa de control, posterior a esto se realizara pruebas con varias repeticiones para validar el funcionamiento del sistema, y lograr los objetivos planteados, así como establecer las condiciones óptimas de funcionamiento del sistema.

## **ABSTRACT**

The objective of this project is to implement an automatic isobaric bottle filling system and crown quality control, to obtain a product that complies the quality and safety characteristics, also increase the efficiency of the filling process. This will be achieved with the optimization of times in the supervision of the crown bottles and in the filling. A bibliographic analysis on crown control and bottle filling processes was necessary, it was chosen like the best option for control the analysis of images by artificial vision, and isobaric filling that guarantees the organoleptic properties of the final product, it was considered as base the parameters established in the manual filling of the company. In addition, an analysis of the components that could be implemented that will allow the isobaric filling process to be carried out was considered. Once the parameters of all the elements that will be part of the equipment have been established, the design and construction of the system will proceed, was related the power stage and the control stage, after which tests will be carried out with several repetitions to validate the operation of the system, and achieve the objectives set, as well as establish the optimal operating conditions of the system.

## INTRODUCCIÓN

El mercado de cerveza artesanal en el Ecuador se ha incrementado considerablemente en los últimos cinco años, de tal forma que actualmente existe alrededor de más de 200 marcas de cerveza artesanal, una de ellas es de la empresa AVERNO, la cual ha ido incrementando su volumen de ventas de producto en presentación de botellas.

Para obtener el producto final, realiza un proceso de supervisión de botellas y llenado isobárico de manera manual, siendo este un proceso que lleva mucho tiempo y recursos. Por esta razón la empresa requiere incorporar un sistema automatizado que permita mantener la calidad de su producto, así como incrementar la eficiencia del proceso.

El sistema automatizado para el proceso de llenado isobárico, cuenta con varias etapas que permiten garantizar la obtención del producto en condiciones óptimas y aumentar la eficacia del proceso, conformada por una banda transportadora de botellas, el análisis mediante imágenes por visión artificial que permite el control de la corona y a su vez el rechazo de botellas que presentan fallas, el apilamiento de las botellas, la alineación de las botellas y el sistema de llenado, combina componentes electro-neumáticos que cumplen con los parámetros analizados y establecidos para llevar a cabo el proceso de llenado.

El sistema de llenado isobárico automatizado de botellas y control de su corona implementado en la empresa AVERNO, ha logrado que la supervisión mediante el análisis de imágenes por visión artificial, sea un proceso rápido a comparación del tiempo que requiere el personal de la empresa, al igual que el proceso de llenado es mejorado gracias a todos los elementos que contiene el sistema, de tal forma que permita a la empresa optimizar su recurso humano y obtener un producto final que conserve todas sus parámetros de calidad.

# CAPÍTULO 1

## ANTECEDENTES

### 1.1 Planteamiento del Problema

En los últimos años, el aumento de la demanda de cerveza artesanal de la empresa AVERNO, por parte del mercado nacional, generó un incremento en las horas de llenado en botellas, cumpliendo con esta necesidad y corrigiendo factores que pueden acelerar el proceso, la mencionada empresa, quiere incorporar un sistema automatizado en la etapa de llenado.

En la empresa AVERNO, en donde, 1 de cada 20 botellas que serán utilizadas presentan un problema en la corona del envase, se pueden encontrar grietas, rasgaduras y las más comunes con deformaciones en la boca del frasco, es por esta razón la necesidad de un operador para detectar estos fallos, pero esto se sujeta a las decisiones relativas del trabajador, que en ciertas ocasiones son erróneas, de manera que ocasiona pérdida de tiempo en la producción por su dificultad en el llenado de la botella e incluso desperdicio del producto.

Además, y aunque la empresa cuente con los reglamentos correctos para el manejo de los equipos para obtener un resultado aséptico, en algunas ocasiones el mal contacto que el operador tiene con el material de llenado por su constante calibración ha generado el desecho del producto por no cumplir los estándares de calidad evaluados en su línea de producción.

### 1.2 Justificación

El creciente mercado de cerveza artesanal en Ecuador tiene una buena expansión, sin embargo, las pequeñas empresas apenas pueden cubrir el 0,52 % de la producción nacional, siendo el principal competidor Cervecería Nacional, por esta razón micro cervecerías como AVERNO se ve obligada a estar en una constante actualización de sus procesos, para de alguna manera ser competitiva en el mercado y ofrecer un producto que logre satisfacer las exigencias de los clientes. (Revista Líderes, 2016)

Debido a esto surge la necesidad de implementar un sistema de visión artificial, en la selección de una botella con su corona adecuada previo a su llenado automático, que permita controlar la cantidad de producto y mantener la línea de producción completamente limpia, de esta manera mejorar la eficiencia en la etapa de producción, garantizando la estandarización del proceso.

El sistema automatizado tendrá la capacidad de sustituir la intervención humana en la empresa AVERNO, para evitar un contacto entre el operador y el producto, ya que al tener un proceso alimenticio se busca obtener un ambiente aséptico, reduciendo al mínimo el porcentaje de contaminación en el resultado final.

### **1.3 Descripción General de la Empresa:**

La empresa AVERNO, surge de la nueva tendencia mundial en producir bebidas alcohólicas naturales, con sabores personalizados, que destaquen entre las opciones que se encuentran en el mercado nacional.

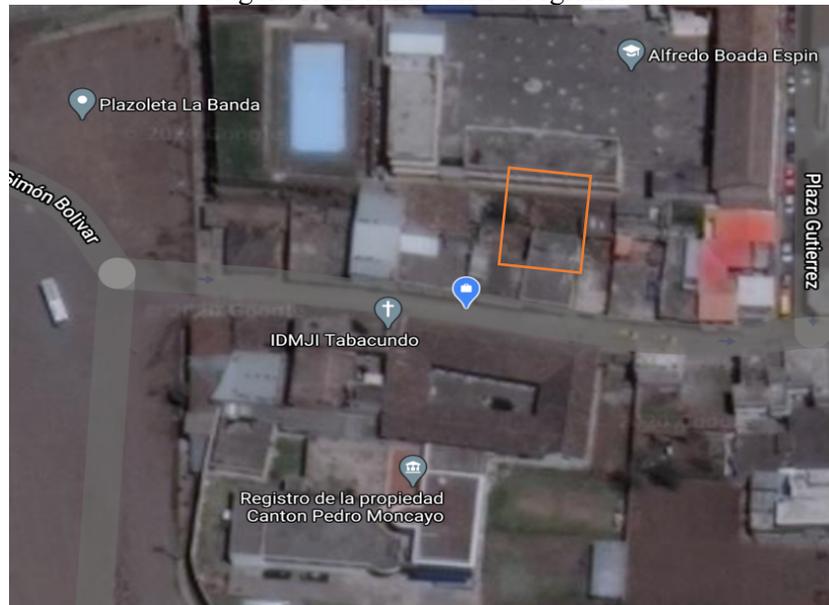
En el año de 2018, AVERNO recibió el Registro Único Artesanal (RUA) con el concepto de cervecería, otorgada por parte del Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca Subsecretaría de MIPYMES y Artesanías, luego de cumplir con las obligaciones necesarias para hacerse de este registro.

Actualmente cervecería AVERNO forma parte de la Asociación de Cerveceros Artesanales Independientes del Ecuador (ASOCERV), entidad que reúne a las cervecerías con mayor promoción y representatividad de la cultura cervecera en el Ecuador.

### **1.4 Delimitación Geográfica:**

El espacio adquirido para la empresa AVERNO se encuentra ubicada en la Calle Bolívar No. 0312008 y Plaza Gutiérrez en la parroquia Tabacundo del cantón Pedro Moncayo, provincia de Pichincha.

Figura 1.1 Delimitación Geográfica



Ubicación Geográfica: Fuente Google Maps.

## 1.5 Objetivos

### 1.5.1 Objetivo general.

- Desarrollar la automatización del llenado de botellas y control de calidad de su corona aplicado a la empresa AVERNO para mejorar su productividad.

### 1.5.2 Objetivos específicos.

- Desarrollar la estructura para la automatización del proceso de control de calidad de las coronas en las botellas.
- Desarrollar la estructura para la automatización del proceso de llenado de las botellas.
- Implementar la supervisión en el proceso de control de calidad en la corona de las botellas, mediante visión artificial para la verificación del adecuado estado de la corona.
- Implementar la automatización en el proceso de llenado de las botellas para la reducción del tiempo original de dosificación.
- Realizar un análisis comparativo de la productividad del proceso automatizado versus el manual para la elección del mejor sistema que cubra las necesidades de la empresa.

## **1.6 Metodología**

- Se utilizará el método analítico para el proceso de inspección ya que permite examinar de forma precisa las anomalías de forma individual.
- Se utilizará el método sintético para integrar los componentes dispersos que fueron analizados previamente, además tiene como tarea proporcionar la información necesaria y optimizar la gestión de recursos y materiales.

## **CAPÍTULO 2**

### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

Este capítulo resume brevemente los elementos que componen el sistema de llenado, haciendo uso de la visión artificial se podrá supervisar a la corona de la botella, permitiendo fluidez en el proceso de llenado y evitando mermas y contratiempos durante el embotellado. El prototipo poseerá un sistema automatizado, diseñado e implementado de tal forma que, traslade, alinea y llene correctamente el producto que será envasado por parte de la empresa cumpliendo las normativas exigidas por ley para su comercialización.

#### **2.1. Material de fabricación**

La fase de llenado tiene como punto de partida el traslado de las botellas, esto se realiza con un modelo específico de banda construida con materiales cuyas partes van desde aceros especiales hasta polímeros aptos para la manipulación de alimentos.

La incursión de materiales complementarios en la construcción de maquinaria incurre sobre la eficiencia y la calidad en la elaboración del producto final, ya que reparten las cantidades apropiadamente permitiendo preservar las propiedades nutritivas de los insumos y disminuir el costo de manejo, es fundamental mencionarlos a continuación: (Cardona-Tunubala, 2018)

#### **2.2. Acero Inoxidable**

Son aceros cuya principal característica es la resistencia a la corrosión, muy presentes en la industria. Para ser considerado un acero inoxidable su contenido de cromo debe sobrepasar el 12%, permitiendo de esta forma soportar medios oxidantes. (Ray Sinnott, 2019)

#### **2.3. Polipropileno**

Se define por ser un tipo de polímero de alta resistencia eléctrica, y de carácter químico inerte, capaz de soportar altas temperaturas y ambientes húmedos extremos. (Billmeyer, 2020)

## 2.4. Cauchos de Silicona

Son polímeros termoestables cuya composición esta basada en átomos de silicio y de oxígeno, a los cuales se enlazan grupos metálicos o vinílicos. Además, impiden el crecimiento microbiano y son libres de corrosión. (Dienstleistungs, Elmet Elastomere Produktions und, 2016)

## 2.5. Botella de vidrio

Es un recipiente compuesto de arena de sílice, carbonato de socio y caliza, que se funden a unos  $1.500^{\circ}$  C, generalmente de forma estrecha, que tiene como fin la conservación, almacenado, y transportar de toda clase de bebidas. (Valerio, 2017)

La Figura 2.1 presenta las partes específicas de la estructura de una botella de cristal con corona. Cada sección tiene un propósito dentro del diseño de la botella, principalmente dirigida para su correcto uso y manipulación.

Figura 2.1. Partes de la botella de vidrio



**Fuente:** (Sánchez, 2017)

### **2.5.1 Boca**

Su función es proporcionar ayuda al cuello evitando fracturas, su forma garantiza un mejor servicio del producto que contiene. (Valerio, 2017)

### **2.5.2 Cuello**

Está dedicada en específico a sostener el elemento que servirá para sellar la botella, soportando los impactos que se realizan durante el tapado. (Reyes Pérez, 2019)

### **2.5.3 Hombro**

Es la sección que comunica al cuerpo con el cuello, y es donde se acumulan los sedimentos si el recipiente se encuentra horizontalmente. (Reyes Pérez, 2019)

### **2.5.4 Cuerpo**

Es la parte de la botella en donde se almacena la mayor cantidad del producto envasado. (Vinetur, 2019)

### **2.5.5 Talón**

Esta unidad presenta una concavidad previa a donde reposa la botella, de profundidad varia en función de su contenido (Valerio, 2017)

### **2.5.6 Fondo**

En esta área descansa todo el peso de la botella, además de contener una nomenclatura especial para determinar su origen y lote (Vinetur, 2019)

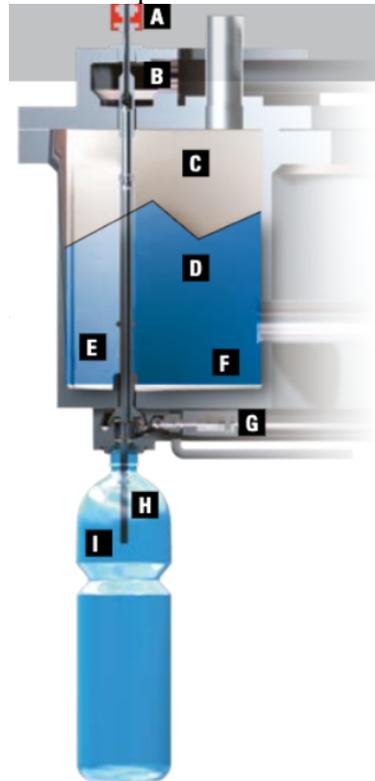
## **2.6 Llenado Isobáricos**

- a. Para evitar oxidación del producto se hace un barrido inicial con dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).
- b. Se presuriza la botella por medio de  $\text{CO}_2$ .
- c. Se equilibran las presiones tanto del barril como de la botella.
- d. La gravedad actúa permitiendo el llenado sin pérdidas.

- e. Se abre la sección de desfogue dosificando poco a poco la presión restante, que contiene el cuello de la botella.
- f. Se levanta el sistema de llenado y está lista para ser tapada.

En la figura 2.2 se observa la máquina que realiza el llenado isobárico en sistemas industriales avanzados.

Figura 2.2. Máquina de llenado isobárico



Fuente: (Ocem, 2016)

## 2.7 Automatización

La automatización permite dar el paso a la innovación de todos aquellos procesos tradicionales, permitiendo así una labor intensiva que deje a un lado la dependencia humana. Haciendo uso de algoritmos sofisticados y componentes electrónicos capaz de aprender, y encargarse de procesos en cualquier área bajo circunstancias complejas. (Wilson, 2018)

Es importante determinar aspectos necesarios para encasillar a un proceso automático moderno:

- El uso de sensores encargados de monitorear los diferentes estados de sistema.
- Los actuadores que reemplazarán la intervención humana.
- Cualquier tipo de controlador capaz de ser configurado, de tal forma que disponga de decisión propia.

La mayor ventaja de cualquier sistema automatizado, es poder tener total control durante cualquier proceso, evitando así pérdidas económicas y de períodos de trabajo.

## 2.8 Sensor de presión

La funcionalidad de este tipo de terminal, es realizar la transformación de una magnitud física a una eléctrica, es así que la presión que se ejerce será representada por medio de un voltaje designado por el sensor. (Keller, 2017)

En la Figura 2.3 se identifica al sensor de presión HK3022, que posee un rango de trabajo 0 a 100 [psi], permitiendo realizar prototipos experimentales en neumática y sistemas de presión continuos (agua, aceite, combustible). (Naylampmechatronics, 2017)

Figura 2.3 Sensor de presión HK3022



Sensor de presión con tres puertos Voltaje de operación: 5,0 [Vdc] Voltaje de salida (analógica): 0,5 – 4,5 [Vdc] Fuente: (Keller, 2017)

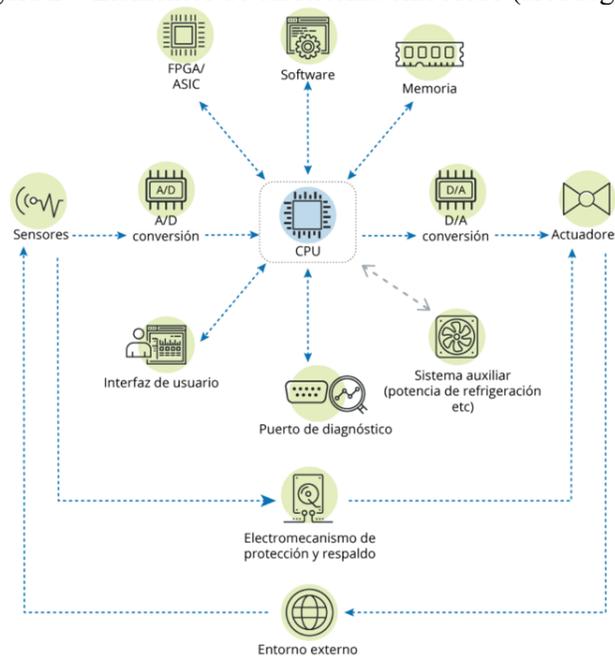
## 2.9 Sistemas Embebidos

Los sistemas embebidos, también llamados empotrados, puede ser un elemento de un sistema mucho más grande, permitiendo ser programables o a su vez cumpliendo con una sola tarea de control específica. Teniendo la capacidad de funcionamiento ininterrumpida y ajustándose a las modificaciones exigidas por el usuario. (UEFI, 2021)

Teniendo a considerar que estos sistemas disponen de protección que garantiza su largo trabajo, se debe tener en cuenta algunos aspectos que están fuera del alcance de los sistemas, como podrían ser fallos de código libre, criptografía inexistente y información secreta que se puede compartir durante las comunicaciones. (Oasys, 2019)

Este tipo de sistemas son totalmente funcionales y su principal tarea es realizar el control de un determinado proceso. Esta clase de sistemas actúan en tiempo real, ya que están programados para una respuesta inmediata. La Figura 2.4 permite entender la particular estructura de los sistemas embebidos enfocados para la industria. (Incibe, 2018)

Figura 2.4 Elementos de un sistema embebido (área lógica)



Fuente: (Incibe, 2018)

## 2.10 Arduino Atmega 2560

Es una placa electrónica que posee un micro procesador Atmega2560, se caracteriza por poseer 54 pines digitales de entrada/salida, 15 de estos se pueden usar como salidas de modulación por ancho o de pulso (PWM por sus siglas en inglés), también posee 16 entradas analógicas, gracias a esto es posible la implementación de circuitos complejos. (Torres Santos & Bucheli Naranjo, 2017)

### Memoria del Arduino Mega

Posee 256 [Kb] de memoria flash dedicada al almacenamiento de cualquier código de los cuales 8 [Kb] están dedicados para el arranque, 8 [Kb] de SRAM y por último de 4 [Kb] EPROM que se puede leer y escribir gracias a la librería EPROM. (Molina, et al., 2019)

### Comunicación del Arduino Mega

El Arduino mega puede realizar la comunicación con el computador, otro Arduino y otros micro controladores, posee 4 conexiones para lógica transistor a transistor (TTL por sus siglas en ingles) de [5 Vdc] de comunicación en serie, en la placa los LEDs y los terminales RX y TX, proceden a parpadear cada vez que se esta transmitiendo datos por medio de USB al computador. (Molina, et al., 2019)

La figura 2.5 muestra en detalle la forma física de la placa electrónica Arduino Mega.

Figura 2.5 Arduino Atmega 2560



Fuente (Novillo, Hernandez, Mazon, Molina, & Cardenas, 2018)

## 2.11 Visión Artificial

Se entiende por “Visión Artificial” al campo que, mediante la utilización de las técnicas adecuadas, permite la obtención de cualquier tipo de información especial obtenida a través de imágenes digitales, mediante el procesamiento y análisis.

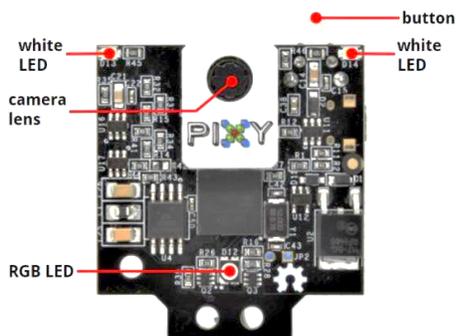
La visión artificial la componen diferentes tipos de procesos. Los cuales se definen como: adquisición de imágenes, información memorizada, procesamiento e interpretación de los resultados.

Las imágenes son adquiridas mediante cámaras y con la correcta programación incorporado en la cámara o diseñada por el usuario, podrá intervenir sobre un proceso o producto por ejemplo detección de elementos defectuosos, para dar al sistema un control de calidad y seguridad de toda la producción. (García Iván, 2016)

## 2.12 Cámara Pixy2

Pixy2 es una cámara con visión artificial que puede aprender a detectar objetos. Pixy2 consigue procesar imágenes gracias al sensor de imagen y solo envía la información útil, como se puede observar en la Figura 2.6. Tiene una velocidad de fotogramas (60 Hz). La información recopilada se puede procesar por cualquiera de estas interfaces: UART, SPI, I2C, USB o salida digital / analógica. Por lo tanto, Arduino u otro microcontrolador puede comunicarse fácilmente con Pixy2 y aún tener suficiente CPU disponible para otras tareas que necesite realizar. (Pixycam, 2019)

Figura 2.6 Pixy2



Fuente: (Pixycam, 2019)

### **2.13 Productividad Industrial**

En palabras generales se define a productividad industrial, a la proporción existente de los productos o servicios obtenidos con relación a los recursos empleados para su alcance. Mejorar en productividad conlleva, a producir un mayor volumen con la misma cantidad de recursos, de la misma forma producir disminuyendo recursos. El principal inconveniente que presenta es la consecuencia al aumentar el volumen de producción, ocasionando bajar el ritmo a la producción. Es por eso que va de la mano una relación entre el crecimiento del volumen y la productividad operativa. (Tejero, 2016)

### **2.14 Proceso manual de llenado isobárico**

El proceso de llenado isobárico se lo realiza una vez por semana, destinando de 8 a 10 [h] por parte del operador, haciendo uso de las protecciones necesarias para la manipulación y envase de la cerveza. El primer paso es supervisar el estado de la corona de la botella luego de haber sido lavadas, esto implica un excesivo uso del tiempo por parte del operario ya que se lo hace manualmente.

Se procede a usar la pistola de contra presión manual, debe estar conectada al suministro de CO<sub>2</sub> que permite el impulso de la cerveza, y también inyecta un barrido de CO<sub>2</sub>, a continuación, se interrumpe el barrido para alcanzar la presión, establecida por el suministro de CO<sub>2</sub> de tal forma que el traslado de la cerveza sea únicamente por gravedad. Una vez alcanzada la proporción de cerveza requerida en botella, se procede a liberar de forma controlada el exceso de presión, que aún guarda la botella evitando así fugas de gas de la cerveza.

En la figura 2.7 se puede observar el llenado isobárico manual.

Figura 2.7 Proceso manual de llenado



Elaborado por: Oscar Toctaguano

## CAPÍTULO 3

### DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

En este capítulo, se detalla el hardware y software que se implementó en la empresa, se da a conocer la estructura para el llenado, complementada con supervisión mediante visión artificial, además de contar con la correspondiente configuración neumática y electrónica que sincronice tanto sensores y actuadores en función de su programación. Fueron necesarios la construcción de elementos mecánicos, para que el prototipo se desempeñe y cumpla correctamente con su carga de trabajo.

#### 3.1 Componentes mecánicos

El prototipo tiene la capacidad de rechazar botellas con corona defectuosa, para a continuación ser alineadas, y se proceda al llenado usando el método de contra presión. Para garantizar que el sistema sea continuo se necesitará: el uso de una banda transportadora, el soporte destinado para la cámara de visión artificial, una estructura que soporte tanto los elementos neumáticos como electrónicos y la caja de control que contiene el controlador y los componentes de potencia.

En la figura 3.1 se identifica las partes físicas del prototipo de llenado

Figura 3.1 Máquina llenadora con visión artificial



Elaborado por: Oscar Toctaguano

Tabla 3.1 Componentes con sus respectivas características físicas

Componente	Características		
Banda Transportadora	Material	Acero Inoxidable (304)	
	Dimensiones	Largo	137 [cm]
		Ancho	13 [cm]
		Alto	18 [cm]
Estructura de soporte	Material	Metal	
	Dimensiones	Largo	52 [cm]
		Ancho	26 [cm]
		Alto	77 [cm]
Soporte de visión artificial	Material	Acrílico	
	Dimensiones	Largo	10 [cm]
		Ancho	10 [cm]
		Alto	26 [cm]
Canal de distribución	Material	Acero Inoxidable (304)	
	Dimensiones	Largo	60 [cm]
		Alto	10 [cm]
		Espesor	0,02 [cm]
Sistema isobárico	Material	Acero Inoxidable (304)	
	Dimensiones	Largo	26 [cm]
		Alto	23 [cm]
Acople de llenado	Material	Polipropileno	
	Dimensiones	Alto	6 [cm]
		Diámetro	4,5 [cm]

Elaborado por: Oscar Toctaguano

En la Tabla 3.1 se menciona los componentes de la llenadora, con sus respectivas dimensiones que de la máquina llenadora.

Fue necesaria la construcción de determinadas partes del prototipo ya que los materiales usados en la industria de alimentos, requieren de materiales específicas evitando de esta forma futuras contaminaciones.

## 3.2 Banda transportadora modular

El traslado de las botellas, se lo realiza por medio de una banda transportadora cuyas partes serán detalladas a continuación.

### 3.2.1 Motor monofásico

Este mecanismo cuya fuerza de trabajo es de  $\frac{1}{4}$  de [hp], tiene un reductor de 29 [rpm], con una alimentación de 110 [V], en su interior posee dos condensadores, solucionando así inconvenientes en su arranque.

### 3.2.2 Cinta Modular

Esta clase de cinta está formada por pequeños módulos de plástico, unidos por estabones que permiten expandir o disminuir su longitud en función de las necesidades de uso. Es capaz de resistir duras condiciones de trabajo soportando altas velocidades y tensión.

### 3.2.3 Tambor motriz

Es un elemento de carácter metálico encargado de realizar el giro asemejándose a una polea, se encuentra en la parte inicial y final de la banda transportadora, además en esta área se encuentran los ejes de trabajo y es donde reposan los piñones que sostiene a la cinta modular.

En la figura 3.2 se observa la etapa de transporte, encargada de trasladar las botellas y llevarlas hasta el área de clasificación para a continuación alinearlas y proceder a su llenado.

Figura 3.2 Banda



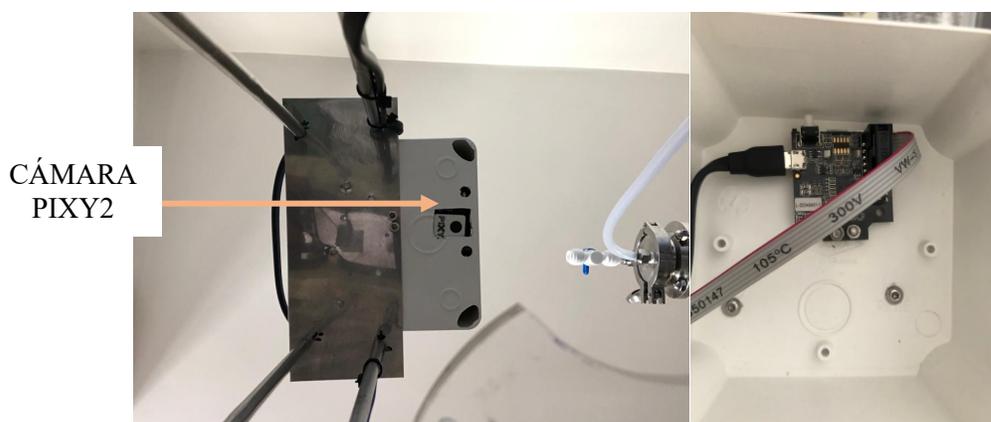
Elaborado por: Oscar Toctaguano

### 3.3 Cámara

Pixy2 es un dispositivo que puede funcionar conjuntamente con el Arduino o a su vez individualmente si sólo realizara supervisión, con una resolución de  $1296 \times 976$  [píxeles] a 60 [fps], gracias a su procesador de flujo de imagen integrado. En la Tabla 3.2 se resumen las cualidades de la cámara.

La cámara se ubica en el soporte de visión como se evidencia en la Figura 3.3

Figura 3.3 Cámara



Elaborado por: Oscar Toctaguano

Tabla 3.2 características de la cámara Pixy2

Característica	Especificación	
Peso	10 [g]	
Dimensiones	1,5 [in] x 1,65 [in] x 0,6 [in]	
Tipo de lente	M12	
Procesador	NXP LPC4330, 204 MHz, doble núcleo	
Sensor de imagen	Aptina MT9M114	
Campo de visión de la lente	Horizontal	60 grados
	Vertical	40 grados
Integra fuente de luz,	20 lúmenes	
RAM	264 k bytes	
Flash:	2 M bytes	

Elaborado por: Oscar Toctaguano

### 3.4 Soporte que contiene la visión artificial

En la figura 3.4 se presenta la estructura que contiene a la cámara con visión artificial, ubicada de tal forma que realice un correcto análisis y observación de la botella. Su fabricación está hecha a base de acrílico, acompañada de un sistema de frenado que permita observar detenidamente cada botella.

Figura 3.4 Soporte



Elaborado por: Oscar Toctaguano

### 3.5 Sistema isobárico

En la figura 3.5 se observa los diferentes componentes que forman parte del sistema isobárico, tanto como conectores rápidos de acero inoxidable, como la pieza diseñada para soportar la presión ejercida por el CO<sub>2</sub>, con una capacidad de llenado de cuatro botellas a la vez.

Figura 3.5 Sistema isobárico

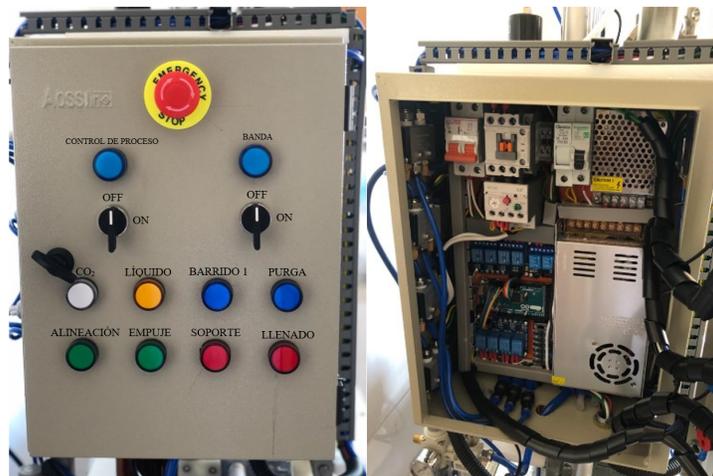


Elaborado por: Oscar Toctaguano

### 3.6 Tablero electrónico

En la figura 3.6 se evidencia los componentes electrónicos y eléctricos, dando paso al sistema neumático encargado de viabilizar las diferentes etapas del proceso. A su vez contando con las protecciones adecuadas para evitar daños al tablero de control.

Figura 3.6 Tablero electrónico



Elaborado por: Oscar Toctaguano

### 3.7 Diseño electrónico

Es el punto de partida, en el que se toma en cuenta todos aquellos elementos involucrados en el sistema de llenado, obteniendo un correcto funcionamiento y de esta forma sincronizar los componentes electrónicos, mecánicos y electro neumáticos sin olvidar las medidas de protección para cada uno de ellos.

#### 3.7.1 Componentes de la llenadora isobárica

En la tabla 3.3 se especifican las características de los equipos electrónicos, eléctricos y en la tabla 3.4 todos los elementos electro- neumáticos de la máquina llenadora, en función del consumo que estos representan se tomará en cuenta las condiciones necesarias para evitar daños en la máquina, permitiendo de esta forma un trabajo continuo del prototipo.

Tabla 3.3 Propiedades de dispositivos eléctricos y electrónicos

Elemento	Características	Especificaciones			
Motor	Marca	Varelly			
	Número de revoluciones	1700 [rpm]			
	Tipo de conexión	Monofásico			
	Potencia	1/4 [hp]			
	Corriente	1,62 [A]			
	Dimensiones	Longitud	23 [cm]	Diámetro	13 [cm]
Protección	Marca	Camsco			
	Porta fusible	1			
	Fusible	32 [A]			
	Marca	LS Electric (MC-12b)			
	Contactador	1			
	Numero de polos	3			
	Frecuencia nominal	50/60 [Hz]			
	Corriente de trabajo	12 [A]			
	Dimensiones	Anchura	4,5 [cm]	Altura	7,35 [cm]
	Marca	LS Electric (Mt- 32)			
	Relé Térmico	1			
	Corriente de trabajo	1,6 a 2,5 [A]			
	Dimensiones	Anchura	9 [cm]	Altura	7,5[cm]
	Cable	16 AWG E. Control y 12 AWG E. Potencia			
Válvula solenoide	Marca	U. S. Solid			
	Configuración	Normalmente cerrado			
	Clase de protección	IP 65			

	Accionamiento	Por Solenoide						
	Presión operativa	Aire o Agua: 0 a 7 [bar] (0 a 101 [psi])						
	Cantidad	3 de acero 304 y 1 de latón						
Sensor	Marca	Devmo (E18-D80NK)						
	Tipo de Sensor	Proximidad fotoeléctrica						
	Dimensiones	Diámetro	1,8 [cm]	Longitud	5 [cm]			
	Cantidad	3						
	Rango detección	3[cm] a 80 [cm]						
Motor a pasos	Voltaje	12 [V]						
	Modelo	NEMA 17						
Fuente	Marca	eTopxizu						
	Voltaje in	120 [Vac]						
	Voltaje out	5 [Vdc]			12 [Vdc]			
	Corriente	10 [A]			30 [A]			
	Dimensiones	L	11 [cm]	A	8 [cm]	L	21 [cm]	A
Arduino	Modelo	Mega 2560						
	Voltaje	5 [V]						
	Corriente	50 [mA]						
	Procesador	Atmega2560						
	Memoria	256 [kB]						
	Dimensiones	Longitud	10,15 [cm]		Ancho	5,33 [cm]		

Elaborado por: Oscar Toctaguano

Tabla 3.4 Propiedades de dispositivos electro- neumáticos

Elemento	Características	Especificaciones
Electroválvula 5/2	Marca	Tailonz
	Configuración	Cinco vías dos posiciones NO
	Voltaje de trabajo	12 [Vdc]
	Clase de protección	IP65
	Accionamiento	Por solenoide
	Presión de trabajo	25 a 116 [psi]
	Cantidad	5
Cilindro de doble efecto	Marca	Baomain
	Rango de trabajo	145 [psi]
	Diámetro	45 [cm]
	Modelo de movimiento	Doble efecto
	Medio de trabajo	Aire
	Carrera	30 [cm]
	Cantidad	3
Cilindro Rectangular	Marca	Baomain
	Rango de trabajo	145 [psi]
	Diámetro	15 [cm]

	Carrera	10 [cm]
	Cantidad	3

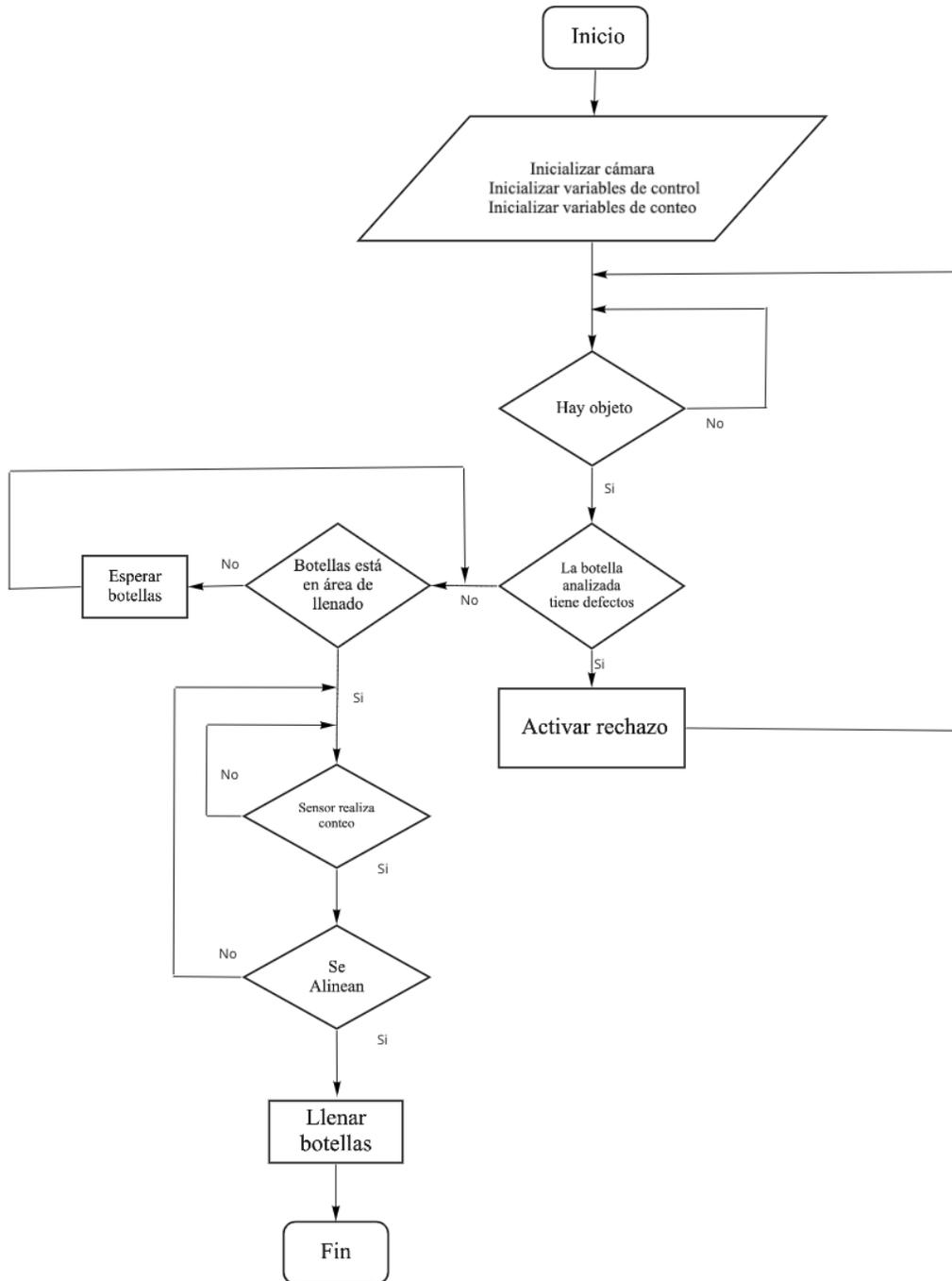
Elaborado por: Oscar Toctaguano

### 3.8 Algoritmo de control de Arduino

En la figura 3.7 se presenta el diagrama de flujo correspondiente a la programación que se diseñó para el Arduino, esta puede realizar distintas acciones tanto secuencial como autónoma, de esta forma cumpliendo con las necesidades de la empresa.

El diagrama contiene las acciones que se cumplirán en función de la supervisión a la corona, la cámara informará al Arduino que botellas serán desechadas. El motor a pasos 12 [Vdc] restringe por medio de un mecanismo el paso continuo, evitando así aglomeraciones para que cilindro neumático rectangular, permita desechar las botellas defectuosas a un recipiente contenedor para su reciclaje, a continuación serán trasladadas al área de llenado por medio de un cilindro rectangular y se las alineara gracias a un molde diseñado que sostiene un cilindro rectangular doble, una vez listas para su llenado gracias al conteo realizado por el sensor fotoeléctrico, los cilindros de doble efecto descienden con el acople especial que realizará el proceso de llenado.

Figura 3.7 Diagrama de flujo de programación para el Arduino



Elaborado por: Oscar Toctaguano

### 3.9 Softwares necesarios

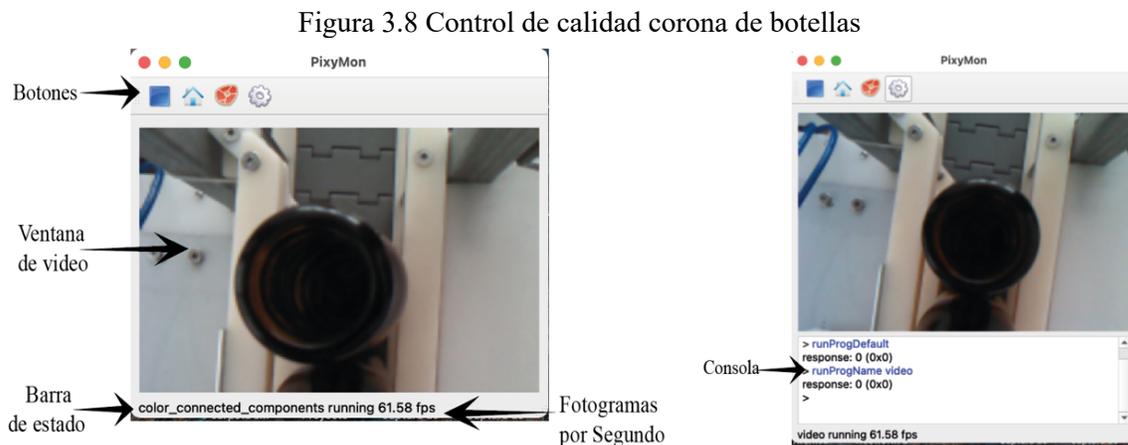
#### 3.9.1 Arduino (IDE) 1.8.13

El software Arduino (IDE) es de código abierto, muy amigable para la escritura de código y gran facilidad de carga en la placa. El software permite hacer uso de cualquier placa de Arduino. (Peña, 2020)

#### 3.9.1 PixyMon

PixyMon v2 es un software que configura a la cámara Pixy2, que permite también proyectar en tiempo real lo que visualiza la cámara. Puede ejecutarse en varias plataformas, como son Windows, MacOS y Linux, al igual que otros sistemas integrados de tamaño reducido, como Raspberry Pi y BeagleBone Black. (Pixycam, 2019)

La figura 3.8 da conocer la interfaz del software, que será usada por el usuario.

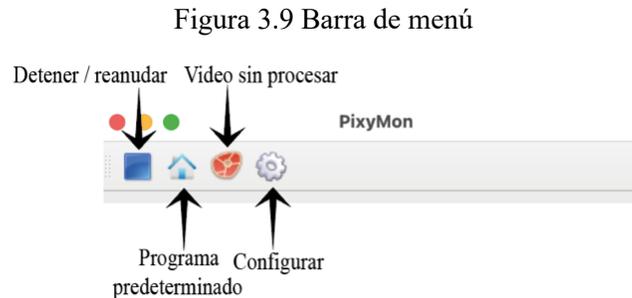


Elaborado por: Oscar Toctaguano

- **Botones:** Ubicados en la parte superior permiten varias acciones de trabajo para controlar la cámara pixy2.
- **Ventana de video:** Esta área la usa PixyMon para visualizar varios tipos de video sin procesar o procesados.
- **Barra de estado:** Indica si la conexión de la cámara está activa.

- **Fotogramas por segundo:** Utiliza cierta parte de la barra de estado, indica los fotogramas por segundo (fps).
- **Consola:** Permite enviar comandos y a la vez consultas a la cámara Pixy2.

La Figura 3.9 Señala el área de menú para el manejo de la cámara Pixy2 que permite analizar las imágenes que proyecta la cámara.



Elaborado por: Oscar Toctaguano

- **Detener / reanudar:** Detiene el programa que se está ejecutando. Esta herramienta permite escribir o modificar comandos en la ventana de la consola. Y luego continuar con el programa modificado.
- **Programa predeterminado:** Permite ejecutar el programa básico predeterminado para identificar colores y formas.
- **Video sin procesar:** Permite visualizar el video sin ningún tipo de programación.
- **Configurar:** Es aquí donde se configuran los parámetros, que serán grabados en la cámara para el uso en el prototipo de la llenadora isobárica.

### 3.10 Componentes Isobáricos

#### 3.10.1 Presión de dióxido de carbono en la botella

Se usará la ley de Boyle, tomando en cuenta que la temperatura del gas se mantiene constante, de acuerdo a la Ec. (3.1) relacionando el volumen ocupado por el gas en la botella y la presión ejercida.

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad \text{Ec. (3.1)}$$

### 3.10.2 Presión que ejerce el gas en el cuerpo de la botella

Debido al diseño de la botella, es necesario calcular la presión por secciones Ec. (3.2), para el desarrollo del código de programación que sincronizara las electroválvulas, en función de la información recopilada por el sensor de presión.

$P_1$  = Presión inicial del gas medida por el manómetro (1 [bar]).

$V_1$  = Capacidad total de la botella ([375 mL])

$P_2$  = Presión que ejerce el gas una vez que la botella tiene 250 [ml] de líquido (variable desconocida).

$V_2$  = Volumen que ocupa el gas una vez que la botella contiene líquido (125 [mL]).

$$(1[\text{bar}])(370 [\text{mL}]) = P_2(125 [\text{mL}]) \quad \text{Ec. (3.2)}$$

$$P_2 = 2,96 [\text{bar}]$$

### 3.10.3 Presión que ejerce el gas entre el cuerpo y cuello de la botella

Para continuar con el llenado de la botella es necesario despresurizar el sistema hasta volver a la presión inicial de 1 [bar], marcada por el manómetro del tanque de  $CO_2$

$P_3$  = Presión luego de la despresurización (1 [bar]).

$V_3$  = Volumen que ocupa el gas una vez que la botella contiene líquido (125 [mL]).

$P_4$  = Presión que ejerce el gas una vez que la botella tiene 342 [mL] de líquido (variable desconocida).

$V_4$  = Volumen que ocupa una vez se llena el espacio de unión entre el cuerpo y cuello. (33 [mL]).

$$(1 [\text{bar}])(125 [\text{mL}]) = P_4(33 [\text{mL}]) \quad \text{Ec. (3.3)}$$

$$P_4 = 3,78 [\text{bar}]$$

### 3.10.4 Presión que ejerce el gas en el cuello de la botella

La presión que presenta el  $CO_2$  en el cuello de la botella será calculado mediante la ecuación Ec. (3.4)

$P_5$  = Presión luego de la despresurización (1 [bar]).

$V_5$  = Volumen que ocupa el gas una vez que la botella contiene líquido (33 [mL])

$P_6$  = Presión que ejerce el gas una vez que la botella tiene 355 [mL] de líquido (variable desconocida).

$V_6$  = Volumen que ocupa una vez se llena el espacio de unión entre el cuerpo y cuello. (33 [mL])

$$(1[\text{bar}])(33 [\text{mL}]) = P_6(20 [\text{mL}]) \quad \text{Ec. (3.4)}$$

$$P_6 = 1,65 [\text{bar}]$$

Una vez analizada la presión que se ejerce en cada sección de la botella, se considerara a la presión de 2,96 [bar] como crítica para lograr un proceso de llenado continuo, y como punto de partida para el proceso de despresurización, de esta manera garantizando el llenado óptimo.

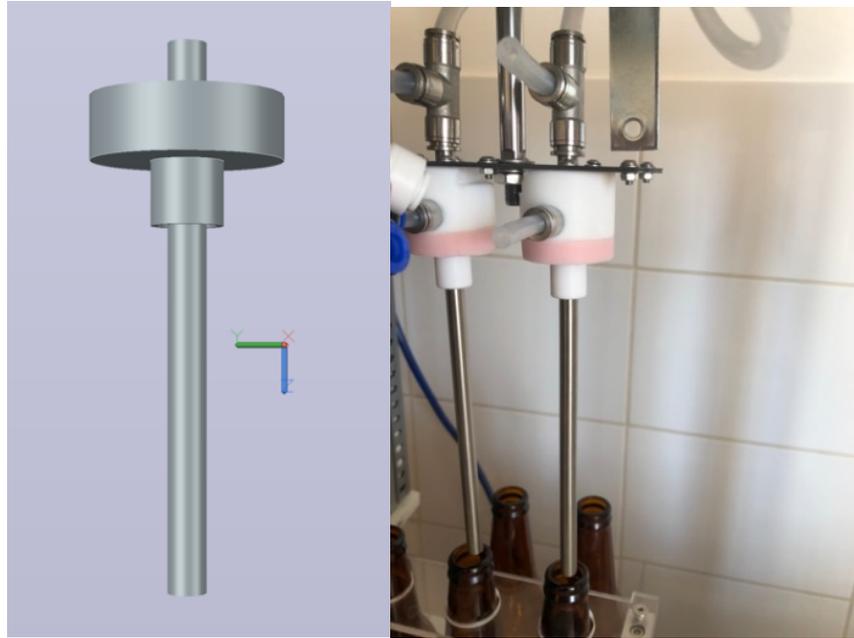
Haremos uso de la ecuación Ec. (3.5), ya que los datos obtenidos a través del sensor en bares, reflejan los valores reales de trabajo de tipo analógicos, estos deben ser modificados para que el sistema de control tenga la capacidad de realizar un proceso eficiente.

$$P_t = ((\text{Valor analógico}(0 - 1024)) \times 10) [\text{bar}] \quad \text{Ec. (3.5)}$$

Se diseñó y mecanizó una pieza capaz de soportar la presión de trabajo, conteniendo un empaque amigable con la corona de la botella y de grado alimenticio, creado específicamente con las concisiones de interactuar con el sistema de llenado sin deformarse, ajustándose al ambiente presurizado en la botella.

En la figura 3.10 se puede observar la pieza usada en el sistema isobárico.

Figura 3.10 Pieza usada en el sistema isobárico.



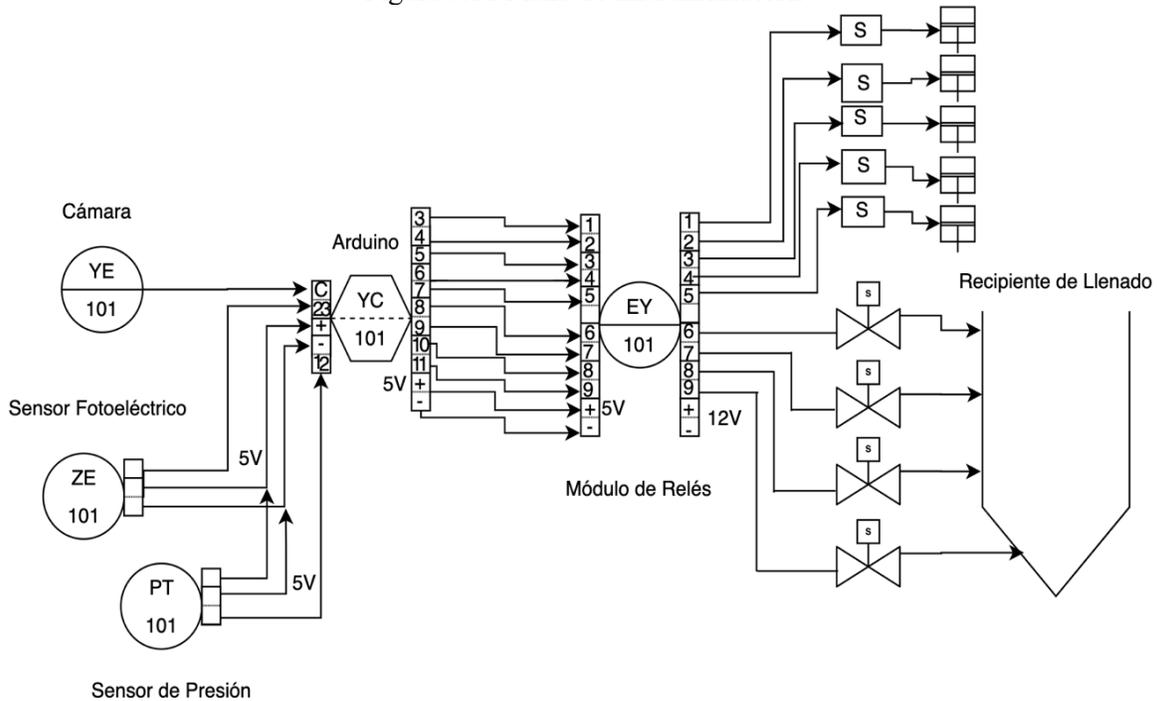
Elaborado por: Oscar Toctaguano

### 3.11 Instrumentación del proceso

La figura 3.9 presenta el plano de instrumentación del prototipo. La cámara que esta conectada al Arduino, asignada con la letra C, tiene la obligación de realizar la supervisión de la corona de las botellas, de esa forma por medio del puerto especial que posee la cámara, interactuar con el Arduino para proceder a la separación de las botellas que presentan fallas.

Las salidas digitales del Arduino se procederá a conectarlas a las entradas de los módulos de relés de 5 [Vdc], para hacer uso de una salida de 12 [Vdc], permitiendo realizar el control de las válvulas solenoides y de las electroválvulas, dando paso a los actuadores quienes realizaran el proceso final de forma sincronizada, en función de la programación asignada al Arduino.

Figura 3.11 Plano de instrumentación



Elaborado por: Oscar Toctaguano

La tabla 3.5 contiene la simbología que se usó en el plano de instrumentación, el control del proceso usa lazo cerrado (101). Se eligió el número 101 para nombrar al lazo y identificar a todos los instrumentos que lo conforman.

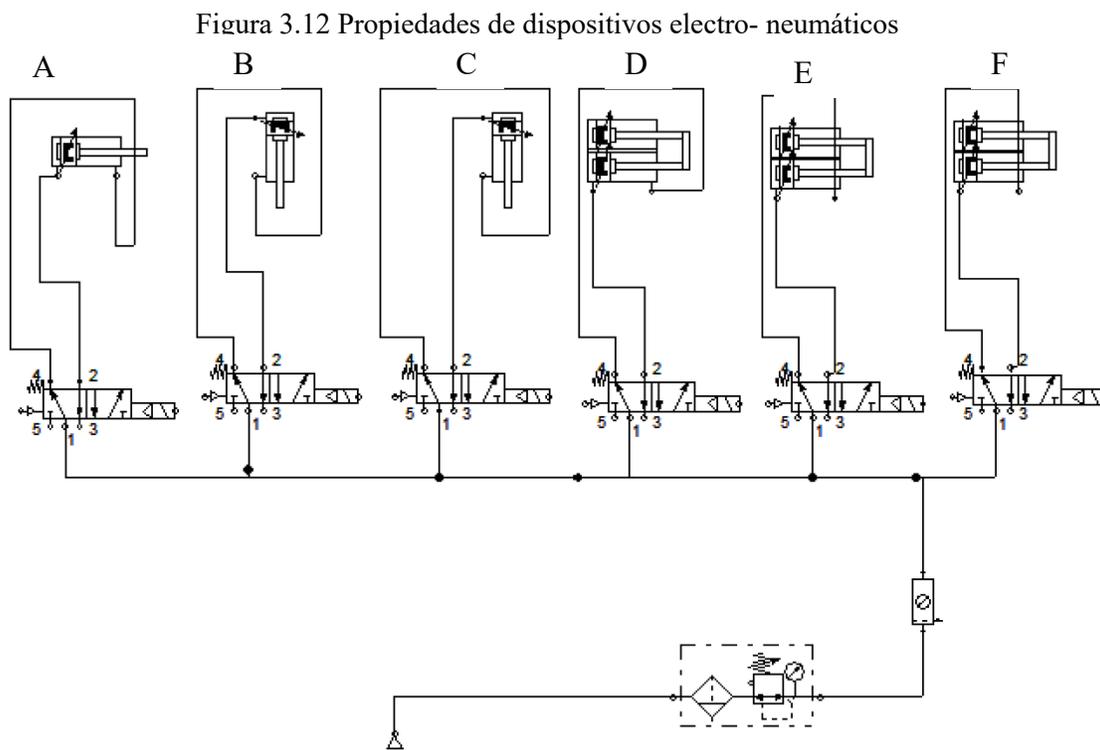
Tabla 3.5 Simbología de plano instrumental

Símbolo	Descripción
S	Solenoides
EY	Relé de voltaje
PT	Sensor de presión
YE	Sensor de presencia
ZE	Sensor de posición
YC	Controlador de presencia

Elaborado por: Oscar Toctaguano

### 3.12 Diseño electro neumático

En la Figura 3.12 se presenta el diseño neumático, correctamente señalizado y adecuado con las conexiones necesarias para el uso durante el funcionamiento del sistema de llenado.



Elaborado por: Oscar Toctaguano

La tabla 3.6 contiene los elementos neumáticos del sistema de llenado automatizado

Tabla 3.6 Tabla de cilindros neumáticos

Elemento	Equipo	Características
A	Cilindro neumático	MAL16x250
B - C	Cilindro neumático	SC 32 x 300
D -E	Cilindro neumático rectangular	CXSM 15 – 100
F	Cilindro neumático rectangular	TN10-75

Elaborado por: Oscar Toctaguano

En la tabla 3.7 se presenta a los elementos neumáticos, las electroválvulas que permiten el accionamiento de los cilindros neumáticos que tiene una tarea determinada.

Tabla 3.7 Tabla de electroválvulas y sus accionamientos

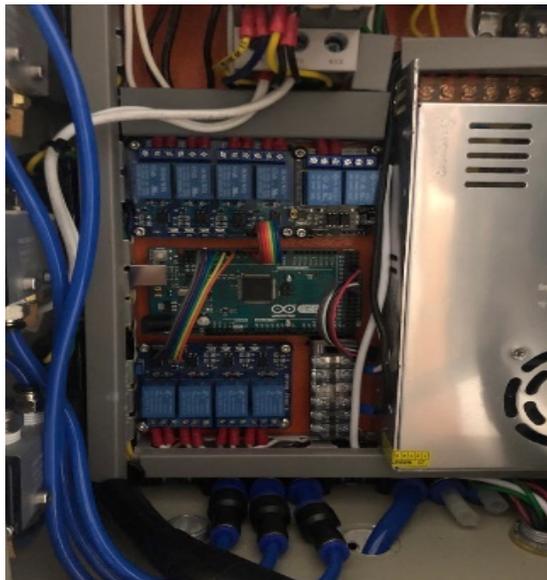
Elemento	Equipo	Características
A	Válvula 5-2	Accionamiento de pistón para direccionar las botellas
B - C	Válvula 5-2	Accionamiento de pistón que soporta el sistema isobárico
D	Válvula 5-2	Accionamiento del pistón que traslada las botellas al área de llenado
E	Válvula 5-2	Accionamiento del pistón que soporta el molde que alinea la corona de las botellas
F	Válvula 5-2	Accionamiento del pistón encargado de rechazar las botellas defectuosas

Elaborado por: Oscar Toctaguano

### 3.13 Tablero interno

En la figura 3.13 se presenta el diseño del tablero de control y de potencia, ubicándose en este los elementos eléctricos y electrónicos que dan paso al funcionamiento del sistema isobárico.

Figura 3.13 Propiedades de dispositivos electro- neumáticos

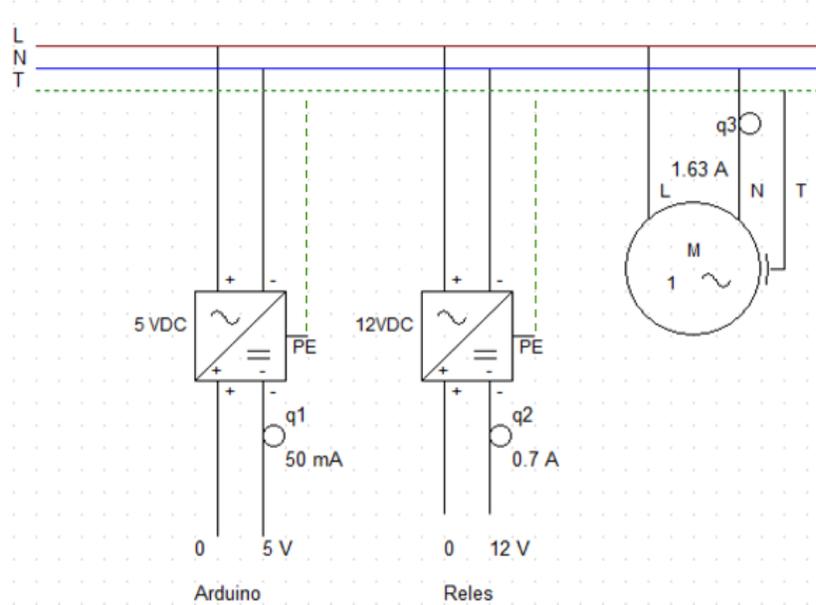


Elaborado por: Oscar Toctaguano

Los módulos de relés son componentes electromecánicos que poseen la característica de controlar un circuito de mayor potencia del que posee la sección de control, con la necesidad de recibir la señal de 5 [Vdc] de parte de Arduino y dar paso al voltaje de salida de 12 [V] que alimenta a las electro válvulas y a los solenoides neumáticos gracias al pulso por parte del controlador.

En la Figura 3.14 se evidencia el diseño eléctrico en donde las tomas eléctricas son de 110 [V] conectando los equipos de control de 5 [Vdc], 12 [Vdc], de igual forma posee las respectivas protecciones como fusibles evitando así daños tanto al Arduino, módulos de relés y el motor.

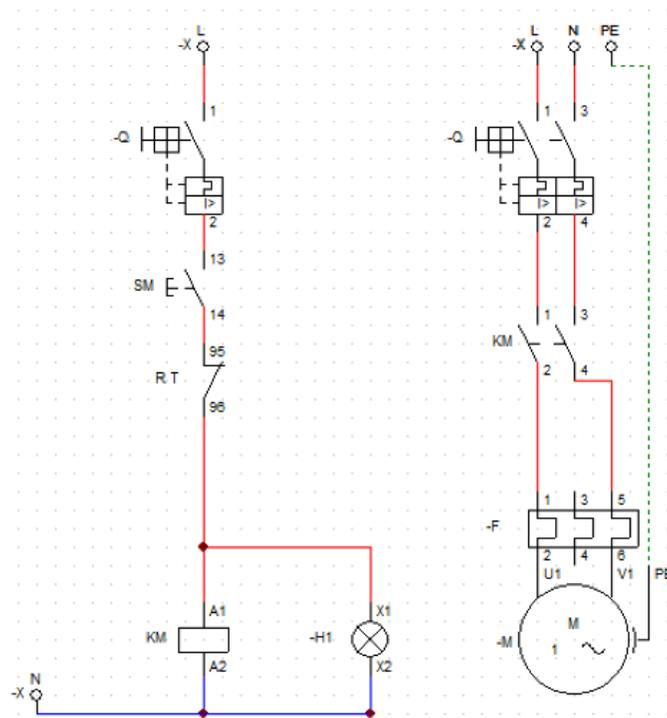
Figura 3.14 Diseño eléctrico



Elaborado por: Oscar Toctaguano

La figura 3.15 presenta el diagrama de control y de fuerza de la banda transportadora por su seguridad posee relés térmicos o de sobre carga, evitando así daños en el motor reductor.

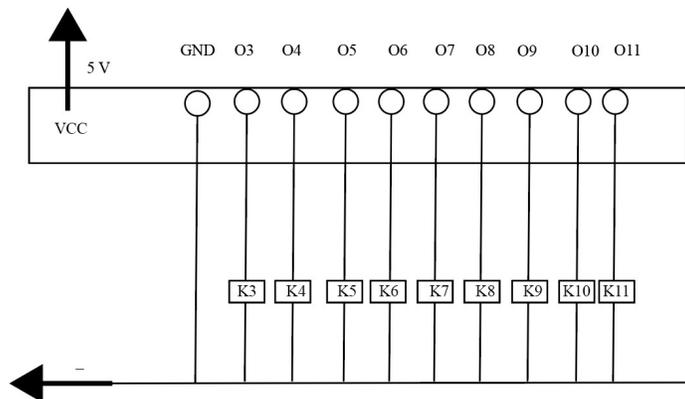
Figura 3.15 Diseño del circuito de control y fuerza para el Motor



Elaborado por: Oscar Toctaguano

En la figura 3.16 se demuestra la conexión del Arduino, el cual inicializa con su funcionamiento gracias a la energización de 5 [Vdc] y su correspondiente puesta en tierra por sus siglas en inglés (GND). En las salidas digitales se encuentran conectadas las entradas al módulo de relés, y en las salidas de los mismos las electroválvulas de distribución, y a los solenoides de accionamiento de lo cilindros neumáticos. Para mayor precisión se tabulará las salidas digitales en la tabla .3.8

Figura 3.16 Conexión del Arduino con módulos relés



Elaborado por: Oscar Toctaguano

En las tablas 3.8 y 3.9 se muestra la salida de cada electroválvula identificada en el proceso, al igual que su simbología.

Tabla 3.8 Componentes electrónicos internos del tablero

<b>Símbolo</b>	<b>Función</b>
K3	Electroválvula de cilindro que direcciona las botellas
K4	Electroválvula de cilindro rectangular que rechaza las botellas
K5	Electroválvula de cilindro rectangular que empuja las botellas
K6	Electroválvula de cilindro rectangular que alinea las botellas
K7	Electroválvula de llenado de las botellas
K8	Electroválvula que se acciona para el paso de Co2
K9	Electroválvula que se acciona para el paso de cerveza
K10	Electroválvula que se acciona para el barrido de Co2
K11	Electroválvula que se acciona para el desfogue de la botella

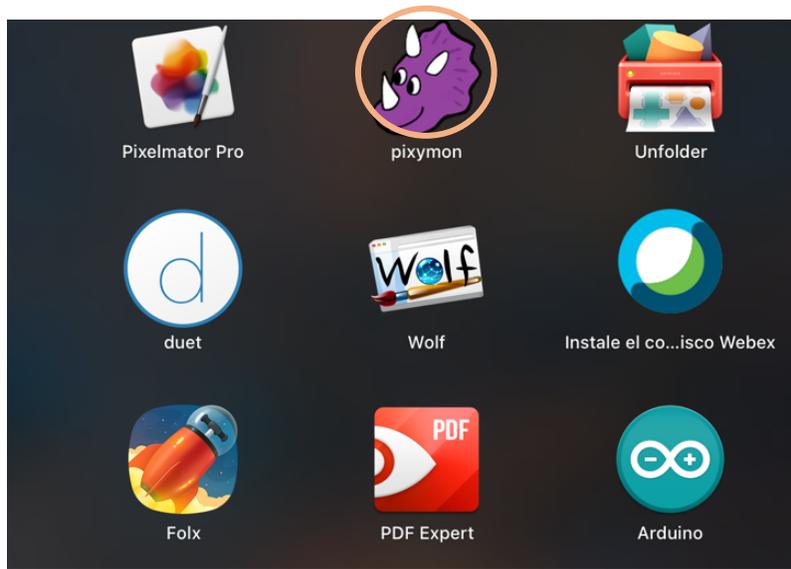
Elaborado por: Oscar Toctaguano

La versatilidad que presenta Arduino Mega Atmega 2560, acompañado de su bajo costo y la posibilidad de implementar tanto accesorios, como programación basada en C, con varias bibliotecas de código abierto y tratándose de un proyecto de automatización de pequeña escala, cumple con las condiciones necesarias para la comunicación entre los sensores y actuadores, de tal forma que usar algún otro controlador de gama alta sería desaprovechado.

### **3.14 Visión Artificial**

En la figura 3.17 se observa a Pixymon el programa que se encarga en configurar por medio del computador la cámara Pixy2, gracias a esto evitamos el diseño de un programa específico para la ejecución de la cámara, pero si debemos configurar varios aspectos que hagan posible la detección de fallas en la corona de las botellas.

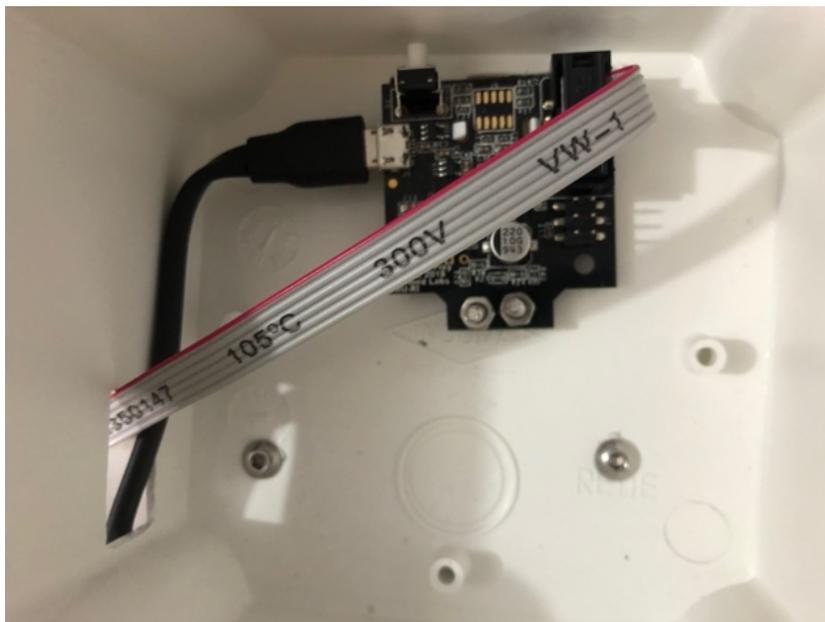
Figura 3.17 Aplicación de cámara Pixy2



Elaborado por: Oscar Toctaguano

Una vez ejecutado el programa se usa el puerto micro USB tipo B de la cámara como se observa en la figura 3.18 de esta forma se establece comunicación con el computador accediendo al menú del programa.

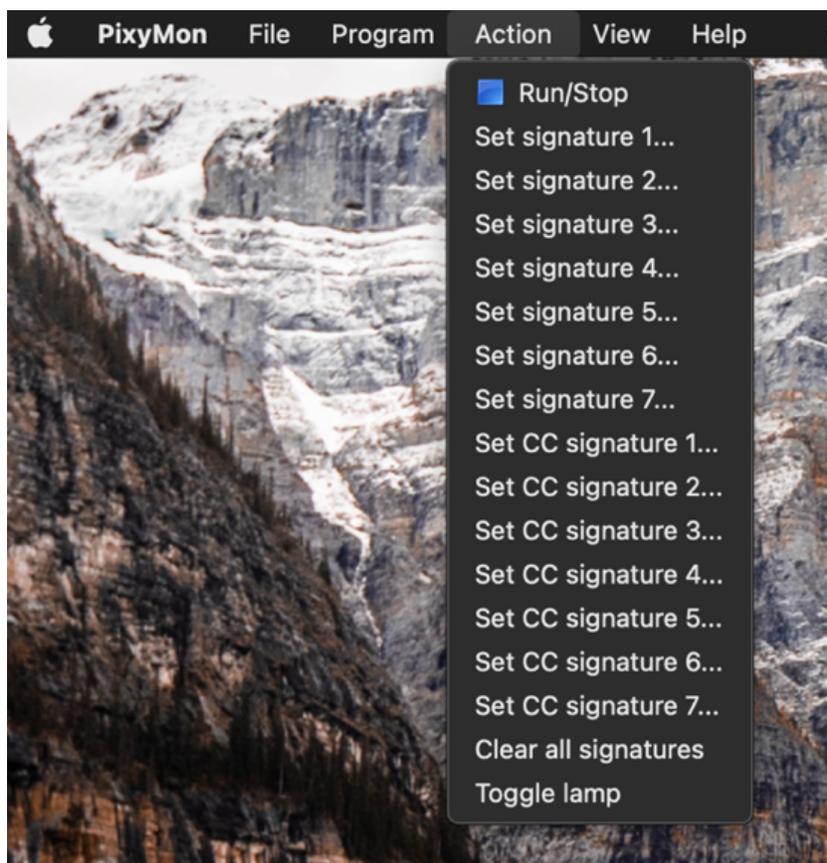
Figura 3.18 Puerto micro USB tipo B



Elaborado por: Oscar Toctaguano

Como se observa en la figura 3.19 se ingresa a las propiedades del menú ubicado en la parte superior de la barra, para iniciar con el entrenamiento de la cámara, ya que esta posee hasta 7 opciones de almacenaje interno.

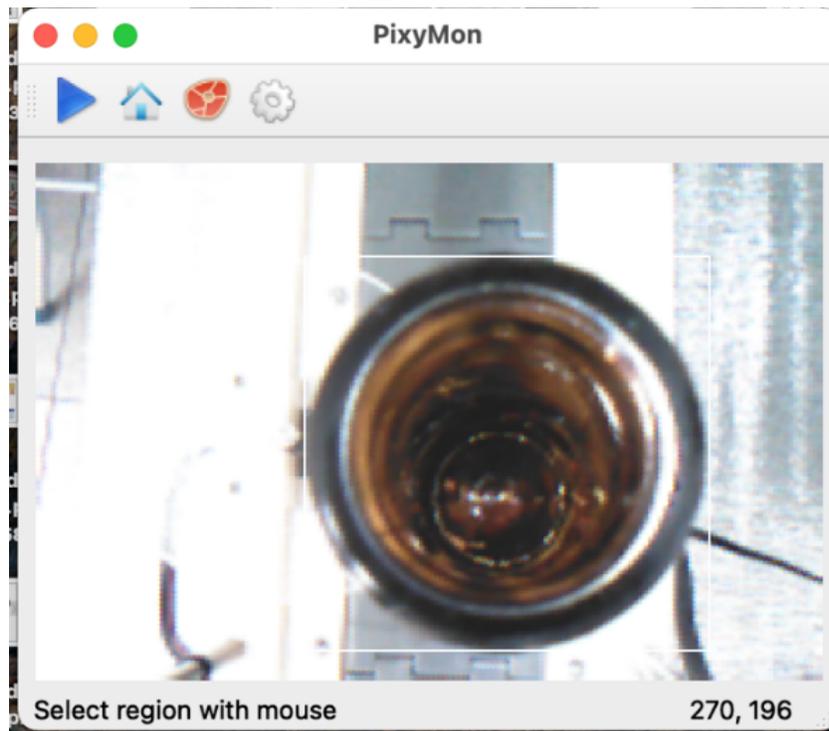
Figura 3.19 Puerto micro USB tipo B



Elaborado por: Oscar Toctaguano

En la figura 3.20 se observa que una vez que se escogió en que asignación será guardado el entrenamiento se procede, a seleccionar el área que la cámara realizar el análisis, registrando hasta el mínimo detalle que ayude a identificar cualquier falla en la botella.

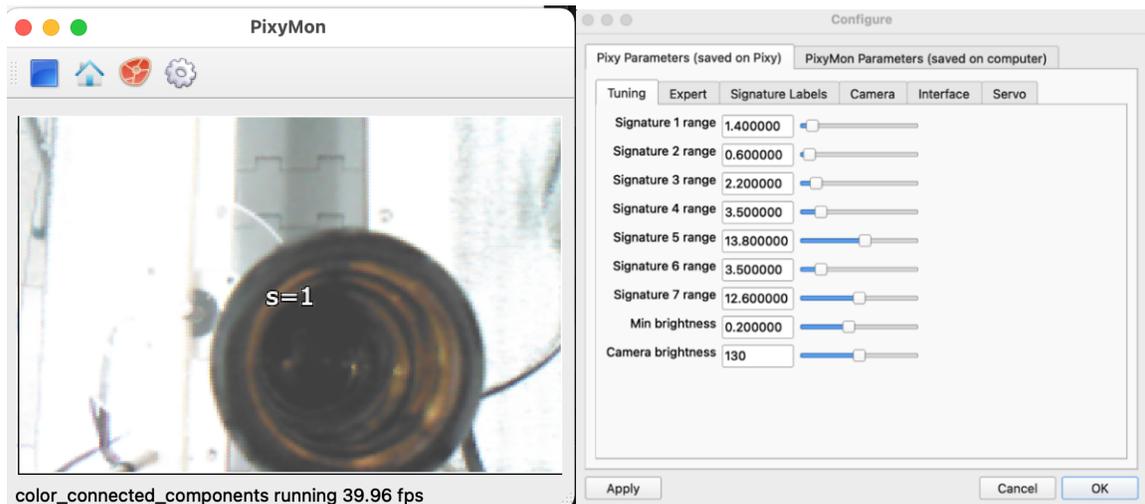
Figura 3.20 Entrenamiento de la cámara



Elaborado por: Oscar Toctaguano

En la figura 3.21 se observa como automáticamente la cámara asigna el nombre de  $s=1$ , nombre que puede ser modificado en las configuraciones de la cámara, de igual forma se puede disminuir el área de análisis evitando recibir falsas lecturas

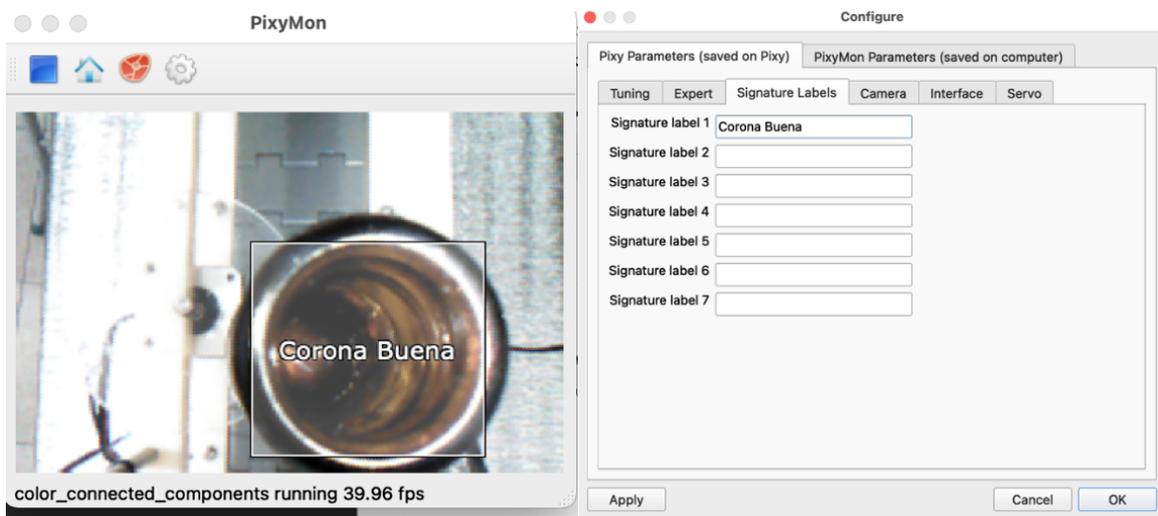
Figura 3.21 Asignación automática de la cámara



Elaborado por: Oscar Toctaguano

En la figura 3.22 se muestra el entrenamiento finalizado que es guardado en la cámara con el nombre modificado de tal manera que pueda identificar rápidamente, en este caso la botella presenta las características perfectas para proceder al llenado.

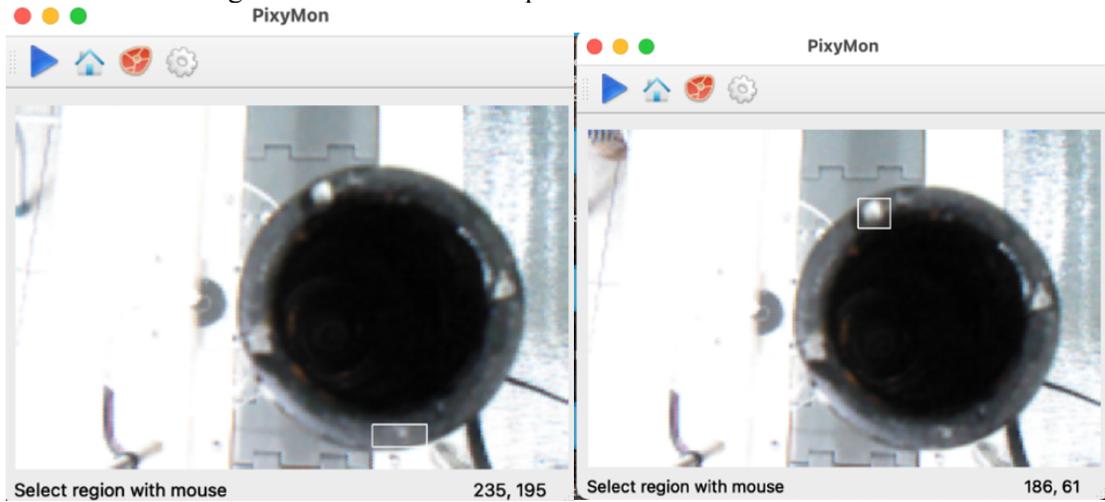
Figura 3.22 Entrenamiento final de la cámara



Elaborado por: Oscar Toctaguano

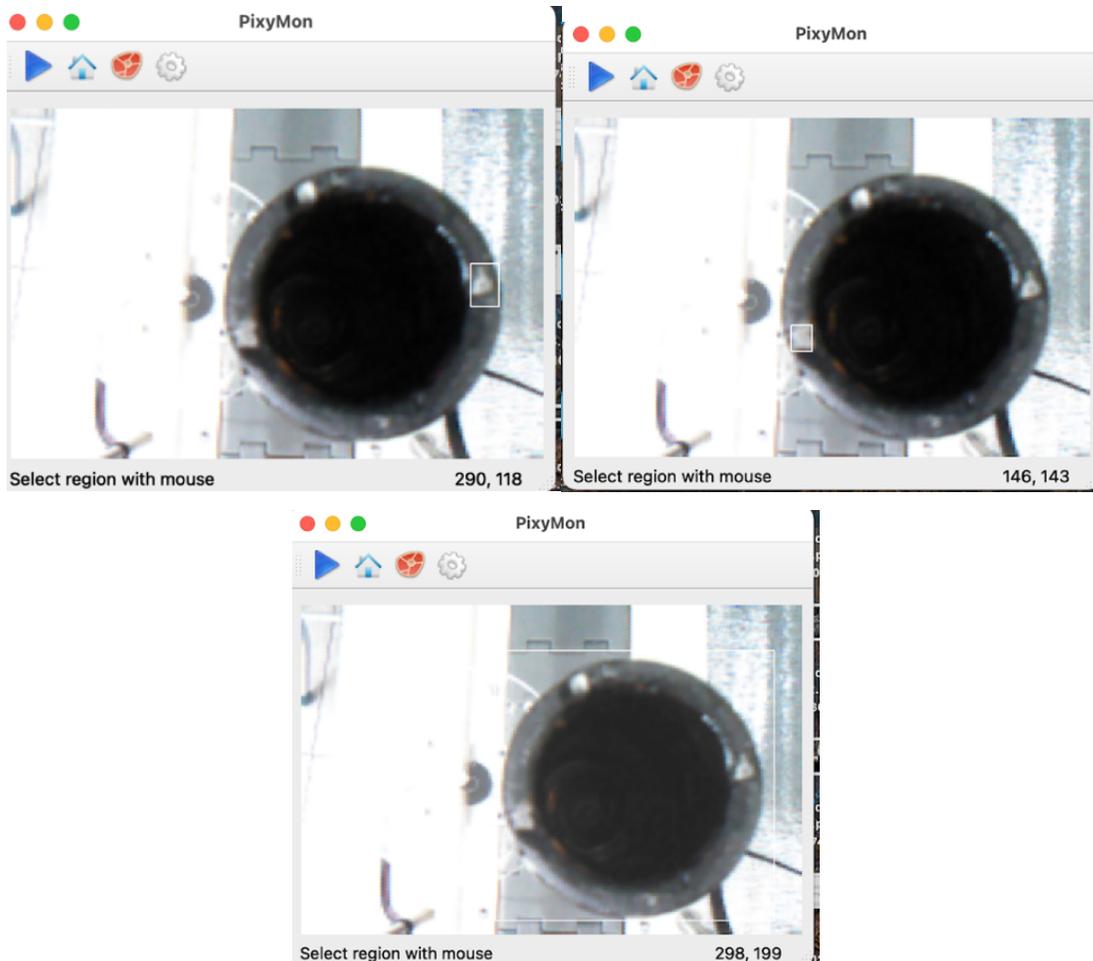
En la figura 3.23 y 3.24 se muestra el entrenamiento que recibe la cámara para detectar coronas que presenten desperfectos.

Figura 3.23 Entrenamiento para detectar coronas defectuosas



Elaborado por: Oscar Toctaguano

Figura 3.24 Entrenamiento para detectar coronas defectuosas

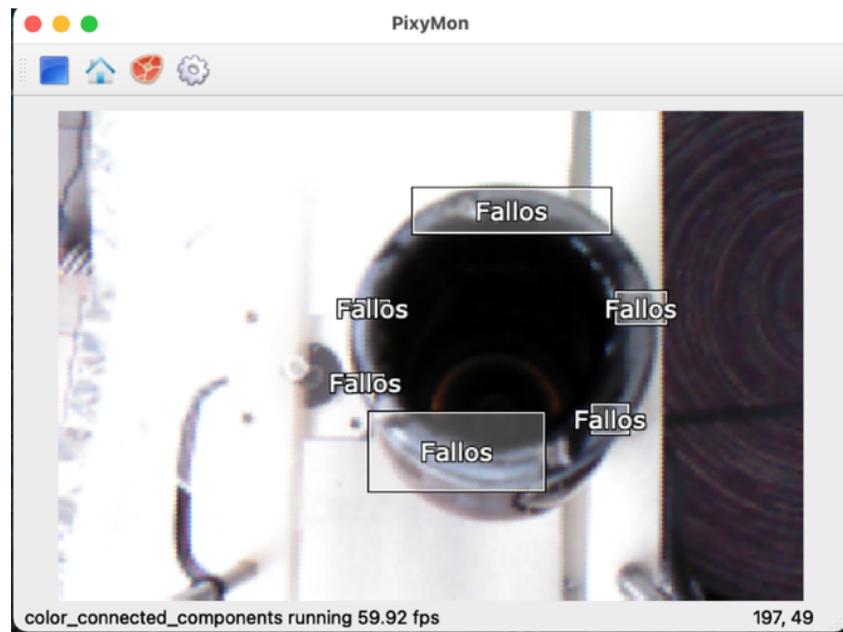


Elaborado por: Oscar Toctaguano

En esta ocasión el entrenamiento se lo realiza registrando características comunes que presentan las botellas dañadas, permitiendo a la cámara tener un mayor campo de posibilidades si existiera el caso de defectos adicionales en la botella.

En la figura 3.25 se presenta la botella con todos los parámetros posibles de fallos y con sus respectivas etiquetas para identificarlos fácilmente.

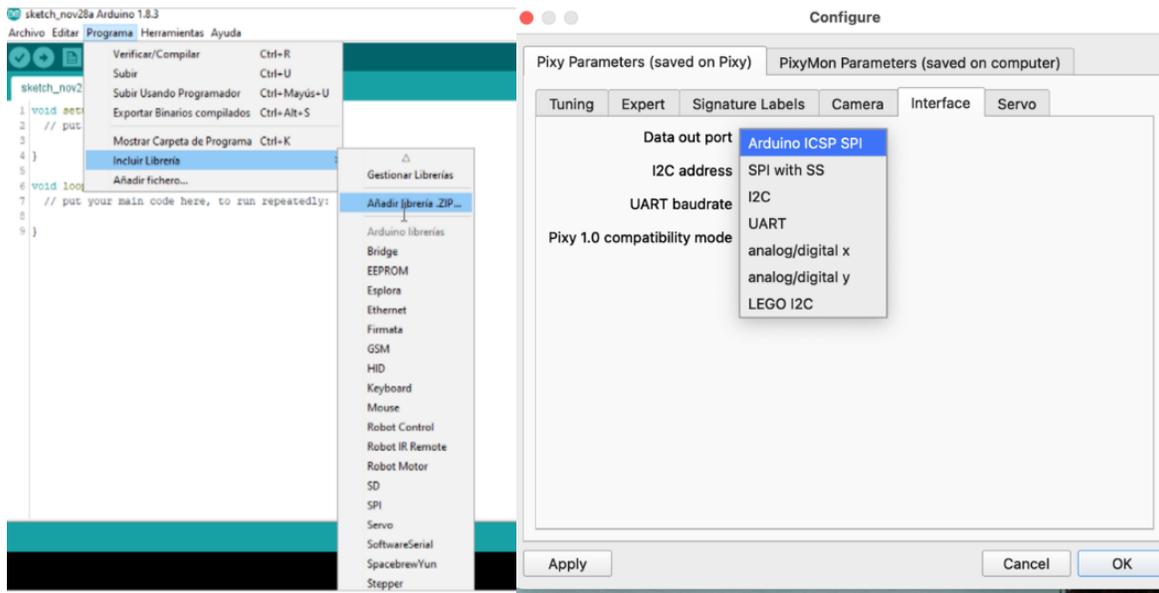
Figura 3.25 Detección de fallos en la botella



Elaborado por: Oscar Toctaguano

En Figura 3.26 se observa cómo se agrega la librería que permite habilitar el uso de la cámara que antes será configurado para la comunicación en el Pixymon

Figura 3.26 Habilitación de la cámara



Elaborado por: Oscar Toctaguano

Gracias a esto el Arduino detecta la cámara y utiliza la información que esta guardada en su memoria permitiendo usarla para desechar o dar el paso a las botellas.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se describirá los resultados obtenidos una vez puesto en marcha el sistema de llenado de botellas y el control de su corona.

#### 4.1 Procedimiento

Para iniciar el sistema de llenado de botellas y el control de su corona, es necesario tomar en cuenta la temperatura del líquido a llenar en las botellas la que debe estar entre 2 a 4 °C, esto con el fin de garantizar un llenado óptimo y evitar mermas, así como tener las botellas a utilizar previamente lavadas y sanitizadas.

#### 4.2 Prueba del tablero de control

El primer paso para realizar esta prueba, es verificar la alimentación al tablero con 120 [Va], de esta forma se puede energizar al resto de componentes que contiene el tablero.

Una vez energizado el tablero, se procede a colocar el selector en posición ON que encenderá la luz piloto colocada en la parte superior del selector, proporcionando energía eléctrica a las fuentes de corriente continua y demás componentes como Arduino, sensores fotoeléctricos y electroválvulas, como se observa en la figura 4.1.

Figura 4.1 Accionamiento de la banda transportadora



Elaborado por: Oscar Toctaguano

### 4.3 Prueba de arranque y paro de banda transportadora

Para esta prueba, antes de arrancar la banda se debe constatar que la conexión que energiza al motor este ubicada correctamente a la salida de los relés térmicos, ya que estos servirán de protección en el caso que exista sobrecargas en el motor.

Una vez verificada la conexión se activa la banda transportadora mediante el selector, señalizado en el tablero en la posición ON, el accionamiento de la banda se ve reflejado en el tablero gracias a la luz piloto (azul) colocado en la parte superior del selector como se aprecia en la figura 4.2, y se desactiva retornando a la posición inicial OFF.

Se realizó de igual forma las pruebas de funcionamiento del pulsador de emergencia, que una vez activado detiene el funcionamiento del prototipo.

Figura 4.2 Accionamiento de la banda transportadora



Elaborado por: Oscar Toctaguano

El motor utilizado para la banda transportadora es un motor-reductor ortogonal de 29 [rpm], a 0,25 [hp], esta información se obtuvo de la hoja de datos del fabricante, se comprobó cronometrando las vueltas realizadas por el eje, sin existir pérdidas de revoluciones, a pesar de movilizar la cinta modular de 12 [lb]. Se realizó pruebas con carga de 7,7 [lb] que

corresponde a 16 botellas, siendo esta la capacidad total de traslado de la banda, como se aprecia en la tabla 4.1, permitiendo el transporte continuo y ágil de las botellas.

Tabla 4.1 Pruebas de revoluciones del eje

<b>Número de pruebas</b>	<b>Revoluciones eje con cinta modular sin carga</b>	<b>Revoluciones eje con cinta modular y carga de 7,7 [lb] (8 botellas)</b>
1	29	29
2	29	29
3	29	29

Elaborado por: Oscar Toctaguano

Mediante la ecuación 4.1, se obtuvo la media aritmética de las revoluciones del eje con cinta modular sin carga y con carga.

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad \text{Ec.4.1}$$

Donde,

$\bar{X}$  = media aritmética de los datos obtenidos

$X_n$  = cada uno de los datos obtenidos

$n$  = número total de datos obtenidos

Con los datos de la tabla 4.1 se obtuvo la media aritmética, para las revoluciones del eje con cinta modular sin carga y con carga.

$$\bar{X} = \frac{29 + 29 + 29}{3} [rpm]$$

$$\bar{X} = 29 [rpm]$$

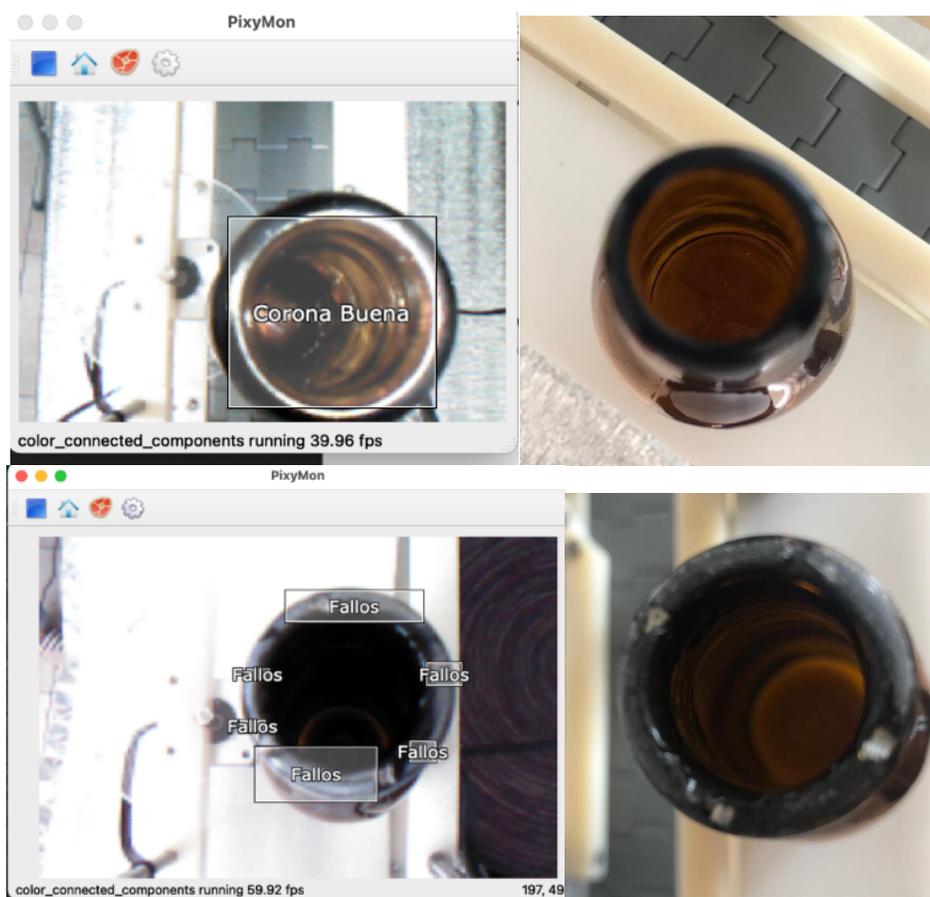
Verificando que la velocidad de la banda transportadora es de 29 [rpm], permitiendo el paso continuo de las botellas.

#### 4.4 Pruebas con la visión artificial

El sistema de control de calidad de la corona de las botellas es realizado mediante la visión artificial por la cámara Pixy2, este es un proceso que se lleva a cabo a través del análisis de imágenes.

Se realizaron las pruebas del correcto funcionamiento de la visión artificial de la cámara Pixy2, con ayuda del puerto micro USB tipo B, que proyecta en tiempo real al programa Pixymon el análisis de imágenes, para identificar fallos en la botella, esto se comprueba una vez que se recolecta la botella desechada y concuerda con las características de agrietada, rota o defectuosa, que son los parámetros por los cuales la cámara fue entrenada, para determinar que una botella no es apta para su uso, como se observa en la figura 4.2.

Figura 4.3 Pruebas de funcionamiento de visión artificial



Elaborado por: Oscar Toctaguano

En el caso de existir defectos o daños en las botellas, el cilindro rectangular desecha las botellas hacia el depósito de reciclaje, por la abertura de desfogue, esto se puede constatar en la figura 4.4.

Figura 4.4 Accionamiento del cilindro rectangular para rechazo de botellas



Elaborado por: Oscar Toctaguano

#### **4.4.1 Análisis de pruebas de visión artificial**

Para verificar la funcionalidad del proceso se realizó una prueba con 5 repeticiones, estableciéndose como parámetros de control el número de unidades supervisadas en un tiempo de 5 minutos, adicional a esto se comparó los resultados de la prueba con supervisión manual versus el uso de visión artificial.

En la tabla 4.2 se observa los resultados para la prueba de supervisión manual, realizada por un operador.

Tabla 4.2 Unidades analizadas por personal de la empresa AVERNO

Tiempo (min)	Pruebas realizadas	Análisis visual del operador (unidades)	Unidades aprobadas	Unidades rechazadas
5	1	23	21	1
	2	21	21	0
	3	24	23	1
	4	23	23	0
	5	21	21	0
TOTAL		112	110	2

Elaborado por: Oscar Toctaguano

Se calcula el error de las mediciones de acuerdo a la ecuación 4.2

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum(X-\bar{X})^2}{n}} \quad \text{Ec.4.2}$$

Donde,

$\varepsilon$  = error absoluto

X = Valor individual de la medida

$\bar{X}$  = Media aritmética

n = Total de datos a procesar

Con los datos de la tabla 4.2 se obtiene la media aritmética y el error de los datos obtenidos.

$$\bar{X} = \frac{23 + 21 + 24 + 23 + 21}{5} [\text{und}]$$

$$\bar{X} = 22 [\text{und}]$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{(23 - 22)^2 + (21 - 22)^2 + (24 - 22)^2 + (23 - 22)^2 + (21 - 22)^2}{5}}$$

$$\varepsilon = 1,09$$

Con los datos de la tabla 4.3 se procede a calcular el error de la medición con visión artificial.

Tabla 4.3 Unidades analizadas por visión artificial

Tiempo (min)	Pruebas realizadas	Análisis visión artificial (unidades)	Unidades aprobadas	Unidades rechazadas
5	1	60	59	1
	2	60	58	2
	3	59	56	3
	4	60	59	1
	5	61	59	2
TOTAL		300	291	9

Elaborado por: Oscar Toctaguano

Con los datos obtenidos en la tabla 4.3, se calcula la media aritmética y el error de las mediciones, con lo cual se procederá a comparar los resultados de la supervisión por visión humana y visión artificial.

$$\bar{X} = \frac{60 + 60 + 59 + 60 + 61}{5} \text{ [und]}$$

$$\bar{X} = 60 \text{ [und]}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{(60 - 60)^2 + (60 - 60)^2 + (59 - 60)^2 + (60 - 60)^2 + (61 - 60)^2}{5}}$$

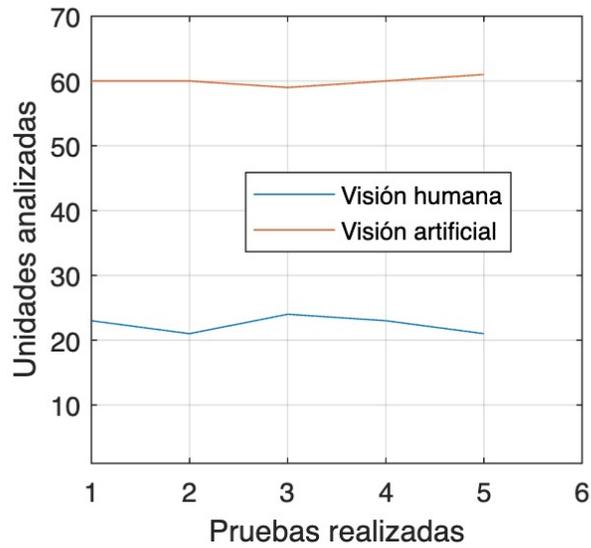
$$\varepsilon = 0,63$$

Con base a los resultados obtenidos de los errores tanto para la supervisión manual, como para la realizada a través de la visión artificial, se determinó que la supervisión manual presenta un error mayor al de la visión artificial, esto se debe principalmente que este proceso está sujeto al ritmo de trabajo del operador.

#### 4.4.2 Análisis automático por visión artificial vs análisis manual

En la figura 4.5 se observa el resultado de la supervisión de la corona de las botellas para un período de tiempo de 5 minutos, realizado por el personal de la empresa de forma manual, se logró analizar 112 unidades de botellas, mientras que, el análisis de visión artificial alcanzó un análisis de 300 unidades de botellas.

Figura 4.5 Análisis de la corona visión artificial vs visión humana



Elaborado por: Oscar Toctaguano

Se ha considerado como parámetro referencial para el cálculo de la eficiencia del proceso, las 112 unidades llenadas con el sistema manual, esto de acuerdo a la ecuación Ec.4.3.

$$Eficiencia = \frac{Valor\ obtenido}{Valor\ estándar} * 100 \quad Ec.4.3$$

Donde:

Valor obtenido = unidades analizadas con visión artificial

Valor estándar = unidades analizadas con visión humana (operario)

$$Eficiencia = \frac{300}{112} * 100$$

$$Eficiencia = 267 \%$$

De esta manera se comprueba que la supervisión de la corona por visión artificial resulta ser un 267 % más eficiente.

#### 4.4 Funcionamiento de las etapas previas al llenado

Se evidenció el funcionamiento de las electroválvulas 5/2, permitiendo desplazar a los vástagos de los cilindros neumáticos, ejecutando las distintas acciones que colocaran a las botellas en la correcta posición de llenado.

El accionamiento de los distintos cilindros neumáticos por el algoritmo, se comprueba al encender su correspondiente luz piloto, ubicando la acción que ejecutan en el tablero de control, esto se debe a que todas las electroválvulas 5/2 se encuentra conectadas a su respectiva luz piloto y permite identificar al operario la etapa en la que se encuentra las botellas previo a su llenado.

En la figura 4.6 se observa el encendido de la luz piloto (verde) correspondiente a la alineación.

Figura 4.6 Accionamiento del cilindro para alineación



Elaborado por: Oscar Toctaguano

En la figura 4.7 se observa la acción del cilindro que empuja las botellas al área de llenado.

Figura 4.7 Accionamiento del cilindro de empuje de botellas



Elaborado por: Oscar Toctaguano

En la figura 4.8 se observa la acción del cilindro que alinea las botellas para el llenado.

Figura 4.8 Accionamiento del cilindro de alineación de botellas



Elaborado por: Oscar Toctaguano

En la figura 4.9 se observa la acción de los cilindros que contienen el sistema isobárico de llenado.

Figura 4.9 Accionamiento de los cilindros que desplazan el sistema isobárico

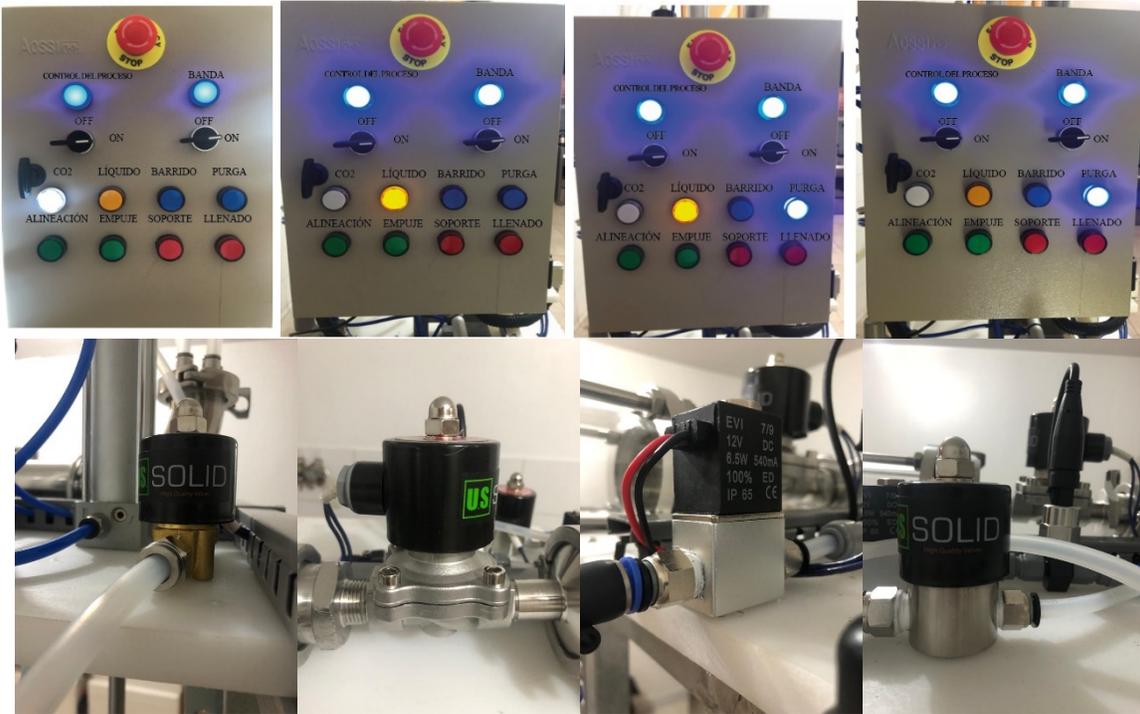


Elaborado por: Oscar Toctaguano

#### 4.5 Llenado isobárico

El proceso de llenado isobárico se realizó luego que las botellas han logrado completar todo su trayecto hacia el área de llenado, en este punto el que inicia su accionamiento es la válvula que controla el suministro de CO<sub>2</sub>, seguido de la activación de la electroválvula que suministra el líquido, una vez acabado esta etapa la electroválvula de barrido y purga permitirán equilibrar la presión en la botella, para tener un llenado completo. Todas estas activaciones se vieron reflejadas en el tablero de control, ya que cada electroválvula solenoide dispone de una luz piloto, que facilitan identificar en qué etapa del proceso se encuentra. Esto se puede apreciar en la figura 4.10.

Figura 4.10 Accionamiento de los cilindros neumáticos y su correspondiente luz piloto



Elaborado por: Oscar Toctaguano

En la figura 4.11 se observa como finalmente los vástagos retroceden el sistema de llenado a su posición inicial, a la espera de las siguientes botellas.

Figura 4.11 Vástagos en posición inicial



Elaborado por: Oscar Toctaguano

#### 4.6 Materia Prima

En la figura 4.12 se observa las botellas que se utilizaran en el proceso de llenado y control de la corona. La evaluación del sistema se realizó con las botellas de diseño preestablecido y utilizado por la empresa, obteniéndose los resultados esperados.

Figura 4.12 Botella de vidrio utilizada



Elaborado por: Oscar Toctaguano

#### 4.7 Análisis de llenado isobárico

Para el sistema de llenado isobárico en el prototipo, se ha incluido cuatro dispensadores de líquido, que permiten llenar una mayor cantidad de botellas en comparación con el sistema manual.

En la tabla 4.4 se observa las unidades llenadas con sistema isobárico manual y el tiempo que toma cada unidad hasta su completo llenado, este proceso en la empresa lo realiza un operario, que varía sus tiempos de llenado en función del ritmo de trabajo exigido por del supervisor de planta y los tiempos de entrega establecidos para el producto.

Tabla 4.4 Análisis del sistema isobárico de llenado manual

Número de repeticiones	Tiempo [s]	Botellas llenas (unidades)
1	184	1
2	198	1
3	202	1
4	178	1
5	184	1
6	179	1
7	185	1
8	184	1
9	208	1
10	189	1
TOTAL	1891	10

Elaborado por: Oscar Toctaguano

Con los datos obtenidos en la tabla 4.4 se procede al cálculo del error de las mediciones de acuerdo a la ecuación 4.2

$$\bar{X} = \frac{184 + 198 + 202 + 178 + 184 + 179 + 185 + 184 + 208 + 189}{10} [s]$$

$$\bar{X} = 189 [s]$$

$$\sum(X - \bar{X})^2 = 1023$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{1023}{10}}$$

$$\varepsilon = 10,11$$

El error obtenido para cada medición indica que el tiempo de cada dato obtenido puede variar entre  $189 \pm 10,11 [s]$ .

El sistema de llenado automatizado al poseer etapas que simplifican procesos que el operador debe realizar previamente para el llenado de botellas, como transporte, apilamiento,

alineamiento, y posicionamiento del sistema isobárico, evita contratiempos. Además de la sincronización de las electroválvulas por parte del controlador en base a su programación, generando un sistema continuo, hecho para satisfacer las necesidades de la empresa.

En la tabla 4.5 se observa las unidades llenadas con el sistema isobárico automatizado y el tiempo que toma, este proceso con el sistema implementado logra llenar por completo 4 botellas en un promedio de tiempo de 125 [s], evitando completamente la manipulación inapropiada y reduciendo así el recurso humano en el proceso.

Tabla 4.5 Análisis del sistema isobárico de llenado automatizado

Número de repeticiones	Tiempo [s]	Botellas llenas (unidades)
1	125	4
2	124	4
3	127	4
4	125	4
5	125	4
6	130	4
7	122	4
8	123	4
9	121	4
10	125	4
TOTAL	1247	40

Elaborado por: Oscar Toctaguano

Con los datos obtenidos en la tabla 4.5 se procede al cálculo del error de las mediciones

$$\bar{X} = \frac{125 + 124 + 127 + 125 + 125 + 130 + 122 + 123 + 121 + 125}{10} \text{ [s]}$$

$$\bar{X} = 125 \text{ [s]}$$

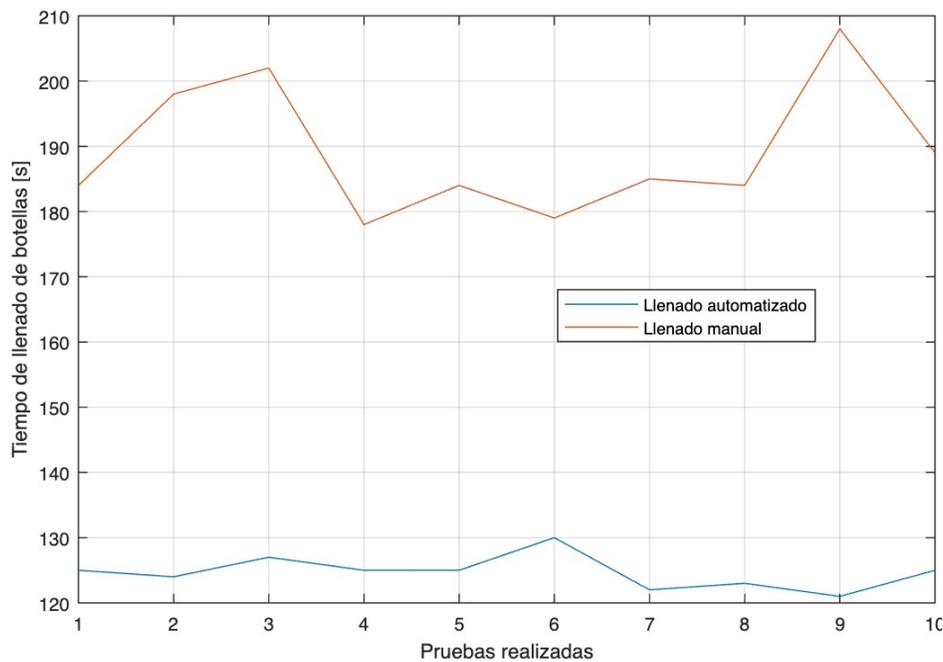
$$\Sigma(X - \bar{X})^2 = 59$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{59}{10}}$$

$$\varepsilon = 2,42$$

El error obtenido para cada medición refleja que el tiempo de cada dato puede variar entre  $125 \pm 2,42$  [s]. Como resultado se observa que el valor del error obtenido en el llenado manual es mayor al llenado automático, lo cual se aprecia en la figura 4.10 ya que los tiempos para este llenado presentan mayor dispersión, en función del ritmo de trabajo desempeñado por el operador.

Figura 4.10 Análisis de la corona visión artificial vs visión humana



Elaborado por: Oscar Toctaguano

Para el cálculo del tiempo de llenado para una botella en el sistema automatizado se considera la ecuación 4.4.

$$t_i = \frac{t_T}{n} \quad \text{Ec. 4.4}$$

Donde,

$t_i$  = tiempo de llenado de cada botella en el sistema automatizado

$t_T$  = media aritmética del tiempo total de llenado a través del sistema automatizado

$n$  = número de botellas llenadas a la vez por el sistema automatizado

$$t_i = \frac{125 [s]}{4}$$

$$t_i = 31,25 [s]$$

Con base al valor de la media aritmética de 125 [s] para las 4 botellas, se establece que el tiempo que tomaría por unidad sería de 32 [s], según la ecuación 4.4.

En la tabla 4.6 se observa que el sistema de llenado isobárico automatizado logra el llenado de un mayor número de botellas en un menor tiempo. En base a estos datos se toma como valor referencial las unidades llenadas con el sistema manual y se realiza el cálculo de la eficiencia.

Tabla 4.6 Análisis del sistema isobárico de llenado automatizado

<b>Llenado manual</b>		<b>Llenado automatizado</b>	
<b>Tiempo (segundos)</b>	<b>Botellas llenas (unidades)</b>	<b>Tiempo (segundos)</b>	<b>Botellas llenas (unidades)</b>
189	1	31,25	1
1891	10	1247	40

Elaborado por: Oscar Toctaguano

$$Eficiencia = \frac{40}{10} * 100$$

$$Eficiencia = 400 \%$$

De esta manera aumenta la eficiencia del proceso en un 400 %, esto por ser un sistema lineal y continuo, permitiendo a la empresa optimizar el recurso humano, así como garantizar aún más la calidad e inocuidad del producto.

## CONCLUSIONES

El sistema que fue diseñado e implementado en el presente trabajo permite un proceso automatizado, en conjunto con la supervisión por la visión artificial, de tal manera que la intervención humana es reducida, cumpliendo con los estándares exigidos por la empresa, de esta forma ahorrando recursos que podrían ser aprovechados en alguna otra área de producción.

El diseño de la banda transportadora, que cuenta con una longitud de 137 [cm], permite abarcar un total de 16 botellas en toda su extensión, dando paso a que la supervisión de la corona por visión artificial incremente la eficiencia de este proceso en un 267 %, en comparación a la supervisión manual.

La implementación del análisis de imágenes mediante la visión artificial para el control de la corona, agrega eficiencia al proceso de supervisión, eliminando así la presencia humana en esa etapa. La incorporación de una cámara que ya dispone de visión artificial evita contratiempos y errores de programación, con la capacidad de interactuar con el controlador, este tomara las acciones correspondientes, para desechar la botella que presente fallas.

Las mediciones realizadas en la supervisión de la corona de las botellas entre el prototipo y la forma manual, determinó que el error de  $\pm 1,09$  [und] para el sistema manual es mayor al error de  $\pm 0,63$  [und] del sistema automatizado, esto se debe principalmente al parámetro no controlado que es el ritmo de trabajo del operador.

La presión de 2,96 [bar] que se alcanza durante el proceso de llenado en las botellas se considera como crítica, ya que podría interrumpir el proceso de llenado. Por esta razón es necesario la intervención de una electroválvula solenoide adicional, que permite aliviar la presión y continuar con el proceso.

Los elementos mecánicos contruidos para el sistema de llenado isobárico complementaron la automatización del proceso, permitiendo realizar un llenado continuo e incrementando el número de botellas, de 10 unidades llenadas por el sistema manual a 40 unidades llenadas con el sistema automatizado, obteniendo un incremento del 400 % de eficiencia en el proceso.

El sistema de llenado isobárico disminuyó el tiempo inicial de 189 segundos a 31,25 segundos por cada botella llenada, lo cual se demostró en las pruebas realizadas, teniendo como punto de partida la incorporación de botellas ya supervisadas en perfecto estado, que son ubicadas en el área de llenado, y en conjunto con los elementos electro-neumáticos, interactúan de tal manera que el prototipo realiza el proceso de llenado de continuo. Cumpliendo con las condiciones de presión que debe tener cada botella para su salida al mercado.

## RECOMENDACIONES

Se debe tomar en cuenta la presión inicial que tiene el tanque dosificador de cerveza, ya que 1 bar es la presión de trabajo del sistema isobárico de llenado, siendo esta la presión adecuada para evitar pérdidas de gasificación durante el proceso de llenado, acompañado con una temperatura del líquido entre 2 a 4 °C, garantizando las características organolépticas del producto final.

Se recomienda considerar las variaciones de luz durante las pruebas de visión artificial, ya que interfieren en las lecturas de la cámara y pueden dar lecturas erradas.

Es necesario redactar un manual de usuario que facilite al operador las instrucciones para el uso del equipo, y ayude a familiarizarse con las distintas etapas del proceso, evitando daños al prototipo por mal uso.

Previo al uso del sistema de llenado isobárico automatizado y al tratarse de un producto de consumo, es obligatorio realizar una limpieza del equipo con sustancias sanitizantes que garanticen la inocuidad del proceso para proceder al llenado de botellas.

## REFERENCIAS

- Billmeyer, E. (2020). *Ciencia de los polímeros*. Barcelona: REVERTE.
- Cardona-Tunubala, O. C. (2018). *Gestión de inventario y almacenamiento de materias primas en el sector de alimentos concentrados*. Obtenido de Insst: <https://www.insst.es/documents/94886/161971/Cap%C3%ADtulo+67.+Industria+alimentaria>
- Dienstleistungs, Elmet Elastomere Produktions und. (Abril de 2016). *Cauchos de silicona: Un mercado aún sin explorar*. Obtenido de Tecnología del Plástico: <https://www.plastico.com/temas/Cauchos-de-silicona,-un-mercado-aun-por-explorar+111976>
- García Iván, C. V. (2016). *La visión artificial y los campos de aplicación*. Carchi: Universidad Politécnica Estatal del Carchi.
- Incibe. (2018). *Introducción a los sistemas embebidos*. Madrid.
- Keller. (2017). *Transmisores de presión*. Gallerstrasse .
- Molina, D., Cedeño, J., Marcillo, K., Ortiz, M., Mero, E., & Merchan, F. (2019). *Modulo con controladores logicos programables para la enseñanza aprendizaje de electronica*. Alicante: 3Ciencias.
- Naylampmechatronics. (2017). *Sensor de presión HK3022*. Libertad.
- Novillo, J., Hernandez, D., Mazon, B., Molina, J., & Cardenas, O. (2018). *Arduino y el Internet de las cosas*. Alicante: 3Ciencias.
- Oasys. (2019). *Sistemas embebidos y su aportación a la industria*. Obtenido de oasys: <https://oasys-sw.com/sistemas-embebidos-industria/>
- Ocem. (2016). *Sistema de llenado para sector de bebidas*.
- Peña, C. (2020). *Arduino IDE Domina la Programación y Controla la Placa*. Buenos Aires: Plandos.
- Pixycam. (18 de 02 de 2019). Obtenido de <https://docs.pixycam.com/wiki/doku.php?id=wiki:v2:overview>
- Ray Sinnott, G. T. (2019). *Diseño en ingeniería química*. Barcelona: Reverté.
- Revista Líderes. (24 de Abril de 2016). *Las ventas en el sector de la cerveza bajan*. Obtenido de Revistalideres: <https://www.revistalideres.ec/lideres/produccion-ventas-cerveza-mercado.html>
- Reyes Pérez, M. A. (14 de Enero de 2019). *Rediseño y mejora del perfil de corona en el proceso de destapado del envase de vidrio cristalino cervecero*. Obtenido de Tesis.ipn.mx: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/28419/17A%20Milton%20Alfredo%20P%3%a9rez%20Reyes%20tesis%20087.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Tejero, J. J. (2016). *Organización de la producción industrial un enfoque de gestión operativa*. Madrid: Esic.
- Torres Santos, E. R., & Bucheli Naranjo, J. L. (2017). Construcción y modelación de un módulo didáctico de muro Trombe mediante CFD para fomentar los estudios de la calefacción solar pasiva. 150 hojas. Quito, Ecuador: EPN. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17509>
- UEFI. (2021). *Embedded Controller Interface Description*. Atlanta.
- Valerio, D. G. (2017). *Plan de negocios para cerveza artesanal*. Santiago: Universidad de Chile. Obtenido de [www.academia.edu](http://www.academia.edu): [https://www.academia.edu/25862037/Tipos\\_de\\_corona\\_de\\_envase\\_de\\_vidrio](https://www.academia.edu/25862037/Tipos_de_corona_de_envase_de_vidrio)
- Vinetur. (2019). *vinetur*. Obtenido de <https://www.vinetur.com/2016122026613/anatomia-de-la-botella-de-vino.html>
- Wilson, A. (2018). *El ascenso de la automatización* .

# ANEXOS

## Anexo 1. Ficha técnica de las botellas de vidrio

	<b>NORMA TÉCNICA TECHNICAL RULES</b>	PÁGINA / PAGE: 1 / 3	REVISION N° / REVIEW N°: 1
		MOLDE / MOLD: GB02175 Acabado / Finish: 026-0650-R011	FECHA DE APROBACION / APPROVAL DATE: 31/07/2017
TÍTULO / TITLE <b>DISEÑO Y ESPECIFICACIONES DE LA BOTELLA CERVEZA 12OZ (351ml)</b>		<b>Señorita: Carla Vanesa Arroyo Moya RUC: 1719255901001</b>	

### 1. OBJETIVO (Objective)

Estandarizar los diseños y especificaciones de las botellas (Standardize the design and specifications of the bottle).

### 2. CAMPO DE APLICACION (APPLICATION)

Esta norma se aplica a todas las unidades que utilicen este empaque. (This document is applied in every plant that uses this package.)

### 3. ESPECIFICACIONES (SPECIFICATIONS)

CARACTERÍSTICAS (CHARACTERISTICS)	ESPECIFICACIONES (SPECIFICATIONS)	CARACTERÍSTICAS (CHARACTERISTICS)	ESPECIFICACIONES (SPECIFICATIONS)
Acabado (Finish)	Ver Plano Aprobado / View Approved Plan	Capacidad Punto de Llenado (Capacity filling point)	Ver Plano Aprobado / View Approved Plan
Diámetro de Cuerpo no contacto ( Body Diameter no Contact )	Ver Plano Aprobado / View Approved Plan	Capacidad Total (Total capacity)	Ver Plano Aprobado / View Approved Plan
Diámetro de cuerpo contacto ( Diameter of Body Contact )	Ver Plano Aprobado / View Approved Plan	Peso l ( Weight)	Ver Plano Aprobado / View Approved Plan
Ovalado en el Cuerpo (Oval in the Body)	Máx.: 2.29 mm / 0.090"	Flint Color	500 - 535
Altura (Height)	Ver Plano Aprobado / View Approved Plan	Tratamiento Frio Externo (External Cold treatment )	Permanente / Permanent
Verticalidad Total a 360° (Total Verticality)	máx.: 5.6 mm / 0.220"	Grado de Recocido (temple) (Tempering level)	máx.: 4
Verticalidad del Cuello a 360° (Verticality Neck)	máx.: 3.7 mm / 0.145"	Resistencia choque térmico (Thermal shock resistance)	max.: 35°C
Espesor de Pared Contacto (Body Wall thickness Contact)	min.: 1.0 mm / 0.040"	Resistencia a Presion Interna (Internal pressure resistance)	max: 150PSI
Espesor de Pared NoContacto (Body Wall thickness No Contact)	min.: 0.8 mm / 0.035"	Resistencia a carga vertical (Top load resistance)	max.: 600 kgf
Espesor de Fondo. (Bottom thickness )	min.: 2.0 mm / 0.080"	Resistencia a impacto (Impact resistance)	max.: 60 cm/s ou 20 pol/s
Fondo Desigual o Ratio. (Bottom thickness )	máx.: 3.9 mm / 0.155"	Tratamiento en el acabado caliente (Hot treatment finish)	Tetracloruro de Estaño / Tin Tetrachloride
Acabado Filoso ò Escalon / Sharp Finish or Step	máx.: 0.20 mm / 0.008"	Tratamiento em el cuerpo em caliente (Hot treatment – body)	Tetracloruro de Estaño / Tin Tetrachloride
		Tension de Flejes	min: 60 lb

Fuente: Cervecería Averno

	<b>NORMA TÉCNICA TECHNICAL RULES</b>	REVISION N° / REVIEW Nº: 1	ÁREA / DEPARTAMENT Produccion y Atención al Cliente / Production and Customer Service	PÁGINA: 2 / 3
--	--	-------------------------------	--	------------------

#### 4. CLASIFICACION DE DEFECTOS Y AQL`S / CLASSIFICATION OF DEFECTS AND AQL`S

- **(0.065% AQL`S) DEFECTOS CRÍTICO / CRITICAL DEFECTS:** Cualquier defecto que pueda causar daños al consumidor final / Any defect that may cause harm to the consumer.
- **(< 1.5% AQL`S) DEFECTOS MAYORES / MAJOR DEFECTS:** Cualquier defectos que pueda causar paradas de línea ò problemas de tapado (defectos funcionales) / Any defects that may cause stops online or capping problems ( functional defects )
- **(4.00% AQL`S) DEFECTOS MENORES / MINOR DEFECTS:** Cualquier defecto que solamente pueda causar daños a la imagen del producto (defectos de apariencia). / Any defect that can only damage the image of the product ( appearance defects )

#### 4.1 TIPO DE PLAN DE MUESTREO / TYPE OF SAMPLING PLAN.

Tanto la auditoría de productos y para la inspección de recepción se utiliza el plan de muestreo siguiente:

#### **SIMPLES NORMAL – NÍVEL ESPECIAL S3**

Both the audit and to receiving inspection sampling plan following is used:

#### **SIMPLE NORMAL - SPECIAL LEVE**

#### 5. DISEÑO TECNICO (Technical Design)

VER PLANO ANEXO

#### 6. COMPOSICION FISICO QUIMICA

COMPONENTE	%
Si O <sub>2</sub>	74,440
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,398
Na <sub>2</sub> O	12,094
K <sub>2</sub> O	0,169
MgO	0,442
CaO	10,993
TiO <sub>2</sub>	0,038
SrO	0,012
SO <sub>3</sub>	0,312
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,090
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,001
BaO	0,011

Fuente: Cervecería Averno

### **7.0 Materia Prima Venvidrio para el Vidrio de Silicato Sodocálcico.**

En el proceso de producción de vidrio de las materias primas de la fabricación de vidrio son sometidas a un cambio químico y físico a nivel atómico y son transformadas a una nueva sustancia (vidrio de silicato sodocálcico) cuyas características son únicas, distintivas y controlables. El proceso de producción somete a las materias primas del envase de vidrio a períodos de tiempo extendido a temperaturas superiores a 1350°C (2462°F). El proceso de fundición en altas temperaturas requerido para producir vidrio de silicato sodocálcico elimina completamente los riesgos de higiene que son generalmente considerados en un sistema HACCP para materias primas que son usadas para productos en contacto con comida.

El control de la materia prima suministrada es por medio de una combinación de la Certificación del proveedor y el proceso de aprobación, sistema de calidad de la planta y entrada de parte del proveedor de materia prima en los procedimientos de control de calidad del producto. Los sistemas de calidad también monitorean el desempeño de los proveedores de materias primas lo que incluye seguimiento de la documentación y cualquier medida de corrección donde esta sea requerida.

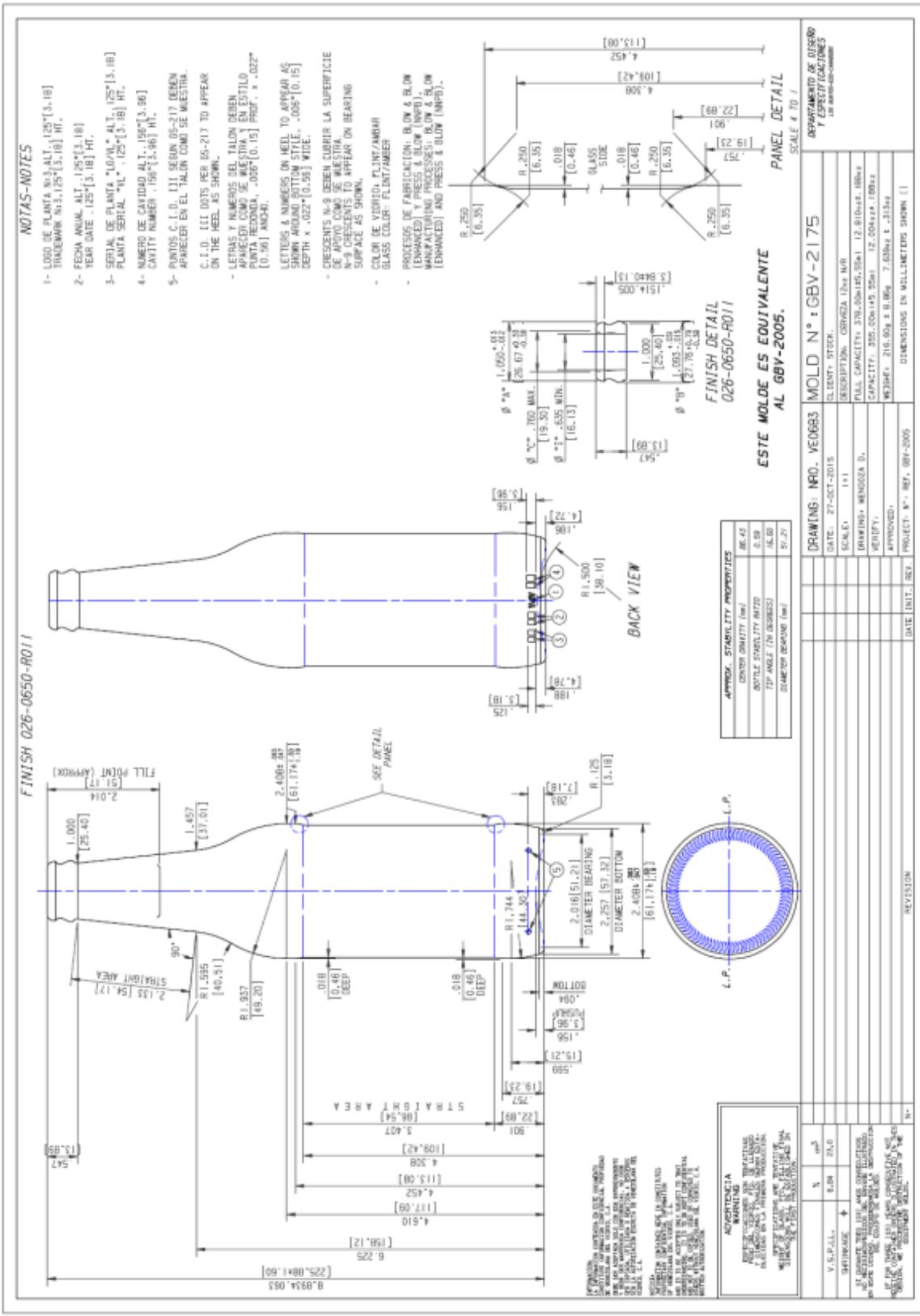
### **8.0 Composición Química de los Envases de Vidrio de Silicato Sodocálcico**

se funde las materias primas usadas para producir el vidrio de silicato sodocálcico utilizado para la manufacturación de envases moldeados por soplado. El vidrio de silicato sodocálcico utili para producir envases de vidrio es Generalmente Reconocida Como Seguro" (GRAS) por la FDA para el Contacto con Alimentos y Bebidas independientemente del color del vidrio que está siendo producido.

La FDA de los Estados Unidos ha determinado que los envases de vidrio sodocálcico no son aditivos alimentarios bajo el fundamento de que no es razonable esperar que estos envases se conviertan en un componente de los alimentos o puedan afectar, de alguna otra manera, las características de los alimentos y bebidas bajo el uso previsto.

La "BRC IoP Global Standard for Packaging Guidance Document" reconoce que el Vidrio, como material, representa una barrera absoluta donde el riesgo de contaminación física, química o microbiológica es eliminado.

Fuente: Cervecería Averno



Fuente: Cervecería Averno

## Anexo 2. Manual de operación del sistema de llenado y control de corona de botellas de vidrio

Este manual es parte del equipo y esencial para su manejo seguro. El producto es un sistema de llenado de botellas y control de calidad de su corona.

A continuación, los componentes del sistema de llenado y control de calidad de corona:



### Parámetros técnicos

Alimentación suministrada	110 [Vac]
Capacidad de llenado	4 botellas cada 2 minutos
Dimensiones	75 [cm] x 175 [cm] x 210 [cm] (largo, ancho, alto)
Peso	75 [kg]
Material	Acero inoxidable Polietileno grado alimenticio
Temperatura óptima de manejo	20 a 30 °C
Temperatura óptima de líquido a embotellar	2 a 4 °C

Este sistema está diseñado para un óptimo llenado de botellas tipo corona, optimizando recursos, el usuario debe seguir las sugerencias indicadas en este manual para garantizar su uso correcto.

- Solo personal autorizado debe hacer la instalación y mantenimiento el sistema de llenado y control de la corona de las botellas
- Ubique el equipo cerca de una conexión eléctrica de 110 [Vac] evite utilizar extensiones eléctricas.
- Ubique el equipo en un área ventilada y con facilidad para su limpieza.
- No coloque ningún objeto pesado en ninguna parte del sistema.
- Fallas en el funcionamiento o daño del sistema podría ser ocasionado por errores como:
  - a) Mala manipulación del sistema
  - b) Fallas en el cableado del sistema
  - c) Temperatura inadecuada del líquido a embotellar

### **Funcionamiento**

1. Verificar que no exista ningún objeto sobre la banda transportadora.
2. Verificar que la línea de llenado se encuentre completamente limpia.
3. Verificar que la temperatura del líquido a llenar se encuentre entre 2 a 4 °C.
4. Conectar el suministro del líquido a la línea de llenado.
5. Conectar el sistema a la conexión eléctrica de 110 [Vac].
6. Abrir el tablero de control y verificar que no exista ningún cable suelto.
7. En el tablero encender los interruptores de potencia y control.
8. Accionar el selector de la etapa de control (colocar en posición ON), verificar con su correspondiente luz piloto (azul superior izquierda)
9. Accionar el selector de la banda transportadora (colocar en posición ON), verificar con su correspondiente luz piloto (azul superior derecha).
10. Colocar las botellas previamente lavadas para el control de las coronas, las botellas aprobadas pasaran al área de llenado y las rechazadas al área de reciclaje.
11. Una vez completo el proceso de llenado retirar las botellas para su posterior tapado.
12. Una vez el equipo termine el proceso de llenado de cerveza desconectar su suministro y colocar el suministro de sanitizante para el lavado del equipo.

13. Verificar la limpieza del sistema de llenado, en caso de requerirlo realizar otro enjuague del sistema con el sanitizante.
14. Desactivar el selector de la etapa de control y banda transportadora (colocar en la posición OFF), verificar con la luz piloto apagada.
15. Desactivar los interruptores de potencia y control en el interior del tablero de control.
16. Cerrar el tablero de control.
17. Desconectar el equipo de la conexión eléctrica.