



## **Diseño e implementación de una célula robotizada demostrativa para el dispensado de cervezas**

Balseca Gordillo, Lesly Elizabeth y Cisneros Quilligana, Ronnie Gerardo

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica,  
Automatización y Control

Ing. Orozco Brito, Luis Alberto

7 de febrero de 2022



TESIS\_BALSECA\_LESLY\_CISNEROS\_RONNIE.pdf

Scanned on: 21:39 February 10, 2022 UTC



LUIS ALBERTO  
OROZCO BRITO



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

|                          |      |
|--------------------------|------|
| Identical Words          | 181  |
| Words with Minor Changes | 70   |
| Paraphrased Words        | 159  |
| Ommited Words            | 4159 |



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “**Diseño e implementación de una célula robotizada demostrativa para el dispensado de cervezas**” fue realizado por la Srta. **Balseca Gordillo, Lesly Elizabeth** y el Sr. **Cisneros Quilligana, Ronnie Gerardo** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 07 de febrero del 2022



.....  
LUIS ALBERTO  
OROZCO BRITO

**Ing. Orozco Brito, Luis Alberto MSc.**

C. C 1710443803



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL**

**RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Nosotros, **Balseca Gordillo, Lesly Elizabeth**, con cédula de ciudadanía n° 171988001-3 y **Cisneros Quilligana, Ronnie Gerardo** con cédula de ciudadanía n° 172362406-8, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño e implementación de una célula robotizada demostrativa para el dispensado de cervezas”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 07 de febrero del 2022

**Lesly Elizabeth, Balseca Gordillo**

C.C. 171988001-3

**Ronnie Gerardo, Cisneros Quilligana**

C.C. 172362406-8



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros, **Balseca Gordillo, Lesly Elizabeth**, con cédula de ciudadanía n° 171988001-3 y **Cisneros Quilligana, Ronnie Gerardo** con cédula de ciudadanía n° 172362406-8, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**Diseño e implementación de una célula robotizada demostrativa para el dispensado de cervezas**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 07 de febrero del 2022

.....  
**Lesly Elizabeth, Balseca Gordillo**

C.C. 171988001-3

.....  
**Ronnie Gerardo, Cisneros Quilligana**

C.C. 172362406-8

## Dedicatoria

Este trabajo de tesis se la dedico a cada una de las personas que estuvieron apoyándome en el transcurso de mi carrera y de este proyecto. Principalmente la dedico a mis abuelitos que me miran desde el cielo culminar esta etapa que ellos tanto añoraban, especialmente a mi Abuelita Carmen la cual me apoyo de una manera inigualable y siempre me estuvo alentando incluso en los momentos que decaía. Se la dedico a mi madre Sandra que ha sido un pilar fundamental durante toda mi vida. A mi padre Edwin el cual me alentó a terminar este trabajo de titulación brindándome su apoyo y ánimo. Se las dedico a mis hermanas Priscila y Salomé que han sido un gran motor de motivación desde el día que llegaron a este mundo y a las que invito a nunca rendirse en sus sueños.

Lesly Balseca

## Dedicatoria

Le dedico mi título en Ingeniería a mi papa y mama, gracias por su esfuerzo, por su amor y apoyo incondicional durante cada etapa de mi vida.

Le dedico mi sacrificio durante la carrera universitaria a mi mama Virginia, me faltaran años de vida para agradecer todo lo que has hecho por nosotros.

Le dedico mis horas de estudio a mis hermanas, gracias por comprenderme y siempre estar pendientes de mí.

Le dedico el trabajo de titulación a Milena y Antoine, espero que tengan éxito en todo lo que se propongan y que lleguen a ser unos excelentes profesionales y personas de bien.

Una dedicatoria dirigida hacia el cielo para Miriam, Tamia y mama blanquita. Aunque no estén conmigo físicamente, siempre las tengo presentes en espíritu y sé que están festejando conmigo este nuevo logro en mi vida.

Ronnie G. Cisneros Q.

## Agradecimiento

Agradezco a mis padres que me ha apoyado a lo largo de mi carrera de estudiante y me han motivado a ser una profesional, gracias por el amor y las palabras que me han forjado hasta llegar a este punto. Por creer y confiar en mí, además de darme el impulso para cumplir una de mis tantas metas.

A mis dos hermanas, mis ositos, que con sus ocurrencias alegraban mis horas de estudio y deberes e incluso me acompañaban en el frío de la noche.

A Fabricio que me ha apoyado en gran parte de la carrera, motivándome en cada paso y llevándome comida en mis momentos de trabajos y estrés.

Agradezco al Ing. Luis Orozco por realizar la conexión con la empresa auspiciante, haciendo posible este proyecto de tesis y a su vez guiarme en el transcurso del mismo al ser mi tutor.

Agradezco a la empresa auspiciante por abrir sus puertas para realizar este proyecto en sus instalaciones, además de guiarnos en varios aspectos del mismo.

Agradezco al Ing. Eduardo Balarezo por brindarme mi primera oportunidad laboral mientras realizaba este proyecto.

A mi compañero de tesis, Ronnie con el cual, entre risas e impuntualidades, se hizo posible la culminación de este proyecto.

Lesly Balseca



## Agradecimiento

Agradezco a mi familia que siempre ha estado en este camino para apoyarme y guiarme frente a todos los problemas que he enfrentado, sobre todo a mis padres que me han enseñado a siempre seguir adelante y no rendirme sin importar las circunstancias. ¡Los amo demasiado!

Agradezco a las grandes amistades que he conocido a lo largo de esta trayectoria universitaria y que compartieron un pedacito de su corazón conmigo.

Agradezco al Ing. Luis Orozco y a toda la familia de docentes que conforman el departamento de Electrónica por sus enseñanzas y por ser la punta de flecha que dirige a los estudiantes hacia un mejor futuro.

Agradezco a la empresa auspiciante por abrir sus puertas para realizar este proyecto en sus instalaciones, además de guiarnos en varios aspectos del mismo.

Agradezco a la familia Balarezao por acogerme en su empresa, brindándome mi primera oportunidad laboral mientras se desarrollaba el proyecto de titulación.

Agradezco a Lesly por su apoyo arduo esfuerzo, con el cual se logró desarrollar el proyecto entre lloros, risas y dieta fallidas.

## Índice de Contenido

|   |    |
|---|----|
| Reporte de herramienta de verificación..... | 2  |
| Certificación .....                         | 3  |
| Autoría de Responsabilidad .....            | 4  |
| Autorización de publicación.....            | 5  |
| Dedicatoria.....                            | 6  |
| Dedicatoria.....                            | 7  |
| Agradecimiento.....                         | 8  |
| Agradecimiento.....                         | 9  |
| Índice de Contenido .....                   | 10 |
| Índice de Tablas .....                      | 16 |
| Índice de Figuras .....                     | 19 |
| Resumen .....                               | 29 |
| Abstract.....                               | 30 |
| Capítulo I .....                            | 31 |
| Introducción.....                           | 31 |
| Antecedentes .....                          | 31 |
| Justificación e Importancia .....           | 35 |
| Alcance del Proyecto.....                   | 37 |

|  |    |
|--|----|
|  | 11 |
| Objetivos.....                           | 39 |
| Objetivo General.....                    | 39 |
| Objetivos Específicos .....              | 39 |
| Capítulo II.....                         | 41 |
| Marco Teórico.....                       | 41 |
| Célula robotizada.....                   | 41 |
| Robótica Social.....                     | 42 |
| Robot.....                               | 43 |
| Motores paso a paso.....                 | 43 |
| Sensores de presencia .....              | 45 |
| Visión artificial.....                   | 47 |
| PROFINET .....                           | 48 |
| Aplicación para plataformas móviles..... | 49 |
| Interfaz humano-máquina HMI .....        | 49 |
| Lenguajes de programación.....           | 50 |
| KRL .....                                | 50 |
| Lenguaje Ladder.....                     | 51 |
| Softwares de Programación.....           | 52 |
| TIA Portal.....                          | 52 |
| WorkVisual 5.0.....                      | 55 |

|   |     |
|---|-----|
|   | 12  |
| Flutter.....  | 56  |
| In-sight Explorer.....                                  | 57  |
| Node-red.....   | 59  |
| Firebase.....   | 60  |
| HMIware 2.5 .....                                       | 61  |
| Cerveza.....  | 62  |
| Tipos de cerveza.....                                   | 62  |
| Dispensado de Cerveza.....                              | 65  |
| Carbonatación Forzada.....                              | 67  |
| Capítulo III.....                                       | 69  |
| Diseño e Integración de la célula robotizada.....       | 69  |
| Diseño de la célula robotizada.....                     | 69  |
| Sistema Robot.....                                      | 69  |
| Sistema dispensador de vasos cerveceros.....            | 78  |
| Sistema dispensador de cerveza.....                     | 88  |
| Sistema de transporte de cerveza hacia el cliente ..... | 110 |
| Aplicación para plataformas móviles.....                | 116 |
| Interfaz HMI.....                                       | 118 |
| Delineamiento de elementos activos y pasivos.....       | 124 |
| Sistema de Control.....                                 | 126 |

|  |     |
|--|-----|
| Integración de componentes de célula robotizada .....              | 130 |
| Comunicación .....   | 130 |
| Programación de la célula robotizada .....                         | 146 |
| Dispensado de vasos.....   | 149 |
| Transporte de cerveza hacia el cliente .....                       | 153 |
| Sensor de temperatura.....   | 159 |
| Cámara Industrial.....   | 160 |
| Robot.....   | 167 |
| Producción .....   | 173 |
| Conexiones Eléctricas .....  | 181 |
| Conexión del sistema robot .....                                   | 181 |
| Conexiones sistema dispensador de vasos cerveceros .....           | 181 |
| Conexiones sistema de transporte de cerveza hacia el cliente. .... | 182 |
| Conexiones sistema dispensador de cerveza .....                    | 183 |
| Conexión sistema neumático.....                                    | 184 |
| Capítulo IV.....   | 186 |
| Implementación, pruebas y resultados .....                         | 186 |
| Implementación de célula robotizada .....                          | 186 |
| Robot.....   | 186 |
| Sistema de Control PLC.....  | 189 |

|   |     |
|---|-----|
| Dispensado de vasos cervceros .....                               | 191 |
| Transporte de cerveza hacia el cliente .....                      | 194 |
| Dispensado de cerveza .....                                       | 197 |
| Estación del Operador .....                                       | 204 |
| Compresor .....   | 205 |
| Pruebas de los sensores y actuadores .....                        | 207 |
| Pruebas del sensor fotoeléctrico reflectivo .....                 | 207 |
| Pruebas del sensor fotoeléctrico SM312CV2QD .....                 | 208 |
| Pruebas del sensor de temperatura .....                           | 210 |
| Pruebas del sensor Inductivo .....                                | 212 |
| Pruebas de célula robotizada.....                                 | 213 |
| Pruebas de sistema dispensado de vasos.....                       | 213 |
| Pruebas de sistema dispensador de cerveza .....                   | 215 |
| Pruebas de sistema de transporte de cerveza hacia el cliente..... | 231 |
| Pruebas de fallo de energía .....                                 | 233 |
| Pruebas de paro de emergencia .....                               | 235 |
| Seguridad .....   | 237 |
| Capítulo V.....   | 238 |
| Conclusiones y Recomendaciones .....                              | 238 |
| Conclusiones .....  | 238 |

|   |     |
|---|-----|
| Recomendaciones.....  | 240 |
| Bibliografía.....   | 241 |
| Anexos.....   | 250 |
| Anexo 1. Mapeo PROFINET de Cámara Cognex a TIA Portal ..... | 250 |
| Anexo 2. Graficet de producción .....                       | 250 |
| Anexo 3. Diagrama de Conexiones .....                       | 250 |

## Índice de Tablas

|                 |   |    |
|-----------------|---|----|
| <b>Tabla 1</b>  | Diferencias entre cerveza artesanal e industrial            | 63 |
| <b>Tabla 2</b>  | Diferencias entre Cerveza Ale y Lager                       | 64 |
| <b>Tabla 3</b>  | Temperaturas sugeridas para los diferentes tipos de cerveza | 67 |
| <b>Tabla 4</b>  | Tabla de carbonatación                                      | 68 |
| <b>Tabla 5</b>  | Alcance del robot   | 70 |
| <b>Tabla 6</b>  | Características técnicas del controlador KUKA KRC4          | 72 |
| <b>Tabla 7</b>  | Características de SmartPAD KRC4                            | 73 |
| <b>Tabla 8</b>  | Dimensiones de gripper                                      | 74 |
| <b>Tabla 9</b>  | Características de compresor                                | 76 |
| <b>Tabla 10</b> | Características del bloque de válvulas neumáticas           | 78 |
| <b>Tabla 11</b> | Requerimientos de diseño de dispensado de vasos             | 80 |
| <b>Tabla 12</b> | Comparación de diseños del dispensador de vasos cervenceros | 83 |
| <b>Tabla 13</b> | Características técnicas de sensor fotoeléctrico            | 85 |
| <b>Tabla 14</b> | Características de pines de etapa de control                | 87 |
| <b>Tabla 15</b> | Características del barril Cornellius                       | 91 |
| <b>Tabla 16</b> | Características de tanque de CO2                            | 92 |
| <b>Tabla 17</b> | Características del Refrigerador                            | 94 |
| <b>Tabla 18</b> | Características PT100                                       | 96 |



|  |     |
|--|-----|
|  | 17  |
| <b>Tabla 19</b> Características Traductor TX58   | 96  |
| <b>Tabla 20</b> Comparación diseños de dispensado de vasos cervecedores                  | 99  |
| <b>Tabla 21</b> Características Electroválvula ZW-15J                                    | 101 |
| <b>Tabla 22</b> Características Breaker  | 102 |
| <b>Tabla 23</b> Características modulo relé  | 103 |
| <b>Tabla 24</b> Características llave de paso  | 104 |
| <b>Tabla 25</b> Cámara Industria Cognex In-sight   | 107 |
| <b>Tabla 26</b> Características de Luminaria   | 108 |
| <b>Tabla 27</b> Especificaciones de riel lineal  | 112 |
| <b>Tabla 28</b> Características técnicas de sensor inductivo                             | 113 |
| <b>Tabla 29</b> Características técnicas de sensor fotoeléctrico SM312CV2QD              | 115 |
| <b>Tabla 30</b> Características de la HMI MT4414TE                                       | 119 |
| <b>Tabla 31</b> <i>Elementos activos y pasivos por sistemas</i>                          | 125 |
| <b>Tabla 32</b> Requerimientos de entradas, salidas y puertos necesarios en cada sistema | 126 |
| <b>Tabla 33</b> Características de CPU 1214c DC/DC/DC                                    | 128 |
| <b>Tabla 34</b> Características de Switch Tp-Link  | 129 |
| <b>Tabla 35</b> Salidas del controlador KRC4 con su direccionamiento en el PLC           | 138 |
| <b>Tabla 36</b> Entradas del controlador KRC4 con su direccionamiento en el PLC          | 139 |
| <b>Tabla 37</b> Variables y Estados del Grafcet de Seguridad                             | 148 |
| <b>Tabla 38</b> Variables y Estados de Dispensado de vasos                               | 152 |

|   |     |
|---|-----|
|   | 18  |
| <b>Tabla 39</b> Variables y Estados de Transporte hacia el cliente  | 158 |
| <b>Tabla 40</b> Variables en posición de 45°  | 161 |
| <b>Tabla 41</b> Variables en posición de 90°  | 163 |
| <b>Tabla 42</b> Variables comunicadas desde y hacia el PLC  | 165 |
| <b>Tabla 43</b> Variables y Estados del Graficet de Producción  | 174 |
| <b>Tabla 44</b> Elementos que permiten la circulación de la cerveza a través del sistema dispensador de cerveza | 200 |
| <b>Tabla 45</b> Resultados de pruebas del sensor fotoeléctrico reflectivo                                       | 208 |
| <b>Tabla 46</b> Resultados de pruebas del sensor fotoeléctrico SM312CV2QD                                       | 209 |
| <b>Tabla 47</b> Resultados de pruebas del sensor de temperatura   | 211 |
| <b>Tabla 48</b> Resultados de pruebas del sensor inductivo  | 213 |
| <b>Tabla 49</b> Resultados de pruebas del sistema dispensado de vasos   | 214 |
| <b>Tabla 50</b> Pruebas de lámpara en distintas posiciones  | 217 |
| <b>Tabla 51</b> Pruebas con cerveza en condiciones óptimas.   | 220 |
| <b>Tabla 52</b> Pruebas con cerveza sobre carbonatada.  | 226 |
| <b>Tabla 53</b> Pruebas con restricción de producto   | 230 |
| <b>Tabla 54</b> Resultados de pruebas del sistema dispensado de vasos   | 232 |
| <b>Tabla 55</b> Pruebas con célula sin suministro de energía  | 234 |
| <b>Tabla 56</b> Pruebas ante un paro de emergencia  | 236 |

## Índice de Figuras

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> Dispensado con Bottoms up Beer.....  | 32 |
| <b>Figura 2</b> Mark Shagr instalado en Royal Caribbean .....                                | 33 |
| <b>Figura 3</b> Paulii Brothers en Hannover Fair 2016 .....                                  | 34 |
| <b>Figura 4</b> Beer Cart, sirviendo cerveza al cliente.....                                 | 35 |
| <b>Figura 5</b> Esquema de bloques de la célula robotizada. ....                             | 38 |
| <b>Figura 6</b> Motor Unipolar conexión de devanados .....                                   | 44 |
| <b>Figura 7</b> Motor Bipolar conexión de devanados.....                                     | 45 |
| <b>Figura 8</b> Principio de funcionamiento del sensor inductivo .....                       | 45 |
| <b>Figura 9</b> Principio de funcionamiento del sensor capacitivo .....                      | 46 |
| <b>Figura 10</b> Principio de funcionamiento del sensor fotoeléctrico .....                  | 47 |
| <b>Figura 11</b> Componentes de la visión artificial.....                                    | 48 |
| <b>Figura 12</b> Ejemplo de programa KRL.....  | 51 |
| <b>Figura 13</b> Elementos básicos de la programación Ladder .....                           | 52 |
| <b>Figura 14</b> Interfaz de software TIA PORTAL.....  | 53 |
| <b>Figura 15</b> Entorno de configuración de objeto tecnológico .....                        | 54 |
| <b>Figura 16</b> Límites de frecuencias para cada salida dependiendo CPU o signal Board..... | 54 |
| <b>Figura 17</b> Entorno de Workvisual 5.0 .....   | 56 |

|                  |   |    |
|------------------|---|----|
| <b>Figura 18</b> | Herramienta de programación Flutter dentro de VisualStudioCode .....      | 57 |
| <b>Figura 19</b> | Easy Builder de in-sight Explorer .....                                   | 59 |
| <b>Figura 20</b> | Entorno de programación NODE-RED.....                                     | 60 |
| <b>Figura 21</b> | Entorno de Firebase.....  | 61 |
| <b>Figura 22</b> | Entorno HMlware2.5 .....  | 62 |
| <b>Figura 23</b> | Tipo de fermentación.....   | 64 |
| <b>Figura 24</b> | Tipo de cerveza artesanal .....   | 65 |
| <b>Figura 25</b> | Robot KUKA KR 20 3.....   | 70 |
| <b>Figura 26</b> | Alcance de Robot KR 20 3 .....  | 71 |
| <b>Figura 27</b> | Controlador KUKA KRC4.....  | 72 |
| <b>Figura 28</b> | SmartPAD KRC4.....  | 73 |
| <b>Figura 29</b> | Gripper entregado para proyecto.....                                      | 74 |
| <b>Figura 30</b> | Gripper máxima apertura y cerrado .....                                   | 75 |
| <b>Figura 31</b> | Compresor .....   | 76 |
| <b>Figura 32</b> | Presión de tanque compresor y presión de salida a sistema neumático ..... | 77 |
| <b>Figura 33</b> | Bloque de electroválvulas neumáticas .....                                | 77 |
| <b>Figura 34</b> | Diferentes vasos cerveceros .....   | 79 |
| <b>Figura 35</b> | Dimensiones de vaso Wheat.....  | 80 |
| <b>Figura 36</b> | Boceto de diseño de matriz de vasos 4x3.....                              | 81 |
| <b>Figura 37</b> | Boceto de diseño de banda transportadora.....                             | 82 |

|                  |  |     |
|------------------|--|-----|
| <b>Figura 38</b> | Boceto de diseño de mesa giratoria .....                             | 83  |
| <b>Figura 39</b> | Diseño de hendiduras en mesa giratoria .....                         | 84  |
| <b>Figura 40</b> | Sensor fotoeléctrico reflectivo con sus componentes.....             | 85  |
| <b>Figura 41</b> | Motor paso a paso con sus características .....                      | 86  |
| <b>Figura 42</b> | Driver TB6600 .....  | 87  |
| <b>Figura 43</b> | Diagrama de flujo de sistema de dispensado de vasos cervenceros..... | 88  |
| <b>Figura 44</b> | Etapas del sistema dispensador de cerveza .....                      | 89  |
| <b>Figura 45</b> | Barril Cornelius.....  | 90  |
| <b>Figura 46</b> | Componentes de la parte superior del barril Cornelius.....           | 90  |
| <b>Figura 47</b> | Tanque de CO2.....   | 91  |
| <b>Figura 48</b> | Regulador de presión GIOCWELD .....                                  | 93  |
| <b>Figura 49</b> | Refrigerador Mabe.....   | 94  |
| <b>Figura 50</b> | PT 100 .....   | 95  |
| <b>Figura 51</b> | Transductor OMEGA tx58 .....   | 96  |
| <b>Figura 52</b> | Diseño con dos vías de flujo regulable.....                          | 98  |
| <b>Figura 53</b> | Diseño con una vía de flujo regulable.....                           | 99  |
| <b>Figura 54</b> | Electroválvula ZW-15J.....   | 100 |
| <b>Figura 55</b> | Breaker SIMENS 5SL4104-7RC .....                                     | 101 |
| <b>Figura 56</b> | Módulo de relé 24Vdc.....  | 103 |
| <b>Figura 57</b> | Llave de paso inoxidable EDESA.....                                  | 104 |

|                  |  |     |
|------------------|--|-----|
| <b>Figura 58</b> | Uniones y manguera de grado alimenticio .....                      | 105 |
| <b>Figura 59</b> | Grifo dispensador de cerveza .....                                 | 106 |
| <b>Figura 60</b> | Cama industrial COGNEX InSight .....                               | 107 |
| <b>Figura 61</b> | Caja para mejorar el desempeño de la cámara COGNEX .....           | 108 |
| <b>Figura 62</b> | Luminaria .....  | 109 |
| <b>Figura 63</b> | Diagrama de flujo del sistema dispensador de cerveza .....         | 110 |
| <b>Figura 64</b> | Riel lineal.....   | 111 |
| <b>Figura 65</b> | Sensor inductivo IFT203.....                                       | 113 |
| <b>Figura 66</b> | Sensor Mini-Beam SM312CV2QD .....                                  | 114 |
| <b>Figura 67</b> | Diagrama de flujo de Sistema de dispensado a cliente .....         | 116 |
| <b>Figura 68</b> | Interfaces de la aplicación móvil desarrollada.....                | 117 |
| <b>Figura 69</b> | HMI Kinco MT4414TE.....  | 119 |
| <b>Figura 70</b> | Mapa de navegación y jerarquías de la HMI.....                     | 120 |
| <b>Figura 71</b> | HMI -Pantalla de HOME .....  | 121 |
| <b>Figura 72</b> | HMI - Pantalla de producción .....                                 | 122 |
| <b>Figura 73</b> | HMI - Pantalla de Históricos.....                                  | 123 |
| <b>Figura 74</b> | HMI - Pantalla de Mantenimiento .....                              | 124 |
| <b>Figura 75</b> | Ubicación de los elementos que componen la célula robotizada ..... | 126 |
| <b>Figura 76</b> | PLC SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, CPU compacta, DC/DC/DC .....       | 127 |
| <b>Figura 77</b> | Switch Tp-link.....  | 129 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 78</b> Topología de Red .....   | 130 |
| <b>Figura 79</b> Entorno de In-Sight Explorer.....  | 131 |
| <b>Figura 80</b> Conexión de datos de entrada y salida.....                                 | 132 |
| <b>Figura 81</b> GSD y Módulos de cámara.....   | 132 |
| <b>Figura 82</b> Esquema de conexiones entre cámara y PLC .....                             | 133 |
| <b>Figura 83</b> Dirección IP y nombre de dispositivo PROFINET en cámara y PLC .....        | 134 |
| <b>Figura 84</b> Configuración de parámetros PROFINET en el Software WorkVisual .....       | 135 |
| <b>Figura 85</b> Ventana IO Mapping de WorkVisual.....                                      | 136 |
| <b>Figura 86</b> Ventana de configuración del módulo KRC4 en TiaPortal .....                | 137 |
| <b>Figura 87</b> Mapeo de entradas y salidas realizado entre el controlador KRC4 y el PLC.. | 137 |
| <b>Figura 88</b> Interfaz network de Software Kinco HMIware .....                           | 139 |
| <b>Figura 89</b> Asignación de IP a la HMI.....   | 140 |
| <b>Figura 90</b> Configuración de la IP del PLC.....  | 140 |
| <b>Figura 91</b> Habilitación de comunicación remota en el software TiaPortal.....          | 141 |
| <b>Figura 92</b> Ejemplo del envío de datos desde la App hacia la base de datos .....       | 142 |
| <b>Figura 93</b> Programación NODE-RED .....  | 142 |
| <b>Figura 94</b> Diagrama de flujo de la programación realizada en NODE-RED.....            | 143 |
| <b>Figura 95</b> Decodificación realizada en NODE-RED.....                                  | 144 |
| <b>Figura 96</b> Bloques de datos comunicados con NODE-RED .....                            | 145 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 97</b> Configuración realizada para relacionar el NODO s7comm con los bloques de datos del TiaPortal ..... | 146 |
| <b>Figura 98</b> Jerarquía de Graficets .....  | 146 |
| <b>Figura 99</b> Graficet de seguridad.....  | 147 |
| <b>Figura 100</b> Configuración de (Local_Pulse_2) en el PLC para el dispensado de vasos..                           | 150 |
| <b>Figura 101</b> Bloque CTRL_PTO_DB usado en dispensado de vasos .....  | 151 |
| <b>Figura 102</b> Graficet del dispensado de vasos .....   | 152 |
| <b>Figura 103</b> Configuración de (Local_Pulse_1) en el PLC para transporte de vaso hacia el cliente.....           | 153 |
| <b>Figura 104</b> Configuración general del objeto tecnológico Riel1.....  | 154 |
| <b>Figura 105</b> Configuración de accionamiento del objeto tecnológico Riel1 .....                                  | 154 |
| <b>Figura 106</b> Bloque de instrucciones MC_Power_DB de Riel1 .....   | 155 |
| <b>Figura 107</b> Bloque de instrucciones de MC_MoveJog de Riel1 .....   | 156 |
| <b>Figura 108</b> Graficet del transporte de cerveza hacia el cliente .....  | 157 |
| <b>Figura 109</b> Normalización y escalamiento de la variable de temperatura.....                                    | 159 |
| <b>Figura 110</b> Bloque de normalización .....  | 160 |
| <b>Figura 111</b> Bloque de Escalamiento.....  | 160 |
| <b>Figura 112</b> Variables detectadas en posición de 45°en entorno In-Sight.....                                    | 161 |
| <b>Figura 113</b> Configuración de la variable lógica existevaso45 .....   | 162 |
| <b>Figura 114</b> Configuración de la variable lógica vasocorrecto45 .....   | 162 |



|                   |  |     |
|-------------------|--|-----|
| <b>Figura 115</b> | Variables detectadas en posición de 90°en entorno In-Sight.....                      | 163 |
| <b>Figura 116</b> | Variables a habilitar desde el PLC a la cámara.....                                  | 164 |
| <b>Figura 117</b> | Variables enviadas desde la cámara al PLC.....                                       | 164 |
| <b>Figura 118</b> | Diagrama de Flujo Cámara.....  | 166 |
| <b>Figura 119</b> | Configuración de Tool 11 .....   | 167 |
| <b>Figura 120</b> | Configuración de Bases.....  | 167 |
| <b>Figura 121</b> | Diagrama de flujo de Programa principal de robot .....                               | 168 |
| <b>Figura 122</b> | Diagrama de flujo de Subrutina recoger.....  | 169 |
| <b>Figura 123</b> | Diagrama de flujo de Subrutina cerveza.....  | 170 |
| <b>Figura 124</b> | Diagrama de flujo de Subrutina Banda .....   | 171 |
| <b>Figura 125</b> | Diagrama de flujo de Subrutina Sobrecarbonatada .....                                | 172 |
| <b>Figura 126</b> | Diagrama de flujo de interrupción emergencia.....                                    | 173 |
| <b>Figura 127</b> | Diagrama de Conexiones del robot .....   | 181 |
| <b>Figura 128</b> | Diagrama de conexiones del sistema dispensador de vasos cerveceros ....              | 182 |
| <b>Figura 129</b> | Diagrama de conexiones del sistema de transporte de cerveza hacia el<br>cliente..... | 183 |
| <b>Figura 130</b> | Diagrama de conexiones del sistema dispensador de cerveza.....                       | 184 |
| <b>Figura 131</b> | Diagrama de conexiones para dar funcionalidad al pistón del Gripper .....            | 185 |
| <b>Figura 132</b> | Ubicación del robot y controlador dentro de la célula robótica .....                 | 187 |
| <b>Figura 133</b> | Empotramiento del Robot KUKA al suelo .....  | 187 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 134</b> Características del Controlador KRC4 .....  | 188 |
| <b>Figura 135</b> Instalación de la alimentación trifásica para el Robot.....   | 188 |
| <b>Figura 136</b> Dispositivos montados en un riel in en las primeras etapas de la célula robótica .....                                  | 189 |
| <b>Figura 137</b> Tablero de control de la célula robotizada .....  | 190 |
| <b>Figura 138</b> Elaboración del tablero de control .....  | 190 |
| <b>Figura 139</b> Fuente 24Vdc y controlador de la cámara industrial COGNEX.....  | 191 |
| <b>Figura 140</b> Ubicación del sistema dispensador de vasos cerveceros dentro de la célula robótica .....                                | 191 |
| <b>Figura 141</b> Primer diseño del sistema dispensador de vasos cerveceros.....  | 193 |
| <b>Figura 142</b> Sistema dispensador de vasos cerveceros y sus componentes.....  | 193 |
| <b>Figura 143</b> Ubicación del sistema de entrega de vasos dentro de la célula robótica ...  | 194 |
| <b>Figura 144</b> Primer diseño del sistema de transporte de cerveza hacia el cliente .....   | 195 |
| <b>Figura 145</b> Implementación del sistema de transporte de cerveza hacia el cliente .....  | 195 |
| <b>Figura 146</b> Sensores Fotoeléctrico e Inductivo del sistema de transporte de cerveza hacia el cliente .....                          | 196 |
| <b>Figura 147</b> Sensor fotoeléctrico, barrera reflectiva y sensor inductivo del sistema de transporte de cerveza hacia el cliente ..... | 196 |
| <b>Figura 148</b> Motor a pasos y riel del sistema transportador de cerveza hacia el cliente  | 197 |
| <b>Figura 149</b> .....   | 197 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 150</b> Canaleta por donde cruzan las conexiones del sistema dispensador de cerveza .....                    | 198 |
| <b>Figura 151</b> Almacenamiento del sistema dispensador de cerveza.....   | 199 |
| <b>Figura 152</b> PT100 utilizado en el sistema dispensador de cerveza.....  | 199 |
| <b>Figura 153</b> Elementos que permiten la circulación de la cerveza a través del sistema dispensador de cerveza..... | 201 |
| <b>Figura 154</b> Elementos utilizados para la activación para las electroválvulas .....                               | 201 |
| <b>Figura 155</b> Caja diseñada para el sistema dispensador de cerveza.....  | 202 |
| <b>Figura 156</b> Instalación de la cámara y lámpara led dentro de la caja .....                                       | 203 |
| <b>Figura 157</b> Ubicación de la cámara dentro de la caja.....  | 203 |
| <b>Figura 158</b> Ubicación de la estación del operador dentro de la célula robótica.....                              | 204 |
| <b>Figura 159</b> Estación del Operador .....  | 204 |
| <b>Figura 160</b> Ubicación del compresor dentro de la célula robótica .....   | 205 |
| <b>Figura 161</b> Compresor y llave de paso.....   | 205 |
| <b>Figura 162</b> Montaje y conexión de las electroválvulas neumáticas .....   | 206 |
| <b>Figura 163</b> Pruebas de funcionamiento del sensor fotoeléctrico reflectivo .....                                  | 207 |
| <b>Figura 164</b> Pruebas de funcionamiento del sensor fotoeléctrico SM312CV2QD .....                                  | 209 |
| <b>Figura 165</b> Pruebas de funcionamiento del PT100.....   | 210 |
| <b>Figura 166</b> Pruebas de funcionamiento del sensor Inductivo .....   | 212 |
| <b>Figura 167</b> Posición de luxómetro .....  | 216 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 168</b> Vaso dispensado con 10.5cm de líquido y 2 cm de espuma.....    | 222 |
| <b>Figura 169</b> Vaso dispensado con 12cm de líquido y 1.5 cm de espuma.....    | 223 |
| <b>Figura 170</b> Vaso dispensado con 10.5cm de líquido y 3 cm de espuma.....    | 223 |
| <b>Figura 171</b> Vaso dispensado con 11cm de líquido y 2.5 cm de espuma.....    | 224 |
| <b>Figura 172</b> Vaso dispensado con 11cm de líquido y 2 cm de espuma.....      | 224 |
| <b>Figura 173</b> Vasos dispensados con 1 cm de espuma y 14.5cm de cerveza ..... | 225 |
| <b>Figura 174</b> Cerveza sobre carbonatada .....                                | 228 |

## Resumen

El presente trabajo contempla el desarrollo de una célula robotizada demostrativa para dispensar cerveza, controlada a través de una aplicación para plataformas móviles con la finalidad de facilitar la interacción entre el robot y el usuario. Además de contar con una HMI para el monitoreo del proceso por parte de un operador. Este proyecto fue diseñado e implementado con los componentes activos y pasivos necesarios para servir y distribuir la cerveza de manera correcta, entre ellos un brazo robótico, que permite movilizar el vaso por las tres etapas que comprende el proceso las cuales son: sistema de dispensador de vasos cervenceros, sistema dispensador de cerveza y sistema de transporte de cerveza hacia el cliente. Se puede enfatizar el uso de la cámara Industrial Cognex como sensor de visión artificial que, por medio de patrones programados, muestra una respuesta acerca del dispensado realizado, encendiendo las alarmas correspondientes de ser el caso o pasarlo como correcto al tener las proporciones correctas de líquido y espuma de la bebida. Una vez integrado este dispositivo con la célula robotizada se obtiene como resultado un tiempo menor a 1.30 min desde que se realiza el pedido hasta que el cliente retira su producto.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **CÉLULA ROBOTIZADA**
- **DISPENSADO DE CERVEZA**
- **COGNEX IN-SIGHT**
- **APLICACIÓN MÓVIL**

## Abstract

The present work contemplates the development of a demonstrative robotic cell to dispense beer, controlled through an application for mobile platforms, in order to facilitate interaction between the robot and the user. In addition to having an HMI for monitoring the process by an operator, this project was designed and implemented with the active and passive components necessary to serve and distribute the beer correctly, including a robotic arm, which allows the glass to be moved through the three stages that comprise the process, which is: the beer dispenser system, beer glasses dispenser system, beer dispensing system, and beer transport system to the customer. The use of the Cognex Industrial camera can be emphasized as an artificial vision sensor that, through programmed patterns, shows a response to the dispensing carried out, turning on the corresponding alarms, if applicable, or passing it as correct by having the correct proportions of liquid and drink foam. Once this device is integrated with the robotic cell, the result is a time of less than 1.30 min from when the order is placed until the customer picks up their product.

### **KEYWORDS:**

- **ROBOTIZED CELL**
- **DISPENSING OF BEER**
- **COGNEX IN-SIGHT**
- **MOBILE APP**

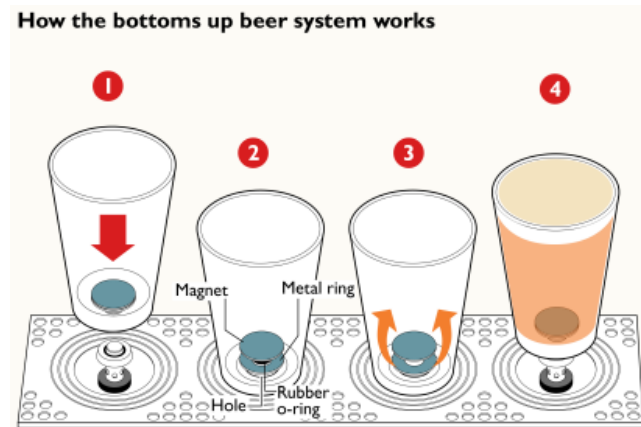
## Capítulo I

### Introducción

#### Antecedentes

Actualmente se busca introducir la tecnología al entorno cotidiano, una de estas es el empleo de robots en diferentes circunstancias fuera de las industrias y llevarlos a un ámbito comercial, como es el caso de dispensado de bebidas entre ellas aquellas que tienen grado alcohólico, estos proyectos tienen una buena acogida debido al entretenimiento, innovación y eficiencia que este empleo demuestra en los establecimientos donde son instalados, en este apartado se muestra algunos ejemplos del uso de la tecnología en coctelería y especialmente en el dispensado de cerveza, puesto que el presente proyecto se centra en esta actividad.

En el mercado existen varios sistemas de dispensado de bebidas, entre ellos dispensadores automatizados de cerveza, así, por ejemplo; “Bottoms Up Beer” que emplea vasos con imanes en el inferior del mismo para el llenado del producto (Ver Figura 1), este tiene una gran innovación ya que permite realizar otras actividades garantizando las manos libres, prácticamente sin desperdicios y un ROI rápido (BottomsUpBeer.com, 2020) pero los vasos implementados deben ser especialmente diseñados para este tipo de sistema al igual que el magnético que obstruye el orificio, por otro lado se encuentra el sistema “BeerJet”, el cual puede dispensar hasta 6 cervezas de una forma un poco más convencional, regulando la espuma de la cerveza servida.

**Figura 1***Dispensado con Bottoms up Beer***Nota:** Recuperado de (Godden, 2019)

Dentro del campo de la robótica, en el entorno de bebidas y coctelería, se encuentra el sistema más conocido y comercial “Makr Sharkr”, que se encuentra instalado en algunos lugares alrededor del mundo como: Milán, Praga, Las Vegas, Londres, Reykjavík (Makr Shagr, 2020) e incluso en algunos cruceros y resort como los de Royal Caribbean, ver Figura 2, ya que con el empleo de estos robots se pueden producir dos bebidas por minuto y pueden realizar hasta 1000 mezclas cada día. Los invitados crean un pedido, ya sea una solicitud personalizada o un elemento del menú estándar, en una tableta especialmente programada o con el personal. Pueden realizar un seguimiento de su pedido en la pantalla digital junto a la barra (Royal Caribbean, 2016). De este sistema cabe destacar sus componentes: los robots, el núcleo del programa, la aplicación que los impulsa y la estética que muestra al público.



**Figura 2**

*Mark Shagr instalado en Royal Caribbean*



**Nota:** Recuperado de (Makr Shagr, 2020)

El uso de robots Barman para el dispensado de cervezas surge de algunas consideraciones entre ellas el crecimiento del mercado y algunas dificultades técnicas que se presentan en el desarrollo de esta actividad por parte del talento humano, por otro lado, con tecnología actual se busca realizar este proceso garantizando un mejor vertido, más eficiente, más rápido y disminuyendo el desperdicio del producto.

Hace 3 años los robots orientados al dispensado de cerveza no estaban implementados desde un punto de vista comercial, sino que eran parte de prototipos en varias exposiciones realizadas por los fabricantes como es el caso de Paulii, el robot KUKA capaz de servir cerveza desde una botella hacia un vaso que se encuentra en una base de 45° que fue presentado en el Hannover Messe 2015. En el año 2016, se implementó The Paulii Brothers constituido por dos robots colaborativos KUKA LBR iiwa, donde uno sostenía la botella de cerveza y el otro el vaso,

sincronizando los movimientos para servirla adecuadamente y sin trizar el vaso empleado (Götz, 2016), como se muestra en la Figura 3.

### Figura 3

*Paulii Brothers en Hannover Fair 2016*



**Nota:** Recuperado de (Götz, 2016)

Desde el 2018 se registran investigaciones en el campo de dispensado de cerveza, dado al crecimiento de ventas de estas bebidas alrededor del mundo, sin embargo, estas no son sencillas de tratar debido a que sus características pueden cambiar fácilmente de un tipo de cerveza a otra, además de las características como la presión del tanque influenciado tanto por la presión interna y la del entorno en el que se encuentra, conjuntamente con la temperatura de la cerveza, la cual puede modificar las características de la misma en su dispensado. En el prototipo de Peano Daniele del Politecnico Di Torino (Peano, 2018), se emplea un robot colaborativo de ABB siendo este el modelo The Yumi, el cual cuenta con dos brazos mecánicos con 7 d.o.f , el brazo derecho fue el encargado de sostener el vaso y dirigirlo al dispensador , mientras que el izquierdo abría la válvula para servir un solo tipo de cerveza.

Por motivo de la pandemia, la empresa MACCO dio a conocer a Beer Cart (Montero, 2020) en Sevilla, visualizar Figura 4, el cual consiste en tomar la orden en una pequeña pantalla del bar “La gitana Loca” , lugar donde fue instalado el sistema, el proceso comienza con la recepción de la orden hacia el brazo robótico, este se acerca a un dispensador, toma un vaso de plástico y luego gira para sostenerlo en ángulo de 45° debajo del grifo, posteriormente comienza a enderezar gradualmente el envase a medida que se llena, el robot luego lo coloca en el mostrador para que el cliente lo recoja, dando una innovación novedosa no solo al bar donde está colocado, sino también a la empresa MACCO donde se visualiza que se han ido extendiendo a otros ámbitos más cotidianos para el ser humano y no solo a la industria.

#### **Figura 4**

*Beer Cart, sirviendo cerveza al cliente*



**Nota.** Recuperado de (Montero, 2020)

#### **Justificación e Importancia**

La pandemia obligó a ingeniar maneras de proteger la salud de las personas mientras se retomaban las actividades cotidianas, por lo que es fundamental avanzar en la investigación

científica de proyectos que puedan impedir un posible contagio (GTM, 2020). Ante esta problemática se ha generado gran potencialidad en proyectos no industriales en el ámbito de la robótica, la cual se está introduciendo de manera acelerada con la finalidad que la interacción robot humano sea más frecuente sin necesidad de que haya un intermediario humano que corra el riesgo de contagiarse, logrando así la inclusión del robot en las actividades cotidianas de las personas (Valverde Castro, 2020).

Según The Edge Markets (2020), El nuevo estilo de vida que ha impuesto la pandemia ha impulsado a que grandes cadenas de restaurantes decidan adentrarse en el mundo tecnológico, desarrollando e implementando proyectos orientados al uso de robots para desempeñar tareas de los trabajadores, optimizando tiempos de producción y logrando una mayor rentabilidad para las empresas.

Ante la problemática descrita, el proyecto propuesto busca realizar el diseño e implementación de una célula robotizada con el trabajo conjunto de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” y la empresa auspiciante, la misma que proveerá de los materiales y capital necesario para sobrellevar el proyecto de manera correcta, el mismo que se desarrolla en el ámbito de la robótica social. Este proyecto está orientado a la innovación de la forma en que los restaurantes o centros de recreación puedan servir bebidas, con el fin de reducir el contacto entre las personas salvaguardando la integridad de los clientes.

La importancia del presente proyecto reside en la cantidad de tecnologías que se deben sincronizar para lograr el correcto funcionamiento de la célula robotizada. Se relacionan conocimientos de redes industriales, instrumentación y sensores, robótica, electro fluidos, PLC y control industrial. Las cuales son asignaturas esenciales de la carrera de Ingeniería en

Automatización y Control; por lo cual el proyecto representa un excelente ejemplo académico que puede ser usado para la enseñanza o de apoyo para el desarrollo de proyectos futuros.

Otro aspecto importante es la alta potencialidad de marketing para la empresa auspiciante y para la empresa que decida implementar este proyecto, la razón es que se va a dar solución a problemas actuales que vive la sociedad con la pandemia y con la estrategia de marketing adecuada podría llegar a alcanzar un alto grado de difusión mediática porque una célula robotizada con esta funcionalidad y características no se ha visto implementada todavía en el país.

### Alcance del Proyecto

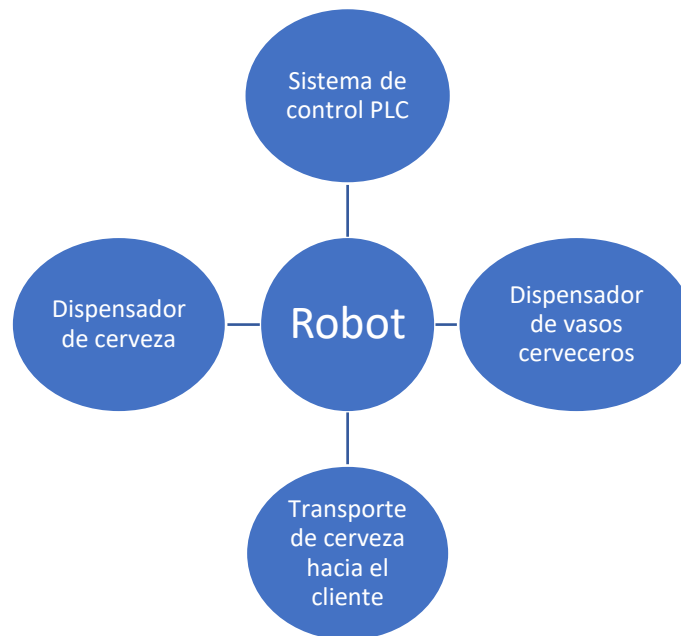
El proyecto tiene como finalidad realizar una célula robotizada capaz de integrar las tecnologías necesarias para lograr servir la cerveza de manera correcta y de forma óptima, según los requerimientos acordados con la empresa auspiciante.

Se cuenta con una aplicación para plataformas móviles en la cual el cliente realiza su pedido, en donde se selecciona la cantidad y tipo de cerveza deseados, estos requerimientos son enviados hacia un controlador para iniciar con el proceso, el brazo robótico se dirige hacia el área de dispensado de vasos en donde se recoge una unidad, posteriormente se traslada hacia un dispensador de cerveza donde el brazo robótico y el sistema de electroválvulas debe trabajar de manera síncrona con el fin de obtener una relación entre líquido y espuma de cerveza adecuadas. Para finalizar, el brazo robótico se dirige hacia el área donde se entrega el pedido al cliente por medio de un sistema de transporte.

Se comienza realizando una investigación de la funcionalidad y delineamientos de los componentes pasivos y activos que integran la célula robotizada, estos se dividen a grosso modo en 5 unidades descritos en el diagrama de bloques de la Figura 5.

**Figura 5**

*Esquema de bloques de la célula robotizada.*



El sistema dispensador de cerveza está constituido por electroválvulas que permiten controlar la forma de servir la cerveza guardando una proporción de líquido y espuma aceptable, dentro del rango de 1 a 2 dedos, también se dispone de actuadores para el dispensado de vasos cerveceros y para el transporte de la cerveza hacia el cliente.

Se hace uso de la instrumentación necesaria en los sistemas de almacenamiento y dispensado de la cerveza con la finalidad de monitorizar que la bebida se encuentre en las condiciones adecuadas para el cliente, de igual manera se emplean sensores de presencia para gestionar la activación o desactivación del sistema de transporte. Toda la instrumentación y los actuadores elegidos son gestionados por un PLC.

Se desarrolla una aplicación para plataformas móviles, en la cual se muestra el menú de cervezas y presentaciones de las mismas donde los clientes pueden seleccionar su pedido. Esta

información es enviada al controlador de la célula robotizada para ordenar al brazo robótico la ejecución del programa que permitan cumplir con la tarea de dispensado.

Se programa el algoritmo que contempla los movimientos y recorridos que el robot debe realizar para cumplir con todas las etapas que comprende la cadena de producción de la célula robotizada desde la recolección de los vasos, el direccionamiento hacia los dispensadores de cerveza, en el cual debe colocar el vaso en las posiciones correctas para obtener un producto servido correctamente, posteriormente se dirige hacia el actuador designado colocando el vaso en este para su despacho.

Una vez realizadas las pruebas individuales de cada bloque funcional, se procede con la integración y optimización de los sistemas, teniendo como resultado la célula robotizada con todos sus requerimientos. De igual forma para el monitoreo y visualización de alarmas y variables de la célula robotizada se desarrolla una interfaz humano-máquina HMI. Para finalizar se realiza pruebas que permitan analizar el proyecto en conjunto.

## Objetivos

### *Objetivo General*

Automatizar el dispensado de cerveza mediante el diseño de una célula robotizada demostrativa basada en un brazo robótico KUKA, para mejorar la calidad y tiempo de entrega del producto.

### *Objetivos Específicos*

- Determinar los componentes pasivos y activos que conforman la célula robotizada, necesarios para cumplir con los requerimientos establecidos.

- Diseñar y dimensionar el dispensado de cerveza tomando en consideración las variables involucradas en este proceso, a fin de mantener la relación correcta entre líquido y espuma.
- Realizar la programación para el manejo del brazo robótico con el fin de cumplir con las etapas para dispensado correcto de las bebidas.
- Diseñar una aplicación para plataformas móviles para facilitar la interacción entre el consumidor final y la célula robotizada.
- Diseñar una interfaz de usuario intuitiva y de fácil manejo para el control, supervisión y mantenimiento de la célula robotizada.
- Realizar pruebas de funcionamiento de los diferentes sistemas que conforman la célula robotizada.
- Realizar la integración total de la célula robotizada y realizar pruebas de funcionamiento conjunto.



## Capítulo II

### Marco Teórico

En el presente capítulo se aborda varias consideraciones teóricas que sirven de antesala para las siguientes etapas de desarrollo del proyecto. Este apartado se divide en tres temas principales: célula robotizada, compuesta por todos los elementos y definiciones relacionadas en este conjunto; lenguajes de programación, que son la base de la programación de los Softwares utilizados para configurar los dispositivos y elementos de la célula robotizada. Y por último el dispensado de cerveza, donde se observa las definiciones relacionadas, además de las condiciones adecuadas en las que debe ser servida una cerveza.

#### Célula robotizada

La célula robotizada es un área de trabajo donde se agrupan uno o más robots que trabajan en conjunto con la maquinaria y elementos necesarios para desarrollar y optimizar un determinado proceso (Barbecho, 2020).

A continuación, se describe como estas células robotizadas también se han ingresado en la parte comercial con la robótica social y posteriormente se describen los elementos que abarca este conjunto desde el punto de vista del dispensador de cerveza, donde se tiene como eje principal el robot, seguido de actuadores, como motores y diferentes sensores, dentro de estos se ha incluido a la visión artificial que se consideran los ojos de esta nueva forma de trabajar, ya que permiten autonomía a la misma. Por otra parte, se tienen protocolos de comunicación que pueden ser utilizados para la integración con dispositivos externos como: HMI y plataformas móviles.

### *Robótica Social*

El ser humano en busca de mejorar la calidad de vida de las personas ha ido evolucionando junto con la tecnología, actualmente está inmersa en todos los ámbitos que contribuyen al desarrollo de las sociedades, como puede ser la medicina, la urbanística, la agricultura, entre otros. Uno de los principales agentes que ha facilitado este desarrollo tecnológico-social es el uso de robots, por lo cual se ha adoptado el término de robótica social, el cual se define como la interacción de un agente robotizado autónomo que sea capaz de tener un comportamiento comunicativo, logrando interactuar con el entorno que lo rodea (Torras, 2015).

Los robots son uno de los principales promotores de la robótica social, ya que estos pueden interactuar con las personas, ejecutando labores que requieran una gran demanda de esfuerzo, optimizando los tiempos y de esta manera facilitando el día a día de las personas. En la Industria 4.0 se ha vuelto indispensable la interacción entre los operarios y los robots, lo que ha dado cabida al uso de robots colaborativos que ayudan en los procesos productivos y facilitan el desarrollo de los proyectos (Gandino & Mamani, 2020).

La robótica social está muy desarrollada hasta el punto de lograr que los robots puedan representar emociones y poder tener una interacción más íntima con las personas. Las últimas generaciones de robots poseen inteligencia artificial que les permite aprender de su entorno y poder adaptarse a los ambientes en los que se desenvuelven obteniendo así una mayor autonomía, dando la impresión de que estos están totalmente conscientes de sus acciones. Es aquí donde entra en conflicto los valores éticos que se tendrá que prever a futuro con el desarrollo de robots cada vez más sofisticados y que puedan desarrollar capacidades para

pensar por sí solos, tomando posibles decisiones que puedan afectar a las personas (Porcelli, 2020).

### *Robot*

El termino robot nace de la palabra robota que significa fuerza del trabajo o servidumbre, esta fue ganando reconocimiento en los años veinte por su uso en teatros y películas con temáticas futuristas. En la industria se denomina robot a los autómatas construidos con la finalidad de replicar las actividades ejercidas por los trabajadores, con la finalidad de optimizar los procesos. También se lo denomina como un manipulador multifuncional reprogramable diseñado para mover materiales, partes, herramientas o dispositivos especializados a través de movimientos programados para la ejecución de una variedad de tareas (Caparoso et al., 1999).

### *Motores paso a paso*

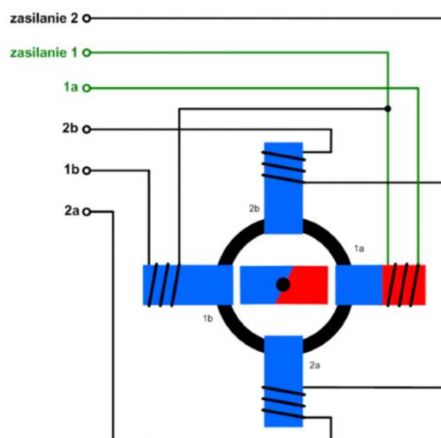
Un motor paso a paso tiene dos principales componentes, el estator y el rotor. El rotor está ubicado en la pieza móvil del motor, el cual, al ser energizado, gira en su propio eje al ser estimulado por un campo electromagnético producido por el estator.

#### **Motores Unipolares**

Estos motores comparten un cable en común de alimentación para energizar dos bobinas, por lo cual se crea un solo polo magnético para atraer al polo del rotor (Electronic Components, 2020). El bobinado de estos motores se lo puede observar en a la Figura 6.

**Figura 6**

*Motor Unipolar conexión de devanados*



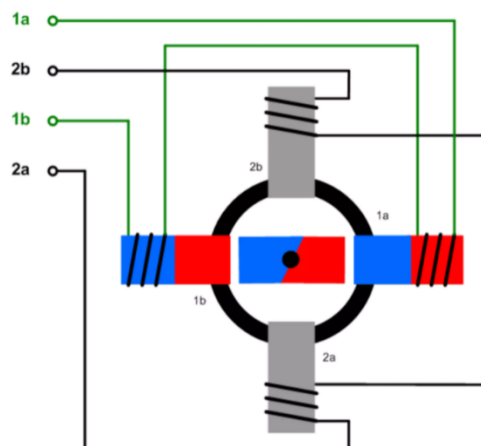
**Nota.** Recuperado de (Electronic Components, 2020)

### Motores Bipolares

Estos motores tienen una alimentación individual para energizar cada bobina, por lo cual se crean simultáneamente dos polos magnéticos que interactúan con el polo del rotor. El bobinado de estos motores se lo puede observar en a la Figura 7. El control de estos motores se lo debe realizar con una tarjeta controladora porque es complicado generar una alimentación secuencial correcta en las bobinas para controlar la dirección de giro y velocidad del motor (Electronic Components, 2020).

**Figura 7**

*Motor Bipolar conexión de devanados*



**Nota.** Recuperado de (Electronic Components, 2020)

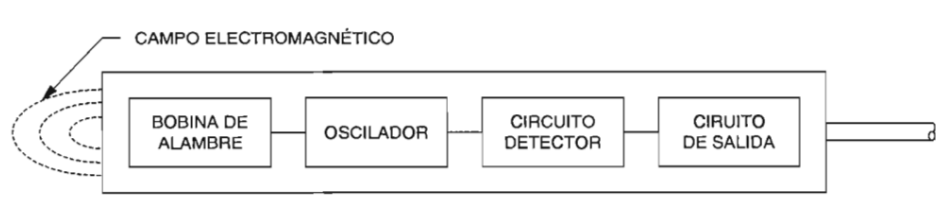
*Sensores de presencia*

Inductivo

Los sensores de proximidad inductivos son fabricados para detectar materiales metálicos. Su principio de funcionamiento observado en la Figura 8, radica en una bobina que genera un campo magnético, el cual cambia su valor al ser perturbado por un objeto metálico (Lab-Volt Quebec Ltda., 2000).

**Figura 8**

Principio de funcionamiento del sensor inductivo



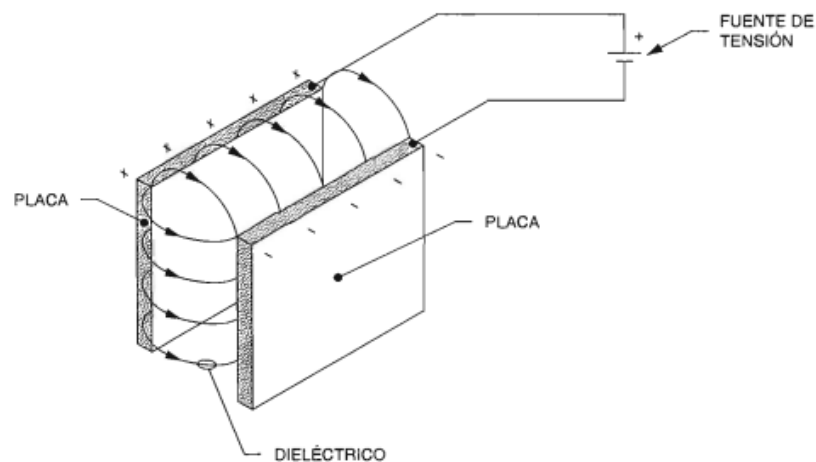
**Nota.** Recuperado de (Lab-Volt Quebec Ltda., 2000)

## Capacitivo

Los sensores capacitivos se diseñan para detectar tanto objetos metálicos como no metálicos. Su principio de funcionamiento observado en la Figura 9, radica en la generación de un campo electroestático el cual varía al ser interrumpido por la presencia de algún objeto (Lab-Volt Quebec Ltda., 2000).

### Figura 9

*Principio de funcionamiento del sensor capacitivo*



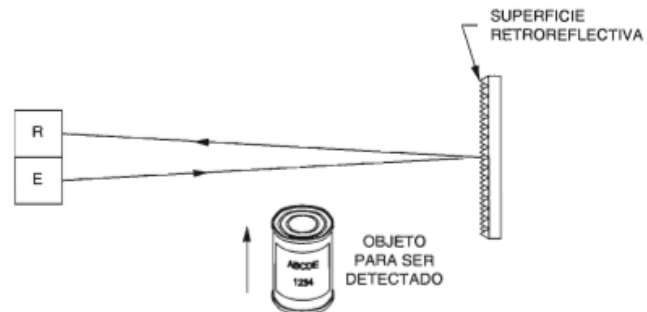
**Nota.** Recuperado de (Lab-Volt Quebec Ltda., 2000)

## Fotoeléctrico

La detección con retroflexión es el método más habitual dentro del uso de sensores fotoeléctricos en la industria. Su principio de funcionamiento mostrado en la Figura 10, presenta un emisor de haz de luz, una barrera reflectiva y un receptor. Cuando haya una interrupción en la emisión del haz de luz del hacia el receptor, el sensor interpretara que ha detectado un objeto (Lab-Volt Quebec Ltda., 2000).

**Figura 10**

*Principio de funcionamiento del sensor fotoeléctrico*

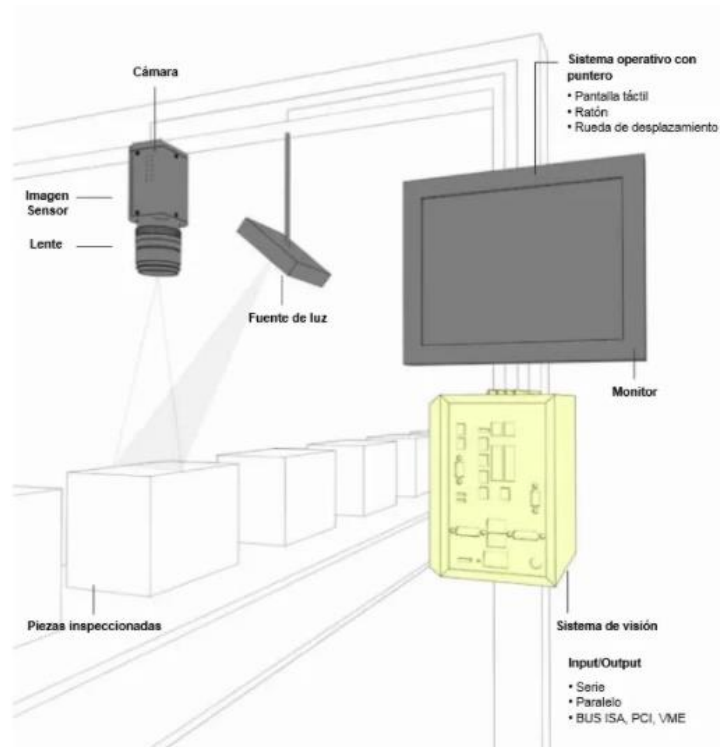


**Nota.** Recuperado de (Lab-Volt Quebec Ltda., 2000)

### *Visión artificial*

Es uno de los campos de la inteligencia artificial, esta emplea algunos métodos y técnicas para obtener, procesar y finalmente analizar imágenes digitales, entregando información capaz de ser utilizada por una máquina u algoritmo, con la cual se toman decisiones en los procesos de automatización. Esta tecnología suele ser utilizada para comprobar ciertas condiciones como: números de serie, dimensiones, analizar color, detectar bordes y formas, miden nivel de luz, presencia de componentes, etc. Permitiendo realizar inspecciones sin contacto físico ayudando a los controles de calidad (Gobierno de España, 2012).

En la Figura 11 se muestran algunos componentes que conforman un sistema de visión artificial los cuales son: el sensor de imagen o cámara, iluminación externa en caso de requerirla, comunicaciones y software procesador de imágenes. (Cognex, 2022a)

**Figura 11***Componentes de la visión artificial***Nota:** Recuperado de (Cognex, 2022a)

### Cognex

Entre muchos fabricantes y desarrolladores de la tecnología de visión artificial tenemos a Cognex, que es líder mundial en esta industria con su software propio que activa funcionalidades dependiendo del elemento adquirido. Esta empresa tiene oficinas a nivel mundial y sus productos han sido empleados en aplicaciones tanto industriales como comerciales. (Cognex, 2022)

### PROFINET

Es un protocolo de comunicación ampliamente estandarizado en la industria, basada en una conectividad con el cable Ethernet. Este protocolo permite manejar datos a una velocidad



de los Gigabits y posee un alto grado de escalabilidad por su compatibilidad con el protocolo Ethernet/TCP/IP (Ayllon, 2021).

### *Aplicación para plataformas móviles*

El uso de un teléfono inteligente ha sido indispensable en los últimos tiempos y esto se debe a la infinidad de aplicaciones que son diseñadas para ser instaladas y ejecutadas en dispositivos móviles, estas facilitan la cotidianidad de las personas en el ámbito informativo, logístico, entretenimiento, entre otros (Thomas et al., 2018).

Las aplicaciones son diseñadas específicamente para desempeñarse en un sistema operativo, los más conocidos son IOS Y Android, estos ocupan más del 90 % de mercado mundial y tienen sus propias plataformas para el desarrollo de aplicaciones. Esta competitividad ha afectado a los desarrolladores, puesto que se debe decidir para que sistema operativo se está diseñando la aplicación. Otro de los factores que afectan a los desarrolladores móviles son la variedad de dispositivos, marcas y diseños que existen en el mercado, estos pueden influir en el rendimiento que tiene la aplicación dentro del dispositivo móvil, afectando el rendimiento de ciertos parámetros como la duración de la batería, la resolución de la pantalla y la capacidad de procesamiento (Enriquez & Casas, 2013).

### *Interfaz humano-máquina HMI*

Según Ruiz et al. (2008), el uso de una HMI es indispensable en la Industria para que el operador este en constante interacción con un determinado Hardware, esta interfaz deberá mostrar variables de proceso, variables de control, datos numéricos, gráficas, e históricos. Ayudando al operador a visualizar de manera clara y en tiempo real todo lo que está sucediendo en el proceso.

Otra definición es proporcionada por Ortiz (2018), el cual menciona que la HMI permite ejecutar operaciones de control, brindando al operador la facilidad de visualizar el estado de las variables del proceso o máquina y permitirle modificar parámetros de las variables a controlar. Este autor también presenta un procedimiento para implementar una HMI de la manera correcta, primero sugiere tomar en cuenta el medio físico y el protocolo a utilizar de los dispositivos a comunicar (PLC y HMI), luego se procede a enlazar las variables a comunicar entre estos dispositivos y para finalizar se realiza un esquema con la ubicación de todos los objetos o íconos que se va a utilizar. Entre las pantallas que recomienda diseñar están: Pantalla principal, Pantalla de monitoreo, Pantalla de mando de variables, entre otras.

### Lenguajes de programación

Todos los dispositivos y artefactos actualmente requieren de un lenguaje de programación el mismo que les permite cumplir sus funciones adecuadamente, controlando el comportamiento físico o lógico de una máquina por medio de una serie de instrucciones la cual está conformada mediante un conjunto de símbolos y códigos. (Rockcontent, 2019)

#### *KRL*

Este lenguaje es utilizado por la compañía KUKA para sus robots, sus siglas significan “KUKA Robot Language”, el mismo que ha sido basado en PASCAL. Al realizar un programa con él se podrá observar que tiene dos ficheros con extensión .src y dat, los cuales tienen los comandos de los movimientos y el otro los datos permanentes respectivamente. (Comins, 2019)

En este lenguaje de programación se puede realizar la declaración de variables, se realizan estructuras, bucles, instrucciones de movimiento controlando la velocidad y aceleración de los diferentes ejes del robot y la ruta tomada ya sea lineal o circular (Ver Figura 12), además

se tienen instrucciones de entrada y de salida con las cuales se realiza la integración con otros dispositivos externos como es un PLC.(KUKA Roboter GmbH, 2015)

## Figura 12

### Ejemplo de programa KRL

```

...
1 DECL TorqLimitParam myParams
...
2 FOR i = 1 to 6
3   myParams.lower = $holding_torque[i] - 500
4   myParams.upper = $holding_torque[i] + 500
5   myParams.monitor = #off
6   myParams.max_lag = 0.1
7 SET_TORQUE_LIMITS(i, myParams)
8 ENDFOR
9 $acc.cp = my_low_acceleration
10 $vel.cp = my_low_velocity
11 LIN P7
12 LIN P8
13 LIN P9
14 FOR i = 1 to 6
15   myParams.lower = -1E10
16   myParams.upper = 1E10
17   myParams.monitor = #on
18 SET_TORQUE_LIMITS(i, myParams)
19 ENDFOR
20 $acc.cp = my_high_acceleration
21 $vel.cp = my_high_velocity
22 LIN P10
...

```

**Nota:** Recuperado de (KUKA Roboter GmbH, 2015)

### Lenguaje Ladder

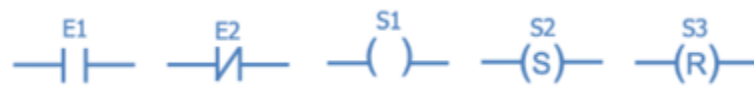
El lenguaje de programación Ladder o mejor conocido como de escalera es una de las formas de programación grafica más utilizados a nivel industrial, este se deriva de la programación lógica de relés y su fácil metodología permite a los programadores adaptarse y entender el entorno de programación de manera sencilla (Brunete et al., 2020). El lenguaje Ladder se encuentra estandarizado en la normativa IEC 61131-3 y para ser comprendido basta con conocer los elementos básicos observados en la Figura13.

- E1 Contacto normalmente abierto

- E2 Contacto normalmente cerrado
- S1 Salida, bobina o relé
- S2 Activar Salida con memoria
- S3 Desactivar salida con memoria

**Figura 13**

*Elementos básicos de la programación Ladder*



**Nota:** Recuperado de (Brunete et al., 2020)

**Softwares de Programación.**

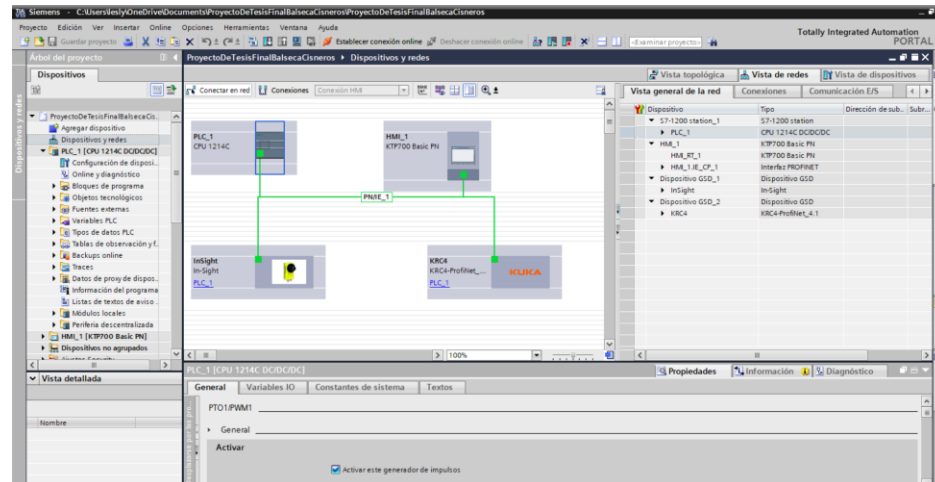
A continuación, se presentará los softwares utilizados en los dispositivos o elementos componentes de la célula robotizada que requerían de una configuración o programación.

*TIA Portal*

Es un software desarrollado por la compañía SIEMENS, con sus siglas que significan “Totally Integrated Automation Portal”, este ofrece un acceso total a la automatización aportando flexibilidad a los programadores de esta marca. Además, con el empleo de los distintos complementos y GSD que permiten controlar dispositivos externos como sensores y actuadores, siendo ideal para la integración de una célula robotizada. En la Figura 14 se puede visualizar el entorno de programación de este software.

Figura 14

Interfaz de software TIA PORTAL



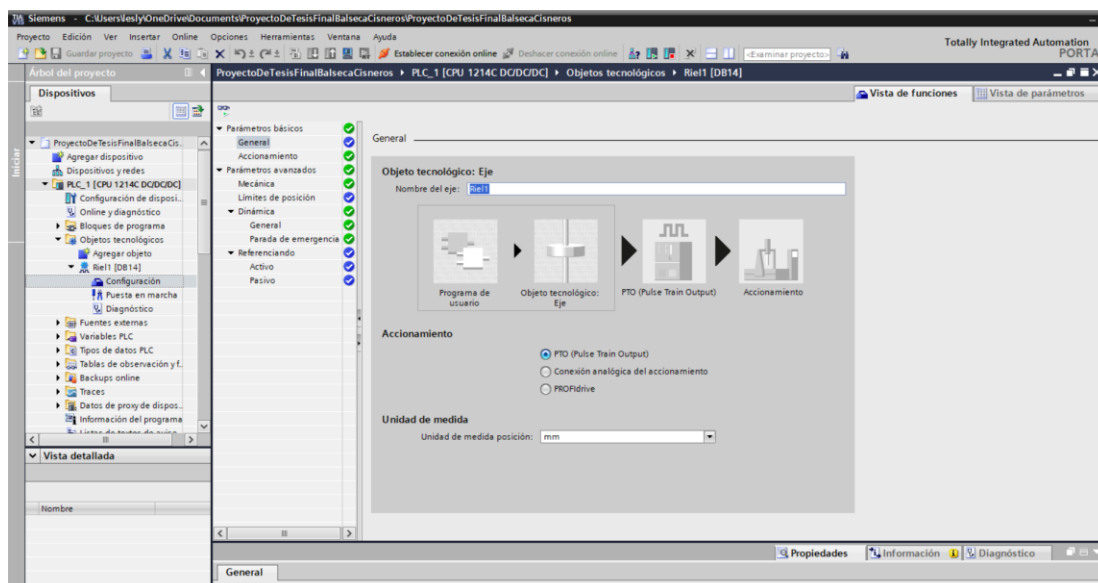
### Motion control

Este complemento que ofrece TIA Portal sirve para el control de motores paso a paso y servomotores, donde a través de la configuración de objetos tecnológicos se pueden controlar las salidas del PLC con una conexión de accionamiento a través de PTO (Pulse Train Output).

En la Figura 15, se tiene el entorno de configuración para objetos tecnológicos con parámetros básicos como tipo de accionamiento y a que generador de impulso se realizara la programación y las salidas asignadas. Además, en parámetros avanzados se tendrá la parte mecánica con los impulsos que dará por vuelta y los límites de hardware y software asignados.

Figura 15

Entorno de configuración de objeto tecnológico



Se debe tener en cuenta que cada CPU o signal board tiene una frecuencia límite para cada una de sus salidas, como se muestra en la Figura 16.

Figura 16

Límites de frecuencias para cada salida dependiendo CPU o signal Board

| Integrada                                 | Q0.0        | Q0.1        | Q0.2        | Q0.3        | Q0.4       | Q0.5       | Q0.6       | Q0.7       | Q1.0       | Q1.1    |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------|
| CPU 1211<br>(DC/DC/DC)                    | 100<br>kHz  | 100<br>kHz  | 100<br>kHz  | 100<br>kHz  | -          | -          | -          | -          | -          | -       |
| CPU 1212<br>(DC/DC/DC)                    | 100<br>kHz  | 100<br>kHz  | 100<br>kHz  | 100<br>kHz  | 20 kHz     | 20 kHz     | -          | -          | -          | -       |
| CPU 1214(F)<br>(DC/DC/DC)                 | 100<br>kHz  | 100<br>kHz  | 100<br>kHz  | 100<br>kHz  | 20 kHz     | 20 kHz     | 20 kHz     | 20 kHz     | 20 kHz     | 20 kHz  |
| CPU 1215(F)<br>(DC/DC/DC)                 | 100<br>kHz  | 100<br>kHz  | 100<br>kHz  | 100<br>kHz  | 20 kHz     | 20 kHz     | 20 kHz     | 20 kHz     | 20 kHz     | 20 kHz  |
| CPU 1217<br>(DC/DC/DC)                    | 1 MHz       | 1 MHz       | 1 MHz       | 1 MHz       | 100<br>kHz | 100<br>kHz | 100<br>kHz | 100<br>kHz | 100<br>kHz | 100 kHz |
| <b>Signal Board</b>                       | <b>Qx.0</b> | <b>Qx.1</b> | <b>Qx.2</b> | <b>Qx.3</b> | -          | -          | -          | -          | -          | -       |
| Signal Board<br>DI2/DQ2 x DC24V<br>20kHz  | 20 kHz      | 20 kHz      | -           | -           | -          | -          | -          | -          | -          | -       |
| Signal Board<br>DI2/DQ2 x DC24V<br>200kHz | 200<br>kHz  | 200<br>kHz  | -           | -           | -          | -          | -          | -          | -          | -       |
| Signal Board<br>DQ4 x DC24V<br>200kHz     | 200<br>kHz  | 200<br>kHz  | 200<br>kHz  | 200<br>kHz  | -          | -          | -          | -          | -          | -       |
| Signal Board<br>DI2/DQ2 x DC5V<br>200kHz  | 200<br>kHz  | 200<br>kHz  | -           | -           | -          | -          | -          | -          | -          | -       |
| Signal Board<br>DQ4 x DC5V<br>200kHz      | 200<br>kHz  | 200<br>kHz  | 200<br>kHz  | 200<br>kHz  | -          | -          | -          | -          | -          | -       |

**Nota:** Recuperado de (SIEMENS, 2016)

Para programar este objeto tecnológico se tiene instrucciones propias para ejecutar las funciones deseadas las cuales se numeran a continuación algunas de las principales.

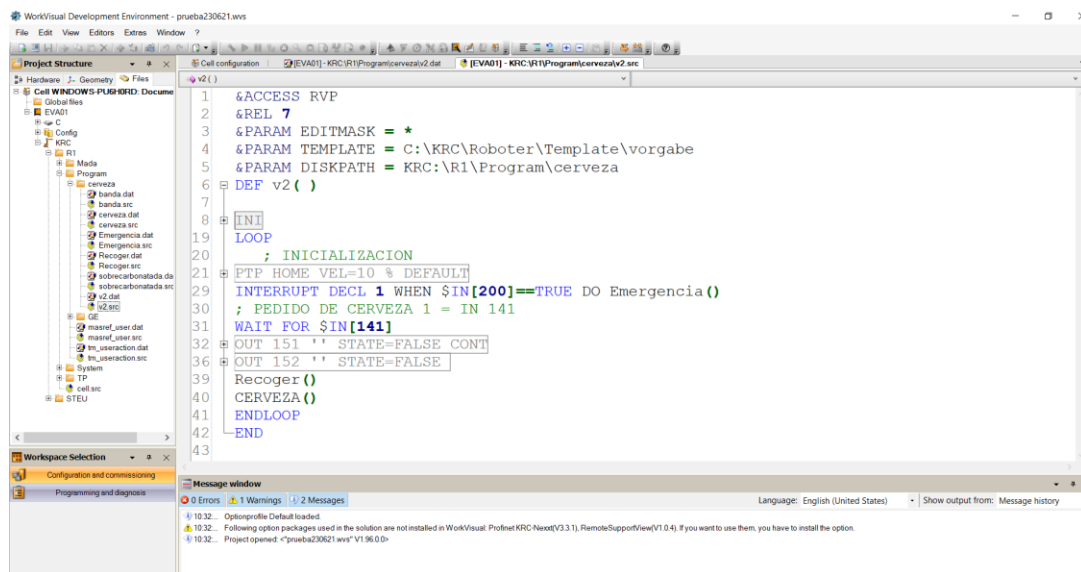
- **MC\_Power:** Habilita o bloquea el eje.
- **MC\_Reset:** Muestra errores, reinicia un objeto tecnológico.
- **MC\_Home:** Referencia el eje ajustándolo al punto de referencia.
- **MC\_MoveVelocity:** Mueve el eje con una velocidad específica.
- **MC\_MoveJog:** Mover eje a la velocidad predeterminada.

#### *WorkVisual 5.0*

Es el software de KUKA creado para la programación de robots, diseñado para configurar el hardware del robot a través del lenguaje KRL, además de la configuración con distintas tecnologías de comunicación como PROFINET, EtherCAT, PROFIBUS, EtherNet, etc. (KUKA, 2022) En la Figura 17 se muestra el entorno de la versión 5.0.

Figura 17

## Entorno de Workvisual 5.0



## Flutter

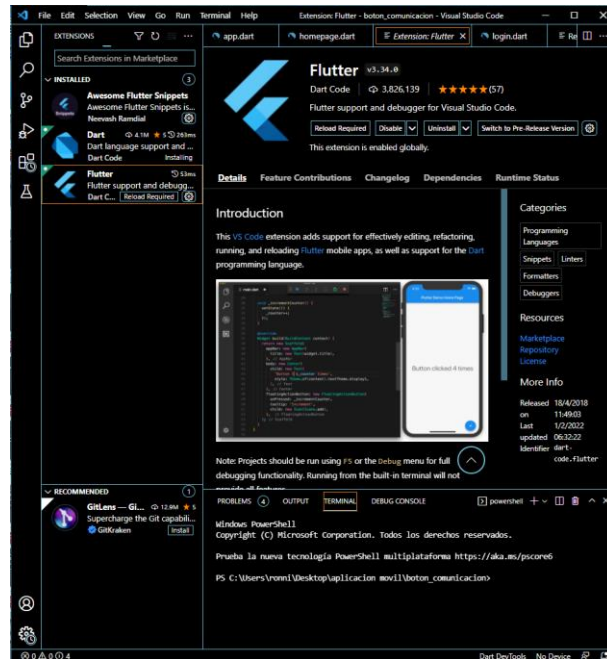
Teniendo en cuenta que se busca optimizar el desarrollo de la Aplicación móvil, se buscó una herramienta multiplataforma denominada Flutter que está basada en el lenguaje de programación Dart. Esta permite crear aplicaciones ya sean para los sistemas operativos IOS, Android y la Web.

El principio de funcionamiento de Flutter es la programación orientada a objetos denominados Widgets, estos son altamente personalizables y brindan al diseñador libertad de programación al crear aplicaciones. Entre sus características tenemos que es de código abierto y tiene un soporte técnico respaldado por Google, lo cual lo hace muy versátil al interactuar con otras herramientas de la misma plataforma como lo es Firebase (Payne, 2019). En la Figura 18 se podrá observar la herramienta Flutter dentro del entorno de programación VisualStudioCode.



Figura 18

### Herramienta de programación Flutter dentro de VisualStudioCode



### In-sight Explorer

Este software es creado por Cognex (Ver Figura 19) el cual permite la programación de toda la gama de productos In-Sight y abre sus opciones según el componente adquirido, es una herramienta intuitiva que permite la inspección de piezas y ofrece dos modos de trabajo que son: Hoja de cálculo y Easy Builder.

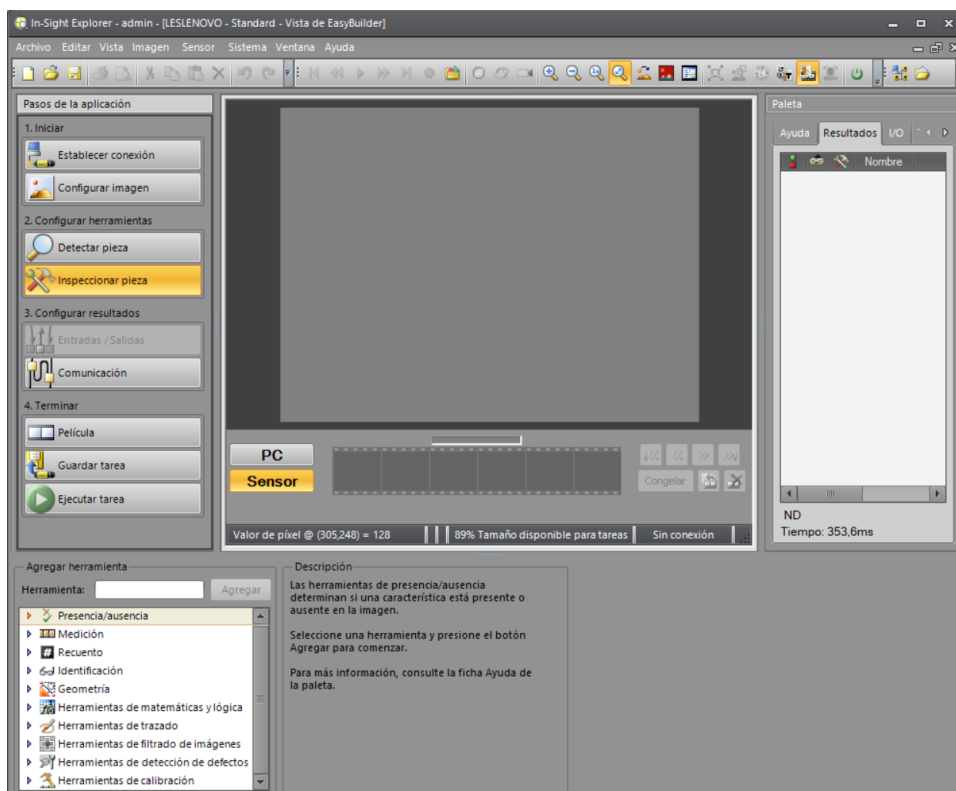
### Easy Builder

Este modo de trabajo es el más intuitivo y con el que se recomienda trabajar porque ofrece una configuración rápida e intuitiva sin necesidad de conocimientos previos de programación, esta interfaz proporciona una serie de pasos numerados a continuación:

1. **Inicio:** Permite realizar la conexión a un sistema In-sight en la red, seguido de la calibración de la imagen.
2. **Configuración de herramientas:** Se realiza la detección de la pieza ya sea por patrones o márgenes, estos serán inspeccionados a través de 22 herramientas entre las cuales se tiene presencia o ausencia, medición, Recuento, identificación y herramientas de matemáticas y lógica.
3. **Configuración de resultados:** En este apartado se tiene las salidas y entradas físicas de los controladores de cada elemento In-sight, además de la configuración de comunicación donde se encontrará a que elemento se quiere unir además del tipo de comunicación para las entradas y salidas.
4. **Terminar:** En este apartado se realiza la implementación de la tarea, se la guarda y hasta se la puede exportar en caso de ser necesario  
(Cognex, 2022)

Figura 19

*Easy Builder de in-sight Explorer*



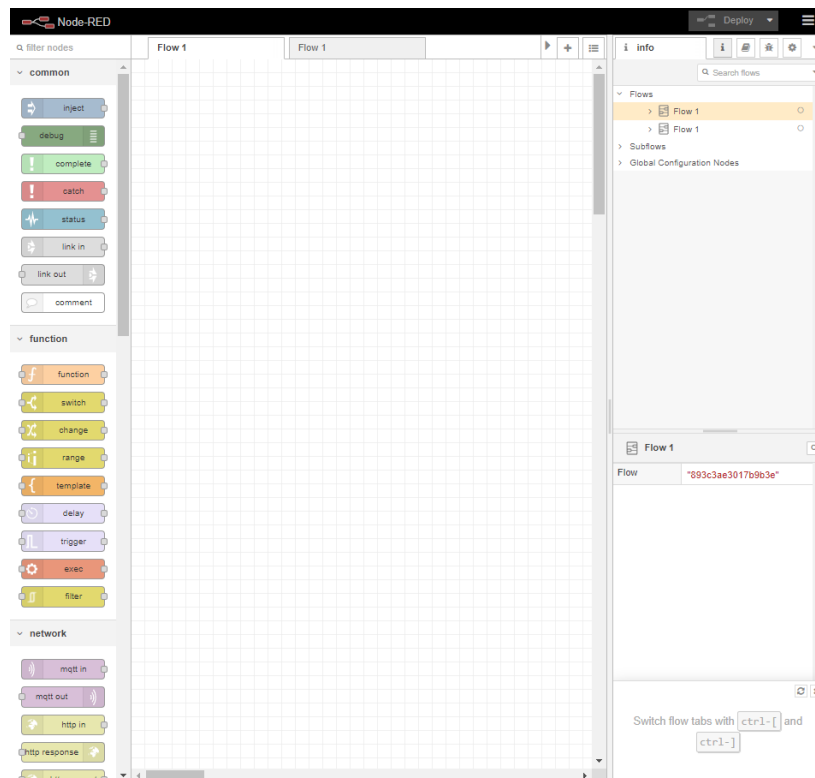
### *Node-red*

Node-RED es una herramienta de código abierto la cual tiene soporte en la empresa OpenJS. Esta herramienta permite realizar programación gráfica mediante un editor de flujo donde se pueden interconectar nodos con funciones específicas. Esta paleta de nodos puede ser escalable mediante librerías, dando versatilidad a esta herramienta permitiendo sincronizar dispositivos de hardware IoT, aplicaciones móviles, aplicativos Web y servicios en línea como bases de datos. Para ejecutar esta herramienta basta con activar el servidor y empezar a programar mediante un navegador Web (ver Figura 20). En la parte izquierda se encontrar los

nodos, los cuales nos permiten desde hacer una simple comparación hasta el modificar una salida de un PLC. (Lekić & Gardašević, 2018).

**Figura 20**

*Entorno de programación NODE-RED*



### *Firestore*

Un dato es una cadena de hechos en bruto que por sí solos carecen de utilidad y son obtenidos al analizar un determinado evento, estos al ser almacenados en una base de datos, se convierten en información organizada y conservada, adquiriendo una funcionalidad de forma que las personas puedan entender y utilizar (Sánchez Godínez & Zúñiga Segura, 2011).

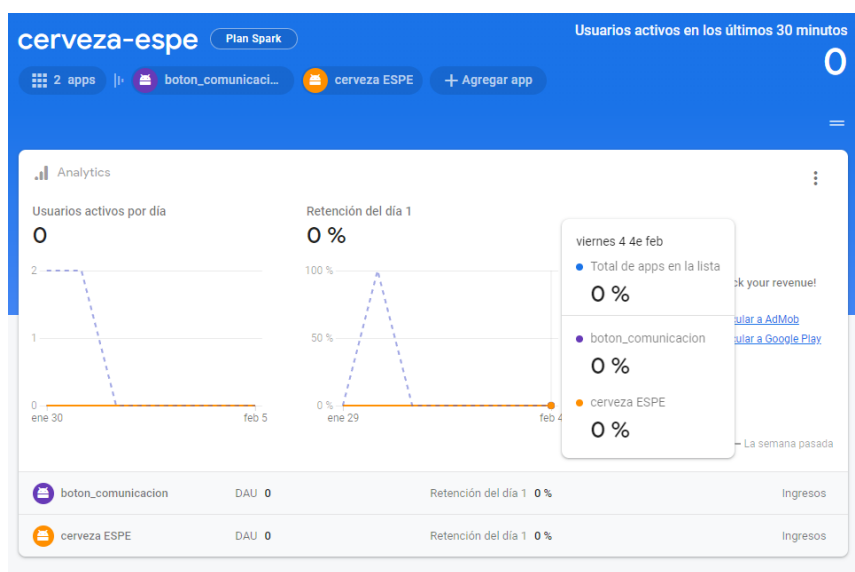
Firestore es una base de datos no relacional soportada por Google, uno de sus principales beneficios es el uso de la nube para almacenar los datos sin necesidad de que el

usuario adquiera un servidor, brindando acceso y actualización de datos en tiempo real (Moroney, 2017).

En la Figura 21 se puede observar el entorno de Firebase. Para hacer uso de esta base de datos se deberá iniciar en Google aceptando los términos y condiciones del servicio, una vez creada la base de datos se la debe configurar un nombre específico con el cual se sincronizará la base de datos con otras plataformas, como en el caso del proyecto fue la lectura y escritura de datos mediante la aplicación móvil.

**Figura 21**

*Entorno de Firebase*

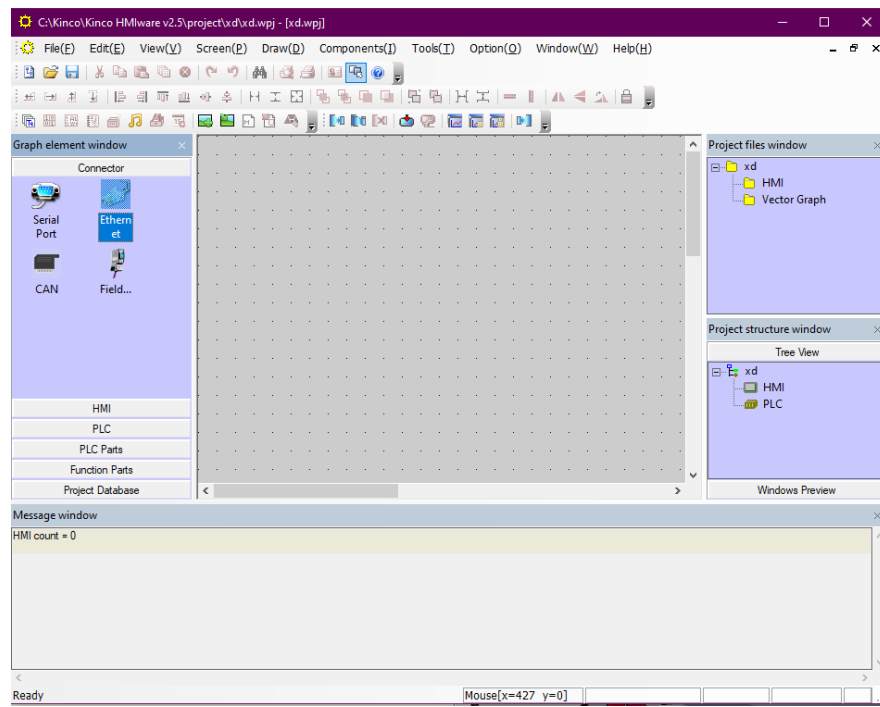


### *HMIware 2.5*

HMIware2.5 es un software soportador por Kinco, el cual está creado para dar funcionalidad a las pantallas HMI de esta marca. En ella se puede configurar el protocolo de comunicación a usarse para la comunicación con el Controlador PLC y también posee las interfaces y menús para diseñar las pantallas básicas para controlar un proceso Industrial. En la Figura 22 se podrá observar el entorno de programación del software.

Figura 22

*Entorno HMIware2.5*



## Cerveza

Es una bebida alcohólica que se produce con granos germinados de cereales, principalmente la cebada, que se fermentan en agua con levadura, para posteriormente ser aromatizada con lúpulo, boj, casia, etc. (Diccionario de la lengua española, 2001). Siendo esta una de las bebidas alcohólicas más difundida en el mundo y la más antigua conocida.

### *Tipos de cerveza*

Por su elaboración existen las cervezas industriales y las artesanales, donde la mayor diferencia radica en la estandarización y masificación de la producción. Como su nombre lo indica, la cerveza artesanal se desarrolla por un artesano (maestro cervecero) que tiene la capacidad de innovar y utilizar ingredientes de alta calidad creando una amplia gama de cervezas con diferentes colores, aromas, texturas y sabores, que resulten agradables para la

localidad. Mientras que la cerveza industrial es desarrollada de forma automatizada siguiendo una receta básica, estándar, muy estudiada y que es resultado de un esfuerzo muy grande por parte de la empresa, pero que busca ingredientes y procesos económicamente viables. (Pub-Beer, 2022)

En la Tabla 1 se tiene un resumen de las principales diferencias entre estas cervezas.

**Tabla 1**

*Diferencias entre cerveza artesanal e industrial*

| <b>Cervecería Artesanal</b>  | <b>Cervecería Industrial</b>   |
|--|--|
| Utilizan materias primas de alta calidad, prefieren ingredientes naturales.                | Utilizan materias primas buenas, que generen menos costos de producción.                   |
| Producción pequeña, menor a 6 millones de barriles anuales.                                | Producción mayor a 6 millones de barriles.   |
| Fermentación lenta, procesos tradicionales o innovadores.                                  | Fermentación más rígida y rápida.  |
| Utilizan el filtrado natural, sin aditivos químicos, conservan propiedades de la levadura. | Utilizan procesos de filtrado químico y aditivos que destruyen componentes de la levadura. |

### Tipos de cervezas artesanales

Para los consumidores de cerveza la clasificación o distinción del tipo de cerveza, viene dada por su color: rubia, rojiza, ámbar y oscura, pero, la forma técnica de clasificar la cerveza artesanal sería en base a su tipo de fermentación y su proceso de elaboración, estos procesos son determinantes en la producción de los distintos tipos de cerveza artesanal.

En base al tipo de fermentación encontramos 2 tipos de cervezas: Ale, con una fermentación alta a temperaturas cálidas y Lagers, con una fermentación baja a temperaturas frías. Como se observa en la Figura 23.

Figura 23

Tipo de fermentación



**Nota:** Recuperado de (Rodríguez, 2015)

Las principales diferencias entre la cerveza Ale y Lager, vienen dadas por (Tabla 2).

Tabla 2

*Diferencias entre Cerveza Ale y Lager*

| Cerveza Ale  | Cerveza Lager   |
|--|---|
| Fermentación alta a temperaturas cálidas.                                | Fermentación baja a temperaturas frías.                         |
| Utilizan levaduras que se asientan en la parte superior del fermentador. | Utilizan levaduras que se asientan en el fondo del fermentador. |
| Temperaturas de fermentación: 18°C a 27°C                                | Temperaturas de fermentación de 0°C a 12°C                      |
| Fermentación primaria de 2 a 5 días.                                     | Fermentación primaria de 1 a 3 semanas.                         |
| Acondicionamiento de 2 a 3 semanas (maduración).                         | Acondicionamiento de 4 a 12 semanas (maduración).               |
| Alcanza un mayor porcentaje de alcohol por volumen.                      | El porcentaje de alcohol por volumen no es alto.                |
| Tienen más cuerpo y tienden a ser más lupuladas.                         | Son generalmente más ligeras y refrescantes.                    |

A partir de estos tipos de fermentación se pueden encontrar varios tipos de cervezas artesanales derivadas, como se observa en la Figura 24:



**Figura 24***Tipo de cerveza artesanal***Nota:** Recuperado de (Lezin, 2018)*Dispensado de Cerveza*

Para servir una cerveza con la ayuda de un grifo como se utilizara en este proyecto, se debe dejar fluir un poco del contenido ya que es probable que sea espuma del vaso servido con anterioridad, posteriormente se procede a colocar el vaso en una inclinación de 45° muy cerca del grifo, llenando aproximadamente 2/3 del vaso, posteriormente se coloca el vaso de forma vertical a 90° y se aleja un poco del grifo cerrándolo un poco para producir espuma, este proceso sirve para romper las burbujas de CO<sub>2</sub>. A continuación, se indican aspectos claves al momento de servir la cerveza.

1. El vaso debe ser de vidrio, ya que permite apreciar el color, transparencia, aroma y generar menos espuma que si el vaso fuera de otro material.

2. El vaso no debe estar helado, sino solo frío lo que si se debe tener en cuenta su temperatura es la cerveza, lo cual se explicara posteriormente ya que depende del tipo de cerveza, aunque por lo general esta su temperatura entre 3.3° y 12°.(Cerveza artesanal, 2021)
3. Tener en cuenta los 45° para llenar los 2/3 del vaso y posteriormente en 90° proceder a servir la espuma, cabe recalcar que esta debe tener entre 1 o 2 dedos de espuma con el fin de que proteja el líquido, evitando que se oxide y reteniendo los aromas.(Cerveza Montseny, 2016)

### Temperatura de la cerveza

La temperatura de una cerveza es crucial ya que, si esta se encuentra tibia o al ambiente la sensación provocada por los lúpulos y la carbonatación desaparecerá, por otra parte, si se encuentra muy helada se pierden sabores y aromas debido a que el frio acentúa el amargor y sequedad.

Unas reglas generales son que las cervezas Lager se sirven más frías que las Ales, las claras se sirven a menor temperatura al igual que las fuertes en comparación con las ligeras, además de que es mejor servir la cerveza más fría de lo recomendada con el fin de que se ajuste en contacto con el vaso y manos. A continuación, se muestra la Tabla 3 con la temperatura sugerida para servir cada tipo de cerveza.

**Tabla 3***Temperaturas sugeridas para los diferentes tipos de cerveza*

| <b>Cerveza</b>                    | <b>Temperatura sugerida</b> |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| Lagers americanas                 | 0.5 a 4.4° C                |
| Pale Lagers y Pilsners            | 3.3 a 7.2° C                |
| Blonde y Cream Ales               | 4.4 a 7.2° C                |
| Nitro Stouts                      | 4.4 a 7.2° C                |
| Belgian Pale Ales y Abbey Tripels | 4.4 a 7.2° C                |
| Wheat Beers                       | 4.4 a 10° C                 |
| Lambics                           | 4.4 a 10° C                 |
| Dark Lagers                       | 7.2 a 10° C                 |
| American Pale Ales e IPAs         | 7.2 a 12° C                 |
| Stouts y Porters                  | 7.2 a 12° C                 |
| Lagers fuertes                    | 10 a 12.7° C                |
| Real y Cask Ales                  | 10 a 12.7° C                |
| Belgian Dubbels                   | 10 a 12.7° C                |

**Nota:** Recuperado de (Mosher, 2022)***Carbonatación Forzada***

La carbonatación forzada es el proceso en el cual se inyecta CO<sub>2</sub> a presión en el barril lleno de producto sin carbonatar, para posteriormente obtener una bebida carbonatada. En la Tabla 4 se visualizan valores estimados de la presión a la que se debe presurizar el barril, dependiendo de los valores de temperatura y volumen de CO<sub>2</sub>.

**Tabla 4***Tabla de carbonatación*

|            | Temperatura<br>4°C | Temperatura<br>8°C | Temperatura<br>12°C | Temperatura<br>16°C | Temperatura<br>20°C |
|------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 2 litros   | 0.45 bar           | 0.66 bar           | 0.89 bar            | 1.12 bar            | 1.12 bar            |
| 2,4 litros | 0.74 bar           | 1 bar              | 1.25 bar            | 1.52 bar            | 1.80 bar            |
| 2,8 litros | 1.04 bar           | 1.32 bar           | 1.62 bar            | 1.92 bar            | 2.23 bar            |

**Nota:** Recuperado de (Fabrika, 2020)

Este proceso fue fundamental en el desarrollo de las pruebas de funcionamiento de la célula robótica, puesto que, una vez utilizada la cerveza, se la volvía a ingresar en el barril y realizar el proceso de carbonatación forzada, obteniendo un producto carbonatado listo para ser utilizado en más pruebas de funcionamiento del proyecto.

## Capítulo III

### Diseño e Integración de la célula robotizada

En el presente capítulo se muestra el empleo de los elementos asignados por la empresa, los cuales se encuentran sujetos a un acuerdo con la misma, que consiste en ligarse a la utilización de los recursos que la empresa disponga. Como primer punto se tiene el diseño de la célula robotizada por consiguiente este apartado se ajusta a los requisitos del auspiciante de acuerdo al esquema de bloques de la Figura 5 presentado en el alcance del proyecto, teniendo así los cinco sistemas a diseñar, que posteriormente se combinan en el apartado integración a través de los diferentes protocolos de comunicación, con la información del mapeo de entradas y salidas se procede a la programación de cada uno de los sistemas que más adelante son incorporados en un solo proyecto. Además, al final de este apartado se tiene las conexiones eléctricas para cada uno de los sistemas descritos.

#### Diseño de la célula robotizada

##### *Sistema Robot*

Este sistema está constituido por los elementos que permiten poner en acción a los diferentes ejes que tiene el robot, por lo cual se tiene un controlador propio con los drivers necesarios para poner en marcha el mecanismo, además se tiene un elemento de mando que permite manipular el movimiento de los ejes y un efector final que se incluye según la actividad a realizar.

##### **Robot**

Para este diseño la empresa auspiciante proporcionó el robot KUKA KR20 3, el cual se caracteriza por su flexibilidad y versatilidad en proyectos industriales, al ser un robot mediano

tiene un amplio alcance y velocidad alta, con una carga máxima de 20kg. La posición de montaje de este robot es en el suelo. En la Figura 25, se puede apreciar al robot con sus 6 ejes.

**Figura 25**

*Robot KUKA KR 20 3*



**Nota.** Recuperado de (KUKA Roboter GmbH, s.f.-a)

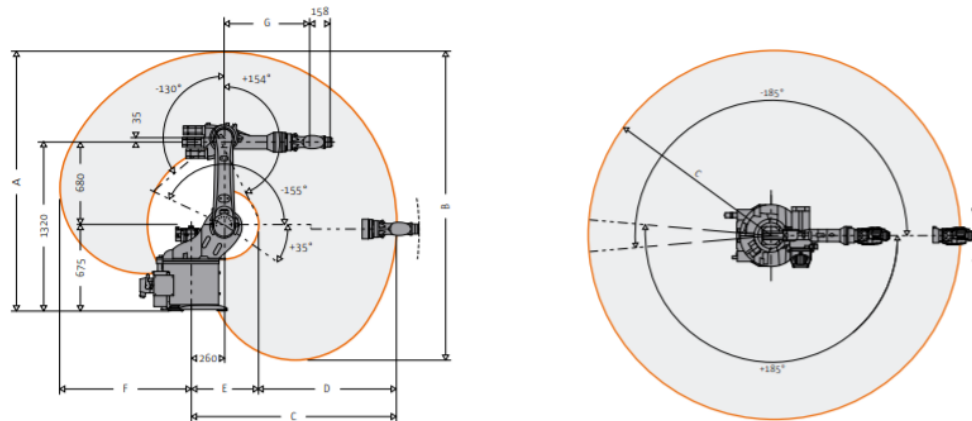
Cada eje del robot posee su propio rango de desplazamiento los cuales se detallan en la Tabla 5, al igual que la velocidad máxima con su carga nominal de 20kg. En la Figura 26 se muestra el volumen de trabajo y alcance de los ejes.

**Tabla 5**

*Alcance del robot*

| <b>Eje de rotación</b> | <b>Desplazamiento</b> | <b>Velocidad con 20kg</b> |
|------------------------|-----------------------|---------------------------|
| A1                     | +/- 185°              | 156°/s                    |
| A2                     | +35°/-155°            | 156°/s                    |
| A3                     | +154°/-130°           | 156°/s                    |
| A4                     | +/- 350°              | 330°/s                    |
| A5                     | +/-130°               | 332°/s                    |
| A6                     | +/-350°               | 616°/s                    |

**Nota.** Recuperado de (KUKA Roboter GmbH, s.f.-b)

**Figura 26***Alcance de Robot KR 20 3*

**Nota.** Recuperado de (KUKA Roboter GmbH, s.f.-b)

### Controlador de robot

El controlador del robot asignado es un KRC4, el intermedio de esta familia de controladores, el cual permite una automatización donde se reducen gastos tanto en mantenimiento, conservación e integración, teniendo la posibilidad de usarlo en aplicaciones inteligentes, flexibles y escalables, ya que entiende lenguajes KRL y código G para CNC, además en el modo automático externo, permite que un PLC externo, tenga acceso a todo el sistema operativo de control y tiene la capacidad de procesar programas de sistemas CAD y CAM. En la Figura 27 se puede visualizar el controlador y en la Tabla 6 las especificaciones técnicas del mismo.

**Figura 27***Controlador KUKA KRC4*

**Nota.** Recuperado de (KUKA Roboter GmbH, 2016)

**Tabla 6***Características técnicas del controlador KUKA KRC4*

| <b>Características</b>      | <b>Especificaciones</b> |
|-----------------------------|-------------------------|
| Procesador                  | Tecnología Multicore    |
| Disco Duro                  | SSD                     |
| Dimensiones (HXLXA)         | 960x792x558mm           |
| Punto de conexión           | USB3.0, GbE, DVI-I      |
| Número de ejes (máx.)       | 9                       |
| Frecuencia de red           | 49 a 61 Hz              |
| Tensión de conexión nominal | CA 3 x 380 V a 3 x 575  |
| Tipo de protección          | IP54                    |
| Temperatura ambiente        | de +5 °C a +45 °C       |
| Peso                        | 150 Kg                  |

**Nota.** Recuperado de (KUKA Roboter GmbH, 2016)

#### Elemento de mando o SmartPAD

El controlador tiene adjunto un control de mando manual que ha sido diseñado para desarrollar un trabajo eficiente con usuarios experimentados y principiantes, debido a que es



intuitivo, eficiente y ergonómico brindando una experiencia confortable para su manipulación.

En la Figura 28, se tiene una imagen referencial y sus características se encuentran en la Tabla 7.

**Figura 28**

*SmartPAD KRC4*



**Nota:** Recuperado de (KUKA Roboter GmbH, 2016)

**Tabla 7**

*Características de SmartPAD KRC4*

| <b>Características</b> | <b>Especificaciones</b>               |
|------------------------|---------------------------------------|
| Display                | Display resistente industrial de 8.4" |
| Dimensiones (HXLXA)    | 240x290x50 mm                         |
| Puerto                 | USB                                   |
| Mouse                  | 6D mouse                              |
| Peso                   | 1.10 Kg                               |

**Nota:** Recuperado de (KUKA Roboter GmbH, 2016)

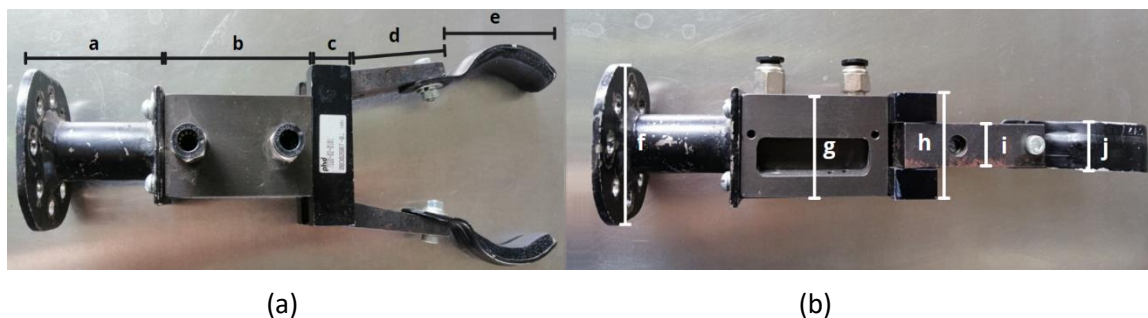
#### Efactor final o Gripper

El gripper proporcionado es una herramienta metálica que se encuentra compuesta por el acople al Robot, seguido por el cilindro o pistón con sus respectivas entradas de aire y el efector final se lo encuentra en la Figura 29, con sus respectivas dimensiones en la Tabla 8.

Así pues, en primera instancia se debe tener en cuenta que vasos cerveceros serían los adecuados para esta herramienta y que porcentaje de mililitros son los que se va a servir al consumidor.

**Figura 29**

*Gripper entregado para proyecto*



**Nota.** La Imagen (a) se aprecia el gripper desde una perspectiva top-down, recalcando que el efector final es curvo con una espuma de cobertura con el fin de no lastimar los objetos atrapados y en la imagen (b) se presenta una perspectiva lateral, con sus pertinentes letras indicadoras en cada caso.

**Tabla 8**

Dimensiones de gripper

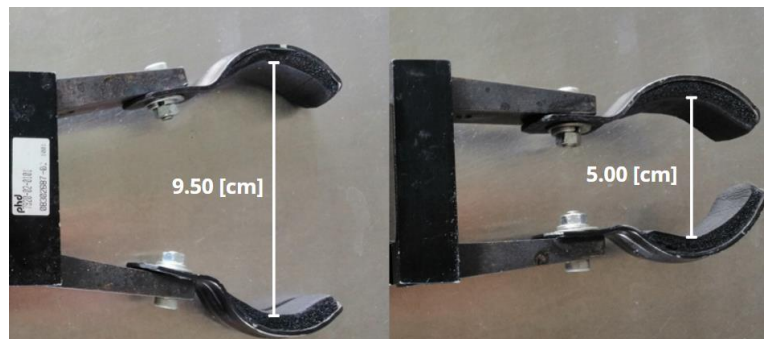
| Letra indicadora | Medida [cm] | Letra indicadora | Medida [cm] |
|------------------|-------------|------------------|-------------|
| a                | 5.50        | f                | 7.00        |
| b                | 6.70        | g                | 4.40        |
| c                | 2.00        | h                | 4.50        |
| d                | 5.50        | i                | 1.80        |
| e                | 6.00        | j                | 2.20        |

Según las dimensiones de la herramienta su máximo de apertura es de 9.50 [cm] y su mínimo de 5[cm], como se aprecia en la Figura 30, por lo tanto, el vaso no debe sobrepasar esta

medida para que pueda agarrar normalmente el vaso o no debe ser menor con el fin de no soltar el objeto en el proceso de traslado.

**Figura 30**

*Gripper máxima apertura y cerrado*



(a)

(b)

*Nota.* La Imagen (a) se aprecia el gripper totalmente abierto a su máxima capacidad y en la imagen (b) cerrado reducido a su menor diámetro.

Para realizar el accionamiento del gripper se lo ejecuta a través de un sistema neumático, el mismo que se compone de un compresor, mangueras y electroválvulas, asignadas por la empresa.

Este compresor es de la marca Campbell Hausfeld (Ver figura 31) y tiene las características presentadas en la Tabla 9.

**Figura 31***Compresor***Tabla 9***Características de compresor*

| <b>Característica</b> | <b>Especificación</b> |
|-----------------------|-----------------------|
| Modelo                | DC080100              |
| Potencia              | 2 HP                  |
| Capacidad de tanque   | 8 galones             |
| Voltaje               | 120 V                 |
| Corriente             | 14 A                  |
| Frecuencia            | 60 Hz                 |
| Presión máxima        | 150 PSI               |
| Peso                  | 61.29 lb              |
| Dimensiones LXWXH     | 26.6"x14.2"x25"       |

**Nota:** Recuperado de (Campbell Hausfeld, 2019)

El compresor que posee la empresa trabaja a 115 PSI, sin embargo, la salida para el sistema neumático se regula a 55 PSI, con el fin de que no se tan brusco el agarre del vaso con el efector final, como se observa en la figura 32.

**Figura 32**

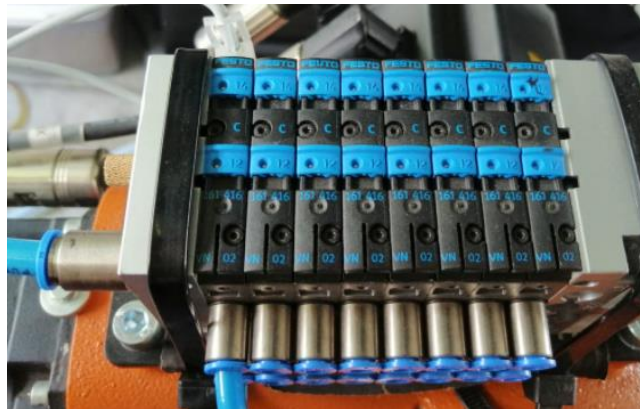
*Presión de tanque compresor y presión de salida a sistema neumático*



En cuanto a las electroválvulas se utiliza un terminal con 8 módulos de válvulas perteneciente a la marca Festo, sin embargo, para esta aplicación solo se utiliza un terminal de estas, como se muestra en la Figura 33, que posee las características descritas en la Tabla 10.

**Figura 33**

*Bloque de electroválvulas neumáticas*



**Tabla 10***Características del bloque de válvulas neumáticas*

| <b>Característica</b>        | <b>Especificación</b>  |
|------------------------------|--|
| Modelo                       | DC080100   |
| Función de módulo de válvula | Válvula de 2 x 3/2 vías, normalmente cerrada, válvula de corredera |
| Capacidad de tanque          | 8 galones  |
| Voltaje                      | 24 V   |
| Caudal                       | 400 l/min  |
| Presión de funcionamiento    | Hasta 145 PSI  |
| Temperatura                  | -5°C a 50 °C   |

**Nota:** Recuperado de (Festo, 2021)

*Sistema dispensador de vasos cervecedores*

Para este sistema se necesita un delineamiento en el cual el robot pueda tomar los vasos a servir, de forma segura en la cual no se tenga colisiones entre los vasos o estos con el gripper del robot. Por lo cual se debe tener en cuenta el gripper que ha sido proporcionado por la empresa auspiciante, descrito anteriormente en el sistema robot.

Uno de los requerimientos del auspiciante es que el vaso no sea de plástico debido a que se quiere mostrar una mejor estética al presentar a futuros compradores, además de que dichos vasos tienden a producir espuma al momento de servir bebidas carbonatadas, además se requiere que los vasos sean de 500 ml, ya que es uno de los más vendidos en bares. En la Figura 34, se puede observar algunos de los modelos de vasos usados para dispensado de cerveza, se puede percatar las diferentes formas de cada uno y el empleo que tienen según la cerveza a dispensar, en este caso en la empresa también se dedican como un hobby a la fabricación de cervezas artesanales de tipo Pale Ale Malta y Caramel las cuales tienen una base de trigo, se encuentran ciertas características en el apartado *dispensado de cerveza* presentado con anterioridad en el capítulo II.

Figura 34

Diferentes vasos cerveceros



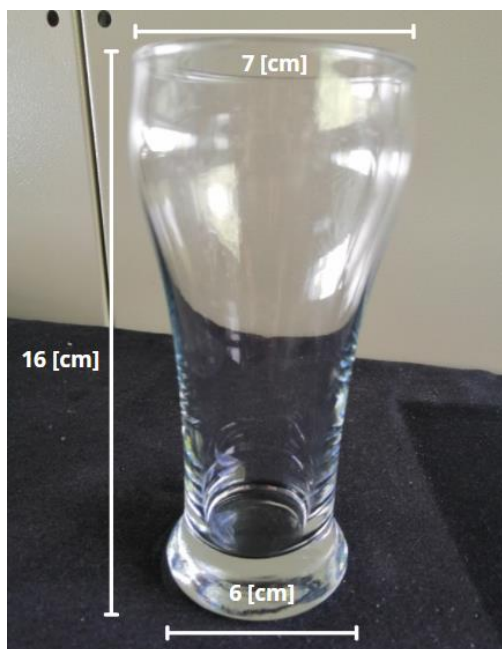
**Nota.** Recuperado de (Cava del Duero, 2020)

El vaso Chopp al poseer una manija no es una de las mejores opciones con el gripper que se asignó, ya que tiene los extremos metálicos curvados dificultando la entrada de estos entre la manija y el vaso, el agarre sería complicado si no se encuentra posicionado correctamente, además de que estos tienden a ser anchos sobrepasando el máximo de la herramienta, por otra parte, los vasos Snifter, Munich, Tulipa Larga y Tulipa corta, no son unos de los más estables al poseer una forma de copa que podría presentar un problema al robot depositar el vaso en el sistema de dispensado hacia el cliente. Por lo tanto, los que se escogerían para este proyecto serían los vasos Pilsen, Nonic y Wheat que son los que no poseen manija, son más estables y por último son del tipo de cervezas a dispensar.

El vaso que se logró adquirir de los escogidos es el modelo Wheat de 500ml como se muestra en la Figura 35, con sus respectivas dimensiones.

**Figura 35**

*Dimensiones de vaso Wheat*



Al tener este antecedente del vaso a usar, se presenta varios diseños propuestos para desarrollar el sistema dispensador de vasos cervenceros, realizando un análisis basado en los parámetros de la Tabla 11, consecuentemente se elige la mejor alternativa.

**Tabla 11**

*Requerimientos de diseño de dispensado de vasos*

| <b>Requerimiento</b>                   | <b>Especificación</b>   |
|--|---|
| Costo de implementación                | El costo de implementación debe ser accesible incluyendo sensores, actuadores y estructura.   |
| Espacio entre vasos y gripper          | El espacio entre vasos debe ser de por lo menos 5 [cm] con el fin de evitar colisiones, además no debe tener obstáculos al momento de agarrar el vaso con el gripper. |
| Optimización de programación del robot | La programación debe tener la menor cantidad posibles de puntos al igual que estructuras de control   |



### Matriz de vasos

Como es un prototipo, se tomó de referencia una matriz de 4X3 de madera similar a una jaba de refrescos, donde cada compartimiento debe tener el espacio suficiente entre vasos con el fin de evitar colisiones al momento de la aproximación de gripper, cada espacio tendría su propio sensor de presencia colocando en total doce de estos, la programación en el robot sería dependiendo de la ubicación en la matriz, donde se sacan en un orden predeterminado según este activa la variable del sensor, creando así doce puntos y estructuras de control que designen a cuál de estas ubicaciones se debe acercar, dependiendo del lugar ocupado y que no tenga otro vaso atravesándose para acercar el gripper y trasladarlo al siguiente sistema. En cuanto al costo pese a que el cajón de madera puede ser económico, la cantidad de sensores sube significativamente el valor de este prototipo. En la Figura 36, se muestra una referencia del prototipo.

### Figura 36

*Boceto de diseño de matriz de vasos 4x3*



### Banda Transportadora

Con este prototipo se debe tener en cuenta que los vasos no estén tan pegados al momento de colocarlos para no tener problemas de colisiones entre ellos o con el gripper, para lo tanto en el diseño se añade unos topes de silicona donde se colocara cada vaso. Se usarían un sensor al extremo más cercano al robot para indicar que recoja el vaso, teniendo así un solo punto de programación. Sin embargo, los costos de las bandas transportadoras son elevados dependiendo de las dimensiones y requerimiento del motor. En la Figura 37 se muestra un prototipo de referencia.

#### Figura 37

*Boceto de diseño de banda transportadora*



### Mesa Giratoria

Este prototipo se obtiene con la ayuda de una base de pasteles giratoria que se encuentra elaborada en madera, en la misma que se realiza hendiduras para los vasos a una distancia prudente mayores a 5 [cm] para evitar colisiones controlando la base mediante un motor paso a pasos con un acople de una rueda para causar fricción con el fin de mover el disco giratorio, además de colocar un sensor en el lugar preciso que debe detenerse el vaso para que el robot lo agarre y lo traslade a al otro sistema. Por lo tanto, en el robot se debe programar un

punto, en cuanto a costo la base de madera no es económica, el motor paso a paso y el sensor empleado para la detección de presencia son los elementos con un precio mayor. En la Figura 38 se tiene un aproximado de este sistema.

**Figura 38**

*Boceto de diseño de mesa giratoria*



**Tabla 12**

Comparación de diseños del dispensador de vasos cervenceros

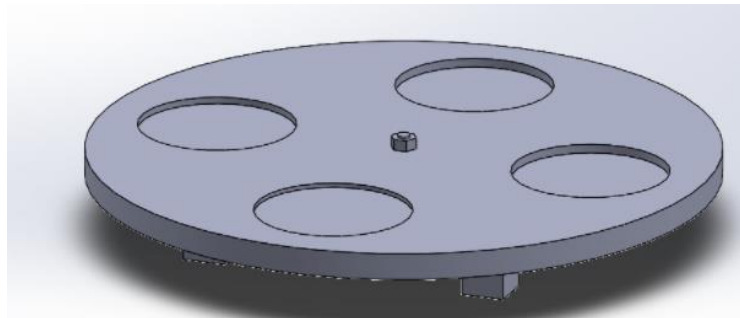
| Opciones de diseño      | Costo de implementación                                     | Espacio entre vasos y gripper                           | Optimización de programación de robot                |
|-------------------------|---|---|--|
| Matriz de vasos         | Medio tendiendo a Alto debido al número de sensores a usar. | Posibles colisiones al tener vaso de obstáculo.         | Bajo al tener muchos puntos y estructuras de control |
| Banda transportadora    | Alto- La banda transportadora tiene un costo elevado.       | No tiene colisiones al tener un solo punto de recogida. | Normal al tener un solo punto                        |
| Mesa circular giratoria | Medio- Los materiales se encuentran en un costo medio.      | No tiene colisiones al tener un solo punto de recogida. | Normal al tener un solo punto                        |

En la tabla 12 se hace una comparación de los diseños antes mencionados la mesa circular giratoria es la de menos costo implementación, además de poseer un solo punto de recogida, también al realizar un buen dimensionamiento entre vasos no se tendrían colisiones y el robot se programaría en una sola ubicación por lo tanto este es el sistema que será elegido.

Una vez elegido el diseño se procedió a buscar una base giratoria que sirva de soporte, así pues, se consiguió una de 30 [cm] de diámetro, la misma que sirve de guía, como se muestra en la Figura 39, para realizar las 4 hendiduras para los vasos ya que al tener ese diámetro de mesa y cada vaso poseer 6 [cm] en el asiento estos espacios deberán ser más grandes, para lo cual se acordó tener una hendidura cada 45° y el espacio entre estos de 7[cm] con un diámetro cada uno de las mismas medidas, con una profundidad de 1 [cm].

**Figura 39**

*Diseño de hendiduras en mesa giratoria*



### Selección de sensores y actuadores del sistema

Una vez definido el diseño se procedió a buscar los elementos en las bodegas de la empresa auspiciante y se designó los siguientes elementos.

#### *Sensor de Presencia*

El sensor asignado se lo puede visualizar en la Figura 40, el cual es un sensor fotoeléctrico con reflector con el principio de funcionamiento enunciado en el apartado de sensores de presencia del Capítulo II, sin embargo, la marca del dispositivo no se encuentra definida, pero posee una hoja técnica con las características detalladas en la Tabla 13.

**Figura 40**

*Sensor fotoeléctrico reflectivo con sus componentes*



*Nota:* Recuperado de (Walmart, 2022)

**Tabla 13**

Características técnicas de sensor fotoeléctrico

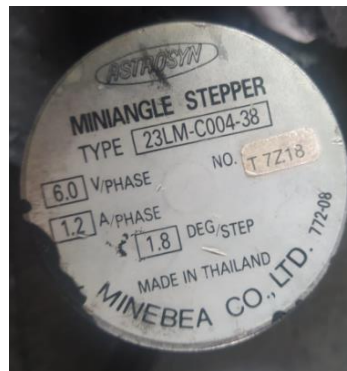
| <b>Característica</b>           | <b>Especificación</b>          |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Rango de sensor                 | 15 [m]                         |
| Salidas de Relay                | N/O y N/C                      |
| Voltaje de Operación            | 24-240 VAC /12-240 VDC         |
| Longitud de alambre de conexión | 2 [m]                          |
| Material                        | Plástico de 3-1/4"             |
| Led indicador                   | RED Led                        |
| Corriente de carga              | 3 A                            |
| Emisión                         | Rojo 880 [nm]                  |
| Medidas de Carcaza metálica     | 139x69x36 mm                   |
| Tiempo de respuesta             | VDC<2ms – VAC <20ms            |
| Dirección de luz                | 3° a 10°                       |
| Objetos a Detectar              | Cuerpos transparentes y opacos |
| Temperatura                     | -10°C -55°C                    |
| Certificación                   | IP54<br>UL325                  |

### *Actuador*

En cuanto al actuador del sistema dispensador de vasos cervecedores, la empresa proporcionó un motor a pasos el Astrosyn modelo 23LM-C004-38 que se lo encuentra en la figura 41 con las características descritas en su tapa, este es un motor de tipo bipolar de cuatro hilos y a su vez es híbrido ya que posee un imán axial permanente además de dientes en el estator como el rotor que le permiten dar el paso requerido con su energización correcta.

#### **Figura 41**

*Motor paso a paso con sus características*



Las características principales a tener en cuenta es que este motor tiene 1.8° por paso, es decir para completar una vuelta de 360° se debe tener un total de 200 pasos, los cuales deben ser configurados en el driver, en este caso el asignado es TB6600 (Ver Figura 42) el cual posee switches de configuración capaces de controlar por un lado la corriente desde 0.5[A] hasta 3.5[A] y los pulsos/ revolución desde 200 hasta 6400. Además, se puede configurar en ánodo o cátodo común según el PLC utilizado y la conexión de los pines que se encuentran en la Tabla 14.

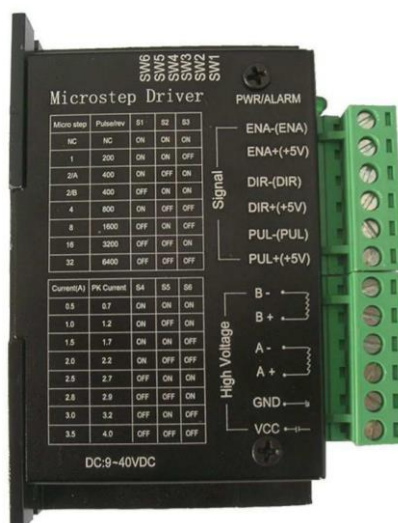
Tabla 14

*Características de pines de etapa de control*

| PIN   | Especificación                                   |
|-------|--|
| ENA + | Habilitación de motor en flanco positivo         |
| ENA - | Habilitación de motor en flanco negativo         |
| PUL + | Pulsos enviados desde PLC con flanco positivo    |
| PUL - | Pulsos enviados desde PLC con flanco negativo    |
| DIR + | Señal de dirección desde PLC con flanco positivo |
| DIR - | Señal de dirección desde PLC con flanco negativo |

Figura 42

*Driver TB6600*



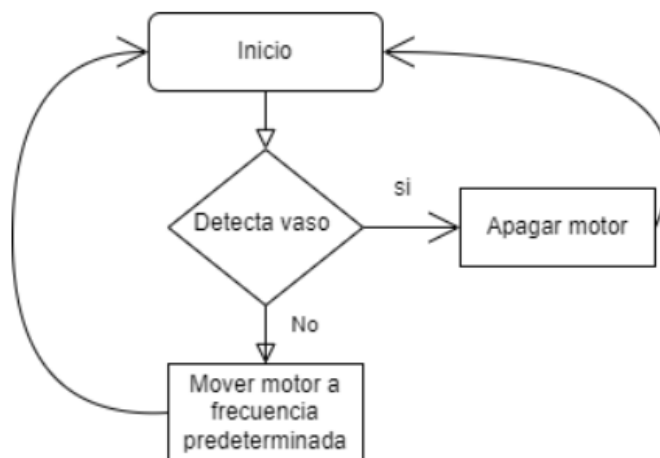
Nota. Recuperado de (Sorotec, 2018)

### *Diagrama de flujo*

Para el presente sistema se realizará una programación aislada para el motor, la cual consiste en un bucle donde si el sensor no detecta el vaso se activa el motor permitiendo la rotación de la mesa, sin embargo, al detectar un vaso el motor se apaga esperando a que el robot retire el vaso de esa posición y se reinicie el proceso, esto se puede ver en la Figura 43.

Figura 43

Diagrama de flujo de sistema de dispensado de vasos cerveceros.



*Sistema dispensador de cerveza.*

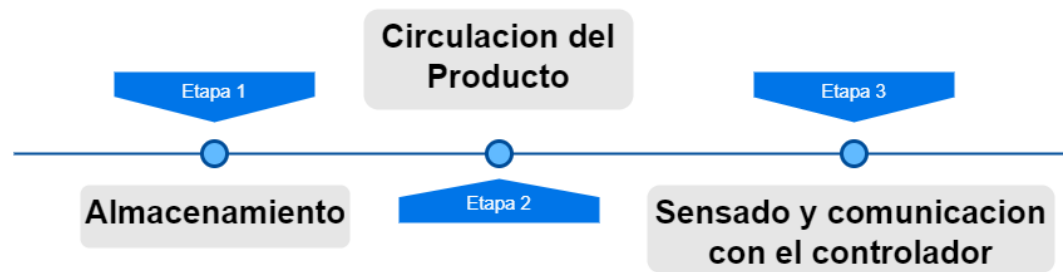
Para el sistema dispensador de cerveza se debe contemplar varias etapas que son importantes para que la cerveza este en buenas condiciones y se pueda despachar de manera óptima, guardando una relación adecuada de líquido y espuma que se menciona en los *parámetros para un correcto dispensado de cerveza* del Capítulo II. La etapa de almacenamiento, que consta de un barril para bebidas donde se almacena la cerveza, un tanque de CO2 que ejerce presión al barril para que el producto esté en circulación, un regulador de presión para controlar la presión dentro del barril y un método de refrigeración para el producto. La siguiente etapa está compuesta por la circulación del producto por todo el sistema hasta llegar a ser dispensado en el vaso, este consta de mangueras, válvulas y llaves que permitan controlar el flujo de cerveza hasta desembocar en una boquilla o grifo por donde saldrá el producto. Para finalizar es necesario de un dispositivo que se analice el despacho del producto en el vaso en tiempo real, el mismo que debe enviar información hacia el controlador PLC para que este gestione de la mejor forma los actuadores y movimientos del robot con el



objetivo. En la Figura 44 se puede observar de manera resumida las etapas de las que está compuesto el sistema dispensador de cerveza.

**Figura 44**

*Etapas del sistema dispensador de cerveza*



#### Almacenamiento

En la etapa de almacenamientos todos los elementos y dispositivos utilizados son los que la empresa auspiciante dispuso para esta actividad, con los cuales se procedió a desarrollar un diseño que cumpla las especificaciones requeridas.

En primer lugar, se puede observar en la Figura 45 el barril de tipo Cornelius, el mismo que es de grado alimenticio y está fabricado para trabajar con bebidas carbonatadas, el propósito de este elemento en el diseño del sistema dispensador de cerveza es almacenar el producto y carbonatarlo.

## Barril de cerveza

**Figura 45**

*Barril Cornelius*

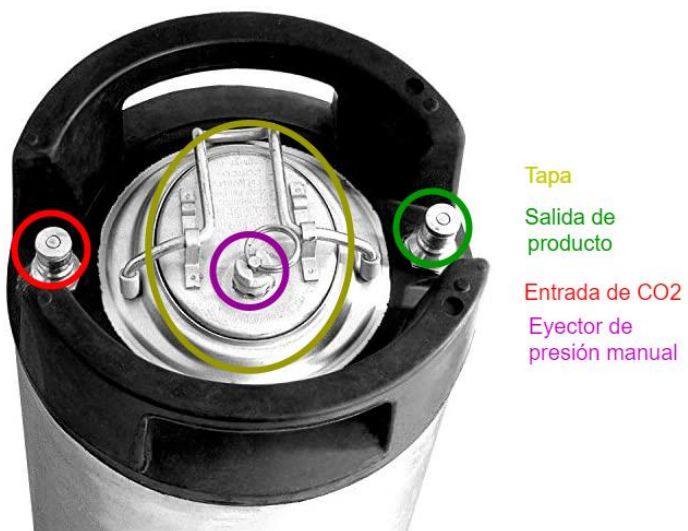


**Nota.** Recuperado de (THIELDMANN, 2020)

En la Figura 46 se podrá observar a detalle los componentes de la parte superior del barril, que posee una entrada por donde se inyecta CO<sub>2</sub> para presurizar el tanque, una salida para el producto, también tiene un eyector de presión manual y una tapa hermética por donde se puede ingresar el producto hacia el barril.

**Figura 46**

*Componentes de la parte superior del barril Cornelius*



A continuación, en la Tabla 15 se podrá observar los datos técnicos del barril utilizado.

**Tabla 15**

*Características del barril Cornellius*

| <b>Característica</b>   | <b>Especificación</b>        |
|-------------------------|------------------------------|
| Peso del Cilindro       | 11.6 Kg                      |
| Presión máxima          | 7 bar                        |
| Dimensiones             | 63cm alto x 22cm de diámetro |
| Material de fabricación | Acero Inoxidable             |

*Tanque de CO2*

En la Figura 47 se puede observar el tanque que se usó para inyectar CO2 hacia el barril de cerveza, este cuenta con una llave la cual abre o cierra en paso de este gas y en su salida posee un acople de tipo rosca.

**Figura 47**

*Tanque de CO2*



**Nota.** Recuperado de (Atlantis, 2020)

A continuación, en la Tabla 16 se podrá observar los datos técnicos del tanque utilizado.

**Tabla 16**

*Características de tanque de CO<sub>2</sub>*

| <b>Propiedad</b>        | <b>Descripción</b>           |
|-------------------------|------------------------------|
| Capacidad               | 9Kg                          |
| Presión nominal         | 1800 bar                     |
| Dimensiones             | 60cm alto x 19cm de diámetro |
| Peso nominal            | 11.6 Kg                      |
| Material de fabricación | Aluminio reforzado           |

**Nota.** Recuperado de (KEG CONNECTION, 2017)

Es importante el controlar y medir la inyección de presión que se realiza, por lo cual se utilizó un regulador de la marca GIOCWELD que se lo puede observar en la Figura 48. Este dispositivo tiene una llave para habilitar o deshabilitar el paso del CO<sub>2</sub>, un medidor de caudal, un manómetro para controlar la presión del barril al cual se le inyecta CO<sub>2</sub> y otro manómetro para controlar la presión del tanque de CO<sub>2</sub>. Este regulador tiene un adaptador tipo rosca en la entrada y a su salida se puede adecuar cualquier tipo de manguera, lo cual es idóneo para adaptarse al barril Cornelius y al tanque de CO<sub>2</sub> respectivamente.

### *Regulador de presión*

**Figura 48**

*Regulador de presión GIOCWELD*



Otra consideración en este sistema de almacenamiento es la baja temperatura a la que debe mantenerse el producto, teniendo en cuenta que las bebidas carbonatadas son más estables cuando están a una temperatura adecuada las cuales se pueden encontrar en el apartado de *parámetros para un correcto dispensado de cerveza* en el Capítulo II, por este motivo se utiliza un refrigerador de la marca Mabe, visualizado en la Figura 48 como método de refrigeración.

## *Refrigeración de cerveza*

**Figura 49**

*Refrigerador Mabe*



**Nota.** Recuperado de (PYCCA, 2021)

A continuación, en la Tabla 17 se podrá observar los datos técnicos del refrigerador

**Tabla 17**

*Características del Refrigerador*

| <b>Propiedad</b>     | <b>Descripción</b>     |
|----------------------|------------------------|
| Modelo               | MGT81XITA              |
| Alimentación         | 120Vac                 |
| Capacidad            | 451.30 dm <sup>3</sup> |
| Potencia             | 306 W                  |
| Rango de temperatura | Entre 0 a °C           |

### *Sensor de Temperatura*

Como la temperatura de la cerveza es importante en la etapa de almacenamiento, se optó por validar y monitorear este parámetro, en consecuencia, se utilizó un sensor de temperatura PT100 ya que la cerveza de tipo Ale utilizada en este trabajo tiene que encontrarse en un rango de 7.2 a 12 °C como se muestra en la Tabla 3 (*Temperaturas sugeridas para los diferentes tipos de cerveza*), y este sensor cumple sin complicaciones este rango de medición. La señal proporcionada por el sensor es enviada hacia un transductor TX58 de la marca OMEGA, el cual admite a su entrada dispositivos RTD de tres hilos y proporciona a su salida una señal linealizada de 0 a 10 V. En la Figura 50 y Figura 27 se puede observar el PT100 y el transductor respectivamente.

#### **Figura 50**

*PT 100*



**Nota.** Recuperado de (LABFACILITY, 2017)

**Figura 51***Transductor OMEGA tx58*

**Nota.** Recuperado de (TEAMequip, 2020)

A continuación, en la Tabla 18 se puede observar los datos técnicos del PT100 y en la Tabla 19 los datos técnicos del transductor.

**Tabla 18***Características PT100*

| Propiedad                | Descripción      |
|--------------------------|------------------|
| Rango de temperatura     | 0 – 100 °C       |
| Numero de fibras         | 3                |
| Grado de protección      | IP 67            |
| Material de construcción | Acero Inoxidable |

**Tabla 19***Características Traductor TX58*

| Propiedad          | Descripción           |
|--------------------|-----------------------|
| Modelo             | OMEGA TX58            |
| Entrada            | PT100 de 3 y 2 hilos  |
| Salida             | Analógica de 0 a 10 V |
| Calibración manual | SI                    |



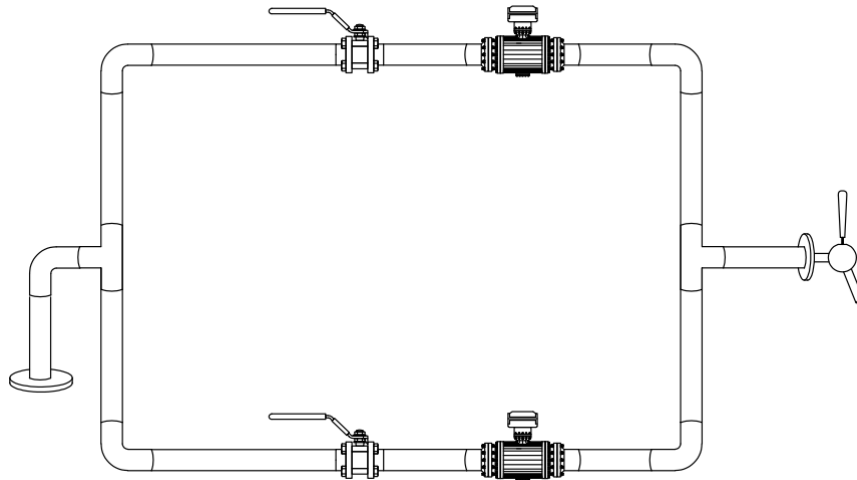
## Circulación del Producto

### *Diseño con dos vías de flujo regulable*

El diseño de este sistema como se observa en la Figura 52, está formado por dos vías en donde circula la cerveza, una vía es más estrecha que la otra y el flujo a través de estas se encuentra controlado por dos electroválvulas. La vía estrecha tiene como objetivo liberar la cerveza con más presión para obtener espuma, en cambio, la vía sin estrechamiento está diseñada para que la cerveza fluya de manera uniforme, obteniendo como resultado un dispensado de cerveza sin espuma. Este diseño fue pensado para cubrir con las dos etapas generales que se tienen al momento de servir la cerveza que son, con la posición del vaso a 45 grados y con la posición del vaso a 90 grados. La primera etapa necesitamos una menor presencia de espuma por lo cual usamos la vía sin estrechamiento. Y la segunda etapa necesitamos mayor presencia de espuma, empleando así la vía más estrecha. Este estrechamiento se lo realiza con llaves proporcionales manuales, las cuales se abren en cierto porcentaje para cumplir con el estrangulamiento correcto para generar o no espuma. Al final del sistema se tendrá que adaptar un grifo dispensador de cerveza para mantener la uniformidad del producto y adoptar el diseño de un dispensador de cerveza tradicional.

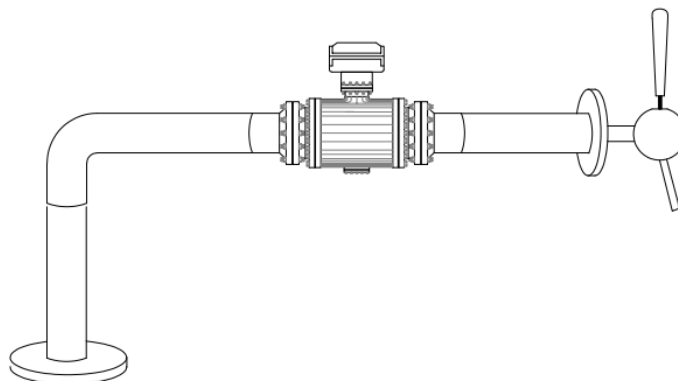
**Figura 52**

*Diseño con dos vías de flujo regulable*



*Diseño con una vía de flujo regulable*

El diseño de este prototipo constaría de una sola vía por la cual se regula el flujo de cerveza con el objetivo de guardar una relación de cerveza – espuma correcta. El único actuador a controlar de este prototipo es una válvula proporcional de acero inoxidable y como complementos para terminar el prototipo tendríamos la manguera de grado alimenticio, uniones y el grifo de dispensado. Para la programación, el transductor debe que tener una salida analógica linealizada de 0 a 10 V o de 4 a 20 mA para poder trabajar con las entradas de un PLC. En la Figura 53 se puede observar el diseño de este sistema a una sola vía.

**Figura 53***Diseño con una vía de flujo regulable***Tabla 20**

Comparación diseños de dispensado de vasos cerveceros

| Opciones de diseño          | Costo de implementación   | Facilidad de implementación  | Dificultad de Programación  |
|-----------------------------|---|--|---|
| Una vía de flujo regulable  | Alto- el precio cotizado de la electroválvula proporcional es de \$2600 | Bajo- La implementación al tener menos elementos se la realizaría en menos tiempo                        | Media-Para controlar la válvula proporcional se necesita un poco más de conocimientos en el manejo de señales analógicas y de los tipos de control que se pueden aplicar a la válvula proporcional. |
| Dos vías de flujo regulable | Bajo- Los costos evaluados para este diseño no superan los 300 dólares  | Medio-La implementación al tener un mayor número de elementos, esta podría demorar un poco más de tiempo | Baja- Programación de válvulas todo o nada resulta bastante sencillo en comparación al diseño propuesto con una válvula proporcional  |

La comparativa realizada en la Tabla 20 muestra una brecha significativa entre el costo de implementación de los dos diseños, esta fue la razón por la cual se optó seleccionar el diseño de dos vías de flujo regulable.

#### Selección de actuadores y elementos

Una vez seleccionado el diseño a implementar, se procedió a la búsqueda de los elementos que dan funcionalidad al prototipo planteado.

#### *Electroválvula*

En la Figura 54 se observa la electroválvula utilizada para este el diseño, en el cual se utiliza dos unidades para controlar el flujo de cerveza en ambas vías.

#### **Figura 54**

*Electroválvula ZW-15J*



**Nota.** Recuperado de (ELECTRIC SOLENOID VALVES, 2018)

A continuación, en la Tabla 21 se puede observar los datos técnicos de la electroválvula

**Tabla 21***Características Electroválvula ZW-15J*

| <b>Característica</b>    | <b>Especificación</b>                |
|--------------------------|--------------------------------------|
| Modelo                   | ZW-15J                               |
| Tipo                     | Válvula solenoide                    |
| Tamaño                   | 16 mm                                |
| Material de construcción | Acero Inoxidable                     |
| Voltaje de operación     | AC 110-120 V                         |
| Presión nominal          | 10 bar                               |
| Estado en reposo         | Normalmente cerrado                  |
| Apto para                | Agua/ Aire / Aceite y Ácidos débiles |
| Conexión                 | NPT 1/2"                             |
| Temperatura de trabajo   | 120°C                                |

**Nota.** Recuperado de (ELECTRIC SOLENOID VALVES, 2018)

*Breaker*

En la Figura 55 se puede observar el breaker que protege de sobretensiones y permite el paso de la energía hacia las electroválvulas

**Figura 55***Breaker SIMENS 5SL4104-7RC*

**Nota.** Recuperado de (SIEMENS, 2015)

A continuación, en la Tabla 22 se podrá observar los datos técnicos del Breaker

**Tabla 22**

*Características Breaker*

| <b>Característica</b>  | <b>Especificación</b>         |
|------------------------|-------------------------------|
| Modelo                 | SIMENS 5SL4104-7RC            |
| Numero de polos        | 1                             |
| Tensión de aislamiento | 250 VAC                       |
| Grado de protección    | IP20                          |
| Disipación             | 1.3 W                         |
| Dimensiones            | 90x18x76 mm                   |
| Temperatura de trabajo | 55 °C                         |
| Certificaciones        | IEC 81346-2:2009 / EN 61346-2 |

**Nota.** Recuperado de (SIEMENS, 2015)

*Módulos Relé*

En la Figura 56 se puede observar el relé miniatura utilizado en el diseño, este permite activar los solenoides de las electroválvulas con las señales de control. Se utilizará dos módulos de relés debido a que se necesita controlar 2 electroválvulas.

**Figura 56**

*Módulo de relé 24Vdc*



**Nota.** Recuperado de (Phoenix Contact, s.f.)

A continuación, en la Tabla 23 se podrá observar los datos técnicos del Breaker

**Tabla 23**

*Características modulo relé*

| <b>Característica</b>         | <b>Especificación</b>     |
|-------------------------------|---------------------------|
| Marca                         | Phoenix Contact           |
| Modelo                        | PLC-RSC-24DC/21           |
| Tensión nominal               | 24 VDC                    |
| Tipo de contacto              | 1 contacto conmutado      |
| Tensión de conmutación máxima | 250 VAC                   |
| Tensión de activación mínima  | 5V                        |
| Corriente constante limite    | 6A                        |
| Certificaciones               | ISA-S71.04/ EN 60068-2-60 |

**Nota.** Recuperado de (Phoenix Contact, s.f.)

### *Llaves de paso*

En la Figura 57 se observa la llave de paso que será instalada en cada vía con la finalidad de regular el paso de la cerveza. La apertura va a ser estrecha en la vía por donde se requiere

generar espuma, en cambio, por la vía donde la cerveza fluye sin obstrucciones la llave de paso se mantendrá abierta.

### Figura 57

*Llave de paso inoxidable EDESA*



**Nota.** Recuperado de (EDESA, 2019)

A continuación, en la Tabla 24 se podrá observar los datos técnicos del Breaker

**Tabla 24**

*Características llave de paso*

| <b>Característica</b>    | <b>Especificación</b> |
|--------------------------|-----------------------|
| Marca                    | EDESA                 |
| Material de construcción | Cuerpo de Latón       |
| Conexión                 | NPT ½ "               |
| Dimensiones              | 3.5x10.9x6.6 cm       |
| Presión máxima           | 125 psi               |
| Normativa                | NTE - INEN 3123       |

**Nota.** Recuperado de (EDESA, 2019)

### *Manguera y Uniones*

En la Figura 58 se puede observar las uniones y mangueras que servirán para conectar los diferentes elementos del sistema. El principal requerimiento de estas es el nivel de grado alimenticio que deben cumplir para trabajar con cerveza.



**Figura 58**

*Uniones y manguera de grado alimenticio*



### *Grifo*

En la Figura 59 se puede observar el grifo de acero inoxidable usado comúnmente en los dispensadores de cerveza tradicional. La particularidad de este grifo radica en su doble funcionalidad al momento de servir cerveza. Cuando el mango este abierto hacia atrás, el grifo procede a servir cerveza en lo posible sin espuma, caso contrario, si el mango del grifo se activa hacia adelante, este procede a dispensar principalmente espuma de cerveza. Para el diseño, este grifo estará en condiciones de siempre abierto con el mango hacia atrás sin modificar el flujo de cerveza.

**Figura 59**

*Grifo dispensador de cerveza*



**Nota.** Recuperado de (BEERLAND, s.f.)

### *Cámara*

Como etapa final del sistema dispensador de cerveza, se requiere un método para controlar la activación de las electroválvulas en tiempo real mientras se esté sirviendo cerveza en el vaso.

El requerimiento de la empresa auspiciante fue hacer uso de la cámara Industrial COGNEX InSight de la Figura 6. Este es un sensor industrial que ofrece todas las características mencionadas en el apartado de *visión artificial* en el capítulo II.

**Figura 60***Cámara industrial COGNEX InSight***Nota.** Recuperado de (Krempien, n.d.)

A continuación, en la Tabla 25 se puede observar los datos técnicos de la cámara Cognex

**Tabla 25***Cámara Industria Cognex In-sight*

| <b>Característica</b>    | <b>Especificación</b> |
|--------------------------|-----------------------|
| Sensor de cámara         | IS5400-C00.           |
| Alimentación             | 24Vdc                 |
| Resolución               | 640 x 480             |
| Comunicación             | PROFINET              |
| Gama de colores          | Blanco/negro y gris   |
| Grado de protección      | IP67                  |
| Software de programación | InSight               |

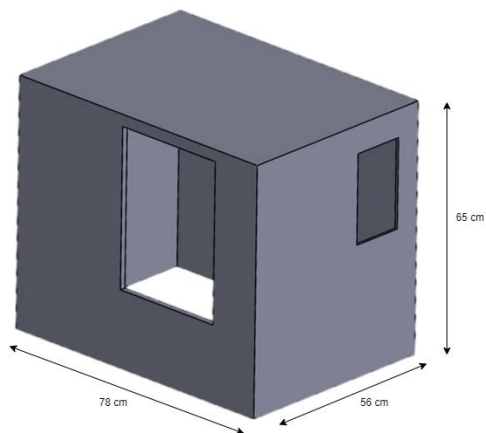
**Nota.** Recuperado de (Krempien, n.d.)

La cámara Industrial tiene como principal limitante su gama de colores monocromático, por eso se optó por realizar un ambiente lumínico controlado dentro de una caja negra cuya

función es evitar todo tipo de perturbaciones en el exterior. Este diseño se lo puede observar en la Figura 61.

**Figura 61**

*Caja para mejorar el desempeño de la cámara COGNEX*



La luminaria utilizada para complementar este sistema fue de la marca Sylvania, mostrada en la Figura 62 y sus características se observan en la Tabla 26.

**Tabla 26**

Características de Luminaria

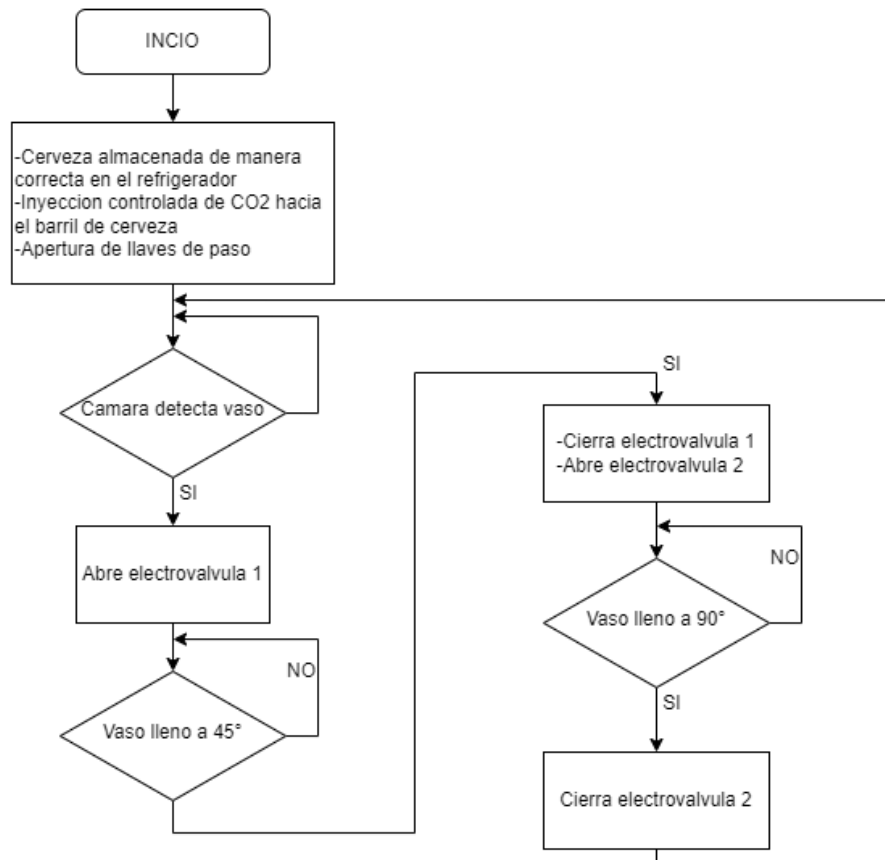
| <b>Característica</b> | <b>Especificación</b> |
|-----------------------|-----------------------|
| Potencia              | 16 W                  |
| Angulo de apertura    | 120°                  |
| Tension               | 100-240Vac / 60Hz     |
| Vida util             | 30000 h               |
| Proteccion            | IP20                  |
| Tipo de fuente        | LED                   |

**Figura 62***Luminaria***Diagrama de Flujo**

Explicadas todas las etapas del sistema dispensador de cerveza, se procede a desarrollar el diagrama de flujo donde se muestra el proceso que realiza el prototipo. Como se puede observar en la Figura 63, primero se deben tener en cuenta ciertas consideraciones como abrir las llaves de paso, revisar la correcta inyección de CO<sub>2</sub> y que la cerveza este bien refrigerada, para después analizar los estados de la cámara y que esta interactúe con las electroválvulas.

**Figura 63**

Diagrama de flujo del sistema dispensador de cerveza



### *Sistema de transporte de cerveza hacia el cliente*

Para este sistema se tiene un actuador central que será el encargado de transportar el vaso correctamente servido desde el punto donde el robot lo deposita hasta el cliente, teniendo una distancia prudente con el fin de evitar accidentes. Por lo general en las industrias al utilizar robots se toman ciertas medidas de seguridad y prevención de riesgos, por lo cual se emplean barreras fijas o puertas electromecánicas para evitar el acceso a las células robotizadas, sin embargo, este proyecto al ser demostrativo, tomó como medida de prevención el sacar el vaso

dispensado fuera del alcance del robot para que los clientes estén fuera del área de trabajo del robot.

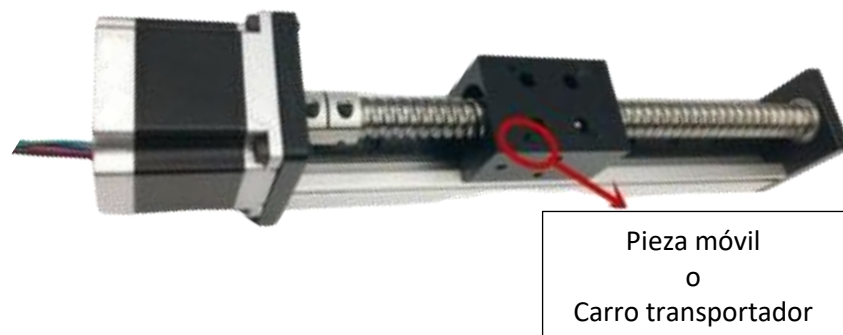
### Sensores y Actuadores del sistema

#### *Actuador Lineal o Riel*

Se asignó un riel lineal de 65 [cm], como se muestra en la Figura 64, el cual posee un motor Nema 23 y un pequeño carro metálico, el mismo que transporta el vaso de cerveza hacia el cliente.

#### **Figura 64**

##### *Riel lineal*



**Nota.** Recuperado de (Ebay, 2022a)

Según las características técnicas que se muestra en la Tabla 27, el riel no tendría problemas al trasladar el vaso de un punto al otro ya que su carga es mucho menor.

**Tabla 27**

Especificaciones de riel lineal

| <b>Característica</b>    | <b>Especificación</b>                   |
|--------------------------|---|
| Paso del tornillo        | 1MM                                     |
| Carrera                  | 65 mm                                   |
| Precisión del tornillo   | 0.1 mm                                  |
| Carga horizontal máxima  | 3 kg                                    |
| Carga vertical máxima    | 1 kg                                    |
| Material                 | Aleación de aluminio y acero inoxidable |
| Angulo de paso del motor | 1.8°                                    |
| Voltaje de motor         | 24 V                                    |
| Tipo de motor            | Nema 23                                 |

**Nota.** Recuperado de (Ebay, 2022a)**Nota.** Recuperado de (Ebay, 2022b)

Para realizar los movimientos del riel ya sea hacia adelante o atrás se necesita un driver, que en este caso es el TB6600 de la Figura 42, ya usado en el sistema de dispensador de vasos cervecedores ya que este soporta motores Nema 23 y se configura según el motor que se emplee con los switches explicados anteriormente.

#### *Sensor inductivo*

Al tener una aleación de acero inoxidable en el carro transportador se utiliza sensores inductivos como fines de carrera, ya que este al estar próximo a un objeto metálico el sensor envía una señal. En este caso se utilizará el sensor IFT203 que se encuentra en la Figura 65.



**Figura 65***Sensor inductivo IFT203*

**Nota.** Recuperado de (ifm electronic gmbh, 2003b)

En la Tabla 28 se tiene las características técnicas del sensor por el cual se tiene que colocar a un máximo de 4 mm, para que detecte el carro transportador y el PLC tenga conocimiento de la posición en la que se encuentra con el fin de que al inicio el robot coloque el vaso y al final del riel para emitir una alerta para que el cliente recoja el vaso.

**Tabla 28***Características técnicas de sensor inductivo*

| <b>Característica</b>        | <b>Especificación</b> |
|------------------------------|-----------------------|
| Alimentación                 | PNP                   |
| Función de salida            | NO                    |
| Alcance                      | 4 mm                  |
| Carcasa                      | Tipo con rosca        |
| Dimensiones                  | 45 mm                 |
| Tensión de alimentación      | 10 a 36 DC            |
| Consumo de corriente         | 10 [mA] a 24 V        |
| Clase de protección          | II                    |
| Frecuencia de Conmutación DC | 800 [Hz]              |

**Nota.** Recuperado de (ifm electronic gmbh, 2003a)

### *Sensor Fotoeléctrico*

Los sensores inductivos solo son capaces de detectar el carrito transportador metálico, por lo tanto, no notarían la presencia del vaso por lo cual se añaden sensores de presencia en cada extremo del riel, el primero se ubica al extremo cerca del robot donde este debe colocar el vaso y el otro en la ubicación donde debe esperar que el cliente recoja el vaso para que vuelva a su posición inicial el riel.

En la segunda locación se usa el sensor fotoeléctrico reflectivo, ya presentado anteriormente en la Figura 10 para la detección del sistema dispensador de vasos cerveceros, por otro lado, para la otra ubicación se asignó también el Mini-Beam<sup>®</sup> SM312CV que se visualiza en la Figura 66.

**Figura 66**

*Sensor Mini-Beam SM312CV2QD*



Este sensor es un sensor fotoeléctrico que posee una luz visible de 650 nm y entradas desde 10 a 30 VDC, las demás características se las puede apreciar en la Tabla 29.

**Tabla 29***Características técnicas de sensor fotoeléctrico SM312CV2QD*

| <b>Característica</b>     | <b>Especificación</b> |
|---------------------------|-----------------------|
| Tensión de alimentación   | 10 a 30 V dc          |
| Corriente de alimentación | 25mA                  |
| Tiempo de respuesta       | 1 ms                  |
| Luz visible               | 650 nm                |
| Luz indicadora            | Led rojo              |
| Temperatura de operación  | -20° a 70°C           |
| Humedad                   | 90% a 50°             |
| Rango de operación        | 43 mm                 |

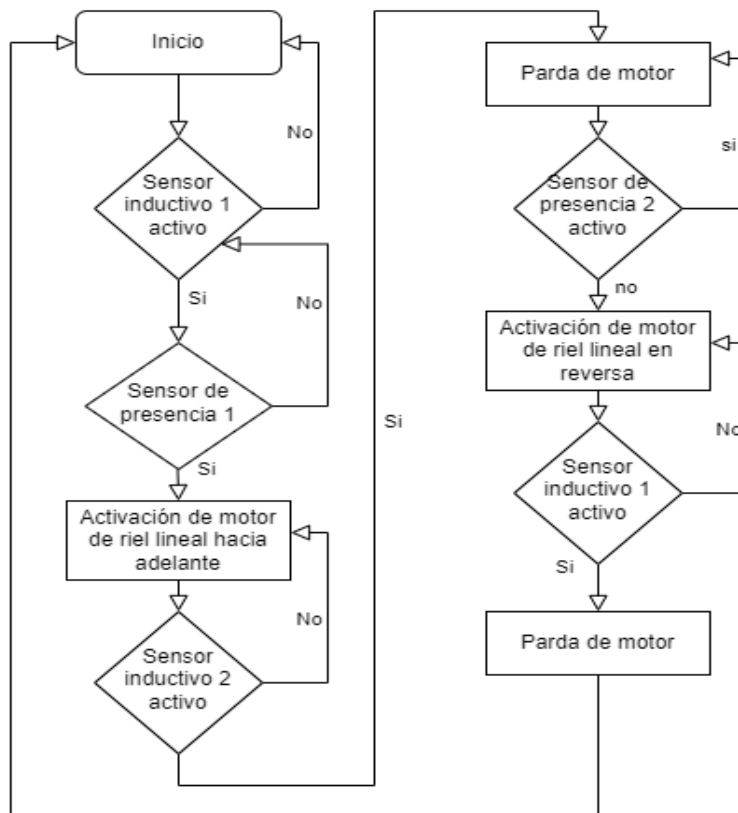
**Nota.** Recuperado de (Banner Engineering Corp, n.d.)

#### Diagrama de Flujo

En la Figura 67 se tiene un sistema independiente del transporte hacia el cliente en el cual se encuentra la interacción entre el actuador y los diferentes sensores para que el riel se traslade hacia adelante o hacia atrás según sea el caso.

Figura 67

Diagrama de flujo de Sistema de dispensado a cliente



#### Aplicación para plataformas móviles

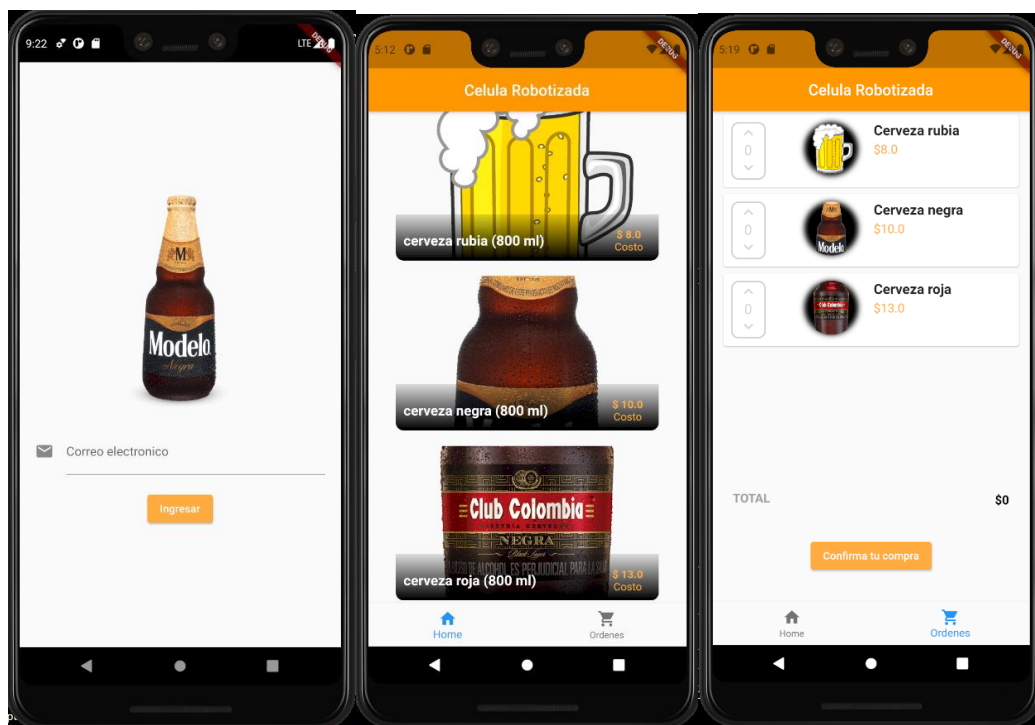
Uno de los requerimientos es usar una aplicación móvil para facilitar la interacción del cliente con la célula robotizada, por lo cual las interfaces desarrolladas se las ha enfocado a tener una navegación intuitiva y simple para el cliente. Se presentará la información necesaria sobre el producto a comprar y se tendrá un apartado donde se podrá realizar el pedido de manera ágil y sencilla. También se tendrá una interfaz desarrollada con la finalidad de tener un sondeo de los usuarios que emplearon la aplicación, la misma que el cliente deberá llenar con su correo electrónico.

## Diseño de las Interfaces

La aplicación tendrá dos interfaces principales, las cuales interactúan a través de una barra de navegación ubicada en la parte inferior. La interfaz principal constará de un menú y breve resumen de las características y precios de las bebidas que la célula robotizada pueda dispensar, la segunda interfaz será en donde el cliente pueda realizar su pedido, seleccionando el tipo de cerveza que desea y la cantidad de unidades que requiere, la tercera interfaz se desarrolló con la finalidad de tener un sondeo de los usuarios que usaron la aplicación, la cual se tendrá que llenar con el correo electrónico. A continuación, en la Figura 68 se pueden observar las interfaces diseñadas

**Figura 68**

*Interfaces de la aplicación móvil desarrollada*



### Comunicación entre Aplicación móvil y PLC

Los datos obtenidos de la aplicación móvil, se tienen que enviar de alguna manera hacia el controlador de la célula Robotizada. Por lo cual se requiere de un sistema de almacenamiento de base de datos, para luego ser interpretados y enviados hacia el controlador PLC. La base de datos seleccionada para el diseño fue Firebase, esta trabaja con un servidor en la nube, evitando la creación de una base de datos propia, además de tener la confianza y seguridad de Google que son los desarrolladores de esta base de datos. Otra de las ventajas de Firebase es la versatilidad de comunicación con otras plataformas, permitiendo así cumplir con el siguiente punto del diseño, el cual es enviar los datos almacenados hacia una herramienta de programación que se pueda sincronizar con el PLC.

Node RED es una herramienta que permite integrar Hardware con servicios externos, como puede ser una base de datos. Este es un motor de flujos enfocado a la Industria 4.0 para realizar comunicación y sincronización entre varios dispositivos que estén en una misma red. La programación que se desarrolla en esta herramienta es de tipo gráfica y se tendrá que instalar los nodos, tanto de la base de datos Firebase, como los nodos del PLC SIEMENS.

#### *Interfaz HMI.*

La HMI está pensada para dar un fácil acceso al operador hacia el monitoreo y mantenimiento de la célula robotizada. En la Figura 69 se observa la HMI KIMCO utilizada, la misma que fue una imposición por parte de la empresa auspiciante.

**Figura 69***HMI Kinco MT4414TE*

**Nota:** Recuperado de(Kinco Automation, 2011)

A continuación, en la Tabla 30 se podrá observar los datos técnicos de la cámara

Cognex

**Tabla 30***Características de la HMI MT4414TE*

| <b>Característica</b>    | <b>Especificación</b>       |
|--------------------------|-----------------------------|
| Modelo                   | MT4414TE                    |
| Tamaño                   | <b>7"</b>                   |
| Tensión de alimentación  | <b>24V DC</b>               |
| Resolución del display   | <b>800x480</b>              |
| Grado de protección      | <b>IP65</b>                 |
| Interfaz de comunicación | <b>Ethernet/RS232/RS485</b> |
| Temperatura de operación | <b>0...50°C</b>             |

**Nota:** Recuperado de (Kinco Automation, 2011)

## Mapa de navegación para el manejo del HMI

La HMI diseñada solo cuenta con dos niveles de jerarquía y con 4 pantallas, las cuales están comunicadas a través de un menú de navegación. La topología que se implementó se puede observar en la Figura 70.

### **Figura 70**

*Mapa de navegación y jerarquías de la HMI*



## Diseño de las Pantallas

Siguiendo las normativas y guías diseñadas para desarrollar HMI, se utilizó un color de fondo que no incomode a los ojos del operador, de igual manera los colores utilizados no son mayor al número sugerido y las alarmas se encuentran en una adecuada posición para una fácil visualización. La pantalla se la debe programar desde el software de la HMI el cual es KincoHMIware.

### *Pantalla de Inicio*

Para la ilustración de la pantalla de inicio, se la ha dividido en 6 apartados los cuales se los puede observar en la Figura 71.

Sección número 1.- Menú de paro de emergencia, botón y luz indicadora



Sección número 2.- Menú de alarmas, luces indicadoras para alarmas de: Recoger vaso, Temperatura incorrecta, No hay vasos, carbonatación alta y no hay producto

Sección número 3.- Luces indicadoras de funcionamiento o paro de la célula robotizada

Sección número 4.- Indicador de temperatura en grados centígrados

Sección número 5.- Menú que tiene dos botones, el botón de inicio que sirve para inicializar la célula robotizada y el botón de rearme que sirve para reiniciar la célula robotizada después de entrar en un paro de emergencia.

Sección número 6.- Menú de navegación, Compuesta por 3 botones los cuales permiten navegar a través de las demás pantallas diseñadas.

**Figura 71**

*HMI -Pantalla de HOME*



*Pantalla de Producción*

En la Figura 72 tenemos la pantalla de producción donde, al igual que en la pantalla de inicio se visualiza en la parte superior el menú de paro de emergencia y de alarmas. En el resto

de la pantalla podemos observar la representación de los actuadores presentes en la fase de producción, estos son E1 para electroválvula uno, E2 para electroválvula dos, BANDA para el funcionamiento del actuador lineal y BASE ROTATORIA para el funcionamiento del dispensador de vasos.

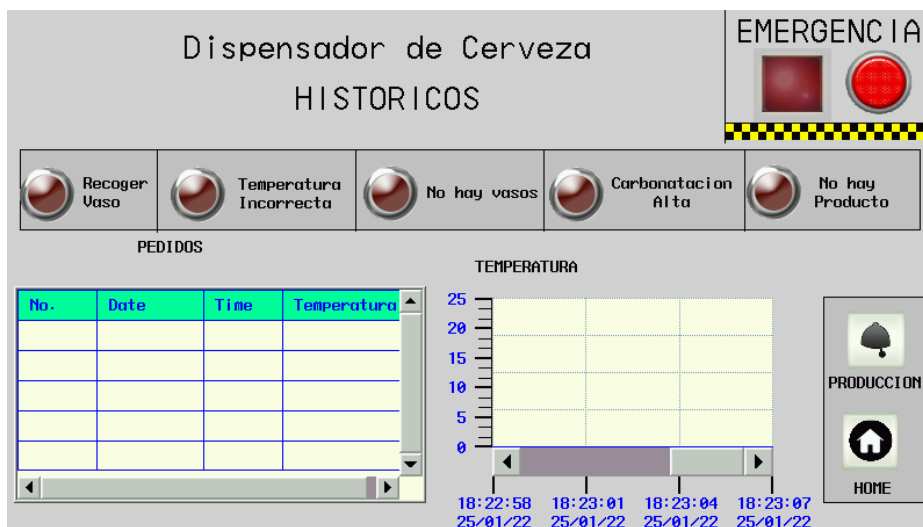
**Figura 72**

*HMI - Pantalla de producción*



*Pantalla de Históricos*

En la Figura 73 encontramos la pantalla de históricos. Al igual que en a la pantalla de inicio, se puede visualizar los menús de paro de emergencia, alarmas y navegación. Además, podemos encontrar una tabla, a al cual se la asigno la variable que está encargada de recibir los pedidos de la aplicación móvil, por lo tanto, cada vez que se realice un pedido se desplegara la fecha, hora y temperatura con la que se despachó la cerveza. También observamos una gráfica que muestra la variable temperatura en tiempo real.

**Figura 73***HMI - Pantalla de Históricos****Pantalla de mantenimiento***

En la Figura 74 encontramos la pantalla de históricos. Al igual que el resto de pantallas visualizamos los menús de emergencia y alarmas. También se puede observar los siguientes 4 apartados:

Sección número 1.- Menú corrección de carbonatación, con este botón el operador podrá corregir el error de carbonatación alta, desactivando la alarma y permitiendo a la célula robótica para realizar nuevos pedidos

Sección número 2.- Menú corrección de producto, con este botón el operador podrá corregir el error No hay producto, desactivando la alarma y permitiendo a la célula robótica para realizar nuevos pedidos

Sección número 3.- Activación y desactivación manual del Gripper

Sección número 4.- Activación y desactivación manual de las Electroválvulas 1 y 2

Figura 74

HMI - Pantalla de Mantenimiento



#### *Delineamiento de elementos activos y pasivos.*

La célula robotizada a parte del robot, también está compuesta de elementos activos y pasivos que están dentro del área de trabajo del robot en posiciones estratégicas, con la finalidad de que el robot interactúe con estos elementos y logre un trabajo preestablecido.

Los elementos pasivos son aquellos que no tienen una interacción directa con el robot, sin embargo, son esenciales para dar funcionalidad a otros elementos, creando armonía en el entorno para que el robot trabaje de la manera más eficiente, mientras tanto su contraparte, los elementos activos son los que están en constante interacción con el robot con el robot, dando lugar a un ambiente funcional y sincronizado.

En la Tabla 31 se listan los componentes activos y pasivos.

**Tabla 31***Elementos activos y pasivos por sistemas*

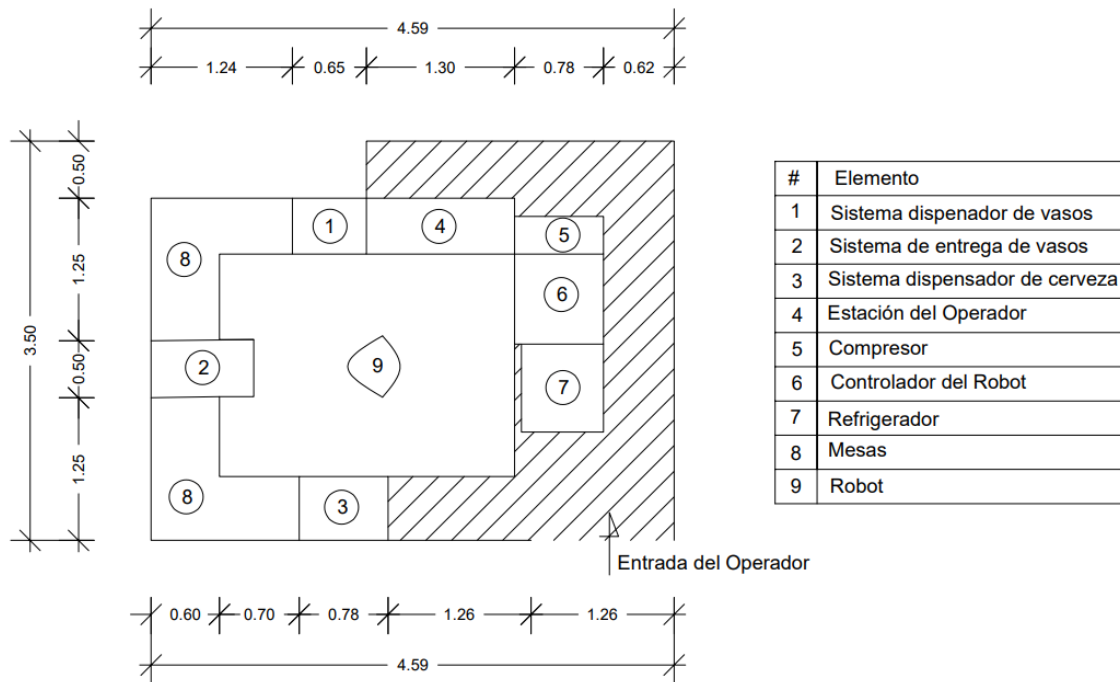
| ítem | Sistema   | Elementos Activos   | Elementos Pasivos  |
|------|---|---|--|
| 1    | Sistema Robot                                   | -Robot<br>-Controlador KRC4<br>-Electroválvulas neumáticas de gripper<br>-Compresor                     | -Gripper   |
| 2    | Sistema dispensador de vasos cervenceros        | -Motor<br>-Driver TB6600<br>-Sensor fotoeléctrico reflectivo  | -Base de madera giratoria<br>-Mesa   |
| 3    | Sistema de transporte de vasos hacia el cliente | -Riel con su respectivo motor<br>-Sensores inductivos<br>-Sensores fotoeléctricos<br>- Driver TB6600    | -Mesa<br>-Soporte de sensores  |
| 4    | Sistema de dispensador de cerveza               | -Electroválvulas<br>-Relés<br>-Breakers<br>-Cámara y controlador<br>-Luminaria de 16 W<br>-Refrigerador | -Mangueras<br>-Grifo<br>-Acoples y uniones<br>-Llaves de paso<br>-Mesa<br>-Soporte de cámara<br>-Caja para control visual<br>-Barril Cornellius<br>-Tandre de CO2<br>-Regulador de presión |
| 5    | Sistema de Control                              | -PLC<br>-Fuente de alimentación<br>-Switches  | -Tablero   |

Ubicación de elementos activos y pasivos.

En la Figura 75 se podrá observar un bosquejo donde se encuentran ubicados cada uno de los sistemas con los que el robot va a interactuar.

Figura 75

Ubicación de los elementos que componen la célula robotizada



### Sistema de Control

Una vez dimensionados los sistemas a controlar, se seleccionará el controlador PLC que cumpla con los requerimientos mostrados en la Tabla 32.

Tabla 32

Requerimientos de entradas, salidas y puertos necesarios en cada sistema

|   | Entradas Digitales | Entradas Analógicas | Salidas Digitales | Puertos RJ45 |
|---|--------------------|---------------------|-------------------|--------------|
| Sistema robot                                     | 0                  | 0                   | 2                 | 1 puerto     |
| Sistema dispensador de vasos cervecedores         | 1                  | 0                   | 2                 | Ninguno      |
| Sistema dispensador de cerveza                    | 0                  | 1                   | 2                 | 1 puerto     |
| Sistema de transporte de cerveza hacia el cliente | 4                  | 0                   | 3                 | Ninguno      |
| HMI   | 0                  | 0                   | 0                 | 1 puerto     |
| Computadora                                       | 0                  | 0                   | 0                 | 1 puerto     |

Con los datos de la Tabla 32 descrita anteriormente se tiene que para este proyecto se necesita un total de cinco entradas digitales, una entrada analógica y 9 salidas digitales, por lo tanto, se necesita un controlador con estas características.

## PLC

Una de las opciones es un PLC Siemens S7-1200, el que es un controlador compacto que cuenta con una gran capacidad de procesamiento y una alta precisión y soporta varios protocolos de comunicación para la integración con dispositivos externos permitiendo una conexión más fácil a través de GSD. Este PLC tiene varias versiones sin embargo el empleado para este proyecto es un CPU 1214c DC/DC/DC (Ver Figura 76), ya que se adapta correctamente a los requisitos antes mencionados y no necesita un implemento aparte para las salidas PWM como se mostró en el apartado de *motion control* del Capítulo II, las características del mismo se encuentran detalladas en la Tabla 33.

### Figura 76

*PLC SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, CPU compacta, DC/DC/DC*



**Nota:** Recuperado de (Siemens, 2022)

**Tabla 33***Características de CPU 1214c DC/DC/DC*

| <b>Características</b>                           | <b>Especificaciones</b>  |
|--|--|
| Dimensiones AXXP (mm)                            | 110x100x75   |
| Peso   | 415g   |
| Disipación de potencia                           | 12 W   |
| Rango de tensión                                 | De 20,4 V DC a 28,8 V DC   |
| Intensidad de entrada (carga máx.)               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Solo CPU - 500 mA a 24 V DC</li> <li>• CPU con todos los accesorios de ampliación - 1500 mA a 24 V DC</li> </ul>                                      |
| Corriente de irrupción (máx.)                    | 12 A a 28,8 V DC   |
| Entradas digitales integradas                    | 14 entradas (24 V DC a 4 mA, nominal)  |
| Salidas digitales integradas                     | 10 salidas (Estado sólido MOSFET) (De 20,4 a 28,8 V DC con 0.5 A)  |
| E/S analógicas integradas                        | 2 entradas (Tipo tensión de 0 a 10 V)  |
| Resolución de las entradas analógicas integradas | 15 bits  |
| Tamaño de la memoria imagen de proceso           | 1024 bytes de entradas (I)/1024 bytes de salidas (Q)   |
| Área de marcas (M)                               | 8192 bytes   |
| Salidas de impulsos                              | Se han configurado un máximo de 4 para usar cualquier salida integrada o de SB <ul style="list-style-type: none"> <li>• 100 kHz (de Qa.0 a Qa.3)</li> <li>• 30 kHz (de Qa.4 a Qb.1)</li> </ul> |
| Número de puertos Ethernet                       | 1 puerto   |
| Transferencia de datos                           | 10/100 Mb/   |

**Nota:** Recuperado de (Siemens, 2015)

### Switch

El switch que se debe utilizar para la integración de los sistemas es aquel que soporte los principales estándares y protocolos de comunicación, además de ello cuenta con un mínimo de 5 puertos RJ45 ya que a la Tabla 32, se le debe sumar el puerto que utiliza el PLC para la comunicación.

En este caso la empresa posee un switch TP-Link de 8 puertos como el de la Figura 77, con los datos técnicos presentados en la Tabla 34, siendo un elemento idóneo para este proyecto.



**Figura 77***Switch Tp-link***Nota:** Recuperado de (TP-link, 2022)**Tabla 34***Características de Switch Tp-Link*

| <b>Característica</b>          | <b>Especificación</b>  |
|--------------------------------|--|
| Modelo                         | TL-SG108 V1  |
| Interfaz                       | 8 puertos RJ45 a 10/100/1000 Mbps, Negociación automática, MDI/MDIX automático   |
| Fuente de Alimentación Externa | Adaptador Externo (Salida: 9VDC / 0.6A)  |
| Estándares y Protocolos        | IEEE 802.3i / 802.3u / 802.3ab/ 802.3x /802.1p   |
| Consumo de Potencia Máximo     | 3.31W(220V/50Hz)   |
| Factores Ambientales           | Temperatura de funcionamiento: 0°C~40°C (32°F~104°F)<br>Temperatura de almacenamiento: -40°C~70°C (-40°F~158°F)<br>Humedad de funcionamiento: 10% ~ 90% sin condensación<br>Humedad de almacenamiento: 5%~90% sin condensación |
| Dimensiones                    | 158 x 101 x 25 mm (6.2 x 4.0 x 1.0 pulgadas)   |

**Nota:** Recuperado de (TP-link, 2022)

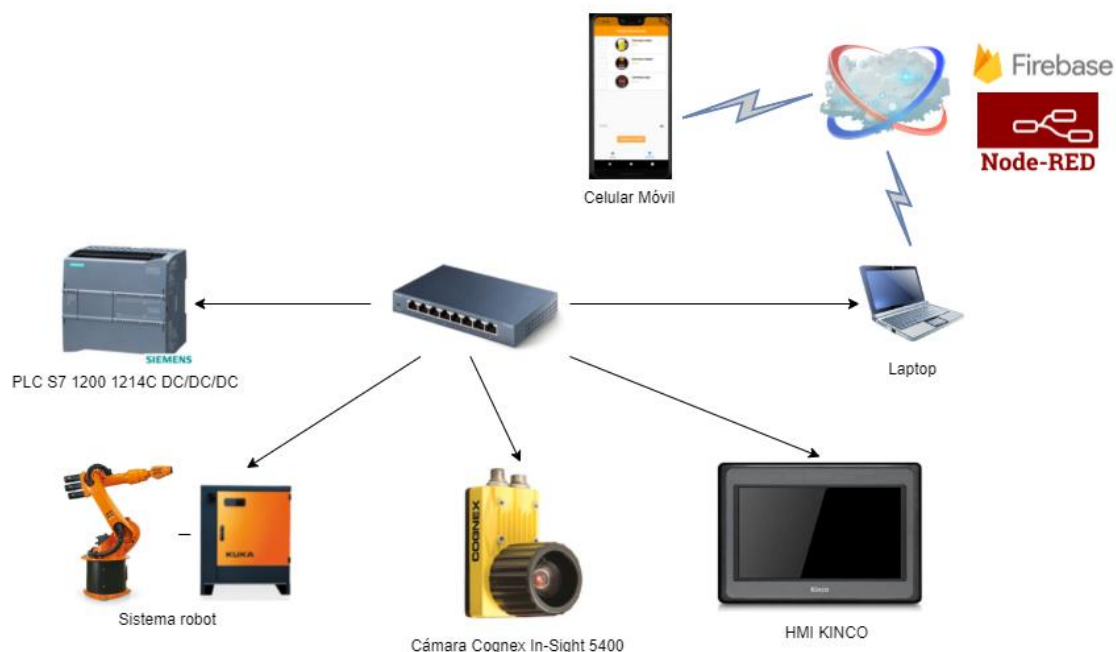
## Integración de componentes de célula robotizada

### Comunicación

En la Figura 78 se puede observar la topología de comunicación. Teniendo en cuenta los dispositivos a conectar en este caso: el sensor de visión Cognex In-Sight, el robot, el HMI, la computadora del operador con acceso a internet para los datos de la aplicación móvil; el PLC y el switch que interconecta estos dispositivos en una red con sus respectivas IP fijas.

**Figura 78**

### Topología de Red



### Conexión PROFINET de Cámara

#### *Configuración del protocolo PROFINET en cámara Cognex*

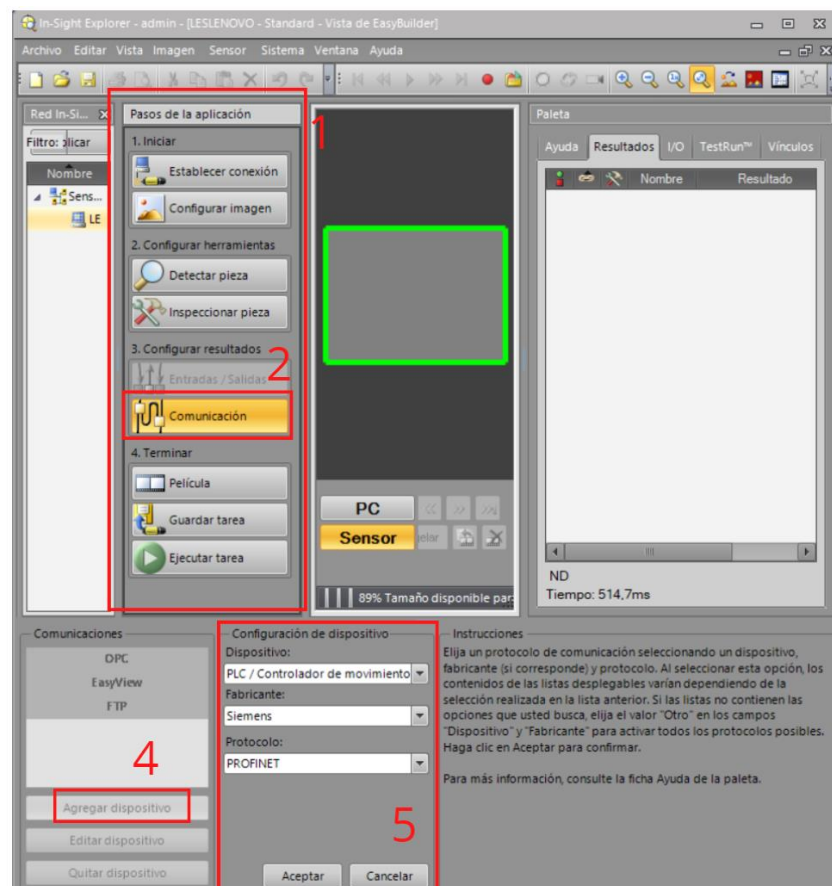
La conexión PROFINET de este elemento debe ser configurado en el software asignado para este tipo de cámara industrial en este caso es el In-Sight Explorer, que se detalla en el apartado con este nombre en el Capítulo II, en este caso se usó la versión 5.7.0, que permite

realizar una programación en el entorno EasyBuilder, el cual se muestra en la Figura 79, con los pasos a seguir que se describen a continuación.

1. Dirigirse al menú “pasos de aplicación”
2. Clic en botón de Comunicación y se abrirá un submenú en la parte inferior
3. Clic en agregar dispositivo el mismo que abrirá un submenú en la parte
4. En configuraciones de dispositivo se debe escoger PLC/Controlador de fabricante, en Fabricante se escoge Siemens y en protocolo PROFINET.
5. Clic en Aceptar

**Figura 79**

*Entorno de In-Sight Explorer*



Una vez escogidas estas opciones, la cámara esta lista para conectarse al PLC una vez que esta se encuentre configurada correctamente se podrá recibir y enviar los datos necesarios a través de las nuevas pestañas creadas a partir de la configuración anterior donde se visualizan los datos de entrada y salida, que se configuran en 8 bits sin signo como se observa en la Figura 80.

**Figura 80**

*Conexión de datos de entrada y salida*

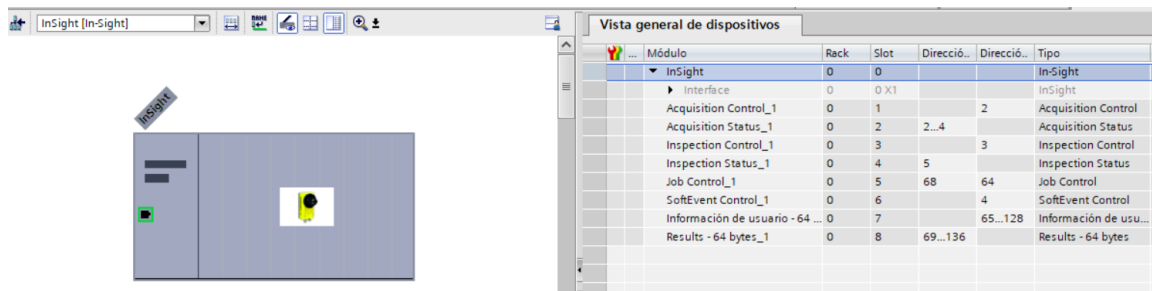


*Mapeo de entradas del cámara hacia el PLC*

Para empezar la conexión con el PLC se debe añadir el archivo GSD (Ver Figura 81) correspondiente a la cámara que se emplea, en este caso corresponde al GSD 4.1, que se añadirá a la interfaz network del PLC, obteniendo así las direcciones iniciales y finales de los bloques de los diferentes módulos que tiene la cámara asignada por TIA PORTAL con estas bases se procederá a realizar el mapeo de las direcciones que recibirá y enviará la cámara.

**Figura 81**

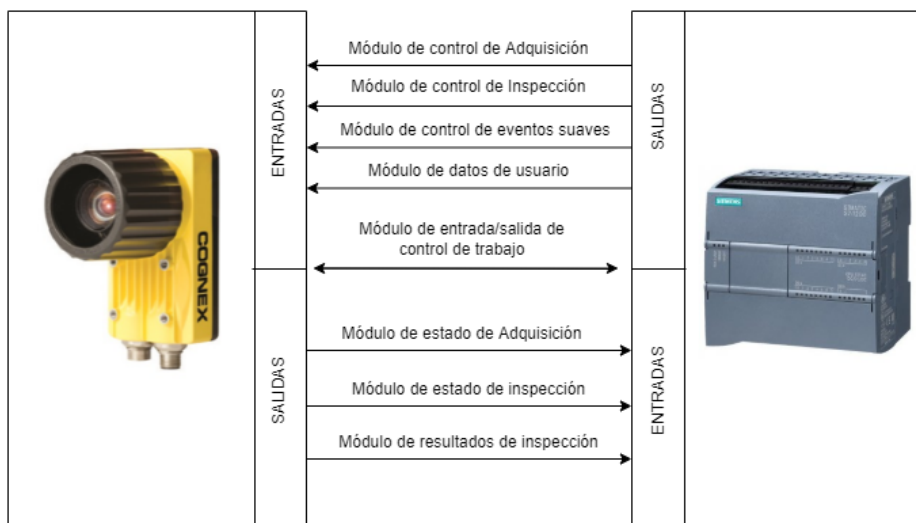
*GSD y Módulos de cámara*



El mapeo de las variables se realiza a través de una plantilla Excel otorgada por la página principal de Cognex una vez creada una cuenta en la misma, esta tabla al ser extensa se visualizará en el ANEXO 1. Mapeo *PROFINET de Cámara Cognex a TIA Portal*, a partir de la cual se escogen las variables a usar en la programación. En la Figura 82 se visualiza un esquema de entrada y salida de los módulos.

**Figura 82**

*Esquema de conexiones entre cámara y PLC*



Posteriormente se debe poner el mismo nombre y dirección IP, en la cámara y en la configuración general del GSD de la cámara, con el fin de que el PLC reconozca correctamente el dispositivo, como se muestra en la Figura 83.

Figura 83

*Dirección IP y nombre de dispositivo PROFINET en cámara y PLC*

The image shows two configuration windows from the WorkVisual software. The top window, titled 'Direcciones Ethernet' and 'PLC', is for configuring the network settings of a PLC. It shows the interface connected to 'PN/E\_1' with a subnet of 'PN/E\_1'. Under 'Protocolo IP', the IP address is set to '172.31.1.101' and the subnet mask to '255.255.0.0'. The 'Sincronizar los ajustes del router con el controlador IO' checkbox is checked, and 'Utilizar router' is unchecked. The router address is '0.0.0.0'. The 'PROFINET' section has 'Generar automáticamente el nombre del dispositivo PROFINET' checked, with the device name 'insight', converted name 'insight', and device number '1'. The bottom window, titled 'Información del sensor' and 'CÁMARA', shows sensor details: 'Conectado a: insight', 'Dirección MAC: 00-d0-24-02-0c-9d', 'Número de modelo: 5400', 'Dirección de IP: 172.31.1.101', 'Versión de firmware: 4.02.00 (297)', and 'Número de serie: Z80911020'.

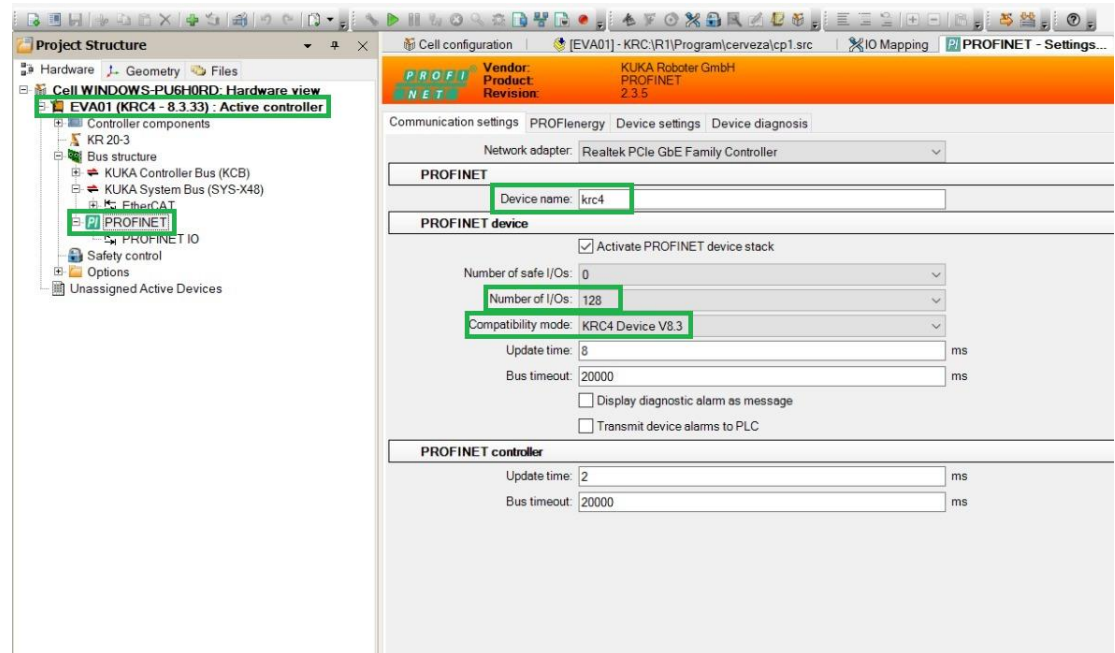
### Conexión PROFINET de Robot

#### *Configuración del protocolo PROFINET en el controlador KRC4*

Para hacer uso del protocolo PROFINET en el controlador KRC4, en la Figura 84 se observa la configuración y activación de ciertos parámetros dentro del software WorkVisual. En primer lugar, una vez establecida la conexión con el controlador y seleccionarlo como unidad activa, se procede a seleccionar la opción PROFINET en el menú desplegado en la parte izquierda, este mostrará una ventana de ajustes donde se asigna el nombre del dispositivo, el número de entradas y salidas que se van a comunicar con el PLC y la versión PROFINET que se tiene instalada en el controlador.

Figura 84

Configuración de parámetros PROFINET en el Software WorkVisual

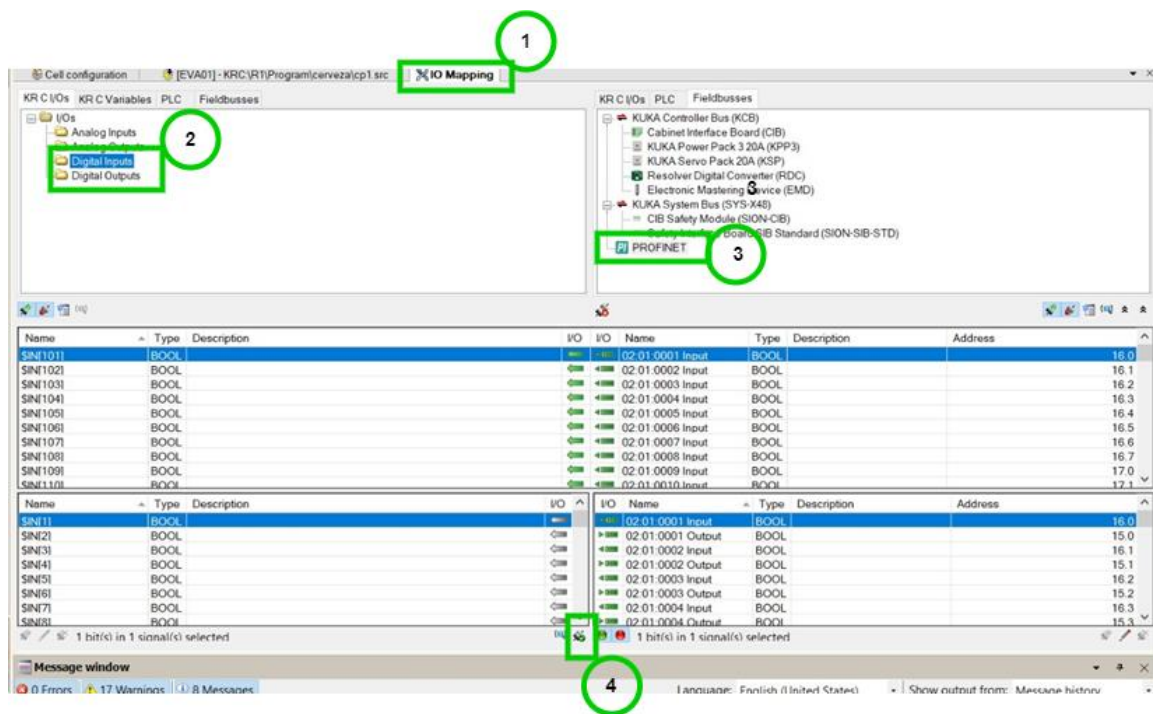


### *Mapeo de entradas del controlador hacia el PLC*

Una vez realizada estas configuraciones PROFINET, se procede a seleccionar las entradas y salidas que se van a usar para la comunicación. En primer lugar, dirigirse a la pestaña IO Mapping, la misma que despliega la ventana observada en la Figura 85. En este ejemplo se selecciona la carpeta de entradas digitales del controlador KRC, desplegando en la parte inferior izquierda a todas las entradas que se pueden comunicar. Ahora se procede a seleccionar en la parte derecha el icono PROFINET, desplegando en la parte inferior derecha las direcciones que se asignan a las entradas y salidas del controlador. Para realizar el mapeado, se procederá a conectar cada entrada y salida una por una con el botón visualizado en la parte inferior. En el recuadro del medio de la ventana se visualizará un resumen de las entradas y salidas mapeadas, en este caso se sincroniza entradas y salidas desde la 101 hasta la 228, obteniendo 128 salidas y 128 entradas listas para ser utilizadas en la comunicación PROFINET con el PLC

Figura 85

Ventana IO Mapping de WorkVisual

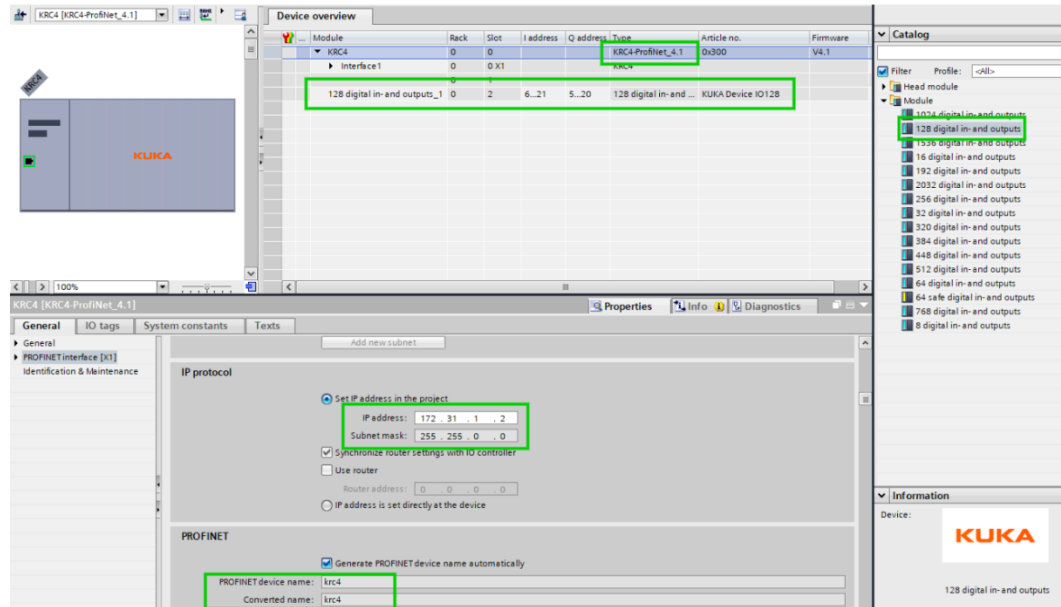


Una vez terminada la configuración en Workvisual, se procede a realizar las configuraciones respectivas en el Software TiaPortal, para empezar se debe importar el archivo GSD perteneciente al módulo compatible con el controlador del robot, una vez realizado esto se tiene que añadir a la interfaz de Redes el controlador del robot, que se configura con el mismo nombre de dispositivo asignado en la configuración PROFINET, la misma IP y también el mismo número de entradas y salidas, en este caso 128. Todas estas particularidades se las puede observar en la Figura 86



Figura 86

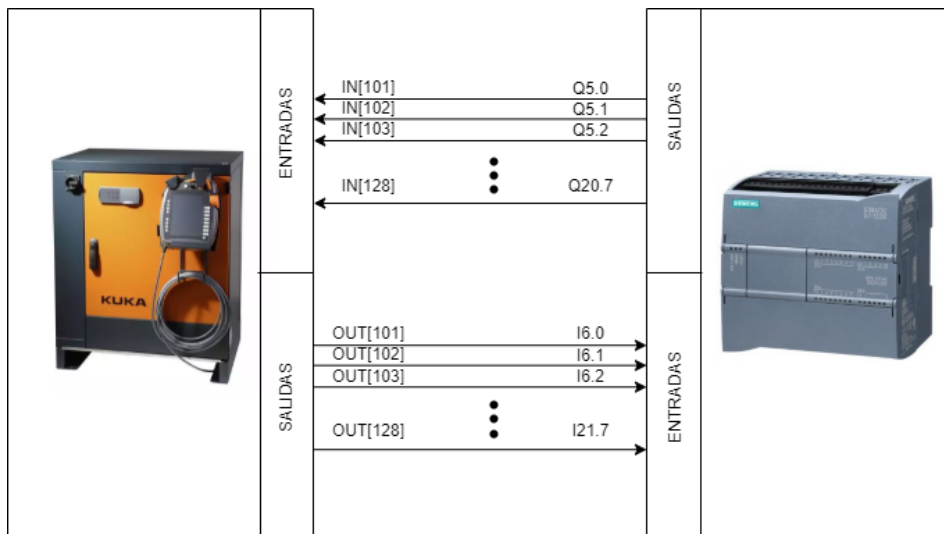
Ventana de configuración del módulo KRC4 en TiaPortal



De manera resumida se presenta la Figura 87, donde se observa el mapeo realizado entre las entradas y salidas del robot

Figura 87

Mapeo de entradas y salidas realizado entre el controlador KRC4 y el PLC



Para obtener un monitoreo desde el PLC de las Entradas y Salidas del sistema del controlador, se realizó un cambio en la dirección de las mimas, sincronizándolas con las variables previamente mapeadas del robot hacia el PLC. A continuación, se detallará en la Tabla 35 y en la Tabla 36, la función, símbolo y el direccionamiento asignado a estas variables para el proyecto.

**Tabla 35**

*Salidas del controlador KRC4 con su direccionamiento en el PLC*

| <b>Nombre</b> | <b>Tipo</b> | <b>Dirección PLC</b> | <b>Dirección KRC4</b> |
|---------------|-------------|----------------------|-----------------------|
| RC_RDY1       | Bool        | %I6.0                | OUT[101]              |
| ALARM_STOP    | Bool        | %I6.1                | OUT[102]              |
| USER_SAF      | Bool        | %I6.2                | OUT[103]              |
| PERI_RDY      | Bool        | %I6.3                | OUT[104]              |
| ROB_CAL       | Bool        | %I6.4                | OUT[105]              |
| I_O_ACTCONF   | Bool        | %I6.5                | OUT[106]              |
| STOPMESS      | Bool        | %I6.6                | OUT[107]              |
| PGNO_FBIT_RER | Bool        | %I6.7                | OUT[108]              |
| ALARM_STOP_I  | Bool        | %I7.0                | OUT[109]              |
| PRO_ACT       | Bool        | %I7.1                | OUT[110]              |
| PGNO_REQ      | Bool        | %I7.2                | OUT[111]              |
| APPI_RUN      | Bool        | %I7.3                | OUT[112]              |
| PRO_MOVE      | Bool        | %I7.4                | OUT[113]              |
| \$IN_HOME     | Bool        | %I7.5                | OUT[114]              |
| \$ON_PATH     | Bool        | %I7.6                | OUT[115]              |
| \$NEAR_POSRET | Bool        | %I7.7                | OUT[116]              |
| \$ROB_STOPPED | Bool        | %I8.0                | OUT[117]              |
| IN_HOME       | Bool        | %I8.3                | OUT[120]              |
| ON_PATH       | Bool        | %I8.4                | OUT[121]              |
| NEAR_POSRET   | Bool        | %I8.5                | OUT[122]              |
| ROB_STOPPED   | Bool        | %I8.6                | OUT[123]              |
| T1            | Bool        | %I20.7               | OUT[220]              |
| T2            | Bool        | %I21.0               | OUT[221]              |
| AUT           | Bool        | %I21.1               | OUT[122]              |
| EXT           | Bool        | %I21.2               | OUT[123]              |

Tabla 36

*Entradas del controlador KRC4 con su direccionamiento en el PLC*

| Nombre      | Tipo | Dirección PLC | Dirección KRC4 |
|-------------|------|---------------|----------------|
| PGNO_FBIT   | Bool | %Q5.0         | IN[101]        |
| PGNO_VALID  | Bool | %Q6.3         | IN[112]        |
| EXT_START   | Bool | %Q6.4         | IN[113]        |
| MOVE_ENABLE | Bool | %Q6.5         | IN[114]        |
| CONF_MESS   | Bool | %Q6.6         | IN[115]        |
| DRIVERS_OFF | Bool | %Q6.7         | IN[116]        |
| DRIVERS_ON  | Bool | %Q7.0         | IN[117]        |
| I_O_ACT     | Bool | %Q7.1         | IN[118]        |

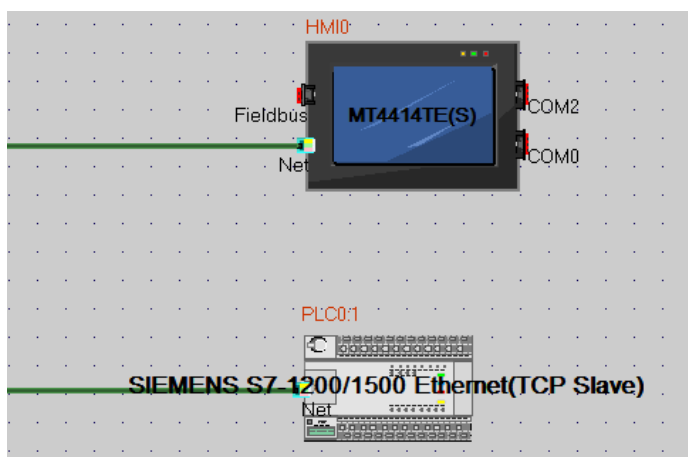
Las salidas y entradas restantes están libres para ser utilizadas en el proceso de sincronización de los movimientos del robot con la programación del PLC.

### Conexión Ethernet HMI

En primer lugar, como se puede observar en la Figura 88, se agregaron los dos dispositivos a comunicarse en la interfaz de configuración de red de la HMI KINCO, para configurar cada dispositivo se procede a dar doble click sobre los mismos, desplegando así sus respectivas ventanas de configuración.

Figura 88

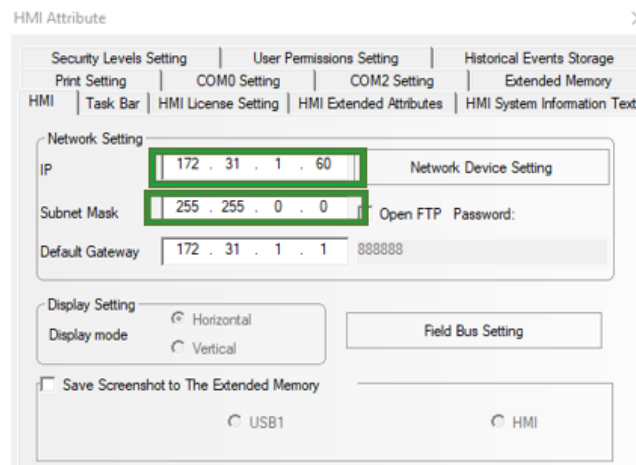
*Interfaz network de Software Kinco HMIware*



El HARDWARE utilizado para la HMI fue el modelo KINCO MT4414TE que posee un protocolo de comunicación ETHERNET, de modo que se procede a la asignación de la IP para la comunicación con la red ya establecida. De igual manera se procedió a la asignación de la IP para el dispositivo PLC, estas configuraciones se pueden observar en la Figura 89 y Figura 90 tanto para la HMI y para el PLC respectivamente.

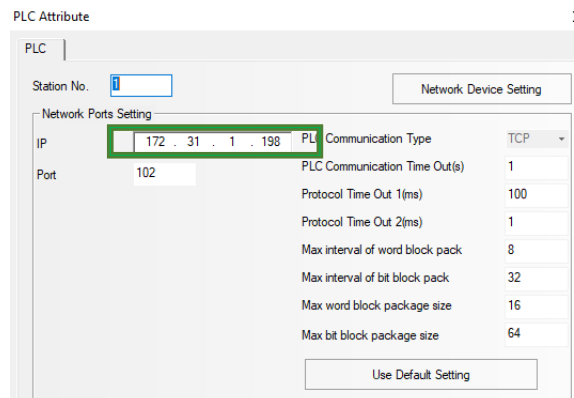
**Figura 89**

*Asignación de IP a la HMI*



**Figura 90**

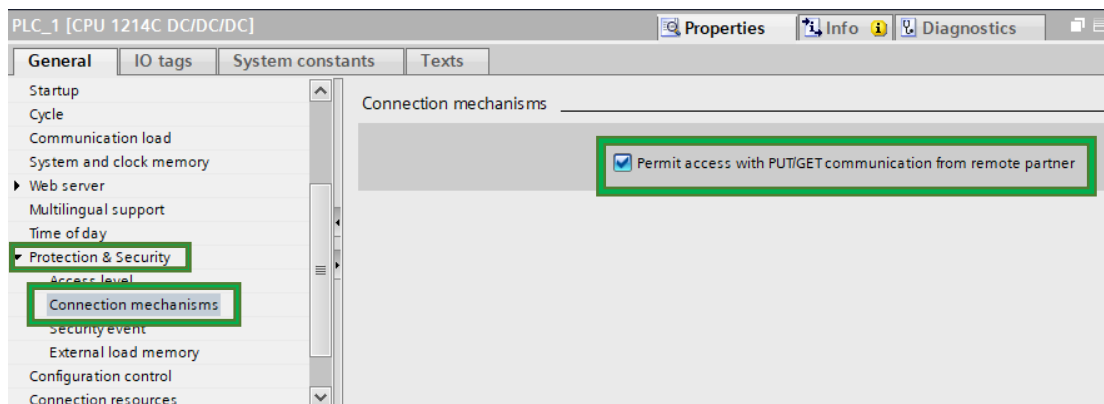
*Configuración de la IP del PLC*



Para finalizar la comunicación con el PLC se necesitó realizar un cambio en las configuraciones de seguridad del PLC con el objetivo de activar la mecánica de comunicación remota a través de dispositivos externos, que en este caso sería la HMI. Como se muestra en la Figura 91, esta opción se la encuentra al momento de desplegar a la pestaña de Protección y Seguridad en las propiedades del PLC.

**Figura 91**

*Habilitación de comunicación remota en el software TiaPortal*



### Conexión de aplicación móvil hacia PLC

La aplicación está programada para enviar la información del pedido solicitado, por ese motivo se encuentra conectada con la base de datos Firebase. Al momento que el cliente presiona el botón de “confirma tu compra”, se genera un código que es publicado en la base de datos, esta información facilita la identificación de la cerveza solicitada y el número de unidades solicitadas para su posterior uso. En la Figura 92 se puede observar la programación que permite la codificación de los pedidos y la información que se recibe en la base de datos, en este caso es un pedido de 2 unidades de la cerveza tipo 1.

Figura 92

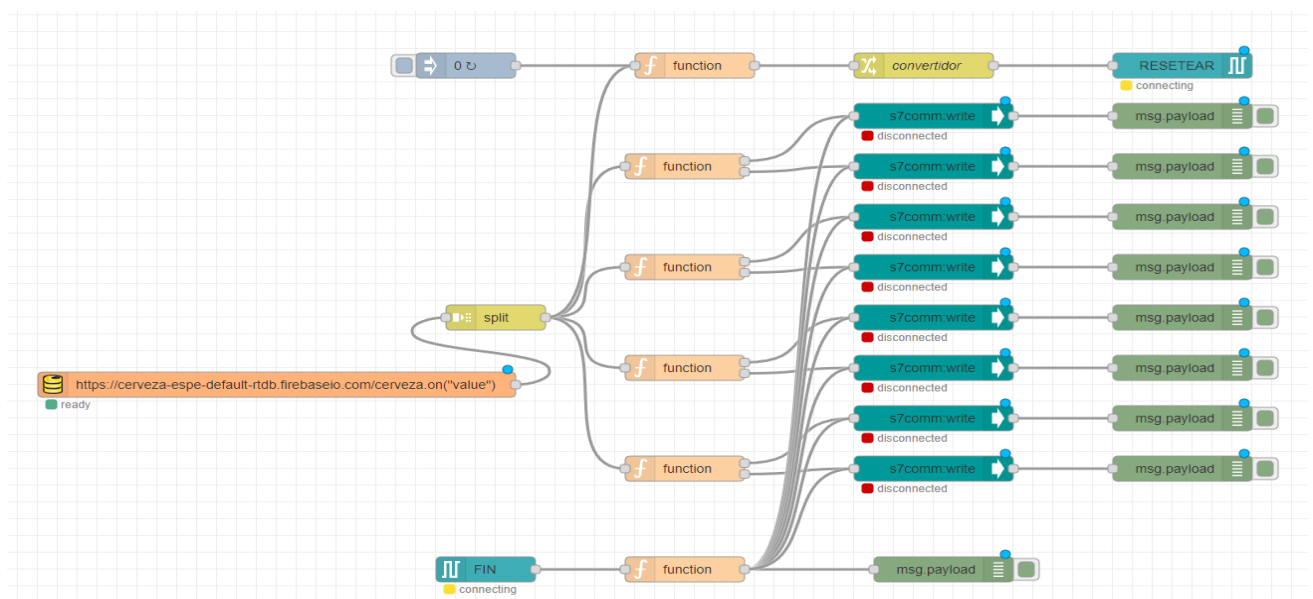
Ejemplo del envío de datos desde la App hacia la base de datos



Para la comunicación entre la aplicación móvil y el controlador PLC se hizo uso de la herramienta de programación NODE-RED, el cual es un motor de flujos enfocado a la Industria 4.0 para realizar comunicación y sincronización entre varios dispositivos que estén en una misma red. En la Figura 93 se puede observar la programación realizada en la plataforma NODE-RED, la misma que esta descrita en el diagrama de flujo de la Figura 94.

Figura 93

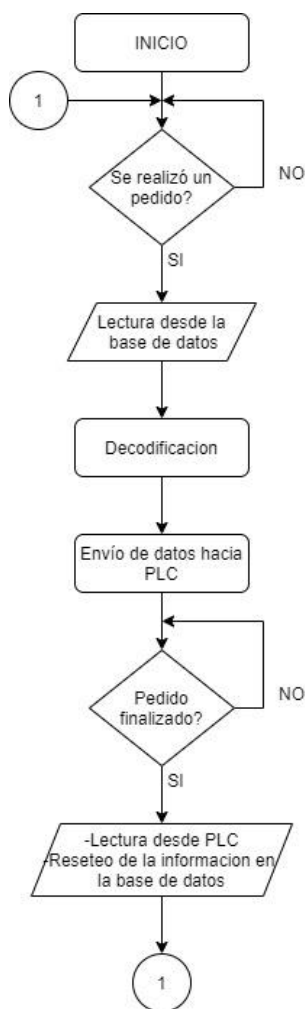
Programación NODE-RED



El código enviado a través de la aplicación móvil, es guardado en la base de datos, así pues, mediante el nodo de Firebase se tiene acceso a esta información, que a continuación es recibida y decodificada con la ayuda de los nodos Split y function, para su posterior envío hacia los registros asignados en el PLC. Una vez terminado el pedido, el PLC enviara una señal para resetear la base de datos y los nodos de comunicación con el PLC, consiguiendo tener listo al procedimiento para recibir un nuevo pedido.

**Figura 94**

*Diagrama de flujo de la programación realizada en NODE-RED*

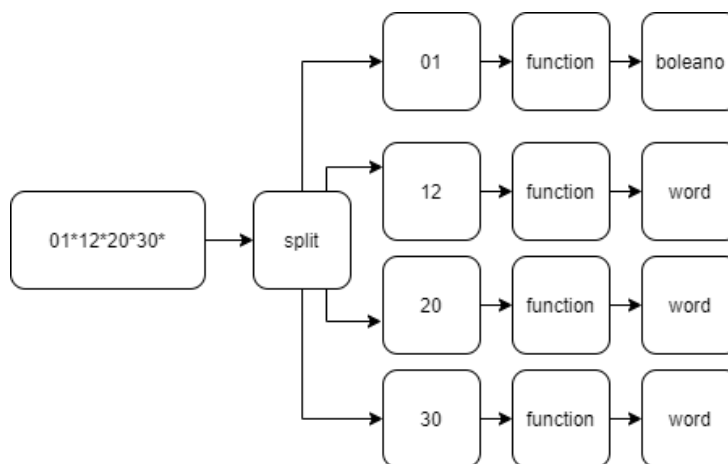


### *Recepción e Interpretación de Datos*

El código recibido a través de la aplicación móvil tiene 12 caracteres, conformado por los números que representan la cantidad y otros el tipo de cervezas solicitadas. Los números están separados por el carácter "\*", que permite una decodificación fácil al usar el nodo split para separar la información cada que el carácter configurado sea detectado. Una vez obtenida la información individual, se procederá a utilizar el nodo function que permite interpretar y transformar los datos al formato necesario para su comunicación hacia los nodos S7comm. En la Figura 95 se podrá visualizar un ejemplo de la funcionalidad de la recepción e interpretación de datos para un pedido de dos cervezas de tipo 1.

**Figura 95**

*Decodificación realizada en NODE-RED*



### *Envío de datos hacia el PLC*

Una vez obtenida la información del pedido, esta es enviada a los nodos capaces de realizar la comunicación con el PLC. En primer lugar, se deberá activar la comunicación put/get en las configuraciones de seguridad del PLC, este proceso se lo puede observar en la Figura 91, adicionalmente se creó dos bloques de datos en los que se van a guardar la información



recibida, uno para datos tipo Word y otro para datos booleanos. En la Figura 96 se puede observar el bloque de datos creado

**Figura 96**

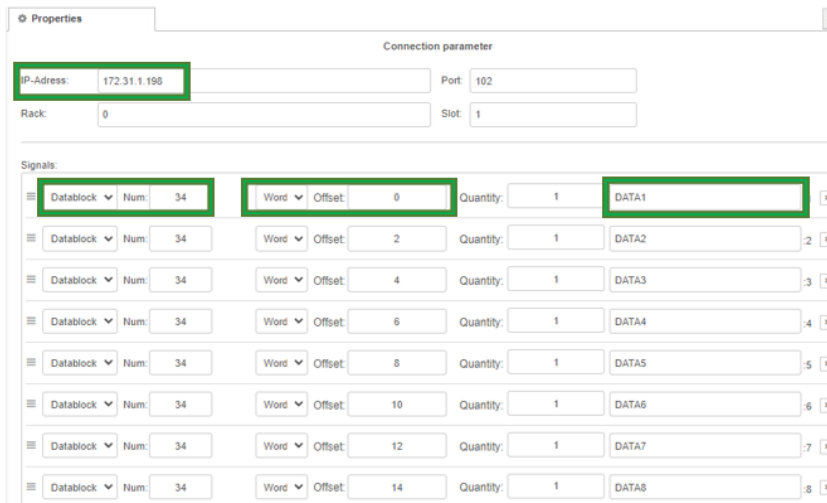
*Bloques de datos comunicados con NODE-RED*

| DATOSAPP W |          |                  |        |
|------------|----------|------------------|--------|
|            | Name     | Data type        | Offset |
| 1          | Static   |                  |        |
| 2          | DATA     | Array[0..10] ... | 0.0    |
| 3          | DATA[0]  | Word             | 0.0    |
| 4          | DATA[1]  | Word             | 2.0    |
| 5          | DATA[2]  | Word             | 4.0    |
| 6          | DATA[3]  | Word             | 6.0    |
| 7          | DATA[4]  | Word             | 8.0    |
| 8          | DATA[5]  | Word             | 10.0   |
| 9          | DATA[6]  | Word             | 12.0   |
| 10         | DATA[7]  | Word             | 14.0   |
| 11         | DATA[8]  | Word             | 16.0   |
| 12         | DATA[9]  | Word             | 18.0   |
| 13         | DATA[10] | Word             | 20.0   |

En la Figura 97 se puede observar la interfaz de configuración del nodo s7comm a fin de realizar la comunicación con los bloques de datos creados. En este se configura la IP del PLC, número del bloque de dato, el tipo de dato, y el nombre de las variables creadas. Si comparamos la Figura 97 y la Figura 71 se observa que posee una relación en todos estos parámetros, confirmando que la configuración fue finalizada.

**Figura 97**

*Configuración realizada para relacionar el NODO s7comm con los bloques de datos del TiaPortal*

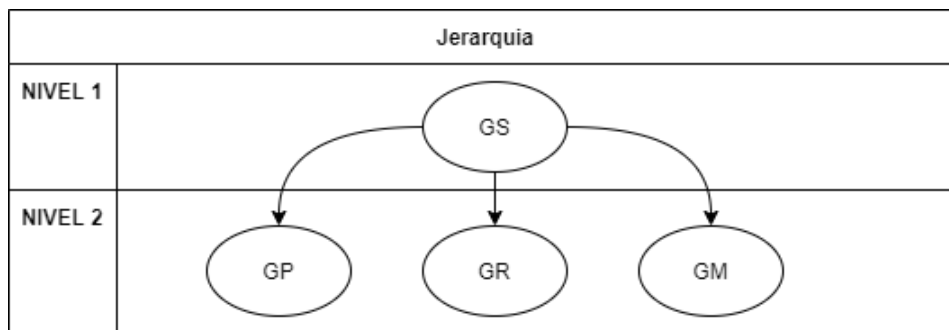


**Programación de la célula robotizada**

Teniendo en cuenta todos los sistemas individuales a controlar, se ha desarrollado una jerarquía de grafkets presentada en la Figura 98.

**Figura 98**

*Jerarquía de Grafkets*

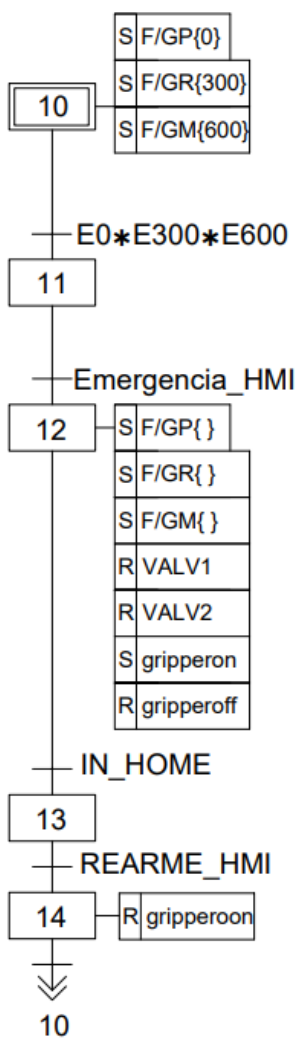


Con la prioridad más alta en el nivel 1, se desarrolla un grafket de seguridad el cual se lo puede visualizar en la Figura 99, este controla la funcionalidad de los sistemas desde la

energización del PLC y posee las rutinas de paro de emergencia y rearme. Al momento de tener un paro de emergencia, el controlador detiene al robot de inmediato, adicionalmente lleva a los sistemas y variables críticas del proceso a un estado seguro. Para hacer la transición y poner nuevamente la célula robotizada en funcionamiento, el operario debe mover el robot hasta la posición de HOME y hacer un reinicio de los sistemas ligados al graficet de seguridad, volviendo así a estar listo para recibir nuevos pedidos.

**Figura 99**

*Graficet de seguridad*



En la Tabla 37 se podrá observar la descripción de cada variable utilizada en el grafcet de Seguridad.

**Tabla 37**

Variables y Estados del Grafcet de Seguridad

| Símbolo    | Descripción   | Tabla de variables | Dirección | Tipo | Tipo    |
|------------|---|--------------------|-----------|------|---------|
| F/GP {0}   | Activación forzada del estado 0 correspondiente al grafcet de producción  | ---                | ---       | ---  | ---     |
| F/GR {300} | Activación forzada del estado 300 correspondiente al grafcet de producción  | ---                | ---       | ---  | ---     |
| F/GM {600} | Activación forzada del estado 600 correspondiente al grafcet de producción  | ---                | ---       | ---  | ---     |
| F/GP { }   | Desactivación forzada de todos los estados pertenecientes al grafcet de producción  | ---                | ---       | ---  | ---     |
| F/GR { }   | Desactivación forzada de todos los estados pertenecientes al grafcet de dispensador de vasos  | ---                | ---       | ---  | ---     |
| F/GM { }   | Desactivación forzada de todos los estados pertenecientes al grafcet de transporte de vasos hacia el cliente  | ---                | ---       | ---  | ---     |
| VALV 1     | Variable que permite activar o desactivar la válvula perteneciente a la primera etapa del dispensado de cerveza, realizada con el vaso a 45 grados. | Datos              | %Q0.3     | Bool | Salidas |
| VALV 2     | Variable que permite activar o desactivar la válvula perteneciente a la segunda etapa del dispensado de cerveza, realizada con el vaso a 90 grados. | Datos              | %Q0.2     | Bool | Salidas |

**Continua**

|            |  |         |        |      |                  |
|------------|--|---------|--------|------|------------------|
| gripperon  | Variable que permite cerrar el gripper   | Datos   | %Q0.0  | Bool | Salidas          |
| gripperoff | Variable que permite abrir el gripper  | Datos   | %Q0.1  | Bool | Salidas          |
| E_HMI      | Variable que permite realizar un paro de emergencia desde la HMI   | Datos   | %M0.1  | Bool | Marca            |
| IN_HOME    | Variable que envía el controlador del robot hacia el PLC, indicando que el robot se encuentra en estado estándar es decir la posición HOME predeterminada. | Datos   | %I8.3  | Bool | Entrada PROFINET |
| REARME_HMI | Variable que permite realizar un paro de emergencia desde la HMI   | Datos   | %M0.1  | Bool | Marca            |
| E0         | Estado 0   | Estados | %M10.0 | Bool | Marca            |
| E300       | Estado 300   | Estados | %M14.6 | Bool | Marca            |
| E600       | Estado 600   | Estados | %M30.5 | Bool | Marca            |
| E10        | Estado 10  | Estados | %M14.0 | Bool | Marca            |
| E11        | Estado 11  | Estados | %M14.1 | Bool | Marca            |
| E12        | Estado 12  | Estados | %M14.2 | Bool | Marca            |
| E13        | Estado 13  | Estados | %M14.3 | Bool | Marca            |
| E14        | Estado 14  | Estados | %M14.4 | Bool | Marca            |

### *Dispensado de vasos*

La programación del motor a pasos de este sistema se realizó con el empleo de un módulo TB6600 como ya se mencionó anteriormente este posee dip switch que permite controlar los pulsos/revolución y la corriente pico máximo que se enviará al motor para el primer caso al tener un motor de paso 1.8° y al realizar la división de 360° de una vuelta completa a 1.8° tenemos 200 pulsos /revolución que se configuran en el dip switch por otra parte según las características técnicas del motor se estableció la corriente en 1.5 A.

De la Tabla 38 perteneciente a las señales que envía el PLC solo se usa la primera para habilitar el driver (ENA+) y la segunda son los pulsos que serán enviados (PUL+), al tener un solo sentido para la entrega de vasos la señal de dirección no es empleada, en la Figura 100, se aprecia cómo se configuró el generador de pulsos en el PLC, asignando para este el PTO2/PWM2 (Local\_Pulse\_2) con sus salidas de hardware correspondientes.

### Figura 100

*Configuración de (Local\_Pulse\_2) en el PLC para el dispensado de vasos*

The screenshot displays the configuration window for PTO2/PWM2. It is organized into several sections:

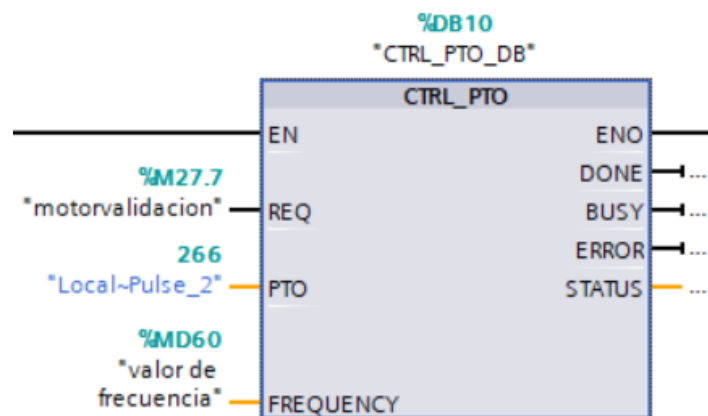
- General:** Includes an 'Activar' section with a checked checkbox 'Activar este generador de impulsos'.
- Información del proyecto:** Shows 'Nombre: Pulse\_2' and 'Comentario: Pulso motor mecanismo dispensado de vasos'.
- Parametrización:** Contains 'Opciones de impulso' with settings:
  - Tipo de señal: PTO (impulso A y sentido B)
  - Base de tiempo: Milisegundos
  - Formato de duración de impulso: Centésimas
  - Tiempo de ciclo: 100 ms
  - Duración de impulso inicial: 50 Centésimas
  - Permitir modificaciones del tiempo de ciclo durante la ejecución:
- Salidas de hardware:** Shows 'Salida de impulso: %Q0.4' and 'Salida integrada de 20 kHz'. Below it, there is an unchecked checkbox 'Activar salida de sentido' and 'Salida de sentido: %Q0.3' with 'Salida integrada de 100 kHz'.

Las señales de salida del PLC son de 24 [V] por lo cual se adicionó una resistencia de 2 [K $\Omega$ ], antes de las entradas al driver con el fin de garantizar una corriente entre 8 [mA] a 15 [mA], así pues, se acciona el elemento sin dañar sus componentes, teniendo en cuenta que la activación desde el PLC se realiza en alto.

Además, para programación del driver se utilizó el bloque de instrucción CTRL\_PTO\_DB, que a través de una frecuencia predefinida prepara una secuencia de impulsos, la misma que se direcciona al driver a través del PTO2/PWM2 ya accionado previamente en las propiedades del PLC. En la Figura 101, se aprecia cómo se configuran las entradas y salidas del bloque, en la cual REQ es el que permite colocar el valor de la frecuencia a la que se quiere accionar el motor en la variable FREQUENCY, así pues, al tener asignado el generador de impulsos PTO2/PWW2 este enviara las señales al driver y realizara el movimiento según la frecuencia asignada.

**Figura 101**

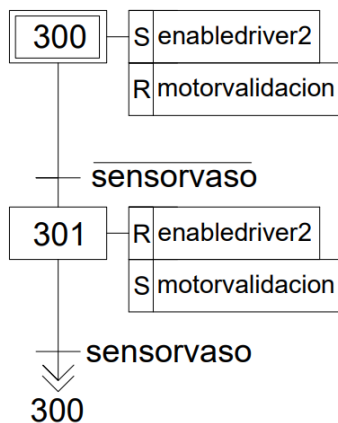
*Bloque CTRL\_PTO\_DB usado en dispensado de vasos*



A continuación, en la Figura 102 se observa el graficet que representa la programación realizada del sistema dispensador de vasos cerveceros, donde se tiene dos estados controlados por señal del sensor de presencia fotoeléctrico al tener un vaso entre este y la barrera reflectora en el punto exacto el driver se deshabilita parando todo el sistema, sin embargo, al no detectar nada se habilita el driver a una frecuencia de 100Hz, hasta que llegue un vaso al punto previsto.

**Figura 102**

*Graficet del dispensado de vasos*



En la Tabla38 se puede observar la asignación de registros, con la descripción de cada variable utilizada en la programación de sistema dispensador de vasos cerveceros.

**Tabla 38**

*Variables y Estados de Dispensado de vasos*

| Símbolo             | Descripción   | Tabla de variables | Dirección | Tipo  | Tipo    |
|---------------------|---|--------------------|-----------|-------|---------|
| Sensorvaso          | Señal de sensor fotoeléctrico para detectado de vaso en la ubicación correcta para ser recogido por el robot. | Datos              | %I0.0     | Bool  | Entrada |
| Enabledriver2       | Señal de habilitación del driver TB6600<br>0: Activado<br>1: Desactivado                                      | Datos              | %Q1.0     | Bool  | Salida  |
| Motorvalidacion     | Activa o desactiva el bloque de control CRTL_PTO_DB   | Datos              | %M27.7    | Bool  | Marca   |
| Valor de frecuencia | Valor de frecuencia que se envía al bloque CRTL_PTO_DB para que avance o se detenga el motor                  | Datos              | %MD60     | UDInt | Marca   |
| E300                | Estado 300  | Estados            | %M14.6    | Bool  | Marca   |
| E301                | Estado 301  | Estados            | %M14.7    | Bool  | Marca   |



### *Transporte de cerveza hacia el cliente*

Al igual que el dispensado de vasos se utilizó un módulo tb6600 con los pulsos/revolución y la corriente pico máximo iguales en 200 y 1.5 [A] respectivamente. En este caso se usaron tres señales del PLC al driver ENA para habilitar al mismo, PUL que envía los pulsos y por último DIR, ya que, si se necesita adelantar o regresar el riel para llegar al cliente o al robot, en la Figura 103, se aprecia cómo se configura el generador de pulsos en el PLC, asignando para este el PTO1/PWM2 (Local\_Pulse\_1) con sus salidas de hardware correspondientes, sin embargo para la riel se debe configurar un objeto tecnológico ya que se necesita bloques de instrucciones de Motion Control, mencionadas en el apartado con el mismo nombre en el Capítulo II, para dar la dirección correcta teniendo así las Figuras 104 y 105 muestran la configuración del mismo.

### **Figura 103**

Configuración de (Local\_Pulse\_1) en el PLC para transporte de vaso hacia el cliente

The screenshot displays the configuration interface for the PTO1/PWM1 module. It is divided into three main sections: 'General', 'Parametrización', and 'Salidas de hardware'.

- General:** Includes an 'Activar' section with a checked box for 'Activar este generador de impulsos'. Below it is the 'Información del proyecto' section, where the 'Nombre' is set to 'Pulse\_1'.
- Parametrización (Opciones de impulso):**
  - Tipo de señal: PTO (impulso A y sentido B)
  - Base de tiempo: Milisegundos
  - Formato de duración de impulso: Centésimas
  - Tiempo de ciclo: 100 ms
  - Duración de impulso inicial: 50 Centésimas
  - Permitir modificaciones del tiempo de ciclo:
- Salidas de hardware:**
  - Salida de impulso: %Q0.7 (Salida integrada de 20 kHz)
  - Activar salida de sentido:
  - Salida de sentido: %Q0.6 (Salida integrada de 20 kHz)

Figura 104

Configuración general del objeto tecnológico Riel1

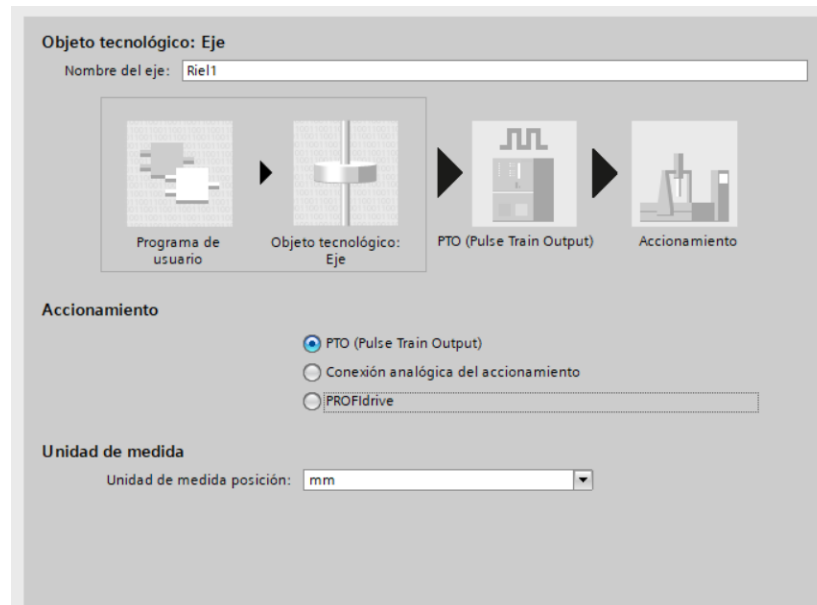
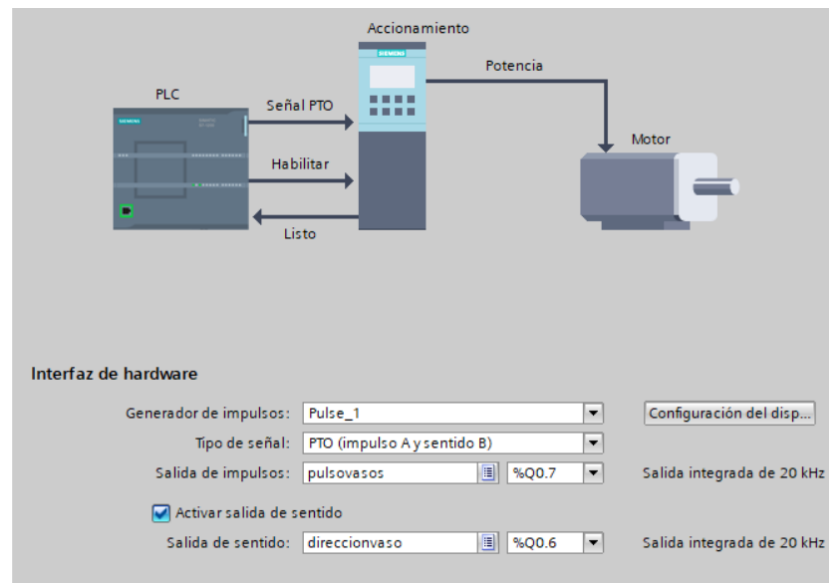


Figura 105

Configuración de accionamiento del objeto tecnológico Riel1



De igual forma que el sistema dispensador de vasos cervecedores, se emplean las resistencias de 2 [K $\Omega$ ] en las tres señales del PLC, conectando también la fuente de alimentación y las bobinas del motor al driver TB6600.

Al utilizar el motion control se utilizaron dos bloques de instrucciones como el caso de la Figura 106 donde se muestra el MC\_Power\_DB que habilita o bloquea un eje a través del parámetro Enable en este caso se envía la variable menabloque y se escoge el objeto a controlar en el parámetro Axis en este caso la Riel1 que se configuro anteriormente. Además, se emplea el bloque MC\_MoveJog de la Figura 107 que mueve el eje con una velocidad predeterminada, al igual que en el bloque anterior se configura el parámetro Axis, con los parámetros de Velocity donde se ajusta la velocidad requerida y dependiendo de la dirección a donde se deba mover el eje se posiciona JogForward para sentido positivo y JogBackward en sentido negativo.

**Figura 106**

*Bloque de instrucciones MC\_Power\_DB de Riel1*

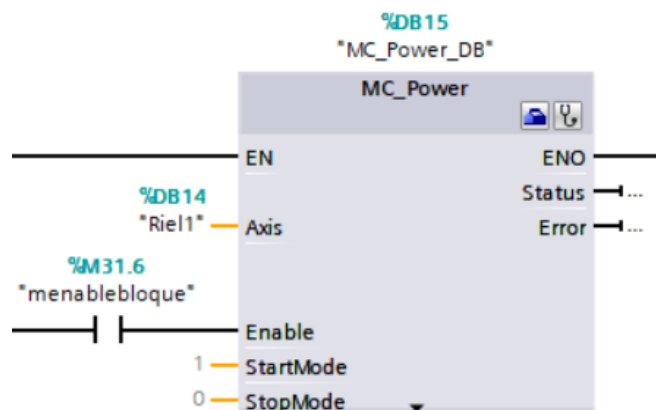
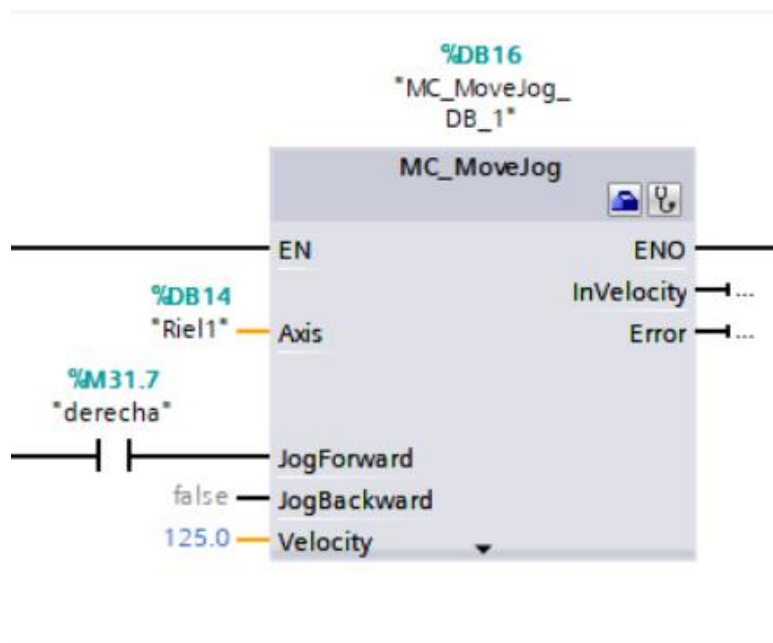


Figura 107

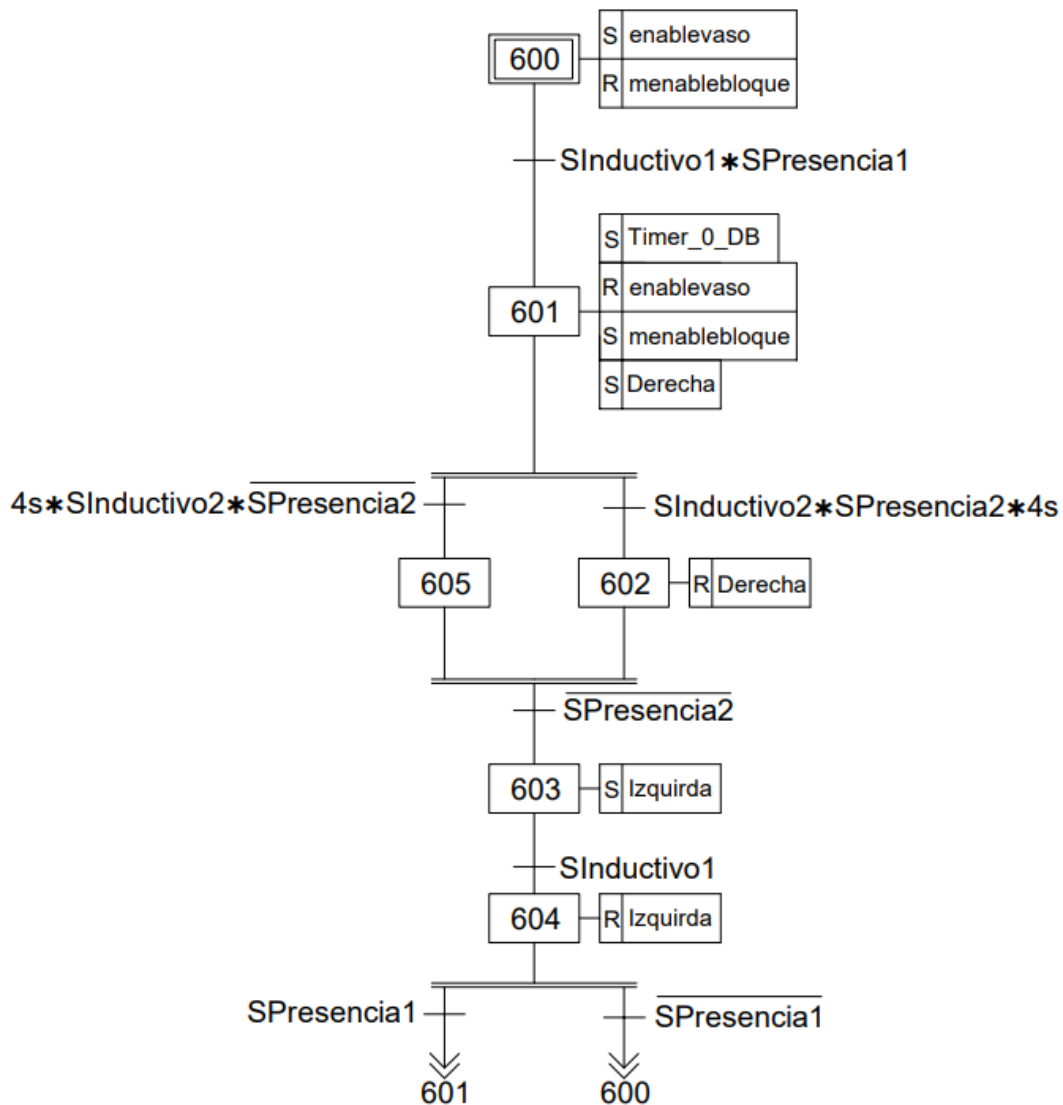
Bloque de instrucciones de MC\_MoveJog de Riel1



A continuación, en la Figura 108 se puede observar el graficet que representa la programación realizada del sistema transporte de cerveza hacia el cliente, en comparación con el diagrama de flujo inicial del diseño expuesto anteriormente, al momento de que el riel esta accionada hacia la derecha, si se tiene la detección del sensor inductivo y no el de presencia se debe regresar inmediatamente a la posición de espera de vaso cercano al robot, caso contrario esperar hasta que el cliente recoja el vaso servido. Además del temporizador de 4 segundos antes de inicializar el movimiento positivo.

Figura 108

*Graficet del transporte de cerveza hacia el cliente*



En la Tabla 39 se podrá observar la descripción de cada variable utilizada en la programación de sistema de transporte hacia el cliente.

Tabla 39

*Variables y Estados de Transporte hacia el cliente*

| <b>Símbolo</b> | <b>Descripción</b>  | <b>Tabla de variables</b> | <b>Dirección</b> | <b>Tipo</b> | <b>Tipo</b> |
|----------------|---|---------------------------|------------------|-------------|-------------|
| SPresencia2    | Señal que representa la activación del sensor óptico ubicado al final del actuador lineal             | Datos                     | %I0.1            | Bool        | Entrada     |
| SInductivo1    | Señal que representa la activación del sensor inductivo ubicado al inicio del actuador lineal         | Datos                     | %I0.2            | Bool        | Entrada     |
| SPresencia1    | Señal que representa la activación del sensor óptico ubicado al inicio del actuador lineal            | Datos                     | %I0.3            | Bool        | Entrada     |
| SInductivo2    | Señal que representa la activación del sensor inductivo ubicado al final del actuador lineal          | Datos                     | %I0.4            | Bool        | Entrada     |
| Enablevaso     | Señal de habilitación del driver TB6600<br>0: Activado<br>1: Desactivado                              | Datos                     | %Q0.5            | Bool        | Salida      |
| menablebloque  | Activa o desactiva el bloque de control MC_Power_DB   | Datos                     | %M31.6           | Bool        | Marca       |
| derecha        | Señal que envía al módulo la dirección en la que debe avanzar el eje en este caso sentido positivo.   | Datos                     | %M31.7           | Bool        | Marca       |
| izquierda      | Señal que envía al módulo la dirección en la que debe avanzar el eje en este caso sentido positivo.   | Datos                     | %M32.0           | Bool        | Marca       |
|                | Temporizador de 4 segundos antes de movimiento en sentido positivo, como precaución al dejar el vaso. | Timer                     | %DB12            |             | Timer       |
| E600           | Estado 600  | Estados                   | %M30.5           | Bool        | Marca       |
| E601           | Estado 601  | Estados                   | %M30.6           | Bool        | Marca       |
| E602           | Estado 602  | Estados                   | %M30.7           | Bool        | Marca       |
| E603           | Estado 60   | Estados                   | %M31.0           | Bool        | Marca       |
| E604           | Estado 604  | Estados                   | %M31.1           | Bool        | Marca       |

### *Sensor de temperatura*

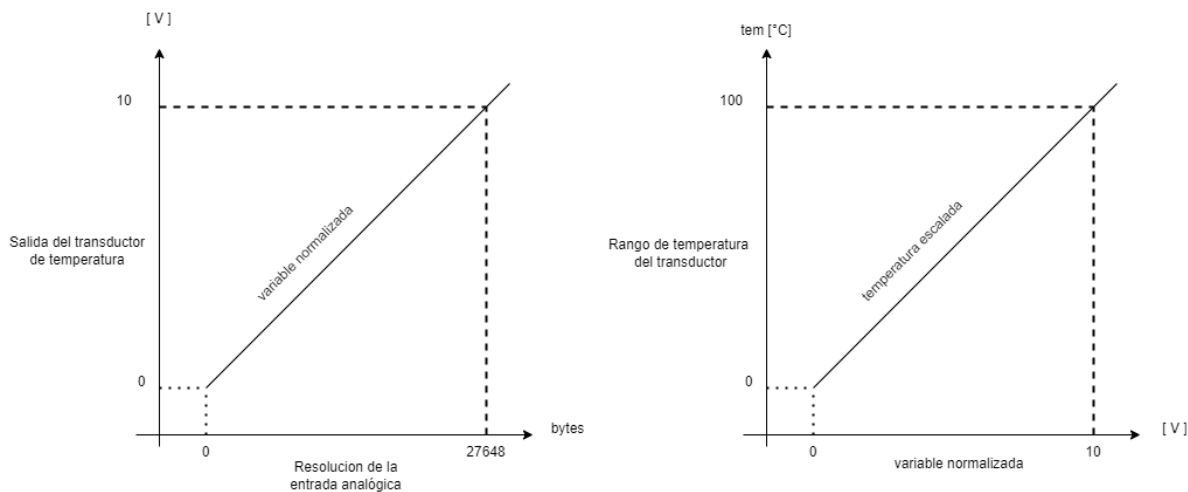
Para realizar una correcta normalización y escalamiento de los valores obtenidos desde el PT100, se debe tener en cuenta las características de la entrada analógica del PLC y del transductor de temperatura.

En la Tabla 33 se puede observar que la entrada analógica del PLC es de 0 a 10Vdc con una resolución de 15 bits. Y en la Tabla 19 se puede observar las características del módulo transductor TX58, que posee una salida de 0 a 10 Vdc con un rango de temperatura de 0 a 100°C.

Con estos parámetros se procede a realizar las gráficas observadas en la Figura 109 para un mejor entendimiento de la programación a realizar en el TiaPortal.

**Figura 109**

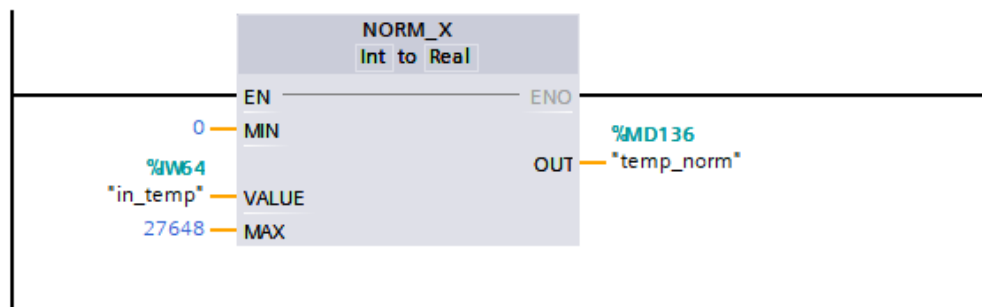
*Normalización y escalamiento de la variable de temperatura.*



Como se puede observar en la Figura 110, en el parámetro VALUE se asignará el valor de la entrada analógica. Y en los valores mínimos y máximos se pone la resolución a la que es adquirida esta señal, en este caso de 0 a 27648.

Figura 110

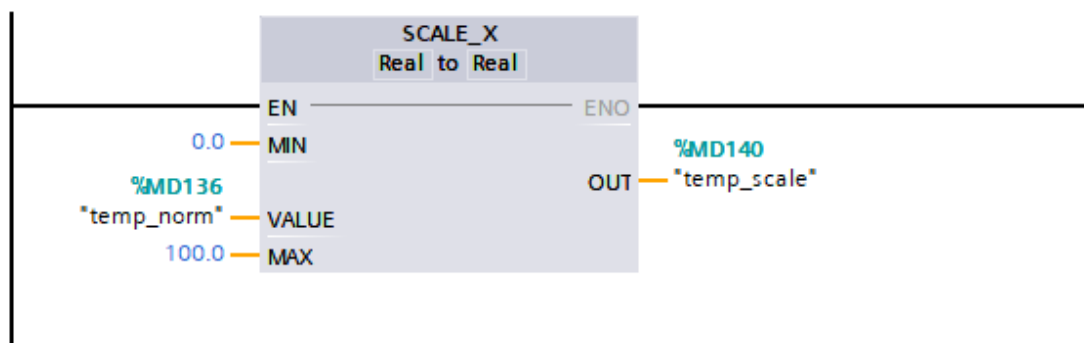
*Bloque de normalización*



Una vez normalizada la señal se procede con el escalamiento observado en la Figura 111, en el parámetro **VALUE** se asigna el valor normalizado. Y en los valores mínimos y máximos se pone el rango de temperatura que entrega el transductor. Obteniendo a la salida el valor de temperatura proveniente desde el PT100.

Figura 111

*Bloque de Escalamiento*



### *Cámara Industrial*

Como se explicó anteriormente, la programación de la cámara se realiza en el entorno EasyBuilder, que a partir de inspecciones de imagen se efectúa la recolección de datos ya sean de márgenes, luminosidad o patrones, además del uso de funciones lógicas.

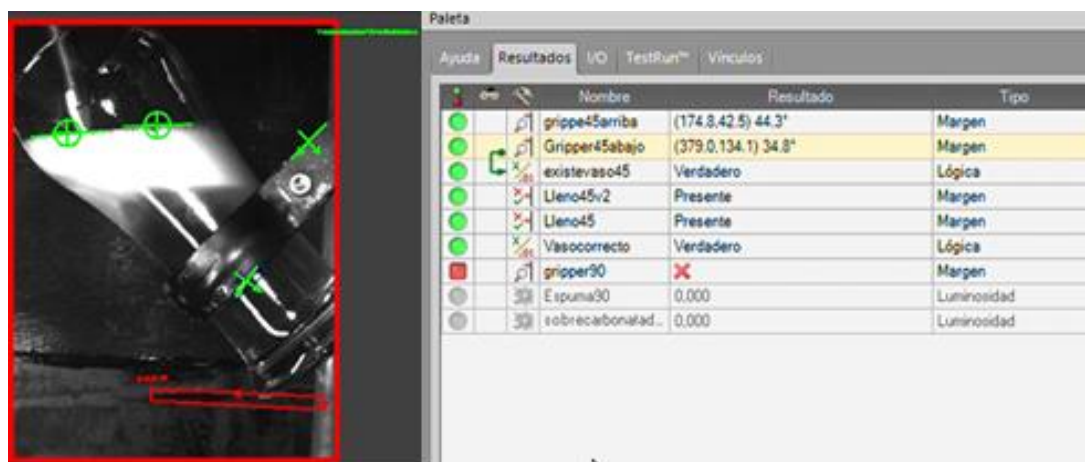


## Recolección de datos vaso a 45°

En esta posición se tienen varios datos que se deben inspeccionar en Figura 112 se tienen las variables detectadas en color verde tanto en la imagen de la cámara como en la paleta de resultados en la Tabla 40 se explica cada uno de ellos.

**Figura 112**

*Variables detectadas en posición de 45° en entorno In-Sight*



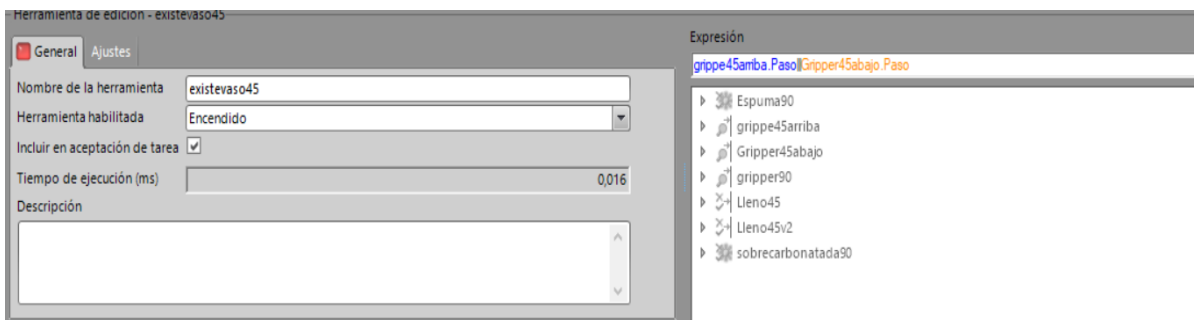
**Tabla 40**

*Variables en posición de 45°*

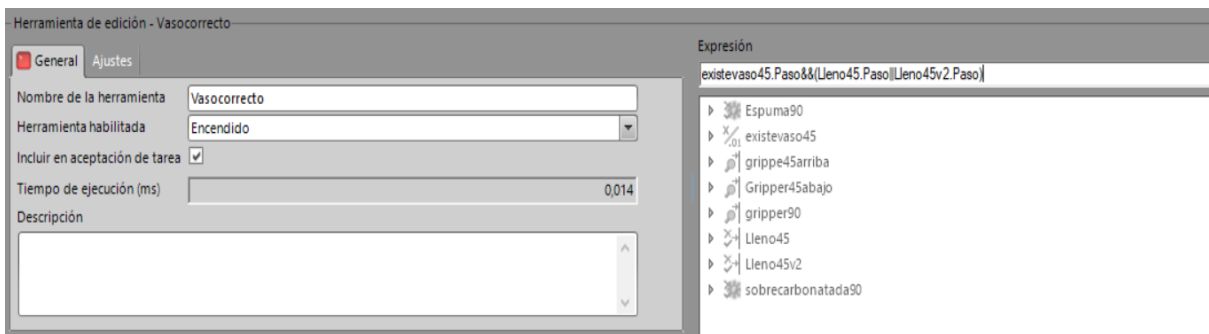
| Nombre          | Descripción   | Tipo   |
|-----------------|---|--------|
| Gripper45arriba | Indica que el gripper está en posición de 45°   | Margen |
| Gripper45abajo  | Señal auxiliar que indica gripper está en posición de 45°   | Margen |
| Existevaso45    | Indica verdadero al detectar gripper45arriba o Gripper45abajo, por lo tanto, se encuentra colocado correctamente el vaso en 45°. Ver Figura 113   | Lógica |
| Lleno45         | Indica que ha llegado al límite el producto a 45°   | Margen |
| Lleno45v2       | Señal auxiliar que indica que ha llegado al límite el producto a 45°  | Margen |
| Vasocorrecto45  | Indica verdadero al detectar Existevaso45 y cualquiera de las variables de Lleno45 o Lleno45v2, por lo tanto, el producto a llegado a su límite en 45° y debe cambiar de posición. Ver Figura 114 | Lógica |

**Figura 113**

*Configuración de la variable lógica existevaso45*

**Figura 114**

*Configuración de la variable lógica vasocorrecto45*



### Recolección de datos vaso a 90°

En esta posición se tiene variables tipo luminosidad debido a la detección de la espuma como se visualiza en la Figura 115 donde se ubican las variables detectadas en color verde tanto en la paleta de resultados y en la imagen de la cámara, en la Tabla 41 se explica cada uno de ellos.

Figura 115

*VARIABLES detectadas en posición de 90° en entorno In-Sight*

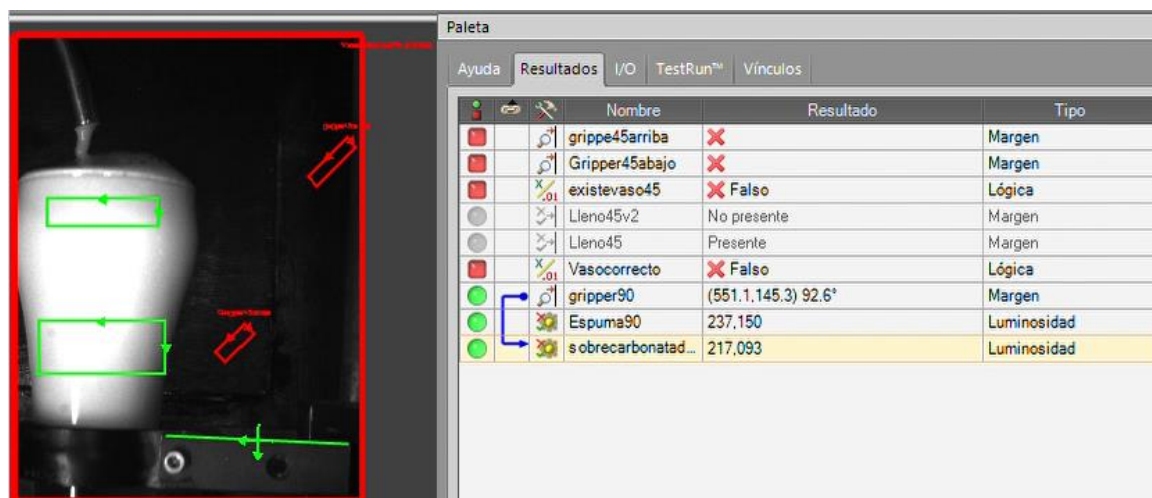


Tabla 41

*VARIABLES en posición de 90°*

| Nombre             | Descripción  | Tipo        |
|--------------------|--|-------------|
| Gripper90          | Indica que el gripper está en posición de 90°  | Margen      |
| Espuma90           | Indica la presencia de Espuma correcta a 90°   | Luminosidad |
| Sobrecarbonatada90 | Indica que el vaso se encuentra con producto sobre carbonatado, ya que existe presencia de espuma desde una posición baja del vaso, por lo tanto, se debe desechar el contenido y enviar una alarma a HMI. | Luminosidad |

#### I/O entre PLC y cámara

Una vez identificadas las variables se procede a escoger cuáles serán las que se envíen al PLC y cuáles se habilitan dependiendo la fase en la que se encuentre, como se muestra a continuación, en la Figura 116, se encuentran las variables que serán habilitadas desde el PLC en la fase de dispensado de cerveza correspondiente ya sea en 45° o 90°, estas señales serán el primer bit del byte recolectado por la cámara. Así mismo en la Figura 117, se encuentran las

variables que serán enviadas hacia el PLC, donde de igual manera se usara el primer bit del byte enviado.

**Figura 116**

*Variables a habilitar desde el PLC a la cámara.*

| Nombre                                    | Tipo de datos    | Tamaño | Valor |
|---|------------------|--------|-------|
| Lleno45.Herramienta_habilitada            | Entero de 8 bits | 1      | 0     |
| Lleno45v2.Herramienta_habilitada          | Entero de 8 bits | 1      | 0     |
| Espuma90.Herramienta_habilitada           | Entero de 8 bits | 1      | 0     |
| sobrecarbonatada90.Herramienta_habilitada | Entero de 8 bits | 1      | 0     |

**Figura 117**

*Variables enviadas desde la cámara al PLC*

| Nombre                  | Tipo de datos              | Tamaño | Valor |
|-------------------------|----------------------------|--------|-------|
| existevaso45.Paso       | Entero de 8 bits sin signo | 1      | 0     |
| Vasocorrecto.Paso       | Entero de 8 bits sin signo | 1      | 0     |
| Espuma90.Paso           | Entero de 8 bits sin signo | 1      | 0     |
| sobrecarbonatada90.Paso | Entero de 8 bits sin signo | 1      | 0     |

En la Tabla 42 se visualiza como se identificaron las variables de entrada y salida de la cámara en el PLC las cuales se utilizan para la programación conjunta en producción.

**Tabla 42**

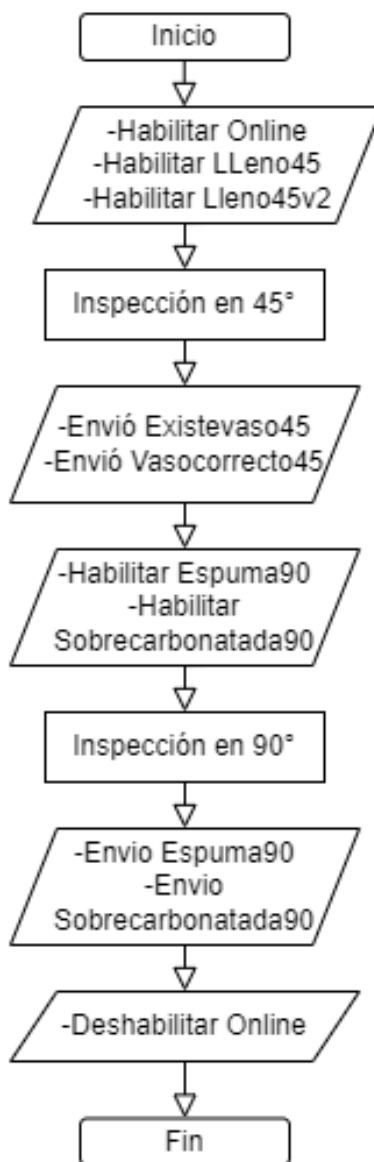
Variables comunicadas desde y hacia el PLC

| <b>Símbolo</b>               | <b>Descripción</b>  | <b>Tabla de variables</b> | <b>Dirección</b> | <b>Tipo</b> | <b>Tipo</b> |
|------------------------------|---|---------------------------|------------------|-------------|-------------|
| insight-SetOffline           | Habilita y deshabilita el estado online de la cámara<br>0: Activado Online<br>1: Desactivado Online | Datos                     | %Q2.7            | Bool        | Salida      |
| insight-UserData[0]          | Habilita la variable de cámara Lleno45  | Datos                     | %Q65.0           | Bool        | Salida      |
| insight-UserData[1]          | Habilita la variable de cámara Lleno45v2  | Datos                     | %Q66.0           | Bool        | Salida      |
| insight-UserData[2]          | Habilita la variable de cámara Espuma90   | Datos                     | %Q67.0           | Bool        | Salida      |
| insight-UserData[3]          | Habilita la variable de cámara sobrecarbonatada90   | Datos                     | %Q68.0           | Bool        | Salida      |
| insight-InspectionResults[0] | Indica que la variable de cámara existevaso45 esta correcta   | Datos                     | %I73.0           | Bool        | Entrada     |
| insight-InspectionResults[1] | Indica que la variable de cámara vasocorrecto45 esta correcta                                       | Datos                     | %I74.0           | Bool        | Entrada     |
| insight-InspectionResults[2] | Indica que la variable de cámara espuma esta correcta   | Datos                     | %I75.0           | Bool        | Entrada     |
| insight-InspectionResults[3] | Indica que la variable de cámara sobrecarbonatada90 esta correcta                                   | Datos                     | %I76.0           | Bool        | Entrada     |

### Diagrama de Flujo

A continuación, en la Figura 118, se visualiza el diagrama de flujo del funcionamiento de la cámara, donde se muestra un pequeño acercamiento de cómo se integra con el graficet de producción del PLC, tomando en cuenta que este será el que tome todas las decisiones con las señales enviadas desde a cámara.

Figura 118

*Diagrama de Flujo Cámara*

## Robot

### Configuración de herramienta y bases

Para la programación del robot en primera instancia se configuraron las bases y la herramienta a emplear en este proyecto por lo cual según el gripper utilizado el TCP se encontraría como se encuentra en la Tool 11 (Ver Figura 119).

**Figura 119**

### Configuración de Tool 11

```
DECL FRAME TOOL_DATA[16]
TOOL_DATA[1]={X 1133.00,Y -1000.00,Z 417.000,A -180.000,B 0.0,C -180.000}
TOOL_DATA[2]={X 83.5530,Y 4.46600,Z 258.428,A -173.550400,B -89.4166,C 0.0}
TOOL_DATA[3]={X 92.4610,Y 3.78300,Z 259.986,A 108.265,B -86.4899,C 0.0}
TOOL_DATA[4]={X 86.3760,Y 4.38600,Z 256.003,A -73.0208,B -86.4898,C 0.0}
TOOL_DATA[5]={X 81.6950,Y 2.58800,Z 257.577,A 149.871201,B -88.2634,C 0.0}
TOOL_DATA[6]={X 91.2620,Y 55.8930,Z 384.520,A -14.9109,B -89.1789,C 16.5328}
TOOL_DATA[7]={X 102.646500,Y -5.78820,Z 277.321106,A 0.0,B 0.0,C 0.0}
TOOL_DATA[8]={X 250.775208,Y -0.517000,Z 80.6255,A 0.0,B 0.0,C 0.0}
TOOL_DATA[9]={X 92.0957,Y 4.64200,Z 238.047,A 0.0,B 0.0,C 0.0}
TOOL_DATA[10]={X 103.994202,Y -24.7340,Z 40.1055,A 0.0,B 0.0,C 0.0}
TOOL_DATA[11]={X 0.0,Y 0.0,Z 220.000,A 0.0,B 0.0,C 0.0}
TOOL_DATA[12]={X 87.8810,Y 9.82030,Z 240.115799,A 0.0,B 0.0,C 0.0}
TOOL_DATA[13]={X 0.0,Y 0.0,Z 0.0,A -25.3342,B -1.96440,C 0.0}
TOOL_DATA[14]={X 1113.00,Y 1000.00,Z 417.000,A -180.000,B 0.0,C -180.000}
TOOL_DATA[15]={X 188.036697,Y 257.821198,Z -24.6174,A 0.0,B 0.0,C 0.0}
TOOL_DATA[16]={X 115.997902,Y -0.523900,Z 265.681702,A 0.0,B 0.0,C 0.0}
```

Por otro lado, las bases se configuraron tres (Ver Figura 120), debido a los 3 sistemas que se tienen. La Base 20 pertenece al sistema dispensador de vasos cerveceros, la Base 21 al sistema de transporte de vasos hacia el cliente y la Base 22 al sistema dispensador de cerveza, esto debido a que se encuentran en diferentes ubicaciones y si estas se movieran o trasladan, sería más óptimo editar las bases que hacer una reprogramación de todas las trayectorias.

**Figura 120**

### Configuración de Bases

```
BASE_DATA[20]={X 0.0,Y 888.000,Z 0.0,A 0.0,B 0.0,C 0.0}
BASE_DATA[21]={X 899.300,Y -248.950,Z 997.040,A 0.0,B 0.0,C 0.0}
BASE_DATA[22]={X -368.960,Y 904.250,Z 760.100,A 0.0,B 0.0,C 0.0}
```

## Diagrama de flujo

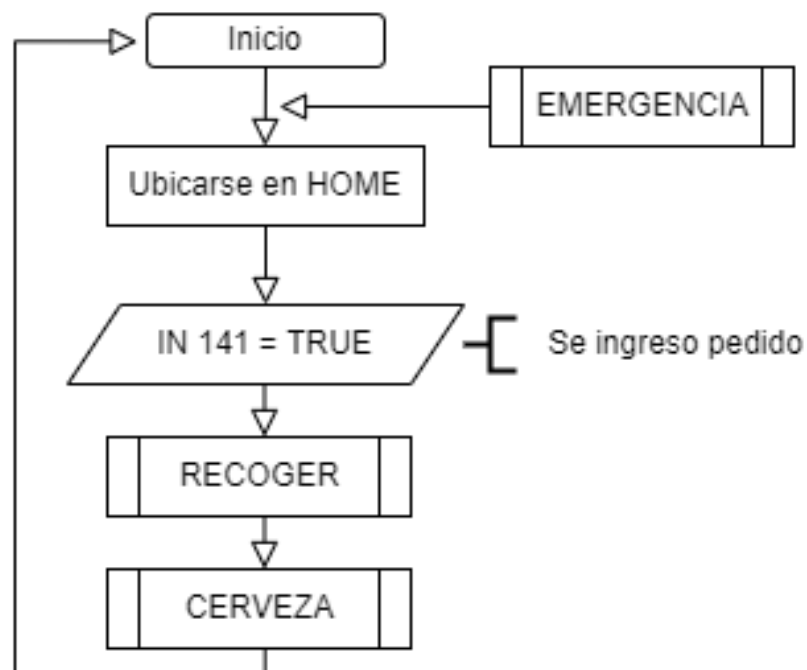
En cuanto a la programación del robot se la divide en un programa principal y cinco subrutinas las cuales se presentan a continuación.

### *Programa principal*

Este contiene un bucle LOOP siempre activo debido a que apenas llegue un pedido esta debe estar operativo, así se tiene que en primer lugar debe encontrarse en HOME y posteriormente al detectar la señal de un pedido comenzar con la operación donde se envía algunas señales al PLC y se ejecutan dos subrutinas secuencialmente, como se muestra en la Figura 121.

**Figura 121**

*Diagrama de flujo de Programa principal de robot*



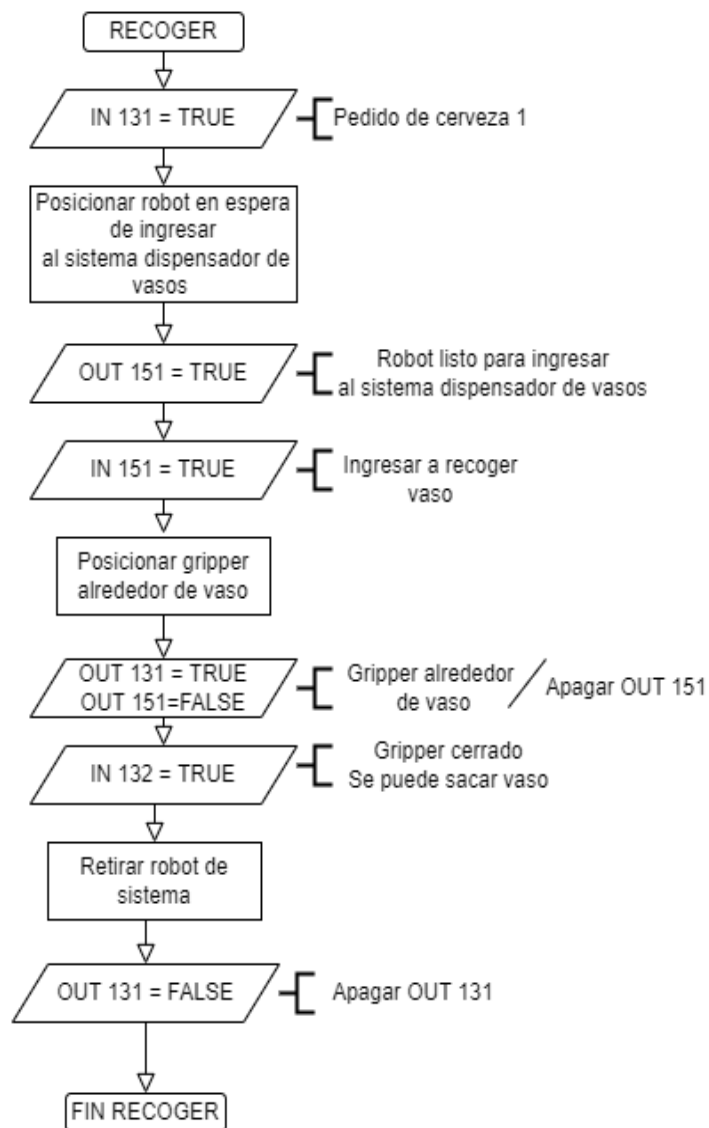


### Subrutina Recoger

Se realiza la programación para que el robot recoja el vaso correctamente del dispensador de vasos al tener la señal del PLC que le indica que siga con el proceso hasta sacarlo de este sistema y estar preparado para transportarlo al dispensador de la cerveza, se muestra este subproceso en la Figura 122.

**Figura 122**

*Diagrama de flujo de Subrutina recoger*

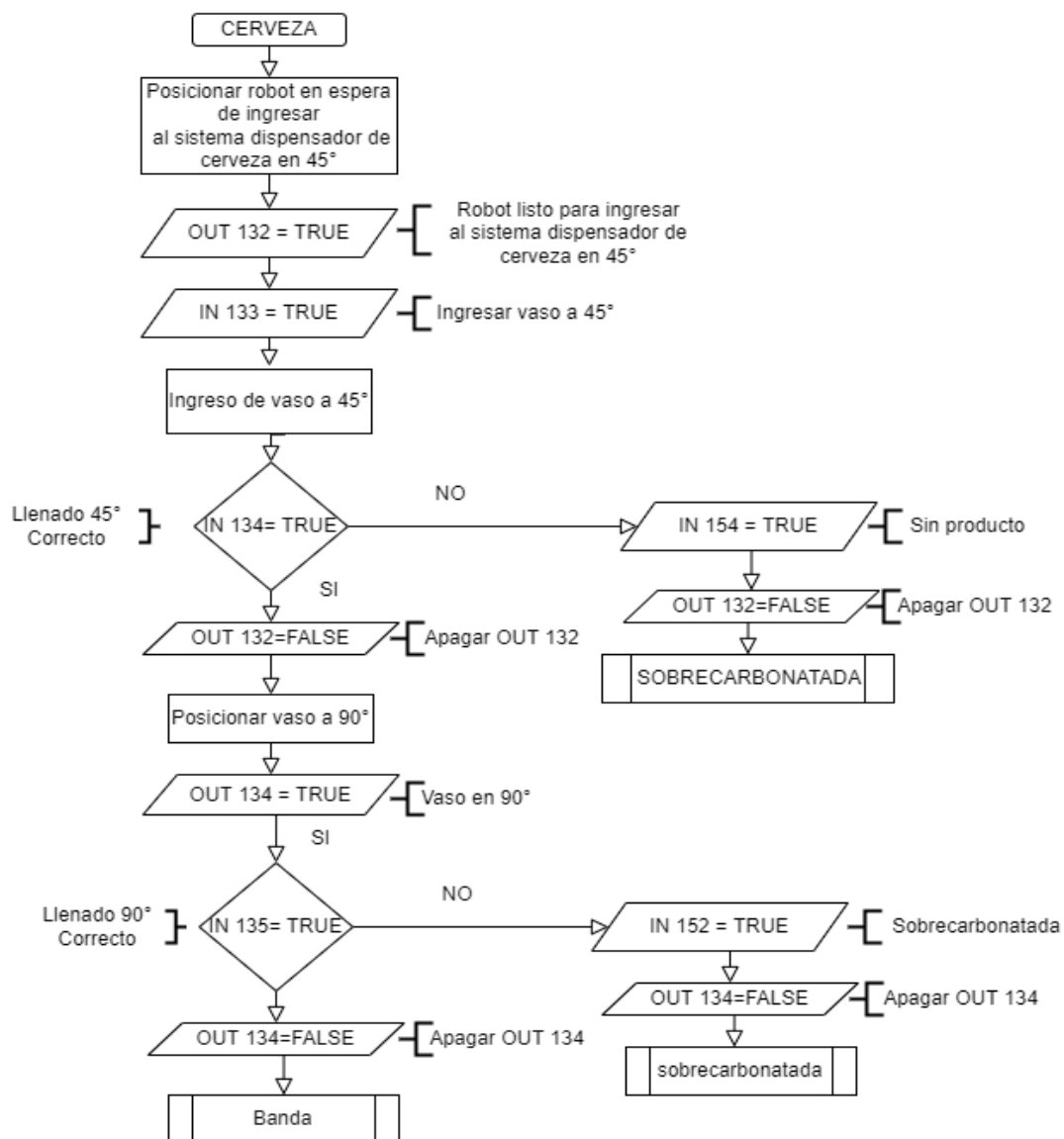


### Subrutina Cerveza

Se realiza la programación para que el robot se traslade al sistema dispensador de cerveza donde se direccionara al robot de acuerdo a los siguientes criterios un vaso correcto, vaso sin producto y vaso con producto sobre carbonatado, tal como se muestra en la Figura 123.

**Figura 123**

*Diagrama de flujo de Subrutina cerveza*

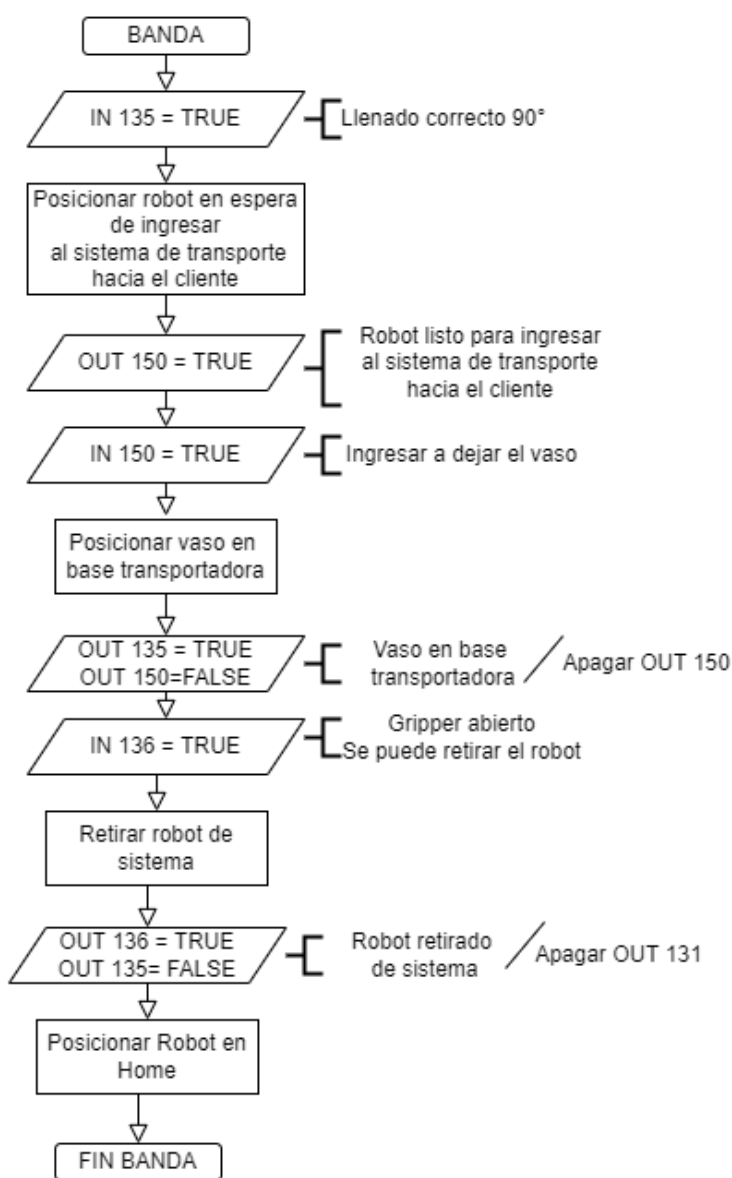


### Subrutina Banda

Se realiza la programación para que el robot se traslade al sistema de transporte hacia el cliente cerveza donde se debe colocar correctamente el vaso en la base transportadora y regresar a HOME a esperar otro pedido, esto se demuestra en la Figura 124.

**Figura 124**

*Diagrama de flujo de Subrutina Banda*

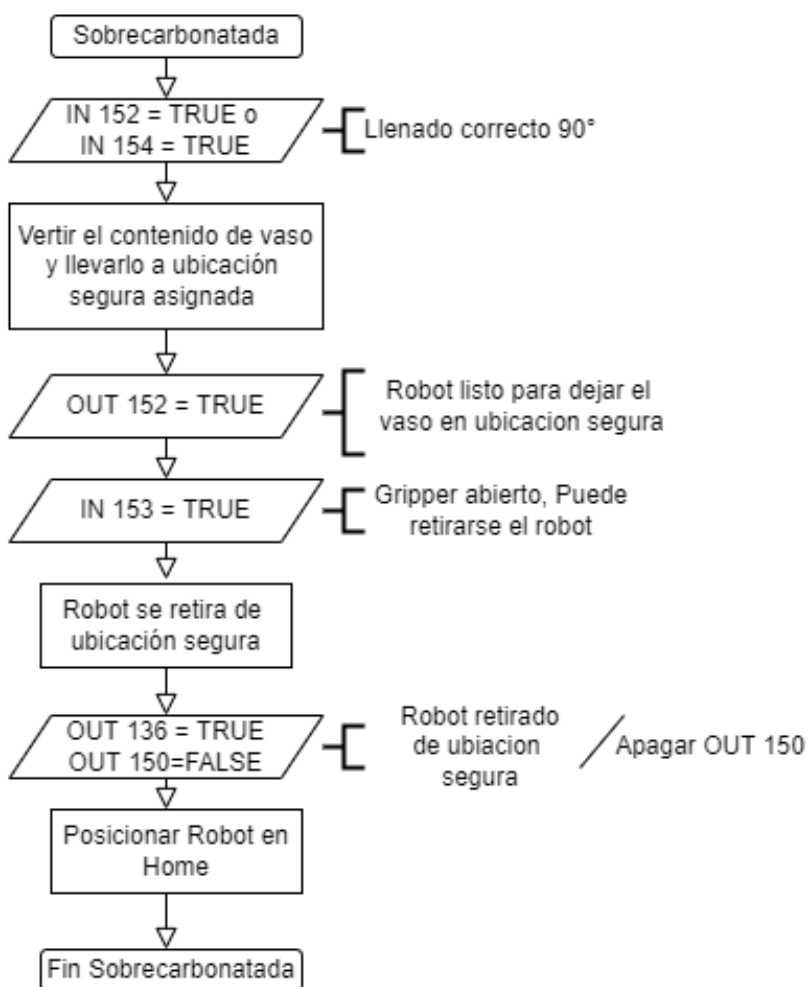


### Subrutina Sobrecarbonatada

Se realiza la programación para que el robot vierta el contenido del vaso que se encuentra sin suficiente producto o sobre carbonatado y posteriormente se dirija a una ubicación segura para posicionar el vaso, que debe ser recogido por el operador del sistema con el fin de corregir los errores y poner a punto el sistema para otro pedido. (Ver Figura 125)

**Figura 125**

*Diagrama de flujo de Subrutina Sobrecarbonatada*

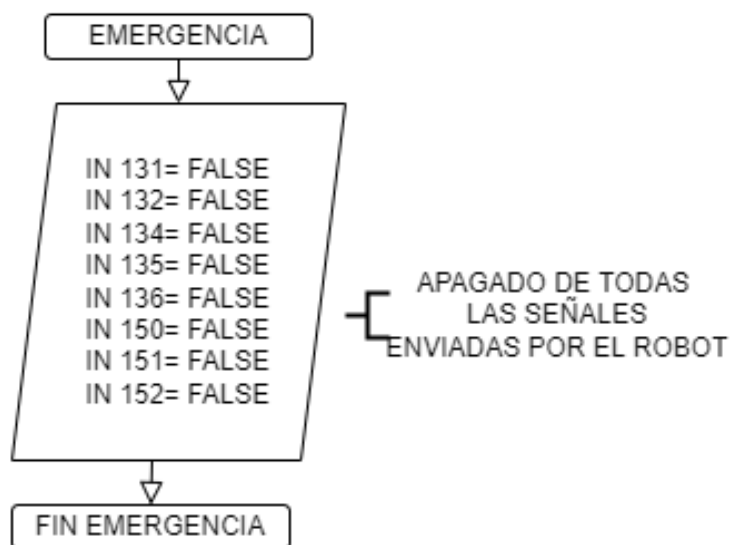


### *Interrupción de Emergencia*

Se apagan todas las salidas del robot con el fin del que el operario al solucionar el error sea el que mueva manualmente el robot a una posición segura o HOME y que al realizar el rearme todas las variables estén enceradas y listas para un pedido. (Ver Figura 126)

**Figura 126**

*Diagrama de flujo de interrupción emergencia*



### *Producción*

El graficet de producción mostrado en el Anexo 2, involucra una constante interacción de información con la aplicación, la cámara industrial, los sistemas propuestos y el controlador del robot, logrando así una sincronización en el proceso. Este también puede ser expandible para la distribución de varios tipos de cerveza, en este caso se mostrará el diseño para una sola línea de distribución.

En la Tabla 43 se podrá observar la descripción de cada variable utilizada en el graficet de producción.

**Tabla 43**

*Variables y Estados del Graficet de Producción*

| <b>Símbolo</b>     | <b>Descripción</b>  | <b>Tabla de variables</b> | <b>Dirección</b> | <b>Tipo</b> | <b>Tipo</b>     |
|--------------------|---|---------------------------|------------------|-------------|-----------------|
| INICIO HMI         | Variable que permite dar inicio al proceso desde la HMI   | Datos                     | %M0.0            | Bool        | Marca           |
| E_HMI              | Variable que permite realizar un paro de emergencia desde la HMI  | Datos                     | %M0.1            | Bool        | Marca           |
| DATOSAPP.PEDIDO    | Variable que almacena la señal que llega de la Aplicación móvil cuando se ha realizado un pedido.               | Datos                     | %DB1             | Bool        | Data Block      |
| DATOSAPP.FINC1     | Variable que permite resetear la base de datos una vez finalizado el pedido.                                    | Datos                     | %DB1             | Bool        | Data Block      |
| DATOSAPP.W.DATA[0] | Variable que almacena el tipo de cerveza que se ha pedido desde la aplicación móvil.                            | Datos                     | %DB34            | Word        | Data Block      |
| ST1                | Variable que se activa cuando el sensor de temperatura marca una temperatura correcta para servir la cerveza.   | Datos                     | %M27.6           | Bool        | Marca           |
| Q131               | Variable que envía una señal del PLC al robot, indica que se ha realizado un nuevo pedido                       | Datos                     | %Q8.6            | Bool        | Salida PROFINET |
| gripperoff         | Variable que permite abrir el gripper   | Datos                     | %Q0.1            | Bool        | Salida          |
| NP                 | Variable que se activa cuando el sistema dispensador de cerveza ha detectado que no hay producto                | Datos                     | %M40.2           | Bool        | Marca           |
| CARBO              | Variable que se activa cuando el sistema dispensador de cerveza ha detectado sobre carbonatación en el producto | Datos                     | %M40.0           | Bool        | Marca           |

**Continúa**

|                    |  |       |        |      |                     |
|--------------------|--|-------|--------|------|---------------------|
| I151               | Variable que envía el controlador del robot hacia el PLC, indica que ha llegado a una posición indicada para proceder a entrar al sistema dispensador de vasos cervecedores. | Datos | %I12.2 | Bool | Entrada<br>PROFINET |
| Q151               | Variable que envía una señal del PLC al robot, indica que el vaso está en la posición correcta para ser recogido   | Datos | %Q11.2 | Bool | Salida<br>PROFINET  |
| I131               | Variable que envía el controlador del robot hacia el PLC, indica que ha llegado a la posición indicada para proceder a cerrar el gripper.                                    | Datos | %I9.6  | Bool | Entrada<br>PROFINET |
| gripperon          | Variable que permite cerrar el gripper   | Datos | %Q0.0  | Bool | Salida              |
| TEMP11             | Tiempo prudencial para que el gripper se cierre y agarre el vaso de una manera correcta  | Datos | %M3.2  | Bool | Marca               |
| Q132               | Variable que envía una señal del PLC al robot, muestra que el vaso está sujetado por el gripper y es seguro retirarse del sistema dispensador de vasos cervecedores.         | Datos | %Q8.7  | Bool | Salida<br>PROFINET  |
| I132               | Variable que envía una señal del PLC al robot, indica que el vaso está sujetado por el gripper y es seguro retirarse del sistema dispensador de vasos cervecedores.          | Datos | %I9.7  | Bool | Entrada<br>PROFINET |
| VALV 1             | Variable que permite activar o desactivar la válvula perteneciente a la primera etapa del dispensado de cerveza, realizada con el vaso a 45 grados.                          | Datos | %Q0.3  | Bool | Salidas             |
| insight-SetOffline | Variable que envía una señal desde el PLC hasta la cámara para que esta se encienda  | Datos | %Q2.7  | Bool | Salida<br>PROFINET  |

**Continua**

|                              |   |       |        |      |                  |
|------------------------------|---|-------|--------|------|------------------|
| TEMP12                       | Tiempo prudencial para que la espuma residual de pedidos anteriores sea eliminada del sistema hasta obtener cerveza.                          | Datos | %M3.3  | Bool | Marca            |
| Q133                         | Variable que envía una señal del PLC al robot, indica al robot que debe entrar al sistema dispensador de cerveza                              | Datos | %Q9.0  | Bool | Salida PROFINET  |
| insight-UserData[0]          | Variable que envía una señal desde el PLC hacia la cámara, la indica que se debe activar un patrón del llenado del vaso a 45°                 | Datos | %Q65.0 | Bool | Salida PROFINET  |
| insight-UserData[1]          | Variable que envía una señal desde el PLC hacia la cámara, la indica que se debe activar un segundo patrón del llenado del vaso a 45°         | Datos | %Q66.0 | Bool | Salida PROFINET  |
| insight-InspectionResults[1] | Variable que envía una señal desde el PLC hacia la cámara, indica que se debe activar los patrones para identificar el llenado del vaso a 45° | Datos | %I74.0 | Bool | Entrada PROFINET |
| TEMP1NOPRODD1                | Tiempo prudente en el que se analiza si el sistema dispensador de cerveza tiene o no producto.  | Datos | %M40.3 | Bool | Marca            |
| insight-UserData[3]          | Variable que envía una señal desde el PLC hacia la cámara, habilita el patrón encargado de analizar la espuma con el vaso a 90°               | Datos | %Q67.0 | Bool | Salida PROFINET  |
| TEMP19                       | Tiempo prudencial para que los patrones de la cámara industrial sean actualizados para analizar el dispensado de cerveza a 90 grados          | Datos | %M28.2 | Bool | Marca            |
| Q134                         | Variable que envía una señal del PLC al robot, indica al robot que debe modificar la posición del vaso de 45 a 90 grados.                     | Datos | %Q9.0  | Bool | Salida PROFINET  |

**Continua**



|                              |  |       |        |      |                  |
|------------------------------|--|-------|--------|------|------------------|
| I134                         | Variable que envía el controlador del robot hacia el PLC, indica que el robot cambio al vaso a una posición de 90 grados para proseguir con el dispensado de la cerveza. | Datos | %M10.1 | Bool | Entrada PROFINET |
| TEMP111                      | Tiempo prudente en el que se confirma que el robot cambio la posición del vas de 45 a 90°  | Datos | %M27.3 | Bool | MARCA            |
| VALV 2                       | Variable que permite activar o desactivar la válvula perteneciente a la segunda etapa del dispensado de cerveza, realizada con el vaso a 90 grados.                      | Datos | %Q0.2  | Bool | Salidas          |
| insight-UserData[4]          | Variable que envía una señal desde el PLC hacia la cámara, habilita el patrón encargado de analizar si el vaso llenado esta sobre carbonatado                            | Datos | %Q68.0 | Bool | Salida PROFINET  |
| Insight-InspectionResults[2] | Variable que envía una señal desde la cámara hacia el robot, indica que el vaso a 90° está lleno   | Datos | %I75.0 | Bool | Entrada PROFINET |
| TEMP15                       | Tiempo prudencial para que todo el producto residual que se encuentre en la manguera caiga en el vaso  | Datos | %M27.3 | Bool | MARCA            |
| Insight-InspectionResults[3] | Variable que envía una señal desde la cámara hacia el robot, revela que el producto servido esta sobre carbonatado   | Datos | %I76.0 | Bool | Entrada PROFINET |
| Q135                         | Variable que envía una señal del PLC al robot, indica que el vaso está lleno y listo para ser retirado del sistema dispensador de cerveza.                               | Datos | %Q9.2  | Bool | Salida PROFINET  |
| I152                         | Variable que envía el controlador del robot hacia el PLC, indica que se puede abrir el gripper para dejar el vaso en la mesa   | Datos | %I2.3  | Bool | Entrada PROFINET |

**Continúa**

|             |  |       |        |      |                     |
|-------------|--|-------|--------|------|---------------------|
| TEMP1CARBO1 | Tiempo prudente en que el robot llega a la mesa para soltar el vaso  | Datos | %M28.4 | Bool | MARCA               |
| TEMP1CARBO2 | Tiempo prudente para que el gripper debe suelte el vaso  | Datos | %M28.5 | Bool | MARCA               |
| I150        | Variable que envía el controlador del robot hacia el PLC, indica que ha llegado a una posición indicada para proceder a entrar al sistema de entrega del producto hacia el cliente | Datos | %I12.1 | Bool | Entrada<br>PROFINET |
| Q150        | Variable que envía una señal del PLC al robot, indica que no hay ningún vaso pendiente por entregar, mostrando que el riel está desocupado para realizar una entrega               | Datos | %Q11.1 | Bool | Salida<br>PROFINET  |
| I135        | Variable que envía el controlador del robot hacia el PLC, indica que el robot ha llegado hasta la posición para soltar el vaso en el sistema de entrega.                           | Datos | %I10.2 | Bool | Entrada<br>PROFINET |
| TEMP16      | Tiempo prudencial para que el robot deje el vaso en el sistema transportador de cerveza  | Datos | %M3.7  | Bool | MARCA               |
| TEMP17      | Tiempo prudencial para que el gripper suelte el vaso y se pueda pasar a retirar al robot.  | Datos | %M4.0  | Bool | MARCA               |
| TEMP18      | Tiempo para que el robot se aleje una distancia prudente del sistema de entrega después de haber dejado el vaso.   | Datos | %M4.2  | Bool | MARCA               |
| Q136        | Variable que envía una señal del PLC al robot, indica que es seguro retirar el robot del sistema de entrega de vasos.  | Datos | %Q9.3  | Bool | Salida<br>PROFINET  |
| I136        | Variable que envía el controlador del robot hacia el PLC, indica que el proceso se ha concluido.   | Datos | %I10.3 | Bool | MARCA               |

**Continúa**

|            |  |         |        |      |                  |
|------------|--|---------|--------|------|------------------|
| IN_HOME    | Variable que envía el controlador del robot hacia el PLC indica si el robot está en la posición estándar | Datos   | %I8.3  | Bool | Entrada PROFINET |
| cont1R     | Variable donde se encuentra el número de veces que se tiene que repetir el proceso.                      | Datos   | %M23.7 | Bool | MARCA            |
| Cont1      | Variable donde se suma el número de repeticiones que se ha realizado el proceso                          | Datos   | %DB35  | Bool | Data Block       |
| Resetcont1 | Variable que se activa cuando el pedido se ha terminado de realizar, reseteando el acumulador Cont1      | Datos   | %M26.1 | Bool | MARCA            |
| ESPERA     | Tiempo prudencial para volver hacia el estado Inicial.   | Datos   | %M26.0 | Bool | MARCA            |
| E0         | Estado 0   | Estados | %M10.0 | Bool | MARCA            |
| E1         | Estado 1   | Estados | %M10.1 | Bool | MARCA            |
| E2         | Estado 2   | Estados | %M10.2 | Bool | MARCA            |
| E100       | Estado 100   | Estados | %M11.0 | Bool | MARCA            |
| E101       | Estado 101   | Estados | %M11.1 | Bool | MARCA            |
| E102       | Estado 102   | Estados | %M11.2 | Bool | MARCA            |
| E103       | Estado 103   | Estados | %M11.3 | Bool | MARCA            |
| E104       | Estado 104   | Estados | %M11.4 | Bool | MARCA            |
| E105       | Estado 105   | Estados | %M11.5 | Bool | MARCA            |
| E106       | Estado 106   | Estados | %M11.6 | Bool | MARCA            |

**Continúa**

|      |            |         |        |      |       |
|------|------------|---------|--------|------|-------|
| E107 | Estado 107 | Estados | %M11.7 | Bool | MARCA |
| E108 | Estado 108 | Estados | %M12.0 | Bool | MARCA |
| E109 | Estado 109 | Estados | %M12.1 | Bool | MARCA |
| E110 | Estado 110 | Estados | %M12.2 | Bool | MARCA |
| E111 | Estado 111 | Estados | %M12.3 | Bool | MARCA |
| E112 | Estado 112 | Estados | %M12.4 | Bool | MARCA |
| E113 | Estado 113 | Estados | %M12.5 | Bool | MARCA |
| E114 | Estado 114 | Estados | %M12.6 | Bool | MARCA |
| E115 | Estado 115 | Estados | %M12.7 | Bool | MARCA |
| E116 | Estado 116 | Estados | %M25.0 | Bool | MARCA |
| E117 | Estado 117 | Estados | %M25.1 | Bool | MARCA |
| E118 | Estado 118 | Estados | %M25.2 | Bool | MARCA |
| E170 | Estado 170 | Estados | %M25.3 | Bool | MARCA |
| E171 | Estado 171 | Estados | %M25.4 | Bool | MARCA |
| E172 | Estado 172 | Estados | %M25.5 | Bool | MARCA |
| E180 | Estado 180 | Estados | %M25.6 | Bool | MARCA |

## Conexiones Eléctricas

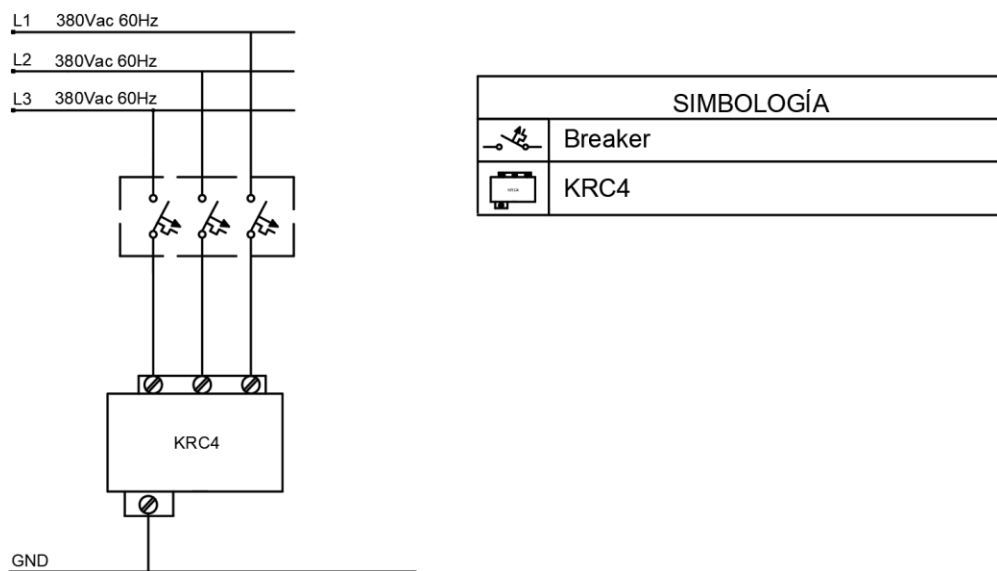
Las conexiones realizadas en la integración de los sistemas que componen la célula robotizada se detallan en el Anexo3. A continuación se presenta de manera desglosada todas las conexiones de cada subsistema.

### Conexión del sistema robot

A continuación, en la Figura 127 podremos observar el diagrama de conexión que se realizó para energizar al controlador KRC4, el mismo que requería de 380Vac a 60 HZ.

**Figura 127**

*Diagrama de Conexiones del robot*

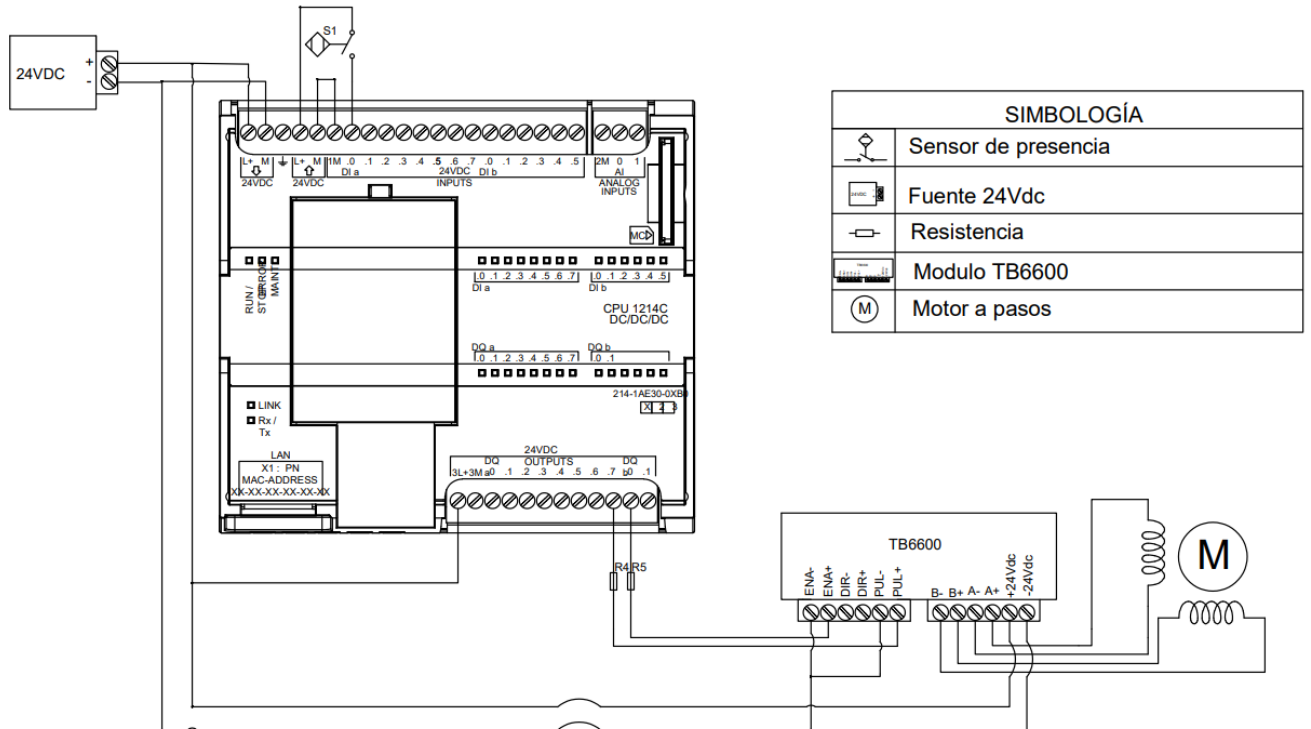


### Conexiones sistema dispensador de vasos cervecedores

En la Figura 128 se puede observar el diagrama de conexiones realizado para dar funcionalidad al sistema dispensador de vasos cervecedores. Del PLC se utiliza una entrada digital (I0.0) para el sensor de presencia y dos salidas digitales (Q0.7 y Q1.0) para el módulo TB6600.

Figura 128

Diagrama de conexiones del sistema dispensador de vasos cerveceros

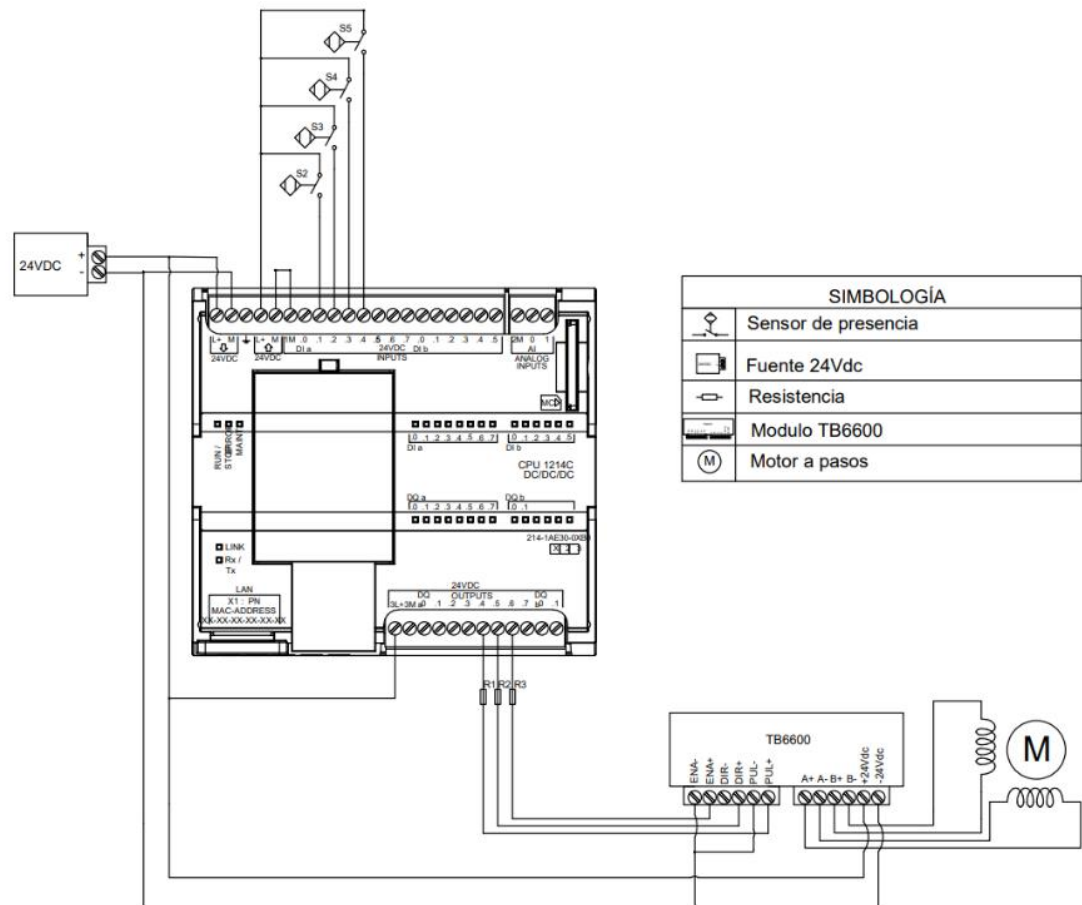


Conexiones sistema de transporte de cerveza hacia el cliente.

En la Figura 129 se aprecia el diagrama de conexiones realizado para dar funcionalidad al sistema dispensador de cerveza. Del PLC se utiliza cuatro entradas digitales (I0.1, I0.2, I0.3 e I0.4) para los sensores de presencia y tres salidas digitales (Q0.4, Q0.5 y Q0.6) para el módulo TB6600.

Figura 129

Diagrama de conexiones del sistema de transporte de cerveza hacia el cliente

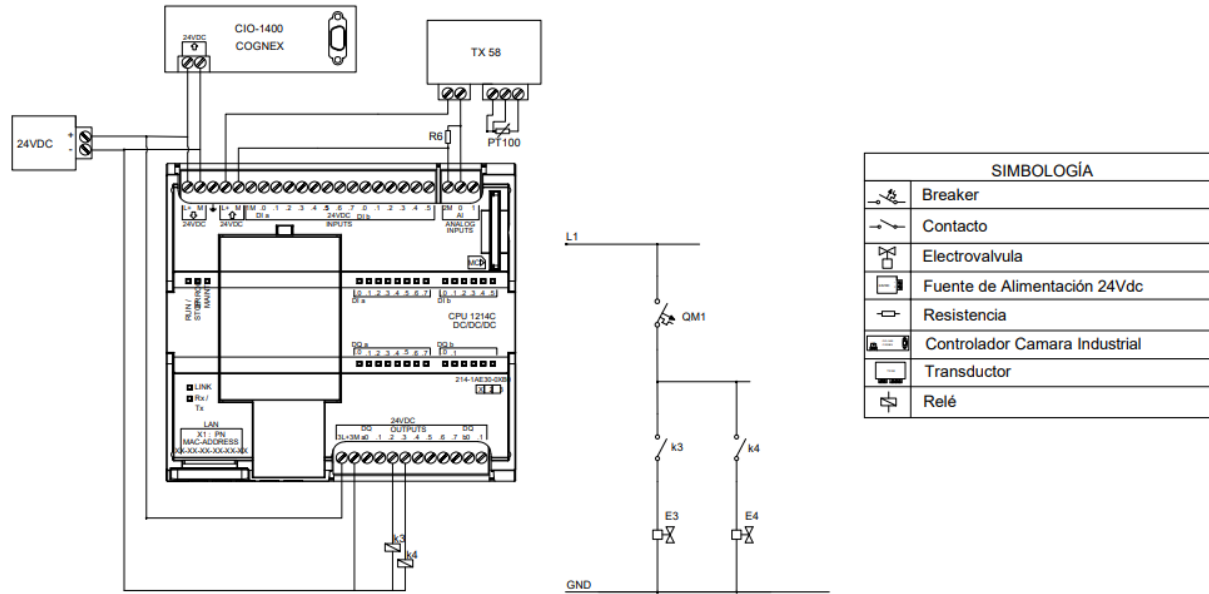


### Conexiones sistema dispensador de cerveza

En la Figura130 se visualiza el diagrama de conexiones realizado para dar funcionalidad al sistema de transporte de cerveza hacia el cliente. Del PLC se utiliza una entrada analógica (AI0) para el transductor de temperatura TX58 y dos salidas digitales (Q0.2 y Q0.3) para la activación de las electroválvulas neumáticas. También se realiza la conexión a 24Vdc del módulo controlador de la cámara industrial Cognex y la conexión de las electroválvulas que requieren de 120Vac a 60Hz.

**Figura 130**

*Diagrama de conexiones del sistema dispensador de cerveza*



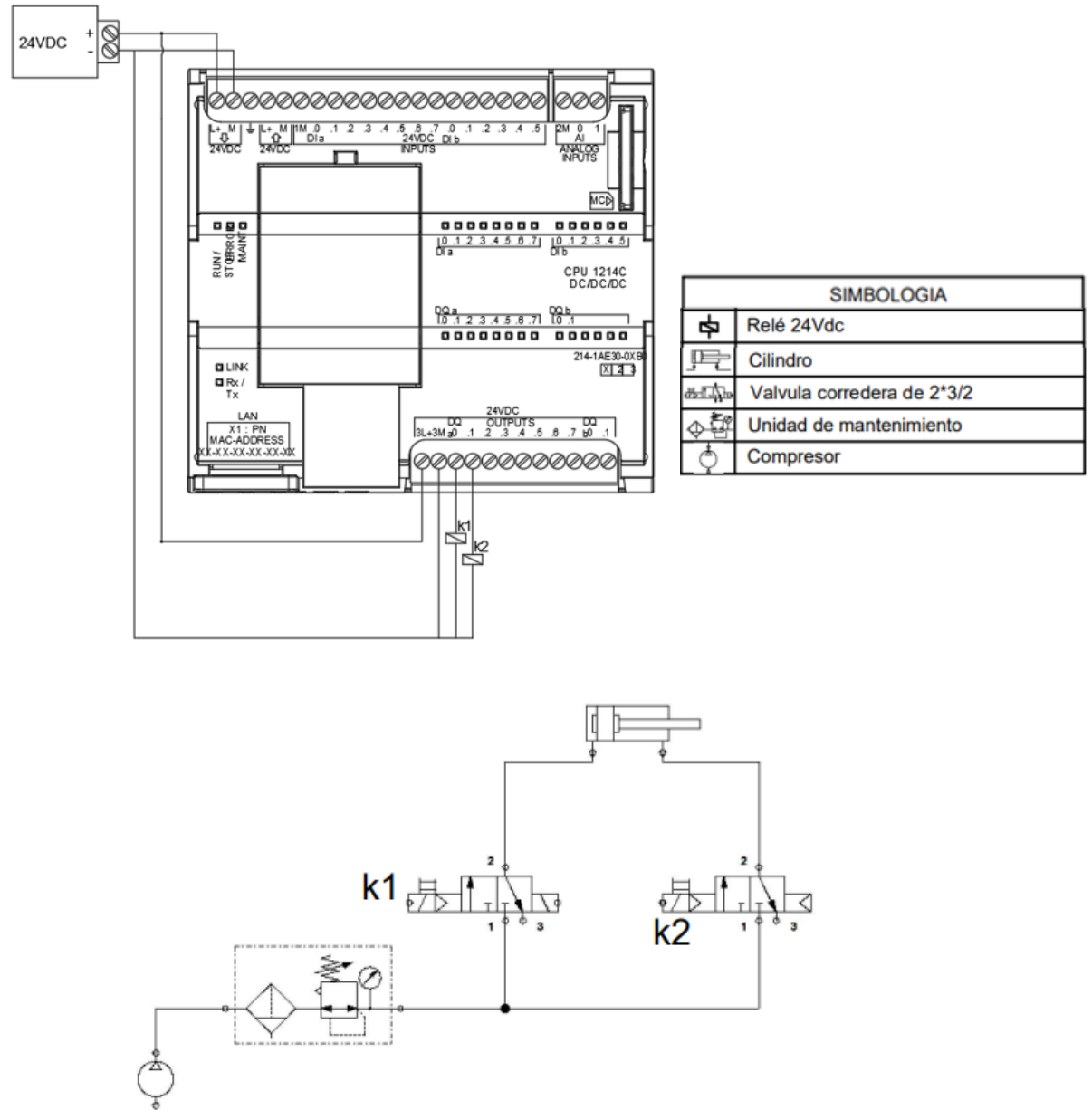
*Conexión sistema neumático*

En la Figura 131 se observa el diagrama de conexión neumática implementado. Del PLC se utilizaron 2 salidas digitales (Q0.0 y Q0.1), las mismas que activan las electroválvulas neumáticas, permitiendo abrir o cerrar el gripper.



**Figura 131**

*Diagrama de conexiones para dar funcionalidad al pistón del Gripper*



## Capítulo IV

### Implementación, pruebas y resultados

En el presente capítulo se muestra la implementación física de los cinco componentes principales que conforman la célula robotizada (Sistema robot, Sistema de control PLC, Sistema dispensador de vasos cerveceros, Sistema dispensador de cerveza y sistema de transporte de cerveza hacia el cliente). En este se puede observar la ubicación y documentación fotográfica del trabajo realizado para dar funcionalidad al proyecto. Además, se realizaron las pruebas individuales de cada sistema y pruebas de funcionamiento globales de la célula robotizada, obteniendo un análisis que sirvió para optimizar el funcionamiento del proyecto.

#### Implementación de célula robotizada

##### *Robot*

Para instalar el robot primero se estableció el lugar estratégico donde se podría desplazar sin problemas por toda su área de trabajo (Ver Figura 132). Una vez ubicado, se procedió a realizar las perforaciones en donde van los pernos que afianzan el robot al suelo (Ver Figura 133).

Figura 132

*Ubicación del robot y controlador dentro de la célula robótica*

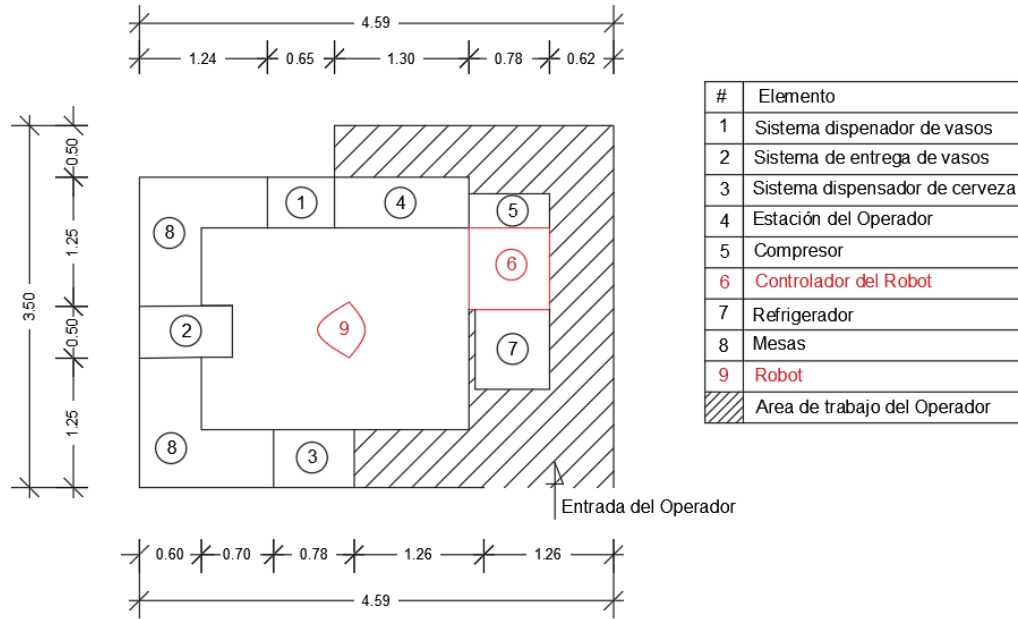


Figura 133

*Empotramiento del Robot KUKA al suelo*



Como se observa en la Figura 134, el robot KUKA para ser energizado necesita de 3 líneas a 380V de alimentación y la respectiva conexión a tierra. Las conexiones fueron realizadas

directamente al tablero de la empresa auspiciante, la cual tenía la capacidad de proveer estos parámetros de alimentación a partir de un generador. En la Figura 135 se podrá observar las conexiones realizadas para energizar el robot

**Figura 134**

*Características del Controlador KRC4*

| KUKA         |                          | KUKA Roboter GmbH<br>Zugspitze 140<br>98186 Augsburg, Germany<br>Assembled in Hungary |           |
|--------------|--------------------------|---|-----------|
| Typ          | Type                     | Type  | KRC4      |
| Artikel-Nr.  | Article No.              | No. d'article   | 11051996  |
| Serien-Nr.   | Serial No.               | No. de Série  | 343926    |
| Bauger.      | Date                     | Année de fabric.  | 34/2017   |
| Gewicht      | Weight                   | Poids   | 140Kg     |
| Anschlußspg. | Supply Voltage           | Tension   | 3x380V    |
| Netzfrequenz | Frequency                | Fréquence   | 50/60Hz   |
| Vollestrom   | charge full-load current | Courant pleine  | 23A       |
| Netzicherung | Mains Fuse               | Fusible de secteur  | 25A       |
| CE           |                          | AN 11051996   | SN 343926 |
|              |                          | SC5   |           |

**Figura 135**

*Instalación de la alimentación trifásica para el Robot*

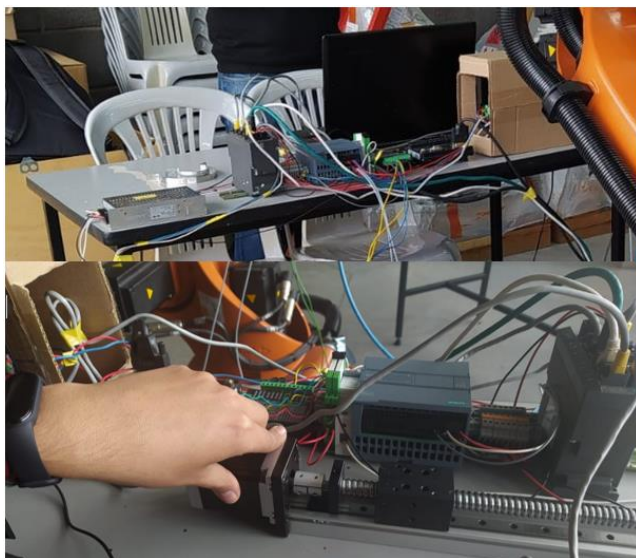


### *Sistema de Control PLC*

En las primeras etapas de la Implementación de la célula robótica, se conectó al controlador y dispositivos a lo largo de un riel DIN como se puede observar en la Figura 136

#### **Figura 136**

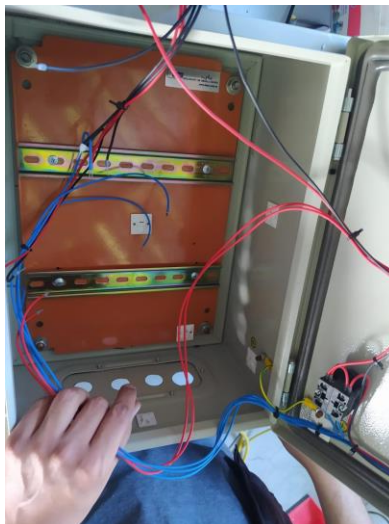
*Dispositivos montados en un riel in en las primeras etapas de la célula robótica*



Una vez estructuradas todas las etapas de la célula robotizada, para una mejor distribución y presentación de los equipos, se hizo un traslado de los dispositivos a un tablero de control observado en la Figura 137.

**Figura 137**

*Tablero de control de la célula robotizada*



En la Figura 138 se puede visualizar el proceso de armado del tablero y su culminación.

**Figura 138**

*Elaboración del tablero de control*



Por motivos de espacio y una correcta ubicación de los componentes, la fuente de alimentación de 24Vdc y el controlador de la cámara COGNEX quedaron en la parte exterior del tablero como se observa en la Figura 139. Este tablero está ubicado en la parte inferior de la estación del Operador

**Figura 139**

*Fuente 24Vdc y controlador de la cámara industrial COGNEX*

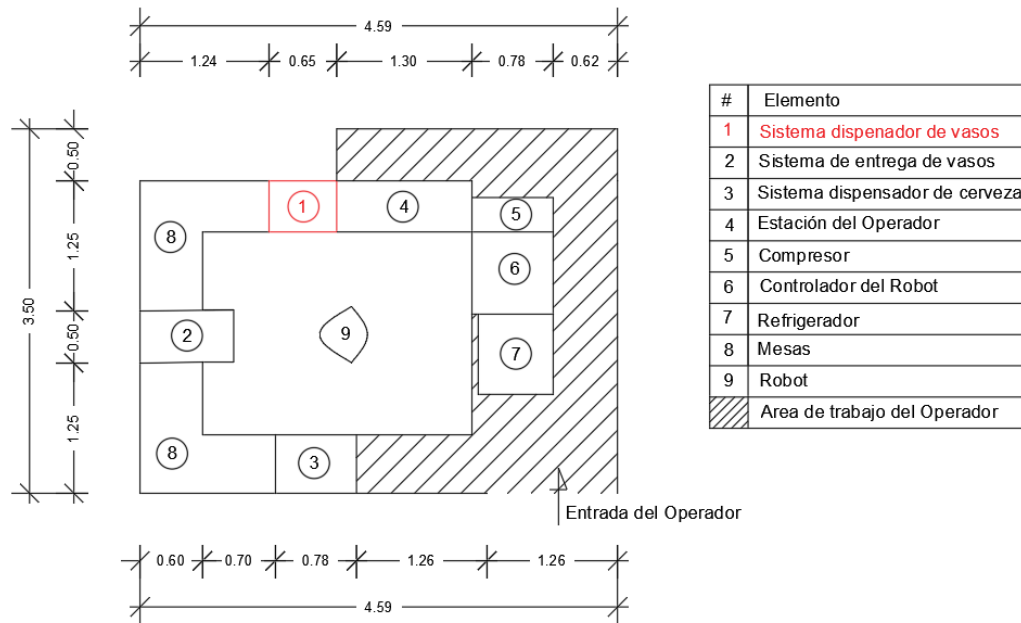


*Dispensado de vasos cerveceros*

En la Figura 140 se observa la ubicación del sistema dentro de la célula robótica

**Figura 140**

Ubicación del sistema dispensador de vasos cerveceros dentro de la célula robótica



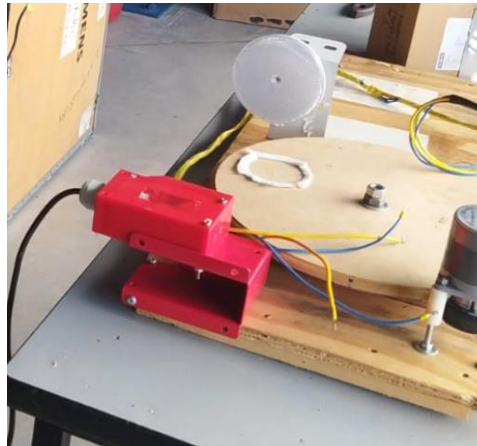
Para su implementación en primer lugar, se utiliza una base de madera para pasteles conformada por dos tablas dispuestas una encima de la otra, la primera serviría de soporte para que la segunda gire en su propio eje.

Para automatizar este movimiento se colocó un motor a pasos, con una pequeña rueda de caucho en su eje, en uno de los costados de la tabla giratoria, con el fin de que, al interactuar con la misma se realice la fricción necesaria para moverla. Una vez terminado este mecanismo se procedió a instalar un sensor de presencia fotoeléctrico el cual indica el punto exacto en el cual el robot debe recoger el vaso. El diseño inicial se lo puede observar en la Figura 141



**Figura 141**

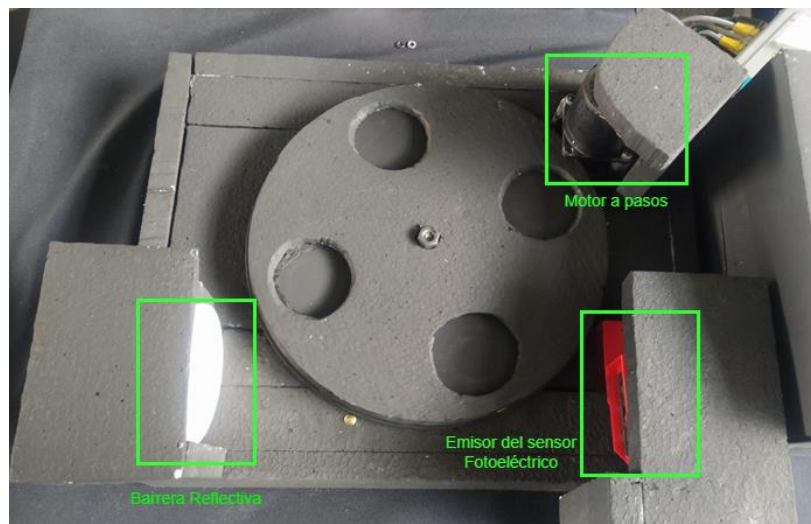
*Primer diseño del sistema dispensador de vasos cervecedores*



Por motivos de presentación se efectuó la adecuación con espuma flex para que el sistema tenga una mejor estética, en la Figura 142, se puede ver el resultado final del sistema con todos sus componentes.

**Figura 142**

*Sistema dispensador de vasos cervecedores y sus componentes*

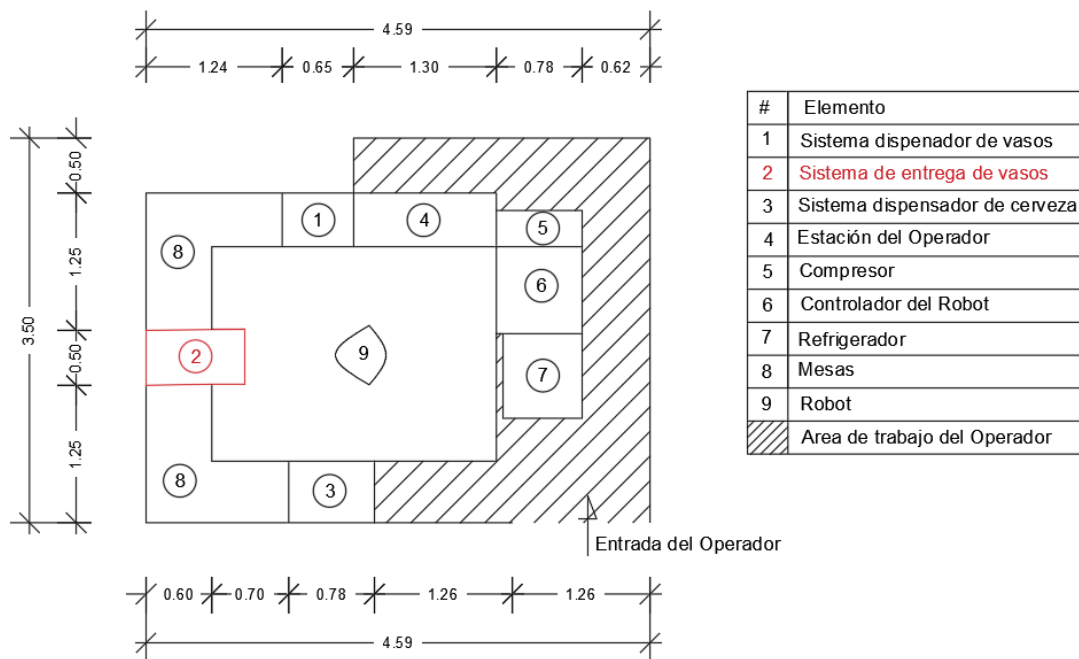


### Transporte de cerveza hacia el cliente

En la Figura 143 podemos observar la ubicación del sistema dentro de la célula robótica

**Figura 143**

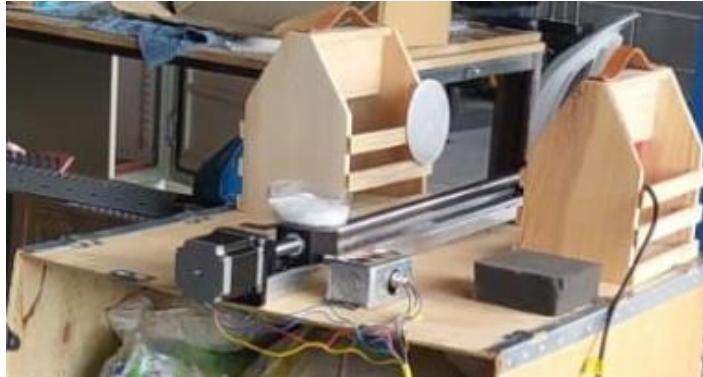
*Ubicación del sistema de entrega de vasos dentro de la célula robótica*



En este sistema se utilizó un riel de 60 cm para entregar el producto al cliente manteniendo una distancia segura entre el lugar donde el cliente recoge el vaso y el área de trabajo del robot. Para su implementación en primer punto se procedió a empotrar el actuador lineal a la base para que este no vibre cuando sea activado, después se procedió a encajar los sensores inductivos que van a detectar la pieza móvil del actuador lineal y los sensores fotoeléctricos que van a detectar la presencia del vaso. El diseño inicial se lo puede observar en la Figura 144.

**Figura 144**

*Primer diseño del sistema de transporte de cerveza hacia el cliente*



Por motivos de presentación se efectuó la adecuación con espuma flex para que el sistema tenga una mejor estética, en las Figuras 145, 146, 147 y 148, se puede ver el proceso de implementación y el resultado final del sistema con todos sus componentes.

**Figura 145**

*Implementación del sistema de transporte de cerveza hacia el cliente*



**Figura 146**

*Sensores Fotoeléctrico e Inductivo del sistema de transporte de cerveza hacia el cliente*

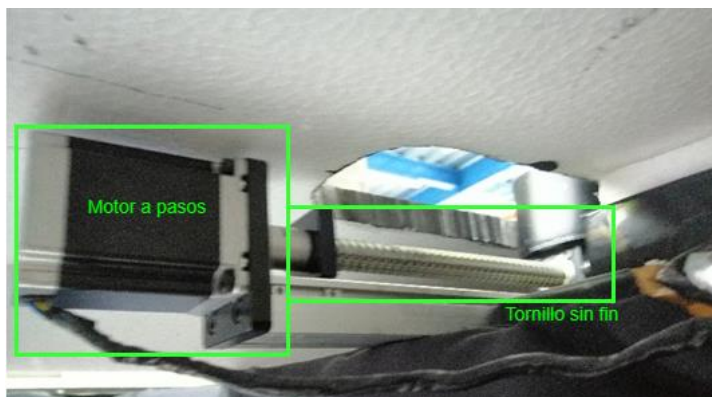
**Figura 147**

*Sensor fotoeléctrico, barrera reflectiva y sensor inductivo del sistema de transporte de cerveza hacia el cliente*



**Figura 148**

*Motor a pasos y riel del sistema transportador de cerveza hacia el cliente*

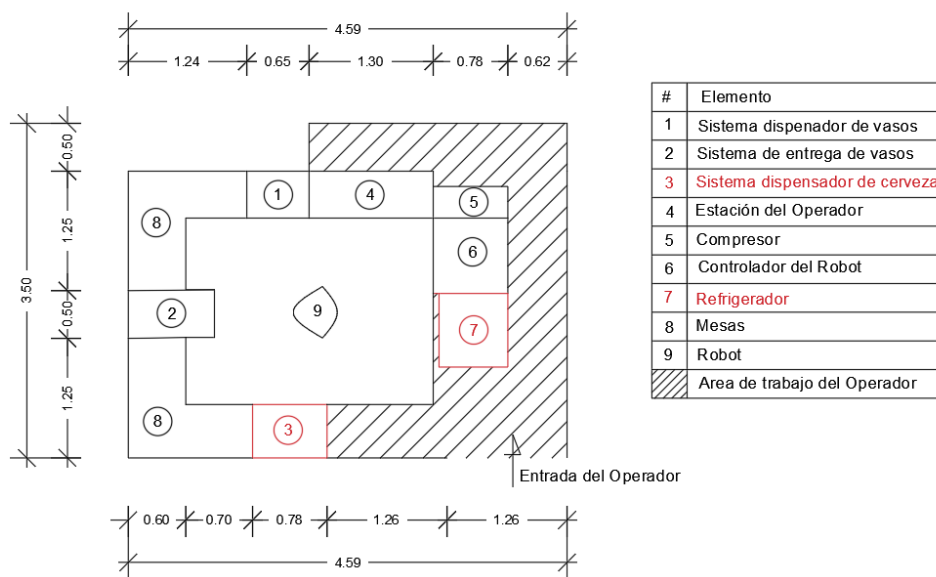


*Dispensado de cerveza*

En la Figura 149 se puede observar la ubicación del sistema dispensador de cerveza y del sistema de refrigeración dentro de la célula robótica.

**Figura 149**

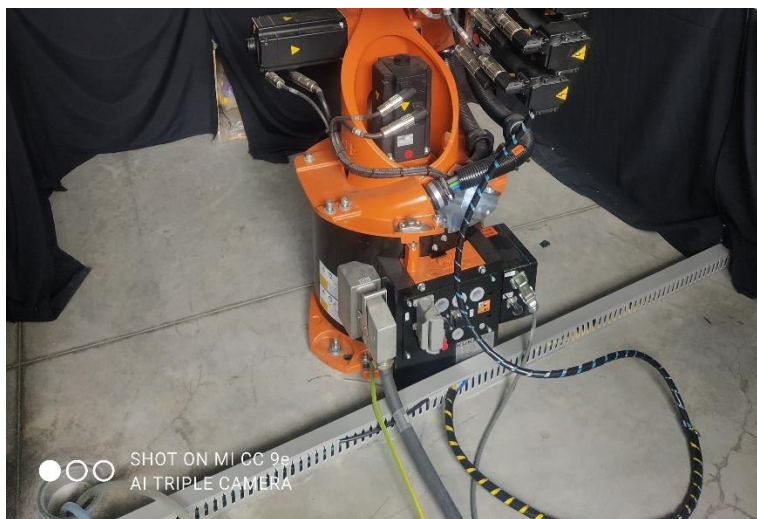
*Ubicación del sistema dispensador de cerveza*



Este sistema se encuentra muy alejado del sistema controlador PLC, por ello las conexiones realizadas a los dispositivos fueron cableadas a través de una canaleta que pasa por la parte posterior del robot como se muestra en la Figura 150.

### Figura 150

*Canaleta por donde cruzan las conexiones del sistema dispensador de cerveza*



### Almacenamiento

La etapa de almacenamiento consta de un refrigerador que almacena el barril de cerveza y el tanque de CO<sub>2</sub>. Como se puede observar en la Figura 151 el tanque y el barril están conectados mediante un regulador que controla el CO<sub>2</sub> inyectado al barril de cerveza, permitiendo ejercer presión en el barril, teniendo un flujo de la cerveza por todo el sistema de mangueras y electroválvulas.

**Figura 151**

*Almacenamiento del sistema dispensador de cerveza*



También se instaló un sensor de temperatura visualizado en la Figura 152, para monitorear el estado de la cerveza ya que esta no puede estar a una temperatura mayor a 10°C.

**Figura 152**

*PT100 utilizado en el sistema dispensador de cerveza*



### Circulación del producto

El objetivo de este sistema es transportar la cerveza desde el barril hasta el grifo dispensador, por lo cual este está compuesto de un arreglo de mangueras de grado alimenticio, uniones, llaves de paso y electroválvulas. A continuación, se muestra la Tabla 44 con los elementos y las cantidades utilizadas para la implementación del sistema.

**Tabla 44**

*Elementos que permiten la circulación de la cerveza a través del sistema dispensador de cerveza*

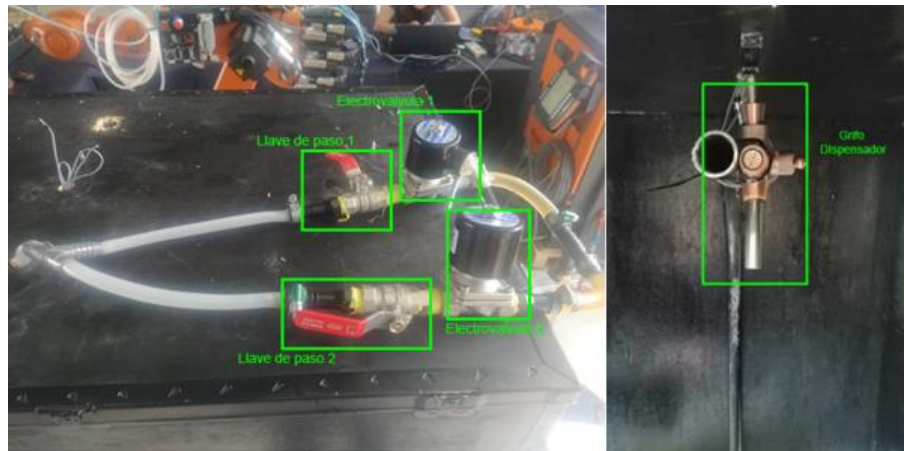
| <b>Elementos</b>              | <b>Cantidad</b> |
|-------------------------------|-----------------|
| Manguera de grado alimenticio | 8 [m]           |
| Uniones                       | 6 unidades      |
| Llaves de paso Inox           | 2 unidades      |
| Electroválvulas Inox          | 2 unidades      |
| Grifo dispensador Inox        | 1 unidad        |

En la Figura153 se puede observar la implementación final del sistema que controla el flujo de la cerveza, como se explicó en el diseño, este constara de dos vías con diferentes estrechamientos que permitirán dar paso a cerveza hacia el grifo dispensador.



**Figura 153**

*Elementos que permiten la circulación de la cerveza a través del sistema dispensador de cerveza*



Como las electroválvulas tienen un solenoide que se activa a 120Vac y las salidas del PLC están energizadas para trabajar con 24Vdc, se tuvo que hacer uso de un módulo relé de activación a 24Vdc y de un breaker que se pueden observar en la Figura 154.

**Figura 154**

*Elementos utilizados para la activación para las electroválvulas*



## Cámara

La instalación de la cámara se la realizó entro de una caja negra, la misma está diseñada para eliminar las perturbaciones externas que afectaban el funcionamiento correcto de la cámara. En la Figura 155 se puede observar la caja utilizada para este sistema, en la que se realizó dos agujeros, uno para que el robot pueda ingresar al sistema y otro para que los clientes puedan observar el dispensado de cerveza.

### Figura 155

*Caja diseñada para el sistema dispensador de cerveza*



Otro de los parámetros a tomar en cuenta para mejorar la performance de la cámara fue la luz con la que esta pueda trabajar, debido a esto se instaló una luminaria LED dentro de la caja, con el objetivo de mejorar él contrastes y brillo de los objetos a ser analizados. En la Figura 156 se puede observar la ubicación en la parte izquierda de la cámara.

**Figura 156**

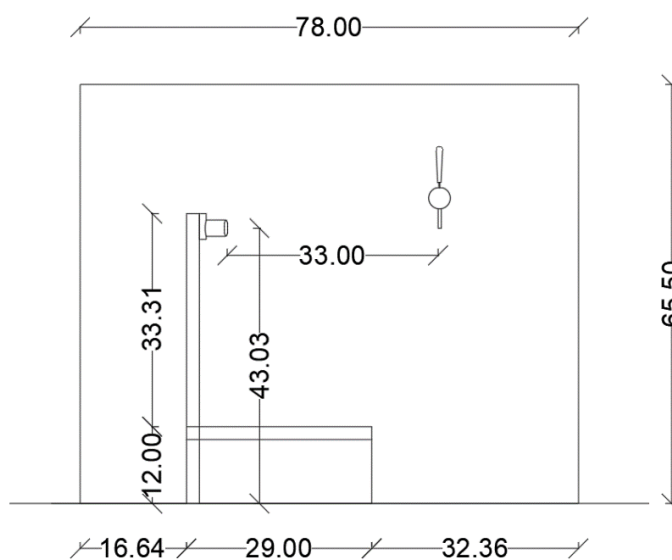
*Instalación de la cámara y lámpara led dentro de la caja*



Una vez instalado el ambiente en el que se va a desenvolver al cámara, se procedió a ubicar la cámara dentro del sistema, La ubicación de la cámara estuvo sujeta a la posición del grifo dispensador y a los movimientos que hace el robot al momento de servir un vaso de cerveza, tanto en 45° como en 90° teniendo como resultado la ubicación mostrada en la Figura 157.

**Figura 157**

*Ubicación de la cámara dentro de la caja*

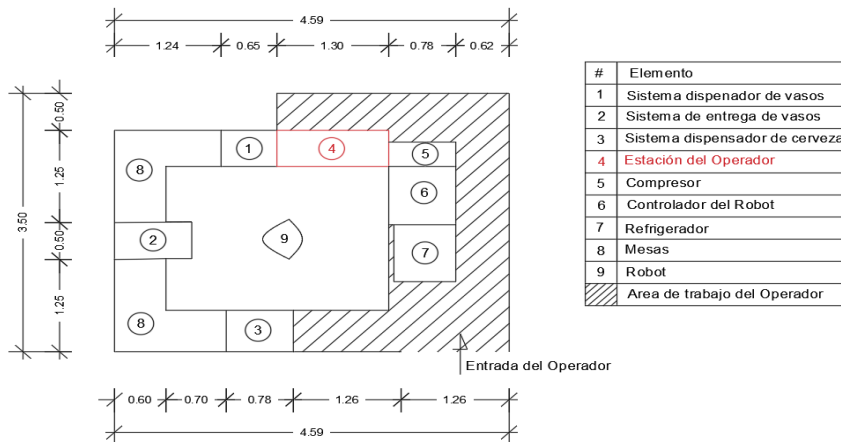


### Estación del Operador

En la Figura 158 se visualiza la ubicación del sistema dentro de la célula robótica

### Figura 158

Ubicación de la estación del operador dentro de la célula robótica.



La estación del Operador se puede observar en la Figura 159, está pensada para que el operado pueda tener acceso a la HMI y a un computador para realizar posibles cambios a la programación de a la célula robotizada.

### Figura 159

Estación del Operador

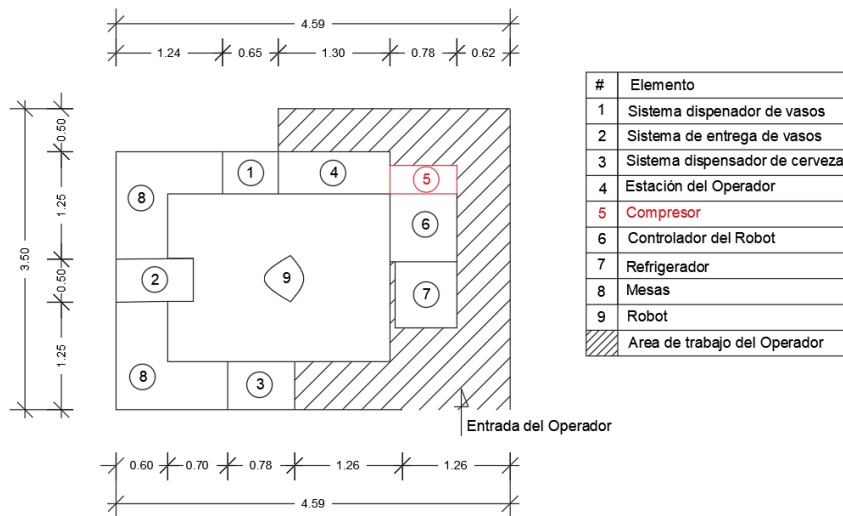


## Compresor

En la Figura 160 se observa la ubicación del sistema dentro de la célula robótica.

**Figura 160**

Ubicación del compresor dentro de la célula robótica



El compresor mostrado en la Figura 161 está ubicado en la parte posterior de la célula robótica, este permite dar funcionalidad a los dispositivos neumáticos de la célula robotizada y está provisto de una llave de paso controlar el flujo de aire hacia las electroválvulas neumáticas.

**Figura 161**

Compresor y llave de paso



El bloque de electroválvulas que dan funcionalidad al gripper está ubicado en la parte superior del brazo robótico como se puede observar en la Figura 162, este tiene una entrada principal de aire en la parte posterior y también tiene varias salidas neumáticas con su respectiva activación a 24Vdc.

**Figura 162**

*Montaje y conexión de las electroválvulas neumáticas*



## Pruebas de los sensores y actuadores

### *Pruebas del sensor fotoeléctrico reflectivo*

#### Objetivo

Seleccionar la distancia correcta para que el sensor pueda detectar un vaso de vidrio, tanto para sistema de dispensado de vasos, como para transporte hacia el cliente.

#### Procedimiento

Se ubicó el sensor y su reflector a diferentes distancias realizando varias pruebas con un vaso de vidrio. Imagen referencial de las pruebas en la Figura 163.

#### **Figura 163**

### *Pruebas de funcionamiento del sensor fotoeléctrico reflectivo*



#### Componentes

##### *Sensores*

- Sensor fotoeléctrico y reflector

##### *Otros*

- Cinta métrica
- Vaso cervecero
- Fuente de 24Vdc

## Resultados

**Tabla 45**

*Resultados de pruebas del sensor fotoeléctrico reflectivo*

| <b>Distancia</b> | <b>Resultado</b>       | <b>Observación</b>                       |
|------------------|------------------------|--|
| 10 [cm]          | Detección correcta     | Ninguna                                  |
| 20 [cm]          | Detección correcta     | Ninguna                                  |
| 30 [cm]          | Detección correcta     | Ninguna                                  |
| 40 [cm]          | Detección intermitente | Presenta intermitencias al sensor vidrio |
| 50 [cm]          | Incorrecto             | Presenta error al detectar vidrio        |

### Análisis

La distancia entre el receptor y el emisor del sensor óptico debe estar en un rango de 0 a 30 cm, por lo cual se tomó este rango como un límite para el momento de la implementación de estos sensores.

### *Pruebas del sensor fotoeléctrico SM312CV2QD*

#### Objetivo

Seleccionar la distancia correcta para que el sensor pueda detectar un vaso de vidrio lleno con cerveza.

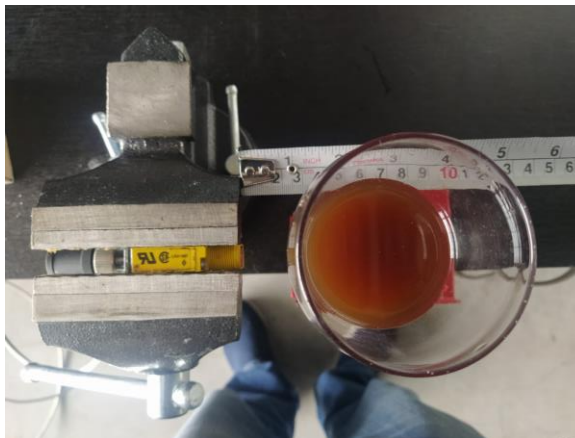
#### Procedimiento

Energizar el sensor y probarlo a diferentes distancias de un vaso de vidrio lleno de cerveza. Imagen referencial de las pruebas en la Figura 164.



**Figura 164**

*Pruebas de funcionamiento del sensor fotoeléctrico SM312CV2QD*



### Componentes

#### *Sensores*

- Sensor fotoeléctrico SM312CV2QD

#### *Otros*

- Cinta Métrica
- Vaso cervecero
- Fuente de 24Vdc

### Resultados

**Tabla 46**

*Resultados de pruebas del sensor fotoeléctrico SM312CV2QD*

| <b>Distancia</b> | <b>Resultado</b>     | <b>Observación</b>                |
|------------------|----------------------|-----------------------------------|
| 3 [cm]           | Detección correcta   | Ninguna                           |
| 8 [cm]           | Detección correcta   | Ninguna                           |
| 13 [cm]          | Detección incorrecta | Presenta error al detectar vidrio |

## Análisis

El sensor fotoeléctrico presento un rango de medición medio, lo cual se tomó en cuenta al momento de utilizarlo en el sistema trasportador de vasos hacia el cliente

### *Pruebas del sensor de temperatura*

#### Objetivo

Comparar el funcionamiento del sensor PT100 con respecto a otros dispositivos que midan temperatura.

#### Procedimiento

Situar al pt100 y al dispositivo de medición de temperatura en la misma zona de pruebas a diferentes temperaturas. Realizar 10 mediciones cada 5 minutos, realizar un promedio con las mismas y compararlas. Imagen referencial de las pruebas en la Figura 165.

### **Figura 165**

#### *Pruebas de funcionamiento del PT100*



## Componentes

### *Sensores*

- Sensor PT100

### *Otros*

- PLC SIEMENS 1200 1214c
- Computador con Tia Portal
- Fuente 24Vdc
- Multímetro PROSKIT
- Cable termopar

## Resultados

**Tabla 47**

Resultados de pruebas del sensor de temperatura

| <b>Zona de pruebas</b>  | <b>Resultado</b>   | <b>Observación</b> |
|-------------------------|--|--------------------|
| Temperatura ambiente    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• PT100 : 22.8°C</li> <li>• Multímetro: 21.714°C</li> </ul> | Ninguna            |
| Dentro del refrigerador | <ul style="list-style-type: none"> <li>• PT100 : 7.827°C</li> <li>• Multímetro: 8.3°C</li> </ul>   | Ninguna            |

## Análisis

Podemos observar un error más significativo cuando los sensores se encuentran a temperatura ambiente, sin embargo, dentro del refrigerador el error se reduce. Como el PT100 siempre se encuentra trabajando en bajas temperaturas y el sistema de almacenamiento no

trabaja con una temperatura exacta, sino con un rango de temperaturas, se puede concluir que el sensor tiene la funcionalidad correcta para monitorear la temperatura de la cerveza.

### *Pruebas del sensor Inductivo*

#### Objetivo

Seleccionar la distancia ideal para colocar los sensores inductivos para que estos identifiquen al carro transportador del actuador lineal

#### Procedimiento

Energizar los sensores y probarlos a diferentes distancias de la pieza móvil del actuador lineal. Imagen referencial de las pruebas en la Figura 166.

### **Figura 166**

#### *Pruebas de funcionamiento del sensor Inductivo*



#### Componentes

##### *Sensores*

- Sensor Inductivo

### Otros

- Cinta métrica
- Vaso cervecero
- Sensor Inductivo
- Fuente de 24Vdc

### Resultados

**Tabla 48**

*Resultados de pruebas del sensor inductivo*

| <b>Distancia</b> | <b>Resultado</b>     | <b>Observación</b>  |
|------------------|----------------------|---|
| 0.3 [cm]         | Detección correcta   | Ninguna   |
| 0.4 [cm]         | Detección correcta   | Ninguna   |
| 1 [cm]           | Detección incorrecta | Presenta error al detectar el carro transportador del actuador lineal |
| 2 [cm]           | Detección incorrecta | Presenta error al detectar el carro transportador del actuador lineal |

### Análisis

Los sensores inductivos presentaron un rango de activación muy pequeño, por lo cual se procedió a instalarlos lo más cerca posible de la pieza móvil del actuador lineal

### Pruebas de célula robotizada

*Pruebas de sistema dispensado de vasos.*

### Objetivo

Seleccionar la velocidad correcta con el fin que el gripper se retire del sistema dispensador de vasos cerveceros en un tiempo prudente sin tener colisiones con el siguiente

vaso a ser dispensado, además de que la mesa giratoria no se desestabilice con los cuatro vasos que es su carga máxima según lo diseñado.

### Procedimiento

Se modificó la frecuencia de la señal PWM enviada hacia el motor, realizando cinco repeticiones con cada velocidad para sacar el promedio, anotando el tiempo a partir de la retirada del vaso hasta llegar el siguiente al sensor.

### Componentes

#### *Sensores*

- Sensor fotoeléctrico y reflector

#### *Actuadores*

- Motor a pasos

#### *Otros*

- PLC SIEMENS 1200 1214
- Módulo TB6600
- Computador con Tia Portal
- Cronómetro
- Fuente 24Vdc

### Resultados

#### Tabla 49

*Resultados de pruebas del sistema dispensado de vasos*

| <b>Frecuencia<br/>Hz</b> | <b>Resultado</b> | <b>Observación</b>   |
|--------------------------|------------------|--|
| 0                        | Sin movimiento   | Ninguna  |
| 25                       | 38.73 s          | Se visualiza muy lento para recorrer los 8 cm que hay entre vasos. |
| 50                       | 17.35 s          | Se visualiza muy lento para recorrer los 8 cm que hay entre vasos. |

**continua**

|     |         |   |
|-----|---------|---|
| 75  | 11.48 s | Ninguna   |
| 100 | 7.50 s  | Ninguna   |
| 125 | 4.55 s  | El ruido del motor es más notorio y el actuador empezó a hacer vibrar la mesa |

### Análisis

Según la Tabla 49 entre 25 a 50 Hz se visualizó muy lento además de que los tiempos superaban los 15 s para los 8 cm que se recorre, por otra parte, a partir de los 125 Hz comenzó hacer ruidos el motor y los vasos comenzaron a tambalear. Por lo cual la frecuencia debería ser entre 75 y 100 Hz, por lo cual en este caso se eligió 100 Hz ya que no supera los 10 s y no se tienen observaciones adicionales.

### *Pruebas de sistema dispensador de cerveza*

#### Posición de lámpara

##### *Objetivo*

Seleccionar la posición correcta de luminosidad que se refleja en el vaso con el fin de que la cámara detecte correctamente los patrones y márgenes programados en el software In-sight Explorer.

##### *Procedimiento*

Se colocó en diferentes posiciones la luminaria de 16 W y se procedió a mandar los pedidos para observar el comportamiento de la cámara ante distintas luminosidades, además de medir los lumens en el vaso como se muestra en la Figura 167, el luxómetro se encuentra en dirección a la cámara que es el punto que estaría visualizando la misma.

**Figura 167**

*Posición de luxómetro*



### *Componentes*

#### **Sensores**

- Cámara Cognex 5400

#### **Actuadores**

- Electroválvulas
- Robot KUKA KR20

#### **Otros**

- PLC SIEMENS 1200 1214
- Computador con Tia Portal y software In-sight explorer
- Fuente 24Vdc
- Lámpara de 16W
- Luxómetro

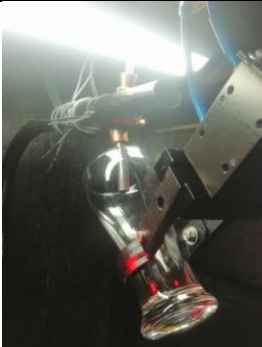
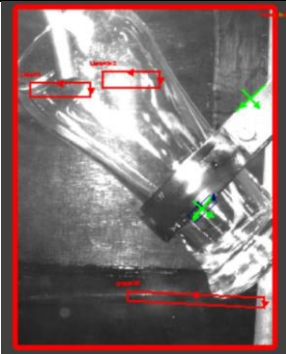

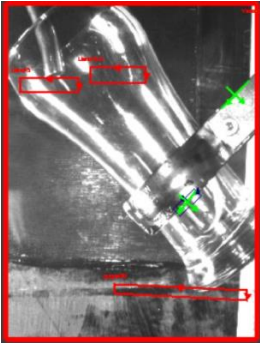

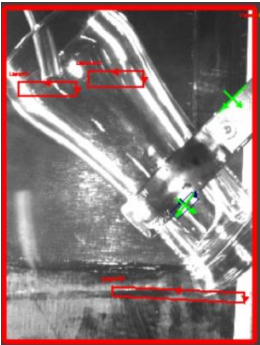
### *Resultados*

Para este procedimiento se tendrán como parámetros los lumens y las diferentes posiciones de la luminaria, obteniendo el resultado mostrado en la Tabla 50.



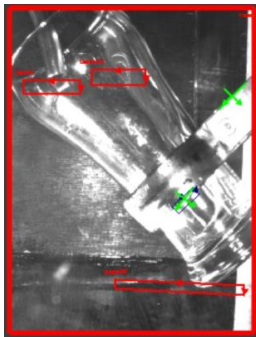
Tabla 50

## Pruebas de lámpara en distintas posiciones

| Prueba | Posición  | Visualización de vaso en cámara según la posición                                   | Descripción  | Lumens   | Resultado  |
|--------|---|---|--|--|--|
| 1      |    |    | Lámpara colocada encima de grifo dispensador.        | Lumens con cámara apagada 928 lm, lumens con cámara encendida a 1215 lm. | En 45° se produjo error de detección provocando que se riegue el producto al no enviar al PLC el cierre de electroválvula 1, por lo cual no se pudo proseguir a la siguiente etapa.  |
| 2      |   |   | Lámpara colocada en tubo dispensador lado izquierdo. | Lumens con cámara apagada 398 lm, lumens con cámara encendida a 783 lm.  | En 45° la cámara realizó correctamente la detección enviando al PLC el cierre de la electroválvula 1. En 90° la cámara realizó la detección y apago a tiempo la electroválvula 2.  |
| 3      |  |  | Lámpara colocada en tubo dispensador lado derecho.   | Lumens con cámara apagada 63 lm, lumens con cámara encendida a 359 lm.   | En 45° la cámara realizó correctamente la detección enviando al PLC el cierre de la electroválvula 1. En 90° se produjo error de detección provocando que se riegue el producto al no enviar al PLC el cierre de electroválvula 2. |

**Continúa**

4

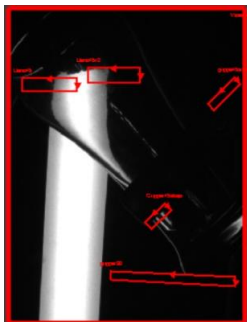


Lámpara colocada en la parte de abajo del dispensador.

Lumens con cámara apagada 263 lm, lumens con cámara encendida a 458 lm.

En 45° la cámara realizó correctamente la detección enviando al PLC el cierre de la electroválvula 1. En 90° se produjo error de detección provocando que se riegue el producto al no enviar al PLC el cierre de electroválvula 2.

5

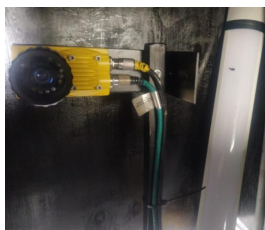


Lámpara colocada frente a frente a la cámara.

Lumens con cámara apagada 43 lm, lumens con cámara encendida a 134 lm.

La cámara no detecto ningún patrón, ni margen, por lo cual se derramo en 45° y no paso al siguiente estado.

6



Lámpara colocada alado de cámara dirigiéndose al vaso.

Lumens con cámara apagada 1190 lm, lumens con cámara encendida a 1540 lm.

En 45° la cámara realizó correctamente la detección enviando al PLC el cierre de la electroválvula 1.

En 90° la cámara realizó correctamente la detección enviando al PLC el cierre de la electroválvula 2.

### *Análisis*

Según la Tabla 50 las dos posiciones en la que detecto correctamente la cámara fueron la posición 2 y 6, de las cuales se visualiza de mejor manera la posición 6 que, pese a tener una mayor concentración de lumens en esa parte del vaso procede a detectar en el tiempo correcto todos los patrones y márgenes, sin dejar que se derrame la cerveza.

## Pruebas con cerveza con carbonatación normal

### *Objetivo*

Realizar 15 pruebas con cerveza sin sobre carbonatación con el fin de visualizar el comportamiento de los sensores y actuadores involucrados, consiguiendo datos de si puede fallar el sistema detectando sobre carbonatada o sin producto, además del tiempo en realizar la tarea.

### *Procedimiento*

Se procedió a enviar 15 pedidos continuamente, con la cerveza en un estado normal para ser servida, visualizando en el software In-sight Explorer el comportamiento de la cámara, además se tomó el tiempo que tarda en realizar los pedidos.

### *Componentes*

#### **Sensores**

- Cámara Cognex 5400

#### **Actuadores**

- Electroválvulas
- Robot KUKA KR20

#### **Otros**

- PLC SIEMENS 1200 1214
- Computador con Tia Portal y software In-sight explorer
- Fuente 24Vdc
- Lámpara de 16W
- Cronómetro

*Resultados*

**Tabla 51**

*Pruebas con cerveza en condiciones óptimas.*

| <b>N° de pedido</b> | <b>Resultado</b>   | <b>Observación</b>                          | <b>Tiempo hasta el cliente</b> | <b>Tiempo hasta volver riel</b> |
|---------------------|--|---|--------------------------------|---------------------------------|
| 1                   | Se detectó correcta la cerveza tanto en 45° y 90°, enviando la misma a la riel hacia el cliente. | Ninguna- Espuma en limites preestablecidos  | 1.24                           | 1.39                            |
| 2                   | Se detectó correcta la cerveza tanto en 45° y 90°, enviando la misma a la riel hacia el cliente. | Ninguna- Espuma en limites preestablecidos  | 1.25                           | 1.40                            |
| 3                   | Se detectó correcta la cerveza tanto en 45° y 90°, enviando la misma a la riel hacia el cliente. | Ninguna- Espuma en limites preestablecidos  | 1.20                           | 1.35                            |
| 4                   | Se detectó correcta la cerveza tanto en 45° y 90°, enviando la misma a la riel hacia el cliente. | Ninguna- Espuma en limites preestablecidos  | 1.21                           | 1.37                            |
| 5                   | Se detectó correcta la cerveza tanto en 45° y 90°, enviando la misma a la riel hacia el cliente. | Ninguna - Espuma en limites preestablecidos | 1.22                           | 1.37                            |
| 6                   | Se detectó correcta la cerveza tanto en 45° y 90°, enviando la misma a la riel hacia el cliente. | Ninguna- Espuma en limites preestablecidos  | 1.25                           | 1.36                            |
| 7                   | Se detectó correcta la cerveza tanto en 45° y 90°, enviando la misma a la riel hacia el cliente. | Ninguna- Espuma en limites preestablecidos  | 1.23                           | 1.38                            |
| 8                   | Se detectó correcta la cerveza tanto en 45° y 90°, enviando la misma a la riel hacia el cliente. | Ninguna- Espuma en limites preestablecidos  | 1.25                           | 1.39                            |
| 9                   | Se detectó correcta la cerveza tanto en 45° y 90°, enviando la misma a la riel hacia el cliente. | Ninguna- Espuma en limites preestablecidos  | 1.23                           | 1.36                            |

**Continua**

|    |  |   |      |      |
|----|--|---|------|------|
| 10 | Se detectó correcta la cerveza tanto en 45° y 90°, enviando la misma a la riel hacia el cliente. | Ninguna- Espuma en limites preestablecidos  | 1.24 | 1.39 |
| 11 | Se detectó correcta la cerveza tanto en 45° y 90°, enviando la misma a la riel hacia el cliente. | Ninguna- Espuma en limites preestablecidos  | 1.21 | 1.37 |
| 12 | Se detectó correcta la cerveza tanto en 45° y 90°, enviando la misma a la riel hacia el cliente. | Ninguna- Espuma en limites preestablecidos  | 1.22 | 1.36 |
| 13 | Incorrecto   | Detecto la cerveza como sobre carbonatada enviando las alarmas correspondientes y llevándola a la ubicación predeterminada. | -    | -    |
| 14 | Se detectó correcta la cerveza tanto en 45° y 90°, enviando la misma a la riel hacia el cliente. | Se tuvo que reestablecer el sistema para continuar con las pruebas  | 1.23 | 1.37 |
| 15 | Se detectó correcta la cerveza tanto en 45° y 90°, enviando la misma a la riel hacia el cliente. | Ninguna- Espuma en limites preestablecidos  | 1.24 | 1.38 |

### *Análisis*

Con la Tabla 51, se puede visualizar que de 15 pedidos tendríamos uno que se estaría sirviendo mal, teniendo un error del 6.6%, cabe recalcar que el rearme de la prueba 13 al salir esta como sobre carbonatada se realizó correctamente en el HMI y el sistema estuvo listo para realizar el siguiente pedido. El promedio de tiempo desde el momento que se envía el pedido en la aplicación móvil hasta llegar al cliente es de 1.23 min siendo este un tiempo prudente con

respecto a un dispensado manual, donde entre que el mesero realice el pedido, se dirija a servir la cerveza y la traiga nuevamente se tiene un promedio entre 5 a 10 min.

A continuación, en las figuras 168, 169, 170, 171, 172 y 173 se observan las fotografías de los vasos despachados con una relación de espuma-liquido eficiente.

### **Figura 168**

*Vaso dispensado con 10.5cm de líquido y 2 cm de espuma.*



**Figura 169**

*Vaso dispensado con 12cm de líquido y 1.5 cm de espuma*

**Figura 170**

*Vaso dispensado con 10.5cm de líquido y 3 cm de espuma*



**Figura 171**

*Vaso dispensado con 11cm de líquido y 2.5 cm de espuma*

**Figura 172**

*Vaso dispensado con 11cm de líquido y 2 cm de espuma*





**Figura 173**

*Vasos dispensados con 1 cm de espuma y 14.5cm de cerveza*



Pruebas con cerveza carbonatada

### *Objetivo*

Realizar 15 pruebas con cerveza carbonatada con el fin de visualizar el comportamiento de los sensores y actuadores involucrados, consiguiendo datos de si puede fallar el sistema detectando un sobre carbonatada como cerveza bien servida y registrar el tiempo que toma realizar el proceso.

### *Procedimiento*

Se procedió a enviar 15 pedidos continuamente, sabiendo que la cerveza se encuentra sobre carbonatada, donde cada pasada se arregló en el HMI el estado de sobre carbonatada que

el operario deberá realizar una vez solucionado este problema, además se visualizó el software In-sight Explorer, además de tomar el tiempo durante todo el proceso.

### *Componentes*

#### **Sensores**

- Cámara Cognex 5400

#### **Actuadores**

- Electroválvulas
- Robot KUKA KR20

#### **Otros**

- PLC SIEMENS 1200 1214
- Computador con TiaPortal y software In-sight Explorer
- Fuente 24Vdc
- Lámpara de 16W
- Cronómetro

### *Resultados*

**Tabla 52**

*Pruebas con cerveza sobre carbonatada.*

| <b>N° de pedido</b> | <b>Resultado</b>  | <b>Observación</b> | <b>Tiempo</b> |
|---------------------|---|--------------------|---------------|
| 1                   | Envió sobre carbonatada a HMI, vertió el vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna            | 1.36          |
| 2                   | Envió sobre carbonatada a HMI, vertió el vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna            | 1.35          |
| 3                   | Envió sobre carbonatada a HMI, vertió el vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna            | 1.34          |

**Continúa**

|    |   |   |      |
|----|---|---|------|
| 4  | Envió sobre carbonatada a HMI, vertió el vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna   | 1.35 |
| 5  | Envió sobre carbonatada a HMI, vertió el vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna   | 1.36 |
| 6  | Envió sobre carbonatada a HMI, vertió el vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna   | 1.34 |
| 7  | Envió sobre carbonatada a HMI, vertió el vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna   | 1.37 |
| 8  | Incorrecto  | No detectó correctamente la marca de luminosidad para sobre carbonatada, por lo cual envió el pedido a riel, la cerveza se sirvió con más de dos dedos de espuma. | -    |
| 9  | Envió sobre carbonatada a HMI, vertió el vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna   | 1.35 |
| 10 | Envió sobre carbonatada a HMI, vertió el vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna   | 1.36 |
| 11 | Envió sobre carbonatada a HMI, vertió el vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna   | 1.36 |
| 12 | Envió sobre carbonatada a HMI, vertió el vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna   | 1.35 |
| 13 | Envió sobre carbonatada a HMI, vertió el vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna   | 1.35 |
| 14 | Envió sobre carbonatada a HMI, vertió el vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna   | 1.36 |
| 15 | Envió sobre carbonatada a HMI, vertió el vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna   | 1.34 |

---

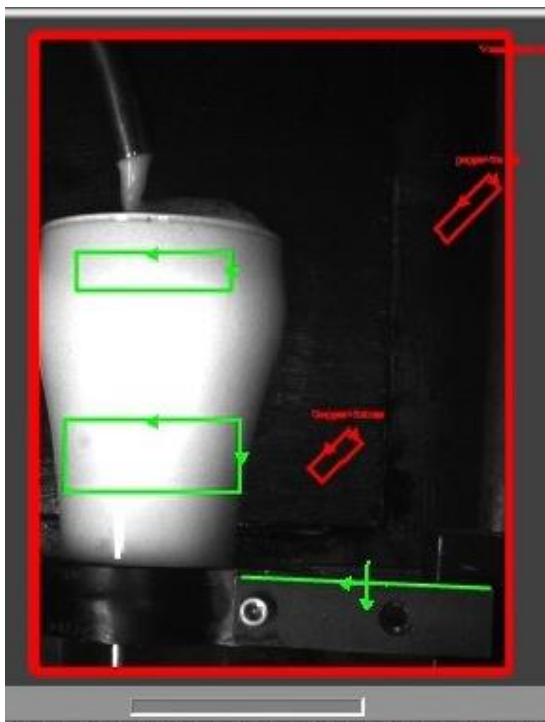
### *Análisis*

Con la Tabla 52, se puede visualizar que de 15 pedidos se obtuvo que solo un vaso se estaría sirviendo mal, teniendo un error del 6.6%, al igual que cuando la cerveza está en condiciones ideales, sin embargo, se debe tener en cuenta que el rearme se está realizando adecuadamente una vez realizado las correcciones en la HMI, para el siguiente pedido. Además, el promedio de tiempo desde que se envía el pedido hasta dejar el vaso en el lugar designado es de 1.35 min, brindando ya una alarma de sobre carbonatación.

A continuación, se observa la Figura 174 del análisis que realiza la cámara para detectar que un pedido esta sobre carbonatado.

#### **Figura 174**

*Cerveza sobre carbonatada*



## Pruebas con restricción de producto

### *Objetivo*

Realizar 15 pruebas restringiendo la salida del producto con el fin de visualizar el comportamiento de los sensores y actuadores involucrados en este caso.

### *Procedimiento*

Se procedió a enviar 15 pedidos continuamente, sabiendo que la cerveza se encuentra restringida, donde cada pasada se arregló en el HMI el estado de sin producto que el operario deberá realizar una vez solucionado este problema, además se visualizó el software In-sight Explorer.

### *Componentes*

#### **Sensores**

- Cámara Cognex 5400

#### **Actuadores**

- Electroválvulas
- Robot KUKA KR20

#### **Otros**

- PLC SIEMENS 1200 1214
- Computador con TIA Portal y software In-sight Explorer
- Fuente 24Vdc
- Lámpara de 16W
- Cronómetro

*Resultados***Tabla 53***Pruebas con restricción de producto*

| <b>N° de pedido</b> | <b>Resultado</b>  | <b>Observación</b> | <b>Tiempo</b> |
|---------------------|---|--------------------|---------------|
| 1                   | Envío sin producto a HMI, vertió el poco contenido del vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna            | 1.21          |
| 2                   | Envío sin producto a HMI, vertió el poco contenido del vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna            | 1.22          |
| 3                   | Envío sin producto a HMI, vertió el poco contenido del vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna            | 1.21          |
| 4                   | Envío sin producto a HMI, vertió el poco contenido del vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna            | 1.23          |
| 5                   | Envío sin producto a HMI, vertió el poco contenido del vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna            | 1.21          |
| 6                   | Envío sin producto a HMI, vertió el poco contenido del vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna            | 1.22          |
| 7                   | Envío sin producto a HMI, vertió el poco contenido del vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna            | 1.21          |
| 8                   | Envío sin producto a HMI, vertió el poco contenido del vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna            | 1.22          |
| 9                   | Envío sin producto a HMI, vertió el poco contenido del vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna            | 1.23          |
| 10                  | Envío sin producto a HMI, vertió el poco contenido del vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna            | 1.22          |
| 11                  | Envío sin producto a HMI, vertió el poco contenido del vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna            | 1.21          |
| 12                  | Envío sin producto a HMI, vertió el poco contenido del vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna            | 1.22          |

**Continúa**

|    |   |         |      |
|----|---|---------|------|
| 13 | Envío sin producto a HMI, vertió el poco contenido del vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna | 1.23 |
| 14 | Envío sin producto a HMI, vertió el poco contenido del vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna | 1.22 |
| 15 | Envío sin producto a HMI, vertió el poco contenido del vaso y entrego en el lugar predeterminado en caso de este tipo de error. | Ninguna | 1.21 |

### *Análisis*

Con la Tabla 53, se puede visualizar que de 15 pedidos con restricción de producto todos se vertieron adecuadamente el poco contenido que poseía el vaso y su rearme también se está realizando correctamente, por otra parte, el tiempo promedio desde el momento que se envía el pedido en la aplicación, hasta que llega al lugar designado es de 1.21 min, donde en ese tiempo también se activa la alarma de advertencia de sin producto.

### *Pruebas de sistema de transporte de cerveza hacia el cliente*

#### **Objetivo**

Seleccionar la velocidad correcta para que el riel llegue en un tiempo prudente desde la ubicación que deposita el robot el vaso hacia el cliente y viceversa, además de ello que no se riegue el contenido del vaso en el transcurso del proceso.

#### **Procedimiento**

Se modificó la frecuencia de la señal PWM enviada hacia el motor, realizando cinco repeticiones con cada velocidad para sacar el promedio, anotando el tiempo a partir de que el robot deposita el vaso lleno en el riel hasta cuando este llega a la ubicación predeterminada para que retire el cliente, posterior a esto se tomó el tiempo que tarda desde ese puesto hasta el inicial sin vaso.

## Componentes

*Sensores*

- Sensor fotoeléctrico y reflector
- Sensor fotoeléctrico SM312CV2QD

*Actuadores*

- Motor a pasos NEMA 23 de riel.

*Otros*

- PLC SIEMENS 1200 1214
- Módulo TB6600
- Computador con Tia Portal
- Cronómetro
- Riel
- Fuente 24Vdc

## Resultados

Tabla 54

*Resultados de pruebas del sistema dispensado de vasos*

| <b>Frecuencia<br/>Hz</b> | <b>Resultado Robot a<br/>cliente</b> | <b>Resultado<br/>cliente a robot</b> | <b>Observación</b>   |
|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|
| 0                        | 0                                    | 0                                    | No realiza movimiento  |
| 25                       | 0                                    | 0                                    | No realiza movimiento  |
| 50                       | 36.90 s                              | 36.84 s                              | Se percibe un recorrido muy lento  |
| 75                       | 24.30 s                              | 24.25 s                              | Se percibe un recorrido muy lento  |
| 100                      | 18.40 s                              | 18.32 s                              | Ninguna  |
| 125                      | 14.87 s                              | 14.83 s                              | Ninguna  |
| 150                      | 12.32 s                              | 12.24 s                              | El motor comienza a emitir sonidos   |
| 175                      | 10.60 s                              | 10.55 s                              | El motor comienza a emitir sonidos y vibra toda la mesa  |
| 200                      | 9.23 s                               | 9.20 s                               | El motor comienza a emitir sonidos altos, vibra toda la mesa y el producto del vaso se derramó |



## Análisis

Según la Tabla 54 hasta 75 Hz se visualizó muy lento además de que los tiempos superaban los 20 s siendo un tiempo considerable para los centímetros que se recorre, por otra parte a partir de los 150 Hz comenzó hacer ruidos el motor, vibrando la mesa y hasta derramando el contenido del vaso. Por consecuencia la frecuencia debería ser ente 100 y 125Hz, para este caso se eligió 125Hz ya que no supera los 15 s y no se tienen observaciones adicionales, considerando este un tiempo prudente para que llegue al cliente y regrese el vaso a su posición inicial.

## *Pruebas de fallo de energía*

### Objetivo

Verificar la respuesta de la célula robotizada frente un corte de suministro eléctrico.

### Procedimiento

Bajar el breaker principal de la empresa eléctrica y del generador de la empresa auspiciante en medio de un pedido.

### Componentes

#### *Sensores*

- Sensores fotoeléctrico y reflector
- Sensor fotoeléctrico SM312CV2QD
- Cognex 5400
- Sensores inductivos
- Sensor de temperatura

#### *Actuadores*

- Motor a pasos NEMA 23 de riel.
- Motor a pasos

- Robot KUKA KR20
- Generador

*Otros*

- Aplicación móvil
- Node-red activo
- PLC SIEMENS 1200 1214
- Módulos TB6600
- Computador con TIA Portal
- Riel
- Fuente 24Vdc

Resultados

**Tabla 55**

*Pruebas con célula sin suministro de energía*

| <b>Elemento / Sistema de la célula robotizada</b> | <b>Resultado</b>                                       | <b>Solución</b>              | <b>Observación</b>  |
|---|--|------------------------------|---|
| Sistema dispensador de vasos cerveceros           | Se detiene   | Reiniciar PLC                | Ninguna   |
| Sistema dispensador de cerveza                    | Se detiene   | Reiniciar PLC                | Ninguna   |
| Sistema de transporte hacia el cliente            | Se detiene   | Reiniciar PLC                | Llevar manualmente la base para transporte al inicio cerca de robot de esta no encontrarse en ese lugar.  |
| Robot KUKA KR20                                   | Se detiene   | Reiniciar programa principal | Operario debe llevar a HOME al Robot asegurándose de no golpear al mismo y aplicar la subrutina emergencia para encerrar todas las salidas del mismo. |
| Gripper   | Se afloja el gripper provocando que el vaso se resbale | Reiniciar PLC                | Verificar el estado del vaso, ya que con líquido al tener un peso podría caer   |

## Análisis

Como se visualiza en la Tabla 55, cuando la célula robotizada se queda sin suministro eléctrico se deberían seguir las respectivas soluciones y observaciones, donde en ese instante la acción del gripper sería la peligrosa si el vaso llega a caer.

### *Pruebas de paro de emergencia*

#### Objetivo

Verificar la respuesta de la célula robotizada frente a un paro de emergencia.

#### Procedimiento

Presionar el paro de emergencia ubicado en la HMI y verificar el comportamiento de los elementos y sistemas de la célula robotizada.

#### Componentes

##### *Sensores*

- Sensores fotoeléctrico y reflector
- Sensor fotoeléctrico SM312CV2QD
- Cognex 5400
- Sensores inductivos
- Sensor de temperatura

##### *Actuadores*

- Motor a pasos NEMA 23 de riel.
- Motor a pasos
- Robot KUKA KR20
- Generador

##### *Otros*

- Aplicación móvil
- Node-red activo
- PLC SIEMENS 1200 1214
- Módulos TB6600

- Computador con TIA Portal
- Cronómetro
- Riel
- Fuente 24Vdc

## Resultados

**Tabla 56**

*Pruebas ante un paro de emergencia*

| <b>Elemento / Sistema de la célula robotizada</b> | <b>Resultado</b> | <b>Solución</b>              | <b>Observación</b>  |
|---|------------------|------------------------------|---|
| Sistema dispensador de vasos cervecedores         | Se detiene       | Presionar rearme             | Ninguna   |
| Sistema dispensador de cerveza                    | Se detiene       | Presionar rearme             | Ninguna   |
| Sistema de transporte hacia el cliente            | Se detiene       | Presionar rearme             | Llevar manualmente la base para transporte al inicio cerca de robot de esta no encontrarse en ese lugar.            |
| Robot KUKA KR20                                   | Se detiene       | Reiniciar programa principal | Operario debe llevar a HOME al Robot asegurándose de no golpear al mismo.   |
| Gripper   | Se queda cerrado | Presionar rearme             | El gripper se queda cerrado hasta que el operario lo abra desde la pestaña mantenimiento del HMI y presione Rearme. |

## Análisis

Como se visualiza en la Tabla 56, cuando se aplica el botón de emergencia en la célula robotizada deberían seguir las respectivas soluciones y observaciones, para realizar correctamente el rearme.

## Seguridad

En cuanto a seguridad la célula robotizada demostrativa, colocada en las instalaciones de la empresa auspiciante para posibles compradores del proyecto, no cuenta con la seguridad industrial pertinente, sin embargo, se tomó el distanciamiento como una medida preventiva, por ese motivo se usó el riel como parte de esta precaución y una configuración de velocidad hasta el 15% utilizando así al mínimo este recurso del robot.

## Capítulo V

### Conclusiones y Recomendaciones

#### Conclusiones

Se diseñó e implementó una célula robotizada demostrativa para la automatización del dispensado de cerveza, la misma que cumple satisfactoriamente con la entrega de un producto con temperatura adecuada y las proporciones correctas de líquido y espuma, garantizando la calidad hacia el consumidor final, por otra parte, se tiene un tiempo menor a 1.30 minutos siendo este reducido en comparación a una atención manual de un bar, el proyecto se encuentra desarrollado físicamente dentro de las instalaciones de la empresa auspiciante.

La empresa auspiciante otorgó varios componentes activos y pasivos, los cuales se fueron adaptando según las necesidades y requerimientos encontradas durante el desarrollo, programación e integración del proyecto, teniendo como elementos principales al Robot KUKA KR20 para el traslado del vaso a las diferentes ubicaciones y el PLC SIEMENS S7 1200 1214c como el dispositivo de control principal de todos los componentes que conforman la célula robotizada.

Las diferentes variables para el correcto dispensado de cerveza como la temperatura, la inclinación al servirla y la cantidad de espuma, fueron controlados a través de sensores y actuadores correctamente dimensionados en el diseño final presentado en tres sistemas como son: dispensado de vasos, transporte hacia el cliente y dispensado de cerveza.

Para conseguir los movimientos y traslado correcto del vaso a sus diferentes ubicaciones se realizó la programación de los distintos puntos del robot en el SMART PAD y el software Workvisual 5.0, configurando las coordenadas de la herramienta utilizada y las tres bases respectivas para los sistemas mencionados anteriormente, ya que al tener estas independientes

en el caso de mover o rediseñar el espacio solo se configuran nuevamente estas bases más no los puntos, dando menos trabajo en estos casos.

Se implementó una pantalla HMI diseñada conforme a los estándares y guías industriales con los menús y pantallas adecuadas para que el operador pueda visualizar, monitorear y dar mantenimiento a la célula robotizada, esta HMI fue integrada mediante protocolo Ethernet hacia el PLC, de esta manera brindándole total acceso al estado de sensores, actuadores y sistemas diseñados en el proyecto.

Se realizó una aplicación móvil programada en Flutter, esta posee interfaces de fácil uso para el cliente en donde se puede realizar pedidos hacia el sistema principal de control PLC, para lograr esta comunicación se hizo uso de una base de datos en Firebase y de la herramienta de programación NODE-RED, los cuales son complementos cada vez más utilizados en la Industria 4.0 que permitieron realizar la integración entre la célula robotizada y la aplicación móvil.

Los elementos y sistemas mencionados anteriormente fueron puestos a prueba con el fin de optimizar los diseños, obteniendo así las frecuencias adecuadas para cada motor, las distancias correctas para los sensores de presencia, la comprobación de la funcionalidad del sensor de temperatura y la ubicación idónea de la lámpara de 16 W con el fin de que la cámara visualice de manera correcta el dispensado de cerveza, posteriormente se realizaron diferentes ensayos de la célula robotizada conjunta en las diferentes condiciones como son: óptimas, sobre carbonatada y sin producto, todas con resultados positivos ejecutando correctamente la tarea asignada.

La cámara industrial Cognex 5400 también se puede emplear en actividades comerciales como este proyecto, siendo capaz de sustituir a métodos de llenado que incluyen tiempo u otros

sensores, indicando incluso si la cerveza se encuentra carbonatada o si no hay producto, a través de patrones y márgenes programados en el software In-Sight Explorer.

### Recomendaciones

Se recomienda realizar un mantenimiento y limpieza periódica al sistema de mangueras del dispensado de cerveza, con el fin de evitar fugas o partículas dentro del mismo, ya que estos provocan espuma produciendo un error al servir cerveza.

El operario debe tener en cuenta que la velocidad del robot ya se encuentra regulada en la programación por este motivo se debe trabajar en modo automático directamente, ya que si se corre el programa en modo manual este va a ir mucho más lento debido a las regulaciones en este modo.

Revisar el aire en el compresor antes de enviar un pedido, para evitar accidentes al sostener el vaso y se sugiere adicionalmente el empleo de un presostato con el cual se pueda monitorear la presión del sistema neumático.

En la célula robotizada existen elementos que al quedarse sin energización podrían causar accidentes, por esta razón se recomienda la instalación de una fuente de alimentación de respaldo para el PLC, con la finalidad de que el operador tenga tiempo necesario para llevar al robot y a las variables críticas de la célula robótica a un estado seguro.

El presente proyecto fue implementado para una sola cerveza, sin embargo, también fue diseñado y programado para ser escalable, dando cabida a nuevos diseños con los que se puedan controlar varias líneas de dispensado de cerveza. También el desarrollo de una aplicación móvil, la cual pueda acceder a diferentes métodos de pago online y facturación.



## Bibliografía

- Atlantis. (2020). *Tanque Co2 8 Kilos Ideal Para Acuarios Plantados | Atlantis Acuario*.  
<https://atlantisacuario.com/product/tanque-co2-8-kilos-ideal-para-acuarios-plantados/>
- Ayllon, N. (2021, February 10). *What is PROFINET? - PROFINET Explained - PI North America Blog*. <https://us.profinet.com/profinet-explained/>
- Banner Engineering Corp. (n.d.). *MINI-BEAM® SM312CV and SM312CV2 Self-contained DC-operated Convergent Mode Sensors MINI-BEAM Convergent Mode Models*. Retrieved January 26, 2022, from [www.bannerengineering.com](http://www.bannerengineering.com)
- Barbecho, A. (2020). *Diseño de una célula robotizada didáctica* [Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/331751>
- BEERLAND. (n.d.). *Tap dispensador para shank control de flujo TALOS - Beerland Store*. Retrieved January 28, 2022, from <https://www.beerlandstore.com/home/676-tap-dispensador-control-de-flujo.html>
- BottomsUpBeer.com. (2020). *Cómo funciona / Beneficios*.  
<https://www.bottomsupbeer.com/how-it-works-and-benefits>
- Brunete, A., San Segundo, P., & Herrero, R. (2020). *Introducción a la Automatización Industrial*. Creative Commons Reconocimiento-CompartirIgual 4.0 Internacional License.  
[https://bookdown.org/alberto\\_brunete/intro\\_automatica/](https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/)
- Campbell Hausfeld. (2019). *Oilless Compressors Operating Instructions and Parts Manual Model: AC080100 and DC080100*. [www.campbellhausfeld.com/reg](http://www.campbellhausfeld.com/reg)
- Caparrosa, I. O., Avilés, O., & Bello, J. H. (1999). Una introducción a la robótica industrial. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 8(0), 53–67. <https://doi.org/10.18359/RCIN.1410>

Cava del Duero. (2020). *GUÍA DE VASOS CERVECEROS*. Guía de Vasos Cerveceros .

<https://www.cavadelduero.com/guia-de-vasos-cerveceros/>

Cerveza artesanal. (2021). *Cómo servir correctamente la cerveza \* Hacer Cerveza Artesanal*.

<https://hacercervezaartesanal.com/como-servir-correctamente-una-cerveza/>

Cerveza Montseny. (2016). *LAS 10 CLAVES PARA SERVIR UNA CERVEZA DE FORMA PERFECTA |*

*Cervesa Artesana, Cervesa del Montseny*. <https://cervesamontseny.cat/es/las-10-claves-para-servir-una-cerveza-de-forma-perfecta/>

Cognex. (n.d.). *The Leading Company in Machine Vision | Cognex*. 2022. Retrieved February 5,

2022, from <https://www.cognex.com/company>

Cognex. (2022a). *Componentes de la visión artificial | Cognex*. [https://www.cognex.com/es-](https://www.cognex.com/es-mx/what-is/machine-vision/components)

[mx/what-is/machine-vision/components](https://www.cognex.com/es-mx/what-is/machine-vision/components)

Cognex. (2022b). *Software In-Sight Explorer | Cognex*.

<https://www.cognex.com/products/machine-vision/2d-machine-vision-systems/in-sight-vision-software>

Comins, F. (2019, January 15). *Lenguajes de programación de robots industriales. Del Control Numérico a los Frameworks Robóticos • gestiopolis*.

<https://www.gestiopolis.com/lenguajes-de-programacion-de-robots-industriales-del-control-numeric-a-los-frameworks-roboticos/>

Diccionario de la lengua española. (2001). *cerveza* . <https://www.rae.es/drae2001/cerveza>

Ebay. (2022a). *Riel Guía Lineal Cnc Actuador de la etapa de diapositivas Mesa de movimiento tornillo de bola Nema 23 Motor | eBay*.

[https://www.ebay.com/itm/323883078491?\\_trkparms=ispr%3D1&hash=item4b68ef935b:](https://www.ebay.com/itm/323883078491?_trkparms=ispr%3D1&hash=item4b68ef935b:)

g:O9kAAOSwfmldUISg&amdata=enc%3AAQAG

Ebay. (2022b). *Riel Guía Lineal Cnc Actuador de la etapa de diapositivas Mesa de movimiento tornillo de bola Nema 23 Motor | eBay.*

EDESA. (2019). *Datasheet Llave de paso.*

[https://www.edesa.com.ec/productos/fichastecnicaspdf/Edesa/Plomeria/Llave\\_esferica\\_3\\_4\\_paso\\_total.pdf](https://www.edesa.com.ec/productos/fichastecnicaspdf/Edesa/Plomeria/Llave_esferica_3_4_paso_total.pdf)

ELECTRIC SOLENOID VALVES. (2018). *1/2" Inch 24V DC Stainless Steel Normally closed Electric Solenoid Valve - SS.* <https://www.electricsolenoidvalves.com/1-2-inch-24v-dc-stainless-electric-solenoid-valve-ss/>

Electronic Components. (2020, September 8). *Motor paso a paso – tipos y ejemplos del uso de motores paso a paso | Distribuidor de componentes electrónicos. Tienda en línea: Transfer Multisort Elektronik.* <https://www.tme.eu/es/news/library-articles/page/41861/Motor-paso-a-paso-tipos-y-ejemplos-del-uso-de-motores-paso-a-paso/>

Enriquez, J. G., & Casas, S. I. (2013). Usabilidad en aplicaciones móviles. *Informes Científicos Técnicos - UNPA*, 5(2), 25–47. <https://doi.org/10.22305/ICT-UNPA.V5I2.71>

Fabrika. (2020). *Carbonatación Forzada – Etxeandia Garardauak.*

<https://www.etxeandia.eus/2020/09/23/carbonatacion-forzada/>

Festo. (2021). *Terminal de válvulas CPV, Compact Performance.*

<https://www.festo.com/media/pim/955/D15000100149955.PDF>

Gandino, S. S., & Mamani, D. (2020). Marco de referencia para la incorporación de Cobots en líneas de manufactura. *PODIUM*, 38(38), 159–180.

<https://doi.org/10.31095/podium.2020.38.10>

Gobierno de España. (2012). *Visión artificial*.

[http://infoplcn.net/files/documentacion/vision\\_artificial/infoPLC\\_net\\_UD\\_1\\_DIDAC.pdf](http://infoplcn.net/files/documentacion/vision_artificial/infoPLC_net_UD_1_DIDAC.pdf)

Godden, N. (2019, March 25). *Bottoms Up explained: how beer is poured in Tottenham's new stadium | Sport | The Times*. <https://www.thetimes.co.uk/article/bottoms-up-explained-how-beer-is-poured-in-tottenhams-new-stadium-kpxn0vbm0>

Götz, U. (2016). *KUKA Hannover Messe 2016*. [https://www.kuka.com/-/media/kuka-corporate/documents/press/description\\_of\\_applications\\_hanover\\_fair\\_2016.pdf?rev=1&hash=B45A404344F2BE3C68E47011916B9878](https://www.kuka.com/-/media/kuka-corporate/documents/press/description_of_applications_hanover_fair_2016.pdf?rev=1&hash=B45A404344F2BE3C68E47011916B9878)

GTM. (2020). *COVID-19 EN ESPACIOS INTERIORES, EN PARTICULAR RESTAURANTES*.

ifm electronic gmbh. (2003a, March). *IFT203 - Detector inductivo - ifm*.

ifm electronic gmbh. (2003b, March 23). *IFT203 - Detector inductivo - ifm*.

<https://www.ifm.com/es/es/product/IFT203?tab=details>

KEG CONNECTION. (2017). *CO2 Stamp Explanation*.

[https://www.kegconnection.com/content/CO2 Stamp Explanation.pdf](https://www.kegconnection.com/content/CO2%20Stamp%20Explanation.pdf)

Kinco Automation. (2011). *Kinco HMI*.

[https://www.tme.eu/Document/b8383e6efc5437e98375c7933878d40d/Kinco\\_HMI\\_EN.pdf](https://www.tme.eu/Document/b8383e6efc5437e98375c7933878d40d/Kinco_HMI_EN.pdf)

Krempien. (n.d.). *In-Sight 5000 - Krempien+Petersen*. Retrieved January 27, 2022, from

<https://www.kup-image.de/en/products/vision-systems/in-sight-5000>

KUKA. (2022). *KUKA.WorkVisual | KUKA AG*. [https://www.kuka.com/es-es/productos-](https://www.kuka.com/es-es/productos-servicios/sistemas-de-robot/software/software-de-sistema/kuka_systemsoftware/kuka_work-visual)

[servicios/sistemas-de-robot/software/software-de-](https://www.kuka.com/es-es/productos-servicios/sistemas-de-robot/software/software-de-sistema/kuka_systemsoftware/kuka_work-visual)

[sistema/kuka\\_systemsoftware/kuka\\_work-visual](https://www.kuka.com/es-es/productos-servicios/sistemas-de-robot/software/software-de-sistema/kuka_systemsoftware/kuka_work-visual)

- KUKA Roboter GmbH. (n.d.-a). *KR 20-3*. Retrieved January 25, 2022, from  
[https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/6b77eecacfe542d3b736af377562ecaa/db\\_kr\\_203\\_en.pdf](https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/6b77eecacfe542d3b736af377562ecaa/db_kr_203_en.pdf)
- KUKA Roboter GmbH. (n.d.-b). *KR 20-3*.
- KUKA Roboter GmbH. (2015). *KUKA System Software 8.3*.  
[http://www.wtech.com.tw/public/download/manual/kuka/krc4/KUKA KSS-8.3-Programming-Manual-for-SI.pdf](http://www.wtech.com.tw/public/download/manual/kuka/krc4/KUKA%20KSS-8.3-Programming-Manual-for-SI.pdf)
- KUKA Roboter GmbH. (2016). *The control system of the future KR C4 EN*.
- Lab-Volt Quebec Ltda. (2000). *SENSORES* (1st ed., Vol. 1). Lab-Volt.  
<http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/ManualesIng/FluidosySensores-O.pdf>
- LABFACILITY. (2017). *Pt100 3 wire class B Resistance Thermometer, KNE Head with Transmitter and 1/2" BSP x 6mm fitting*. <https://www.labfacility.com/pt100-3-wire-class-b-resistance-thermometer-kne-head-with-transmitter-and-1-2-bsp-x-6mm-fitting.html>
- Lekić, M., & Gardašević, G. (2018). IoT sensor integration to Node-RED platform. *2018 17th International Symposium on INFOTEH-JAHORINA, INFOTEH 2018 - Proceedings, 2018-January*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/INFOTEH.2018.8345544>
- Lezin, M. R. (2018). *Modelización Canvas en una fábrica de cerveza artesanal*.  
<https://repositorio.uesiglo21.edu.ar/handle/ues21/16011>
- Makr Shagr. (2020). *Venues*. <https://www.makrshagr.com/venues/>
- Montero, R. (2020, May 11). *Sevilla estrena "Beer cart."*  
[https://www.niusdiario.es/economia/robotica-hosteleria-contagios-covid-19-sevilla-cervezas-fase-brazo-robotizado-beer-cart-coronavirus\\_18\\_2944995273.html](https://www.niusdiario.es/economia/robotica-hosteleria-contagios-covid-19-sevilla-cervezas-fase-brazo-robotizado-beer-cart-coronavirus_18_2944995273.html)

Moroney, L. (2017). The Definitive Guide to Firebase. In *The Definitive Guide to Firebase*. Apress.

<https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2943-9>

Mosher, R. (2022). *Proper Beer Serving Temperatures - American Homebrewers Association*.

<https://www.homebrewersassociation.org/how-to-brew/proper-beer-serving-temperatures/>

Ortiz, A. (2018). *Progradation de PLC, HMI y Comunicaciones en la industria*. Dirección de

Investigaciones y Desarrollo Tecnológico. <https://editorial.uao.edu.co/acceso-abierto/pdf/programacion-de-plc-hmi-y-comunicaciones-en-la-industria.pdf>

Payne, R. (2019). Using Firebase with Flutter. In *Beginning App Development with Flutter*.

Apress, Berkeley, CA. [https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5181-2\\_12](https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5181-2_12)

Peano, D. (2018). *Innovative beer dispenser based on collaborative robotics*.

Phoenix Contact. (n.d.). *PHOENIX CONTACT | Relay Module - PLC-RSC- 24DC/21 - 2966171*.

Retrieved January 28, 2022, from

<https://www.phoenixcontact.com/online/portal/us?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=2966171&library=usen&tab=1>

Porcelli, A. M. (2020). La Inteligencia Artificial y la Robótica: sus dilemas sociales, éticos y

jurídicos. *Derecho Global. Estudios Sobre Derecho y Justicia*, 6(16), 49–105.

<https://doi.org/10.32870/DGEDJ.V6I16.286>

Pub-Beer. (2022). *DIFERENCIAS ENTRE LA CERVEZA ARTESANAL Y LA INDUSTRIAL - PUB BEER*.

<https://www.pub-beer.com/2021/06/30/diferencias-entre-la-cerveza-artesanal-y-la-industrial/>

PYCCA. (2021). *Refrigeradora Mabe 300 Litros A94063 | Compra en PYCCA - pycca*.

<https://www.pycca.com/refrigeradora-mabe-rma-430fyeu-300-litros-inox/p>

Rockcontent. (2019, April 20). *¿Qué es un lenguaje de programación y qué tipos existen?*

<https://rockcontent.com/es/blog/que-es-un-lenguaje-de-programacion/>

Rodriguez, L. (2015, July 30). *Proceso de elaboración de la cerveza - beQbe.*

<https://www.beqbe.com/proceso-de-elaboracion-de-la-cerveza>

Royal Caribbean. (2016). *Robot Bartenders Shake Things Up At Sea .*

<https://www.royalcaribbean.com/blog/robot-bartenders-shake-things-up-at-sea/>

Ruiz, E., Inche, M., & Chung, A. (2008). Desarrollo de una interfaz hombre máquina orientada al control de procesos. *Industrial Data*, 11(1), 70–72.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81611211010>

Sánchez Godínez, E., & Zúñiga Segura, L. (2011). La importancia de contar con información precisa, confiable y oportuna en las bases de datos. *Revista Nacional de Administración*, ISSN-e 1659-4932, ISSN 1659-4908, Vol. 2, N°. 2, 2011, Págs. 145-154, 2(2), 145–154.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4716521&info=resumen&idioma=ENG>

Siemens. (2015). *S7 Controlador programable S7-1200.*

[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/121/109478121/att\\_851434/v1/s71200\\_system\\_manual\\_es-ES\\_es-ES.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/121/109478121/att_851434/v1/s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf)

Siemens. (2022). *CPU 1214C, DC/DC/DC, 14DI/10DO/2AI - 6ES7214-1AG40-0XB0Manual -*

*Industry Support Siemens.* <https://support.industry.siemens.com/cs/products/6es7214-1ag40-0xb0/cpu-1214c-dc-dc-dc-14di-10do-2ai?pid=255094&dtp=Manual&mlfb=6ES7214-1AG40-0XB0&mfn=ps&lc=en-WW>

SIEMENS. (2016). *STEP 7 S7-1200 Motion Control V6.0 en el TIA Portal V14.*

[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/731/109741731/att\\_897512/v1/s71200\\_motion\\_control\\_function\\_manual\\_es-ES\\_es-ES.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/731/109741731/att_897512/v1/s71200_motion_control_function_manual_es-ES_es-ES.pdf)

Sorotec. (2018). *TB6600*.

[https://www.mcielectronics.cl/website\\_MCI/static/documents/TB6600\\_data\\_sheet.pdf](https://www.mcielectronics.cl/website_MCI/static/documents/TB6600_data_sheet.pdf)

TEAMEquip. (2020). *Omega TX58-PT2 RTD Transmitter T105375 - TEAMEQUIP*.

<https://teamequip.com/omega-tx58-pt2-rtd-transmitter-t105375/>

The Edge Markets. (2020). The rise of rorobotestaurants around the world. *The Rise of Robo-Restaurants around the World*.

THIELDMANN. (2020). *Barriles Cornelius (Corny) de Acero Inoxidable | THIELMANN*.

<https://www.thielmann.com/es/productos/barriles/barril-estilo-cornelius>

Thomas, P., Delía, L. N., Corbalán, L., Cáseres, G., Fernández Sosa, J., Tesone, F., Cuitiño, A., &

Pesado, P. M. (2018). Tendencias en el desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles.

*XX Workshop de Investigadores En Ciencias de La Computación*, 588–592.

<https://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/8316>

Torras, C. (2015). Social robots: A meeting point between science and fiction. *Metode Science*

*Studies Journal*, 0(5), 111–115. <https://doi.org/10.7203/METODE.0.3546>

TP-link. (2022). *TL-SG108 | Switch*. <https://www.tp-link.com/es/home-networking/soho-switch/tl-sg108/#specifications>

Valverde Castro, B. I. (2020). The importance of Robotics as the axis in the development of

society A importância da robótica como eixo no desenvolvimento da sociedade. *Polo Del*

*Conocimiento*, 5(08), 1368–1377. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i8.1668>

Walmart. (2022). *AB GATE Opener Safety REVERSING | Reflective Sensor | Photo Beam |*



*Infrared Sensor | Reflector Photo Eye | with German Reflector - Walmart.com.*

<https://www.walmart.com/ip/AB-GATE-Opener-Safety-REVERSING-Reflective-Sensor-Photo-Beam-Infrared-Sensor-Reflector-Photo-Eye-with-German-Reflector/877436290>

## Anexos

Anexo 1. Mapeo PROFINET de Cámara Cognex a TIA Portal

Anexo 2. Graficet de producción

Anexo 3. Diagrama de Conexiones