



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL
ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍAS
APLICADAS**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO
DE LAVADO DE BOTELLONES DE AGUA.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
MECATRÓNICA**

CARLOS ALBERTO BEDÓN CÁRDENAS

DIRECTOR: ING. LUIS XAVIER SÁNCHEZ SIGUENZA MBA.

D. M. Quito

2015

DECLARACIÓN

Yo CARLOS ALBERTO BEDÓN CÁRDENAS declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que se ha investigado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Internacional del Ecuador, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por su normativa institucional vigente.

Carlos Alberto Bedón Cárdenas

CERTIFICACIÓN

El docente de la Escuela de Ciencias Exactas y Tecnologías Aplicadas Ingeniero Luis Xavier Sánchez Siguenza Msc.

CERTIFICA QUE:

El proyecto de investigación “Diseño y construcción de un sistema industrial de lavado de botellones de agua estructurada”, fue desarrollado por: Carlos Alberto Bedón Cárdenas y ha sido debidamente revisado y está en condiciones de ser entregado para que siga lo dispuesto por la escuela de Ciencias Exactas y Tecnologías Aplicadas, correspondiente a la sustentación y defensa del mismo.

Ing. Luis Xavier Sánchez Siguenza MBA.

DEDICATORIA

Dedico esta Tesis a los tres pilares fundamentales de mi vida mi padre, mi madre y mi hermano.

“Por dedicar cada día de tu vida a nuestra familia, entregando más de lo que podías dar. Hoy soy lo que formaste con tu trabajo y esfuerzo. Nunca olvides que te amo y siempre estarás presente en mi corazón.

Espero que en el cielo te sientas orgulloso mí.”

Washington E. Bedón Altamirano

“Por ser esa persona amorosa y bondadosa que con amor y ternura supo enseñarme como salir de toda adversidad y ser un hombre de bien. Gracias por entregarme la calma para no perder la batalla.”

Inés F. Cárdenas Pérez

“Por ser ese apoyo incondicional que siempre estuvo presente, dándome aliento para seguir adelante enseñándome que después de la tormenta llegará la calma. ”

Edison D. Bedón Cárdenas

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a Dios por darme la bendición de contar con todas las personas que me apoyaron para cumplir esta meta en mi vida.

A mi mejor amigo Joseph A. Hanna por su gran amistad y por todas las noches de trabajo continuo en que me brindo su compañía.

Al Ing. Andrés Cevallos y Leonardo Wild por brindarme su experiencia, conocimientos y sobre todo su amistad y cofinancia para emprender con este proyecto.

Al Ing. Xavier Sánchez por ser esa guía que me impulso a culminar con este proyecto.

Al Ing. Juan Carlos Parra por su forma de ser estricta y organizada que me ayudo a realizar un trabajo de excelencia.

A la Ing. Verónica Grefa por su amabilidad y atención prestada, haciendo de pequeños detalles una gran diferencia.

ABREVIATURAS

| | |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| A | Área |
| AISI | American Iron and Steel Institute |
| °C | Grados Centígrados |
| D | Diámetro |
| E | Módulo de Elasticidad |
| g | Gravedad |
| h | Hora |
| I | Inercia |
| H ₂ O ₂ | Peróxido de Hidrogeno |
| Kg | Kilogramo |
| L | Litro |
| M | Momento flector |
| MPa | Mega Pascal |
| m | Metro |
| m ² | Metro cuadrado |
| m ³ | Metro cúbico |
| m ⁴ | Metro a la cuarta |
| min | Minuto |
| mm | Milímetro |
| mm ² | Milímetro cuadrado |
| n | Factor de Seguridad |
| N | Newton |
| Pa | Pascal |

| | |
|-----|--------------------------------|
| psi | Libras por Pulgada Cuadrada |
| P | Presión |
| PLC | Controlador Lógico Programable |
| PVC | Policloruro de vinilo |
| R | Radio |
| seg | Segundo |
| Sy | Resistencia a la fluencia |
| Q | Caudal |
| v | Velocidad |
| W | Módulo de fluencia |
| Z | Altura |

RESUMEN

La empresa Logichem Solutions S.A. que se está constituida desde el año 2012, necesita un sistema de lavado de botellones como parte de su proceso de limpieza para su planta envasadora de agua. Uno de los principios de la empresa es ofrecer agua pura, sana y con envases totalmente esterilizados. Existen máquinas de lavado para botellones de agua, pero no garantizan la calidad del lavado interno. Para esto se ha solicitado la construcción de un sistema de lavado de botellones de agua para su parte interna con agua caliente y una presión de 1000 psi. Por lo tanto se necesita un sistema de fácil acceso al operador, robusto y seguro.

Para cumplir el propósito se realizan una serie de procesos de esterilización del botellón. El proceso de lavado a chorro, es un proceso fundamental del lavado de los botellones, ya que al suministrar agua a presión se garantiza que las impurezas sólidas que se encuentren dentro del botellón sean removidas. A su vez al utilizar agua caliente y desinfectante biodegradable se eliminan las bacterias y gérmenes existentes en el mismo.

El objetivo de este proyecto es aplicar los conocimientos adquiridos, para el diseño y construcción de un sistema semiautomático de lavado de botellones en la empresa envasadora de agua Logichem Solutions S. A., se establecerán las condiciones del diseño para controlar el tiempo de lavado y cumplir con la expectativa de producción de la empresa de 1000 botellones semanales. Para cumplir los objetivos propuestos, se diseñara cada una de las partes necesarias para la elaboración del proyecto, como es la estructura, los mecanismos de seguridad, el sistema eléctrico y electrónico, las seguridades automáticas y manuales, el tablero de control. Por medio de la Casa de la Calidad y el método de Residuos Ponderados se seleccionará la mejor alternativa analizando costos, ventajas y desventajas de los diferentes equipos y materiales utilizados en el proyecto.

En conclusión se comprobó por medio de las cartas de control y las pruebas de funcionamiento que el sistema de lavado de botellones cumple con los estándares de la empresa y se encuentra complementado por planos estructurales, planos eléctricos, manuales de Usuario y Mantenimiento.

ABSTRACT

The company Logichem Solutions S.A. was founded in 2012 and needs a bottle washing machine for the cleaning process of its water bottling company. As part of its principles, the enterprise guarantee pure, healthy water inside of totally sterilized bottles. In the media exists bottle washing machines, but they don't guarantee the quality in the internal wash that the enterprise seeks. For this reason, Logichem requests the construction of a bottle washing system that operates with hot water at a pressure of 1000 psi. Also the system must be friendly with the operator, robust and reliable.

The phase of washing the bottles through water blasting is fundamental in the process. Because it guarantees that the solid contaminants inside the bottle are removed. Also as the system blasts hot water and biodegradable disinfectant, bacteria and germs are eliminated from the bottle.

The objective of this project is to apply the knowledge acquired throughout the career, in order to design and built a semi-automatic bottle washing machine for the water bottling company Logichem Solutions S.A. The design conditions are established in order to control the washing time and be able to wash 1000 bottles weekly. In order to achieve the objectives, all the parts of the system will be designed. For example, the structure, security mechanisms, electric and electronic systems, manual and automatic security systems and the control panel. The best alternative will be selected with the House of Quality and the method of weighted residuals.

In conclusion, after had tested the system and generated control cards, the system demonstrated to fulfill the standards imposed by the company. And it is also complemented with structural drawings, electrical drawings and user and maintenance manuals.

INTRODUCCIÓN

La empresa Logichem Solutions S. A. ubicada en Quito-Ecuador ha emprendido la construcción de su planta envasadora de agua de marca Iridium Blue. Una de las características principales de la empresa es garantizar agua programada con envases totalmente esterilizados. Para esto, el proceso de lavado de los botellones de agua es parte fundamental en los estándares de calidad de la empresa. Existen 5 etapas fundamentales en el lavado del botellón que son el lavado exterior, el lavado a chorro, desinfección con Peróxido de Hidrógeno, pre-enjagüe y enjagüe final.

La empresa requiere de un sistema de lavado que realice la segunda etapa del proceso y cumpla con los estándares de la empresa matriz localizada en Estados Unidos. Para que el proceso de lavado a chorro cumpla con los estándares se necesita que el botellón sea lavado por un tiempo mínimo de 1 minuto 45 segundos con agua caliente, desinfectante biodegradable y a una presión de 1000 psi promedio.

Por lo cual la empresa Logichem Solutions S. A. ha pedido realizar el proyecto con materiales y repuestos que se encuentre en el mercado Ecuatoriano, sea de mantenimiento programado, para trabajo continuo y seguro para los operadores.

El Proyecto se enfoca en la seguridad, tiempo y cantidad de la producción de la empresa, utilizando mecanismos, sensores y procesos de control, que ayudados por la electrónica, mecánica y sistemas forman una lavadora de botellones con agua caliente y alta presión, la cual garantiza el uso adecuado del sistema, la salud y la seguridad de los operarios.

La expectativa de producción de la empresa es de 1000 botellones semanales, para esto se utilizarán métodos y técnicas para seleccionar la mejor alternativa y controlar el tiempo de proceso optimizando los recursos de la empresa de la mejor manera.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|------|
| DECLARACIÓN | ii |
| CERTIFICACIÓN | iii |
| DEDICATORIA..... | iv |
| AGRADECIMIENTOS | v |
| ABREVIATURAS..... | vi |
| RESUMEN | viii |
| ABSTRACT | ix |
| INTRODUCCIÓN | x |
| CAPÍTULO I GENERALIDADES | 10 |
| 1.1 Planteamiento del Problema | 10 |
| 1.2 Formulación y sistematización del problema..... | 2 |
| 1.3 Objetivos | 2 |
| 1.3.1 Objetivo General..... | 2 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 2 |
| 1.4 Justificación..... | 3 |
| 1.4.1 Justificación Teórica | 3 |
| 1.4.2 Justificación Metodológica..... | 3 |
| 1.4.3 Justificación Práctica | 4 |
| 1.5 Marco Teórico | 5 |
| 1.5.1 Autómata Programable o PLC..... | 5 |
| 1.5.2 Interruptor de Fin de Carrera | 6 |
| 1.5.3 Contactor | 6 |
| 1.5.4 Botón de Emergencia | 7 |
| 1.5.5 Baliza..... | 8 |
| 1.5.6 Water Blasting Machine..... | 8 |
| 1.5.7 Algebra de Boole | 9 |

| | | |
|--------|---|----|
| 1.5.8 | LOGO!Soft..... | 10 |
| 1.5.9 | Motor DC Bloqueo Central..... | 10 |
| 2 | CAPÍTULO II SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS | 11 |
| 2.1 | Introducción..... | 11 |
| 2.2 | Esquema | 11 |
| 2.3 | Funcionamiento..... | 12 |
| 2.3.1 | Diagrama de flujo..... | 13 |
| 2.4 | Especificaciones técnicas | 15 |
| 2.5 | Casa de la calidad..... | 15 |
| 2.5.1 | Voz del usuario | 15 |
| 2.5.2 | Voz del ingeniero | 16 |
| 2.5.3 | Análisis y conclusiones de la casa de la calidad..... | 16 |
| 2.6 | Formulación de especificaciones técnicas | 17 |
| 2.7 | Diseño conceptual..... | 19 |
| 2.7.1 | Análisis Funcional..... | 19 |
| 2.7.2 | Definición de módulos funcionales | 19 |
| 2.7.3 | Soluciones de los módulos | 22 |
| 2.8 | Ventajas y Desventajas..... | 26 |
| 2.8.1 | Control electrónico..... | 26 |
| 2.8.2 | Sensores de entrada | 27 |
| 2.8.3 | Señales de Aviso | 28 |
| 2.9 | Matriz morfológica | 28 |
| 2.9.1 | Solución de la matriz morfológica | 29 |
| 2.10 | Matriz de residuos ponderados | 30 |
| 2.10.1 | Evaluación del peso específico de cada criterio | 31 |
| 2.10.2 | Evaluación de alternativas por criterios | 32 |
| 2.10.3 | Esquema de la solución | 35 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3 | CAPÍTULO III DISEÑO, CÁLCULOS E IMPLEMENTACIÓN | 36 |
| 3.1 | Sistema Eléctrico | 36 |
| 3.1.1 | Sensores, Actuadores y Máquinas | 36 |
| 3.1.2 | Diseño del circuito de Paro de Emergencia | 37 |
| 3.1.3 | Diseño de Circuito Puente H | 39 |
| 3.2 | Mecánica..... | 41 |
| 3.2.1 | Selección de Materiales..... | 43 |
| 3.2.2 | Diseño y Cálculos de la estructura o bancada..... | 44 |
| 3.2.3 | Cálculos de presión en la tubería | 53 |
| 3.3 | Control y Programación..... | 59 |
| 3.3.1 | Dispositivos de entrada y salida del PLC..... | 59 |
| 3.3.2 | Estados lógicos del proceso | 61 |
| 3.3.3 | Salidas..... | 64 |
| 3.4 | Diseño de circuito lógico | 67 |
| 3.4.1 | Solución circuito lógico Q1 Luz Roja de Baliza..... | 68 |
| 3.4.2 | Solución circuito lógico Q2 Luz Amarilla de Baliza | 68 |
| 3.4.3 | Solución circuito lógico Q3 Luz Verde de Baliza..... | 69 |
| 3.4.4 | Solución circuito lógico Q4 Sirena de Baliza | 69 |
| 3.4.5 | Solución circuito lógico Q5 Bloqueo volante motor Abierto | 70 |
| 3.4.6 | Solución circuito lógico Q6 Bloqueo volante motor Cerrado..... | 70 |
| 3.4.7 | Solución circuito lógico Q7 Freno automático..... | 71 |
| 3.5 | Nomenclatura y Etiquetado | 72 |
| 4 | CAPÍTULO IV CONSTRUCCIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS..... | 73 |
| 4.1 | Construcción | 73 |
| 4.1.2 | Cursograma Sinóptico de Ensamblaje..... | 78 |
| 4.2 | Pruebas y Resultados | 80 |
| 4.3 | Costos..... | 91 |

| | |
|-----------------------|----|
| CONCLUSIONES..... | 93 |
| RECOMENDACIONES | 95 |
| BIBLIOGRAFÍA | 96 |
| ANEXOS | |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1 PLC Logo Ethernet..... | 5 |
| Figura 1.2 Modelos de fin de Carrera eléctricos..... | 6 |
| Figura 1.3 Contactor Normalmente Abierto..... | 7 |
| Figura 1.4 Botón de Emergencia..... | 7 |
| Figura 1.5 Modelos balizas..... | 8 |
| Figura 1.6 Water Blasting Machine..... | 9 |
| Figura 1.7 Bloqueo Central..... | 10 |
| Figura 2.1 Esquema Lavadora de Botellones..... | 12 |
| Figura 2.2 Diagrama de flujo del proceso de lavado..... | 14 |
| Figura 2.3 Casa de la Calidad..... | 17 |
| Figura 2.4 Módulo 0 Etapa Principal..... | 20 |
| Figura 2.5 Módulo 2 Proceso de Lavado..... | 21 |
| Figura 2.6 Trabajo realizado por el operario..... | 22 |
| Figura 2.7 Palanca Manual..... | 23 |
| Figura 2.8 Controlador Lógico Programable..... | 23 |
| Figura 2.9 Microcontrolador..... | 23 |
| Figura 2.10 Arduino..... | 23 |
| Figura 2.11 Sensor Inductivo..... | 24 |
| Figura 2.12 Sensor Capacitivo..... | 24 |
| Figura 2.13 Final de carrera..... | 24 |
| Figura 2.14 Sirena..... | 25 |
| Figura 2.15 Luz de aviso..... | 25 |
| Figura 2.16 Baliza..... | 25 |
| Figura 2.17 Trabajo realizado por el operario..... | 26 |
| Figura 2.18 Matriz Morfológica..... | 29 |
| Figura 3.1 Diagrama Freno de emergencia..... | 39 |
| Figura 3.2 Lista de Materiales Puente H..... | 40 |
| Figura 3.3 Puente H Motor Bloqueo Central..... | 41 |
| Figura 3.4 Esquema del mecanismo del Volante de válvula de agua..... | 42 |
| Figura 3.5 Esquema del mecanismo de Bloque del Volante..... | 42 |
| Figura 3.6 Brazo de seguridad para botellones de agua..... | 43 |
| Figura 3.7 Bancada o Estructura Metálica..... | 44 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Figura 3.8 | Estructura o Bancada..... | 46 |
| Figura 3.9 | Diagrama de Cuerpo libre, Momento Cortante y Esfuerzo Flexionante | 47 |
| Figura 3.10 | Diagrama de Cuerpo Libre para análisis de rigidez..... | 49 |
| Figura 3.11 | Simulación SolidWorks deflexión máxima | 52 |
| Figura 3.12 | Diagrama de flujo de agua | 54 |
| Figura 3.13 | Diagrama de Cuerpo Libre | 58 |
| Figura 3.14 | Circuito en Software Boole Deusto..... | 67 |
| Figura 3.15 | Solución salida PLC Q1 | 68 |
| Figura 3.16 | Solución salida PLC Q2 | 68 |
| Figura 3.17 | Solución salida PLC Q3 | 69 |
| Figura 3.18 | Solución salida PLC Q4 | 69 |
| Figura 3.19 | Solución salida PLC Q5 | 70 |
| Figura 3.20 | Solución salida PLC Q6 | 70 |
| Figura 3.21 | Solución salida PLC Q7 | 71 |
| Figura 4.1 | Simbología ASME | 73 |
| Figura 4.2 | Cursograma del Tanque de Agua | 74 |
| Figura 4.3 | Cursograma del Soporte del fin de carrera | 74 |
| Figura 4.4 | Cursograma de la Tapa superior..... | 74 |
| Figura 4.5 | Cursograma de la Tapa Lateral..... | 75 |
| Figura 4.6 | Cursograma de la Estructura | 75 |
| Figura 4.7 | Cursograma de la Tapa frontal..... | 76 |
| Figura 4.8 | Cursograma del Brazo de seguridad..... | 76 |
| Figura 4.9 | Cursograma del Volante..... | 77 |
| Figura 4.10 | Cursograma del Mecanismo de bloqueo del volante..... | 77 |
| Figura 4.12 | Cursograma de Ensamblaje..... | 79 |
| Figura 4.13 | Lavadora de botellones instalada en el área de trabajo..... | 81 |
| Figura 4.14 | Carta de Control X media..... | 88 |
| Figura 4.15 | Carta de Control R (Rango) | 89 |
| Figura A.1 | Vista Panorámica del Área de Máquinas | 2 |
| Figura A.2 | Vista Panorámica del Área de Trabajo | 3 |
| Figura A.3 | Vista Panorámica del Área de Control del PLC | 4 |
| Figura A.4 | Máquinas de lavado a chorro..... | 5 |
| Figura A.5 | Especificaciones técnicas de la máquina de lavado a chorro | 5 |
| Figura A.6 | Instalación Jet Bolondi | 6 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Figura A.7 | Especificaciones técnicas de los Jet Bolondi..... | 6 |
| Figura A.8 | Proceso de construcción..... | 7 |
| Figura A.9 | Proceso de construcción 2..... | 7 |
| Figura A.10 | Botonera | 8 |
| Figura A.11 | Lavadora Terminada..... | 8 |
| Figura A.12 | Tablero de Potencia Apariencia externa | 9 |
| Figura A.13 | Tablero de Potencia Apariencia interna..... | 9 |
| Figura A.14 | Brazo se Seguridad | 10 |
| Figura A.15 | Brazo de Seguridad sobre los botellones | 10 |
| Figura A.16 | Fin de Carrera..... | 11 |
| Figura A.17 | Botón de Emergencia en el Área del PLC | 11 |
| Figura A.18 | PLC instalado..... | 12 |
| Figura A.19 | Botellones para lavar | 12 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----------|
| Tabla 1.1 Reglas del Algebra de Boole | 9 |
| Tabla 2.1 Tabla de Especificaciones Técnicas de la Empresa Logichem | 18 |
| Tabla 2.2 Solución Nivel 1 | 22 |
| Tabla 2.3 Solución Módulo 2 | 23 |
| Tabla 2.4 Solución Módulo 3 | 25 |
| Tabla 2.5 Comparaciones de Alternativas Control Electrónico..... | 26 |
| Tabla 2.6 Comparaciones de Alternativas Sensores de Entrada | 27 |
| Tabla 2.7 Comparaciones de Alternativas Señales de aviso | 28 |
| Tabla 2.8 Evaluación del peso específico por criterios..... | 31 |
| Tabla 2.9 Evaluación del peso específico por el criterio de robustez | 32 |
| Tabla 2.10 Evaluación del peso específico por el criterio de Mantenibilidad..... | 33 |
| Tabla 2.11 Evaluación del peso específico por el criterio de Costo | 34 |
| Tabla 2.12 Evaluación del peso específico por el criterio de Seguridad | 34 |
| Tabla 2.13 Tabla de Conclusiones de Selección de Alternativas | 35 |
| Tabla 3.1 Lista de Elementos Electrónicos..... | 36 |
| Tabla 3.2 Tabla de características de Perfiles Cuadrados de Acero AISI 304 | 48 |
| Tabla 3.3 Dispositivos de Entrada PLC | 59 |
| Tabla 3.4 Dispositivos de Salida del PLC..... | 60 |
| Tabla 3.5 Tabla Procesos Principales | 61 |
| Tabla 3.6 Combinaciones posibles de dispositivos de entrada | 62 |
| Tabla 3.7 Estados Lógicos Salidas PLC | 66 |
| Tabla 3.8 Etiquetado del sistema de control..... | 72 |
| <i>Tabla 4.1 Operaciones principales</i> | <i>73</i> |
| Tabla 4.2 Tabla de Proceso de Ensamblaje..... | 78 |
| Tabla 4.3 Pruebas de Funcionamiento..... | 82 |
| Tabla 4.4 Tiempo de lavado de botellones en segundos | 85 |
| Tabla 4.5 Tabla de Medias y Rango de Muestras | 86 |
| Tabla 4.6 Límites de las Cartas de Control | 88 |
| Tabla 4.7 Costo Materiales..... | 91 |
| Tabla 4.8 Costo Recursos Humanos..... | 92 |
| Tabla 4.9 Costos Varios | 92 |
| Tabla 4.10 Costo Total | 92 |

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa Logichem Solutions S.A. es una empresa que ha desarrollado su línea de producción de agua programada desde el año 2014, para cumplir con los requerimientos de calidad de envasado de agua de la empresa, surgiendo la necesidad de implementar un sistema para el proceso de lavado de botellones, tomando como referencia el sistema implementado en la empresa matriz localizada en EEUU, y adaptarlo a las condiciones y necesidades locales.

El proceso de lavado de los botellones consta de 4 etapas. En la primera etapa se limpia la parte externa del botellón, se lo realiza manualmente en el área de duchas para botellones. Posteriormente, en la segunda etapa se realiza el lavado de la parte interna del botellón en el cual se procura remover toda impureza, bacterias y elementos que no pertenezcan al botellón en sí. Para esto se utiliza agua caliente mezclada con un producto biodegradable (Matrix Clean¹) que fluye de un aspersor colocado en la parte interna del botellón a una presión de 1000 psi por un periodo de 2 minutos aproximadamente. La tercera etapa es llenar la botella con Peróxido de Hidrogeno (H₂O₂) por un tiempo de 5 minutos para que pueda eliminar bacterias y gérmenes totalmente. En la cuarta etapa, se realiza un enjuague manual de cada botellón con agua programada y queda listo para su envasado.

El proyecto se enfoca en la segunda etapa, ya que este sistema no existe en la empresa y requiere de mecanismos, controles y sensores que ayuden a la seguridad del trabajador y al tiempo de producción. También ayuda a incrementar el volumen de botellones lavados ya que cada ciclo será de 3 botellones.

Para realizar este proyecto la empresa Logichem Solutions S.A. proporcionará los materiales y maquinarias adecuadas para su implementación.

El proyecto consiste en realizar una etapa fundamental del proceso de lavado de botellones de agua adaptando a los materiales y elementos existentes en el mercado

¹ Matrix Clean: Producto desengrasante biodegradable de la empresa Logichem Solutions S.A.

Ecuatoriano y que cumpla con las mismas funciones del sistema que existe en la empresa matriz ubicada en Estados Unidos. Se desea garantizar la limpieza de los botellones como un proceso anterior a la desinfección con Peróxido de Hidrógeno.

Como condiciones del proceso se tiene una entrada de agua a temperatura de 90° C y presión de 1000 psi promedio (presión manométrica), lo cual es peligroso y se deben tomar medidas de seguridad con el sistema y el control electrónico para precautelar la salud del operario.

2.2 FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es viable desarrollar un sistema de lavado de botellones de agua?

¿Existen en el país los materiales necesarios para poder construir e implementar este sistema?

¿Se necesita de un nivel de estudios altos para poder operar la máquina, o cualquier persona con conocimientos básicos puede realizarlo?

¿Existe en el mercado máquinas similares o que realicen una función parecida a la máquina propuesta?

¿Cuáles son los pros y contras de desarrollar este sistema?

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 Objetivo General

- ✓ Diseñar y construir un sistema industrial semiautomático de lavado de botellones de agua en la empresa Logichem Solutions S. A.

2.3.2 Objetivos Específicos

- i. Diseñar e implementar la estructura de la máquina.
- ii. Dimensionar, seleccionar materiales y componentes de partes mecánicas
- iii. Diseñar e implementar el sistema eléctrico y electrónico.

- iv. Diseñar e Implementar el sistema manual de protección y seguridad contra accidentes.
- v. Diseñar e implementar un tablero de control, sistema automático de protección y seguridad contra accidentes.
- vi. Realizar protocolo de pruebas de funcionamiento.

2.4 JUSTIFICACIÓN

2.4.1 Justificación Teórica

En la actualidad la empresa no tiene la máquina o sistema necesario para realizar la etapa de lavado interno de botellones de agua, y las máquinas similares que se encuentran en el mercado no cumplen con los requerimientos de lavado exigidos por la empresa.

El proyecto consiste en el diseño de un sistema de lavado de botellones de agua que realice el lavado de 3 botellones por ciclo con agua caliente y a una presión de 1000 psi, también cuenta con su respectivo control y garantiza la seguridad de los operarios. Mediante la aplicación de la mecánica de fluidos, instalación de sensores, diseño de mecanismos y simulaciones se puede visualizar el funcionamiento del sistema previo a su implementación.

El proyecto abarca las 3 partes esenciales de la Mecatrónica:

En la parte mecánica consta de análisis de fluidos, análisis de esfuerzos, selección de materiales, entre otros.

En la parte electrónica se encuentra el tablero de control, selección de sensores y actuadores, frenos de emergencia, entre otros.

En la parte de sistemas e informática se encuentra el diseño del programa de control y el análisis de los datos obtenidos en las pruebas de funcionamiento.

.

2.4.2 Justificación Metodológica

Debido a los requerimientos especiales del proceso de lavado de botellones en la parte interna como son temperatura, presión y número de botellones por ciclo se pueden descartar las máquinas que se encuentran en el mercado, ya que si bien cumplen algunas de estas características no se ha podido encontrar una que cumpla

con todos los requerimientos a la vez. Por esta razón se ha pedido que se realice el proyecto enfocado en las necesidades mencionadas por la empresa.

Para cumplir los objetivos del proyecto se utilizaran los siguientes métodos:

- ✓ Observación. Recopilación de información para desarrollar el marco teórico.
- ✓ Residuos Ponderados. Selección de la mejor alternativa.
- ✓ Analítico – Sintético. Utilizado para la creación de las alternativas factibles.
- ✓ Experimental. Ensayos y pruebas de funcionamiento.
- ✓ Inductivo – Deductivo. Análisis, conclusiones y resultados de las pruebas de funcionamiento.

2.4.3 Justificación Práctica

La proyección inicial de la empresa de producción y envasado de Agua Programada es de 500 botellones por semana, con lo cual se da una producción de 100 botellones diarios en un periodo de 6 horas. Con estos antecedentes se realiza un lavado interno de 3 botellones por ciclo de 2 minutos. Si se considera que las cuatro etapas de lavado tienen un tiempo aproximado de 8 minutos por ciclo, la producción de la empresa será de 775 botellones semanales. Consecuentemente, se optimiza la proyección de la empresa, ganando tiempo y recursos.

Se tiene también programado una expansión del sistema a 4 botellones aplicables por ciclo, se realiza el diseño incluyendo este requerimiento para el futuro.

Al realizar el proyecto semiautomático se obtienen beneficios como seguridad para el operario, control de tiempo y proceso, proyecciones de producción, entre otros.

2.5 MARCO TEÓRICO

“Siempre es importante ver al pasado para construir el presente y mirar hacia el futuro. Si la ciencia es un cuerpo de conocimientos sistemático y estructurado, resulta conveniente localizar, obtener y consultar estudios antecedentes, libros, revistas científicas, páginas de Internet, testimonios de expertos y toda aquella fuente que se relacione directamente con nuestro tema o proyecto de investigación.”[1]

2.5.1 Autómata Programable o PLC

Las siglas en inglés significan Programmable Logic Controller, este es un sistema que se utiliza en la industria para actividades de diferentes tipos como repetitivas, control, monitoreo, automatización, etc.

Es muy útil ya que tiene un microprocesador, que el usuario puede programar dependiendo de sus necesidades, hacer modificaciones y realizar todo tipo de actividad que se encuentre hoy en la industria.

En el proyecto puede ser muy útil, ya que se necesita un sistema robusto y una de las características de los PLC's es que son para trabajo pesado. Para esto se plantea utilizar un PLC Logo Ethernet como se muestra en la figura 1.1.



Figura 1.1 PLC Logo Ethernet

Fuente: <http://www.electricagarrido.es/images/portada.jpg>

2.5.2 Interruptor de Fin de Carrera

Estos son elementos eléctricos, mecánicos o neumáticos que se encargan de enviar una señal o realizar una acción después de ser activados, estos sirven para indicar que un proceso, producto o acción se encuentra en determinada etapa. Para el sistema de lavado se seleccionaron fines de carrera eléctricos ya que estos se acoplan de manera eficiente y fácil al sistema de control (PLC). El modelo a utilizar es el AH8169 como se indica en la figura 1.2.



Figura 1.2 Modelos de fin de Carrera eléctricos

Fuente: http://www.tme.eu/html/gfx/ramka_2193.jpg

2.5.3 Contactor

Es un dispositivo eléctrico que permite interrumpir el paso de corriente ya sea de potencia o de control de máquinas y elementos eléctricos. Tiene una gran utilidad ya que es un mecanismo de protección para máquinas electrónicas. Su funcionamiento está dado por una bobina que dependiendo del estado del contactor (NO²/NA³) permite el flujo de corriente o lo bloquea.

² NO: Normalmente Abierto.

³ NC: Normalmente Cerrado.

En el proyecto se los utilizan para dos objetivos muy claros, interrumpir el paso de la corriente de las calderas en un caso de emergencia activado por el operario y para una auto-desconexión en el caso de que los sensores se encuentren en un estado no permitido o peligroso (figura 1.3).



Figura 1.3 Contactor Normalmente Abierto

Fuente: <http://www.moeller.com.mx/images/AnimXstart/4.JPG>

2.5.4 Botón de Emergencia

El botón de emergencia es un botón diseñado para interrumpir el paso de corriente en caso de una situación de emergencia. Es de tipo normalmente abierto y tiene una característica especial, no se puede abrir pulsándolo de nuevo, se debe girar el botón para que regrese a su estado inicial.

Se lo utiliza en distintas partes del sistema de lavado de botellones, ya que al tener altas presiones es necesario tener un freno de emergencia manual (figura 1.4).



Figura 1.4 Botón de Emergencia

Fuente: http://www.ledcontrols.com.mx/i/c/4a539b339838d_hongoconcajabccodigo25600.jpg

2.5.5 Baliza

Una baliza es un elemento electrónico el cual sirve para indicar uno o varios estados de un determinado proceso. Envía señales de advertencia tanto luminosas como sonoras dependiendo el tipo de baliza.

En el proyecto se la utiliza en diferentes actividades como son el buen posicionamiento de los botellones, la tapa de seguridad bien colocada, el tiempo de lavado y como último la alarma de emergencia en el caso de ser activada manualmente o de forma automática (figura 1.5).



Figura 1.5 Modelos balizas

Fuente: http://www.ledcontrols.com.mx/i/c/49f21c9d40528_balizasluminosasq-light.jpg

2.5.6 Water Blasting Machine

Water blasting machine o máquina de limpieza a chorro es una máquina que es utilizada para limpiar, despintar y hacer mantenimientos de limpieza por medio de agua a altas presiones, cuya característica principal es usar un chorro pequeño de agua a gran velocidad. Existen diferentes tipos de máquinas las cuales varían en la presión de salida, la temperatura del agua y el tiempo de trabajo, se selecciona la máquina dependiendo de las necesidades del proceso a realizar (figura 1.6).



Figura 1.6 Water Blasting Machine

Fuente: <http://www.triplexplungerpumps.com/hydro-blasting-machine.html>

2.5.7 Algebra de Boole

Es una estructura algebraica que ayuda a simplificar las operaciones lógicas como son AND, OR, NOT, utilizadas en el diseño del programa informático para distinguir el estado de los sensores, botellones y seguridades utilizadas en el proyecto. Con esto se obtiene una respuesta adecuada para las salidas o actuadores, controlando así cualquiera de los casos posibles de funcionamiento y evitando posibles accidentes por error del operario. Es una parte fundamental en el proceso de programación ya que sin esta se ocuparía mucha memoria en el PLC y sería un desperdicio de espacio virtual (tabla 1.1).

Tabla 1.1 Reglas del Algebra de Boole

| | Adición | Producto |
|---|--|--|
| 1 | $a + \bar{a} = 1$ | $a \cdot \bar{a} = 0$ |
| 2 | $a + 0 = a$ | $a \cdot 0 = 0$ |
| 3 | $a + 1 = 1$ | $a \cdot 1 = a$ |
| 4 | $a + a = a$ | $a \cdot a = a$ |
| 5 | $a + b = b + a$ | $a \cdot b = b \cdot a$ |
| 6 | $a + (b + c) = (a + b) + c$ | $a \cdot (b \cdot c) = (a \cdot b) \cdot c$ |
| 7 | $a + (b \cdot c) = (a + b) \cdot (a + c)$ | $a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c$ |
| 8 | $a + a \cdot b = a$ | $a \cdot (a + b) = a$ |
| 9 | $\overline{(a + b)} = \bar{a} \cdot \bar{b}$ | $\overline{(a \cdot b)} = \bar{a} + \bar{b}$ |

Fuente: http://3.bp.blogspot.com/_LzpNVytsEXk/SD5Nqgdsfcl/AAAAAAAAAIE/e7J7oDnQzhg/s320/Dibujo.jpg

2.5.8 LOGO!Soft

“El programa LOGO!Soft ofrece una simulación en PC de un LOGO! preparado. Con el software de programación los programas de conmutación se pueden elaborar, ensayar, modificar, archivar e imprimir directamente en el PC. Esta elaboración offline del programa de conmutación aumenta muy notablemente la facilidad de manejo del LOGO!, para lo que la pantalla refleja una imagen del equipo a programar. Los programas pueden transferirse entonces entre el PC y el LOGO!.[2]

2.5.9 Motor DC Bloqueo Central

Los motores de bloqueo central son motores de corriente continua de 12 voltios. Este tipo de motores tienen dos posiciones (abierto y cerrado). Están compuestos por un pin el cual se mueve de forma horizontal hacia afuera para mantener la posición de cerrado y se contrae para obtener la posición de abierto. Si se lo adapta a un mecanismo pueden ser muy útiles para diferentes propósitos. El objetivo de este motor es el controlar el pin de seguridad del volante, de manera que el operario no pueda abrir el volante cuando el pin del motor se encuentre en posición de bloqueo (figura 1.7).



Figura 1.7 Bloqueo Central

Fuente: http://img2.mlstatic.com/s_MEC_v_O_f_3161527519_092012.jpg

CAPÍTULO II

SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

3.1 INTRODUCCIÓN

La empresa Logichem Solutions S.A. que se está constituyendo desde el año 2012, necesita un sistema de lavado de botellones como parte de su proceso de lavado. Para esto se ha pedido la construcción de un sistema de lavado de botellones de agua en su parte interna con agua caliente y una presión de 1000 psi. Se necesita un sistema semiautomático que sea de fácil acceso al operador y seguro para el mismo. Este proceso toma un tiempo de 1 minuto 45 segundos por ciclo y abarca la cantidad de 3 botellones, después de ser lavados continúan a la siguiente etapa. Los materiales y equipos dados por la empresa constan de 3 jets (marca Bolondi⁴) que son aspersores de 360 grados de 2100 psi (máxima presión de trabajo) y una máquina de lavado a chorro de agua caliente con una presión de salida de 3000 psi (constante). Se realizará el diseño y construcción de la estructura, el control semiautomático y las seguridades necesarias para el uso del sistema antes descrito.

Para seleccionar la alternativa que cumpla con los objetivos propuestos y los requisitos de la empresa se realizará la selección de alternativas por el método de residuos ponderados.

3.2 ESQUEMA

El esquema de la figura 2.1 representa una idea de la forma del sistema, los elementos más importantes a considerar, una referencia de la forma de uso y funcionamiento de las partes de la lavadora.

⁴ Jet Bolondi: Aspersor de 360 grados para limpieza de materiales en superficies cerradas.

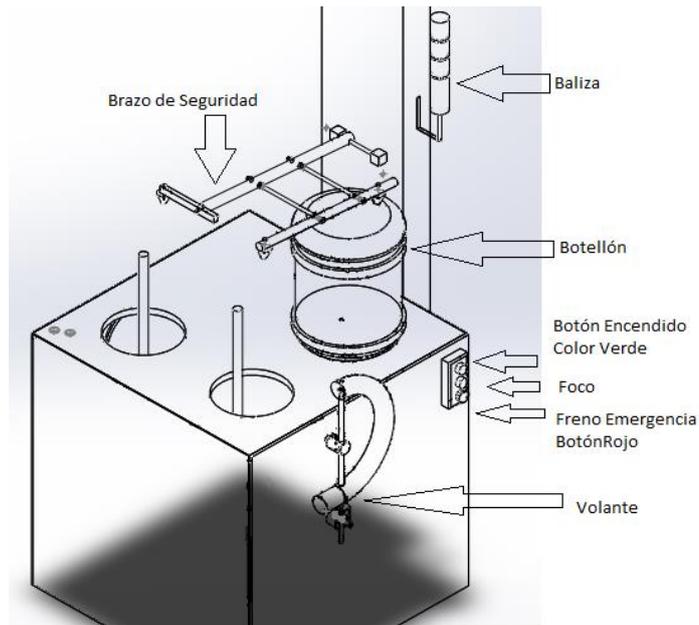


Figura 2.1 Esquema Lavadora de Botellones

3.3 FUNCIONAMIENTO

El Proyecto cubre una etapa fundamental del proceso de lavado de botellones de agua, y se desea garantizar la limpieza de los botellones como un proceso anterior al llenado.

Como condiciones del proceso se tiene una entrada de agua a temperatura de 90°C aproximadamente y presión de 1000 psi promedio, por esta razón es peligroso y se debe tomar medidas de seguridad con el sistema y el control electrónico para precautelar la salud del operario.

El control del sistema es semiautomático. El operario gira el volante para permitir el flujo de agua caliente y al visualizar la alarma de la baliza cierra el volante.

- ✓ Se enciende el tablero de control para activar los sensores y actuadores de la lavadora de botellones.
- ✓ Los botellones son colocados manualmente en cada boquilla. Siempre deben colocarse 3 botellones por ciclo de lavado. Una vez colocados correctamente se enciende la luz verde.
- ✓ El brazo de seguridad se lo coloca en posición horizontal sobre los botellones accionando de esta forma el sistema de seguridad, se enciende

la luz amarilla la cual indica que el brazo de seguridad se encuentra colocado correctamente.

- ✓ Se presiona el botón de encendido de ciclo de lavado para desactivar el seguro de la palanca y permitir la apertura de la válvula.
- ✓ Se gira el volante 90 grados para permitir el paso de agua para lavar los botellones. El proceso dura 1 minuto 45 segundos. Durante el proceso se mantiene activada la luz roja la cual indica que se encuentra en tiempo de lavado.
- ✓ Cuando el proceso finalice se activará la baliza y las tres luces de manera intermitente.
- ✓ Se cierra el volante, se levanta el brazo de seguridad y se retira los botellones.

3.3.1 Diagrama de flujo

En la figura 2.2 se muestra el diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de lavado de botellones.

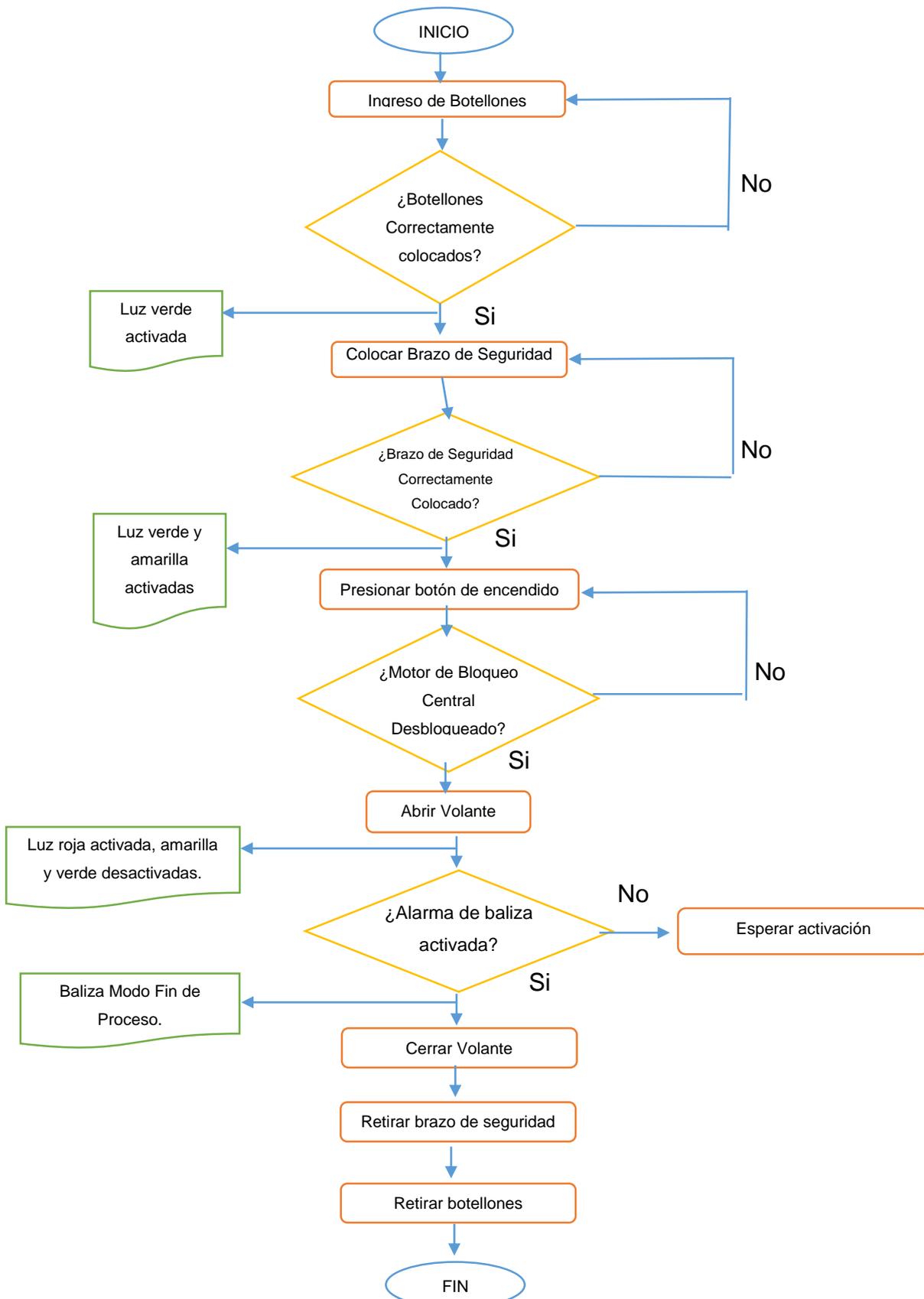


Figura 2.2 Diagrama de flujo del proceso de lavado

3.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

“La decisión de desarrollar un producto parte de la manifestación de una necesidad o del reconocimiento de una oportunidad que puede tener numerosos orígenes comprendidos entre los dos casos extremos siguientes:

- a) La petición explícita de un cliente (producto por encargo, máquina especial)
- b) Un estudio de mercado del fabricante (nueva oferta, rediseño de un producto)

A partir de la manifestación de una necesidad o del reconocimiento de una oportunidad (ya sea por encargo o por consideraciones de mercado), hay que establecer la definición del producto, etapa fundamental para su desarrollo posterior.” [3]

3.5 CASA DE LA CALIDAD

“La primera de estas matrices (o casa de la calidad), traduce las demandas de los usuarios (o voz del cliente) en requerimientos técnicos del producto. Es la de aplicación más frecuente y en ella se distinguen 6 pasos:”[4]

- ✓ Voz del usuario
- ✓ Análisis de competitividad
- ✓ Voz del ingeniero
- ✓ Correlaciones
- ✓ Comparación técnica
- ✓ Compromisos técnicos

3.5.1 Voz del usuario

La voz de usuario son aquellos requerimientos que la persona o cliente desea o necesita. Estos son muy importantes en la etapa de diseño de cualquier máquina ya que indican una clara perspectiva de las características principales del diseño.

Los requerimientos de la empresa Logichem Solutions S. A. para la construcción del Sistema de lavado de botellones son los siguientes:

- ✓ Lavar tres botellones por ciclo.
- ✓ El ciclo tiene una duración de 1 minuto 45 segundos.
- ✓ El sistema debe ser para uso cotidiano y estable.
- ✓ El sistema debe ser seguro para el operador.
- ✓ El mecanismo debe ser de fácil acceso.
- ✓ El área de trabajo máxima es de 1 x 1 x 3 metros.

3.5.2 Voz del ingeniero

La voz del ingeniero es la que se encarga de transformar los requerimientos del cliente (voz de usuario) en especificaciones técnicas y estándares para la construcción del producto o máquina. Los requerimientos del usuario se convierten en datos útiles para el diseño y construcción.

Las especificaciones técnicas que se dan de acuerdo a los requerimientos del usuario son las siguientes:

- ✓ Cantidad de producción.
- ✓ Tiempo de Proceso de lavado.
- ✓ Sistema Robusto.
- ✓ Sistema de seguridad robusto.
- ✓ Mecanismo semiautomático.
- ✓ Ergonómico.
- ✓ Mantenibilidad.
- ✓ Rápido remplazo de repuestos.
- ✓ Repuestos disponibles en Ecuador.

3.5.3 Análisis y conclusiones de la casa de la calidad

La Casa de la Calidad se la utiliza para definir la relación entre los deseos de los clientes (Voz del Usuario) y las especificaciones técnicas (Voz del Ingeniero) como se muestra en la figura 2.3.

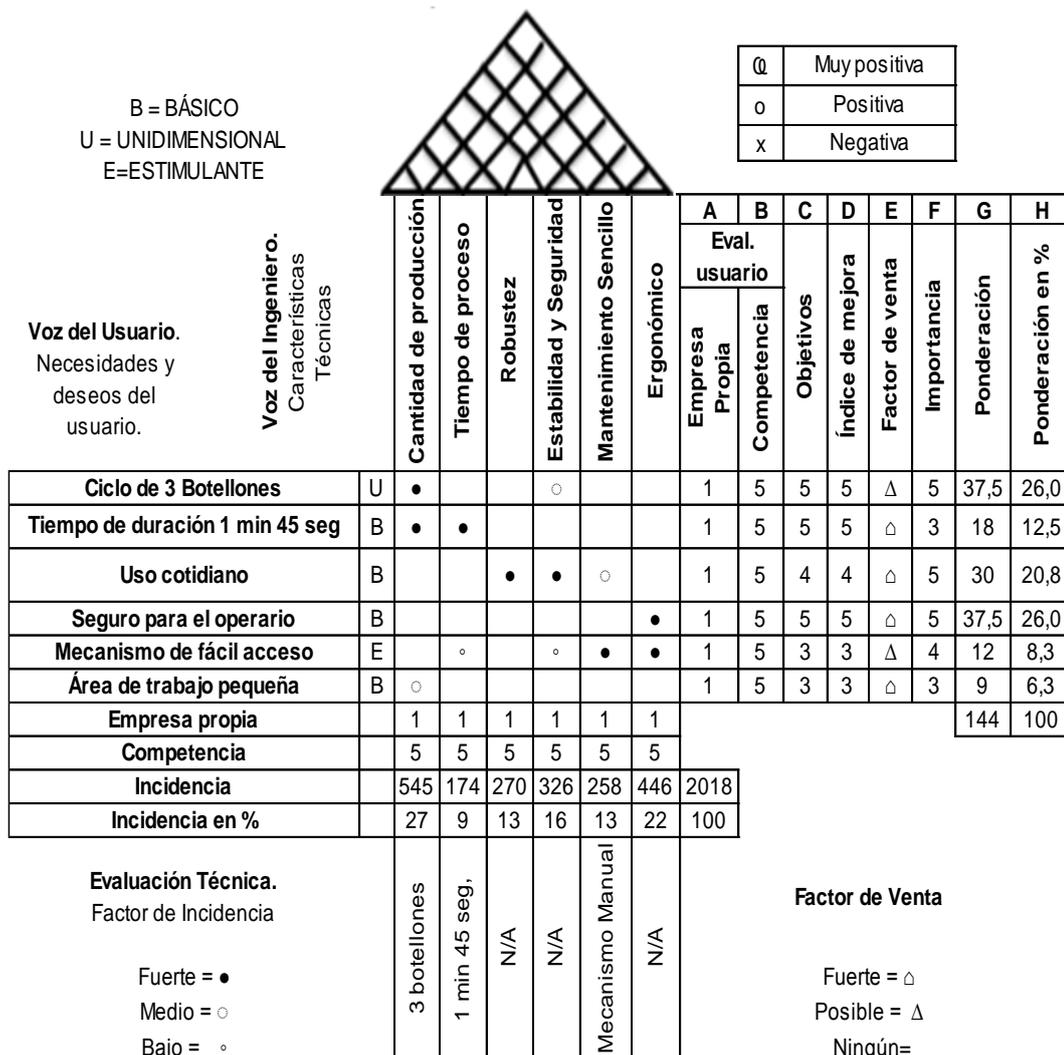


Figura 2.3 Casa de la Calidad

3.6 FORMULACIÓN DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

La especificación del producto es la manifestación explícita del conjunto de determinaciones, características o prestaciones que debe guiar su diseño y desarrollo. Las especificaciones técnicas se muestran en la tabla 2.1. Cabe distinguir entre dos tipos de especificaciones:

- **Requerimiento (R, o especificación necesaria):**
Es toda especificación sin la cual la máquina pierde su objetivo.
- **Deseo (D, o especificación conveniente)**
Es toda especificación que, sin ser estrictamente necesaria para el objetivo de la máquina, mejoraría determinados aspectos de ella.

Tabla 2.1 Tabla de Especificaciones Técnicas de la Empresa Logichem

| | | | | |
|---|--------------|---|------------|--|
| Empresa: Logichem Solutions S.A. | | Producto: Sistema de lavado de botellones de agua | | Fecha inicial: 01/08/2014 Última revisión: 01/10/2014 |
| Diseñador: Carlos Bedón | | | | Página 1 |
| Concepto | Fecha | Propone | R/D | Descripción |
| Función | 01/09/2014 | C | R | Sistema Semiautomático |
| Función | 01/09/2014 | I+C | R | Alimentación eléctrica |
| Función | 01/09/2014 | C | R | Tiempo de lavado 1 min 45 s |
| Función | 01/09/2014 | C | R | Ciclo de 3 botellones |
| Función | 01/09/2014 | I | D | Expansible a 4 botellones por ciclo |
| Función | 01/09/2014 | I+C | R | Trabajo continuo, sistema robusto. |
| Función | 01/09/2014 | I+C | R | Sistema de protección manual. |
| Función | 01/09/2014 | I | D | Sistema de protección automático. |
| Material | 01/09/2014 | I+C | R | Uso de acero inoxidable en la estructura. |
| Dimensión | 01/09/2014 | C | R | Tamaño máximo de 1x1x2 metros |
| Ergonomía | 01/09/2014 | C+I | R | Mantenimiento programado. |
| Ergonomía | 01/09/2014 | C | D | Mecanismo simple. |

Propone: C = Cliente, I = Ingeniero.

R = Requerimiento, D = Deseo

3.7 DISEÑO CONCEPTUAL

“El diseño conceptual parte de la especificación y proporciona como resultado un principio de solución aceptado. Sin embargo, también ofrece resultados a otros dos niveles que tienen su interés y aplicaciones: la estructura funcional y la estructura modular (ver Sección 3.1).

En todas las etapas de diseño (conceptual, de materialización, de detalle) se sigue un proceso de generación de soluciones alternativas que después son simuladas o probadas y evaluadas lo que constituye la base de la decisión de seguir con una de ellas. Sin embargo, el diseño conceptual es la etapa en que este proceso tiene una mayor relevancia y significado, es por esto que esta sección se ha llamado generar el concepto” [5]

3.7.1 Análisis Funcional

Es esta etapa se analiza el funcionamiento del sistema en cada uno de los módulos, se analizan las alternativas, opciones, mecanismos que se pueden utilizar en cada módulo para obtener el funcionamiento óptimo y requerido por la empresa. Se toman en cuenta las especificaciones técnicas y los materiales estándares existentes en la industria.

3.7.2 Definición de módulos funcionales

“Los módulos funcionales son aquellos orientados fundamentalmente a materializar una o más funciones del producto. Prestan atención a la interface de conexión y a los flujos de señales, de energía y materiales con el entorno. Ayudan a organizar e implantar las funciones de un producto durante las etapas de definición y diseño conceptual.” [6]

3.7.2.1 Nivel 0

El nivel 0, representa de forma general el proceso de lavado de botellones con las condiciones principales como son agua caliente y una presión de 1000 psi. Para que se cumpla esta función son necesarios materiales, energía y señales de control eléctricas generadas por los operarios y los sensores del sistema como se muestra en la figura 2.4.

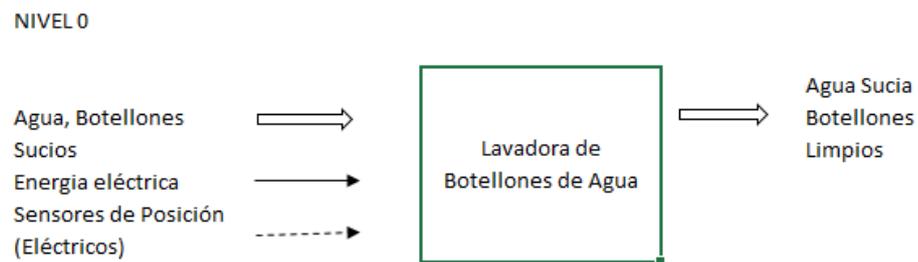


Figura 2.4 Módulo 0 Etapa Principal

3.7.2.2 Nivel 1

En este nivel se describe el proceso de lavado del botellón con cada una de sus funciones como se muestra en la figura 2.5. A continuación se describe las funciones y la importancia de cada módulo:

3.7.2.2.1 Módulo 1: Posicionamiento de Botellones (Color Verde)

Su función es la de indicar el ingreso manual de cada uno de los botellones. También indica el posicionamiento correcto de cada uno de ellos y la activación de los fines de carrera o las señales eléctricas que producen una salida señalando el correcto estado de los botellones en la estructura.

3.7.2.2.2 Módulo 2: Proceso de lavado (Color Azul)

Esta es la parte de seguridad y tiempo de lavado con sus respectivos recursos, se activa al recibir las señales necesarias del módulo uno y también calcula el tiempo de trabajo y envía señales de salida las cuales indican el final del proceso y el inicio de la etapa final.

3.7.2.2.3 Módulo 3: Despacho de Botellones (Color Rojo)

Indica el final del proceso, es la etapa despacho o culminación de actividades, en esta etapa se reciben señales para que el operario cierre la válvula y pueda retirar los botellones para continuar con el proceso de lavado.

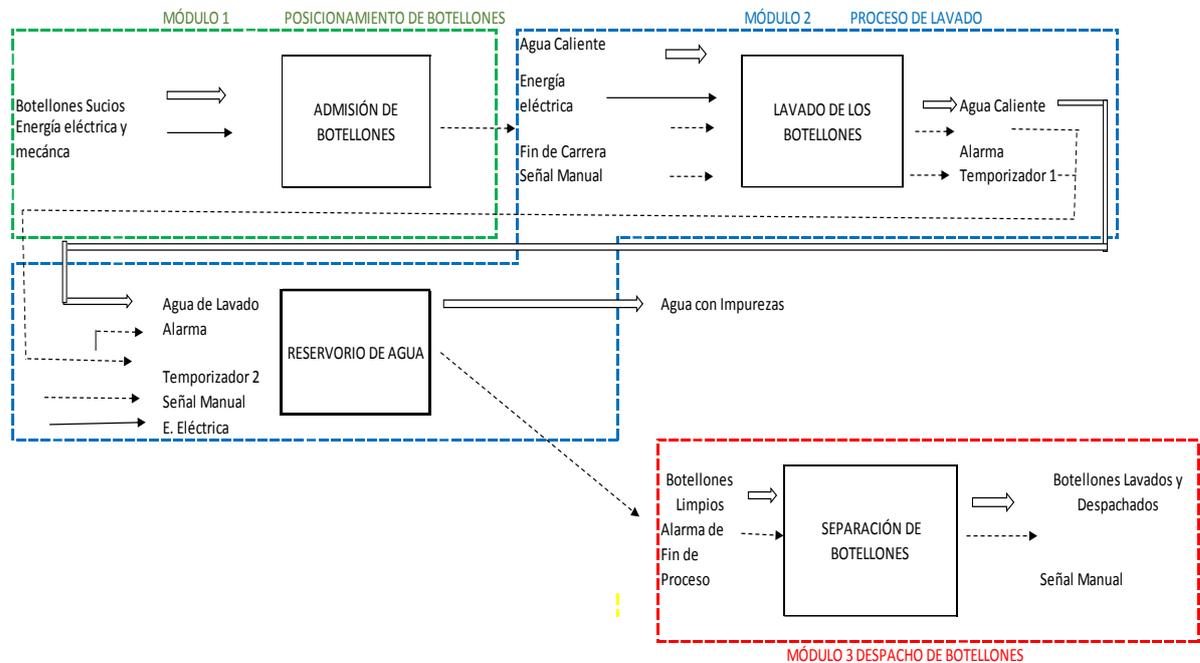


Figura 2.5 Módulo 2 Proceso de Lavado

Se realiza un resumen de las funciones de cada módulo que ayuda en el siguiente punto. Para obtener las alternativas de cada una se especifican las funciones de cada módulo puntualmente. Como se observa en la Figura 2.5 cada módulo tiene su función que es evaluada en el siguiente punto tomando en consideración la voz del usuario y la voz del ingeniero.

Funciones módulo 1:

- Admisión de botellones

Funciones módulo 2:

- Mecanismo de Accionamiento o encendido del sistema.
- Control electrónico.
- Sensores electrónicos

Funciones módulo 3:

- Señales de aviso
- Separación o despacho de botellones

3.7.3 Soluciones de los módulos

Las soluciones de los módulos son las alternativas viables que se tiene para realizar las actividades o funciones de cada módulo, de estas alternativas se selecciona todas las posibles alternativas que se tiene para la construcción del sistema. En esta parte se toma en consideración la voz del usuario y la voz del ingeniero que son parte fundamental del diseño.

3.7.3.1 Módulo 1: Posicionamiento de Botellones

En la tabla 2.2 se encuentra la alternativa para el módulo 1.

Tabla 2.2 Solución Nivel 1

| Posicionamiento de botellones en la máquina | |
|--|---|
|  <p><i>Figura 2.6 Trabajo realizado por el operario</i></p> | <p>Manual: Se tiene como requerimiento de la empresa que el operario coloque los botellones en la máquina.</p> |

3.7.3.2 Módulo 2: Proceso de Lavado

En la tabla 2.3 se encuentran las posibles alternativas para el módulo 2.

Tabla 2.3 Solución Módulo 2

| Mecanismo de Accionamiento o Apertura de la Válvula | |
|--|---|
|  <p style="text-align: center;">Figura 2.7 Palanca Manual</p> | <p>Palanca Manual: Se tiene facilidad de uso, incrementa el tiempo de vida útil.</p> |
| Control electrónico | |
|  <p style="text-align: center;">Figura 2.8 Controlador Lógico Programable</p> | <p>PLC: Aporta beneficios como seguridad, robustez y mayor tiempo de uso. Se lo utiliza para procesos de trabajo continuo. Fácil de programar. Facilidad para conectar con un ordenador.</p> |
|  <p style="text-align: center;">Figura 2.9 Microcontrolador</p> | <p>Microcontrolador: Se reducen costos en el sistema, el sistema es único, no es estándar. Poca memoria. Facilidad para conectar con un ordenador.</p> |
|  <p style="text-align: center;">Figura 2.10 Arduino</p> | <p>Arduino: Ofrece un bajo costo, mucha información sobre su utilización, sistemas electrónicos adaptables fácilmente. Poca memoria. Facilidad para conectar con un ordenador.</p> |

Sensores Electrónicos



Figura 2.11 Sensor Inductivo

Inductivo: Ofrece una señal análoga que indica tanto la posición como la distancia. Útil cuando el material no deba ser tocado o se necesite saber distancias.



Figura 2.12 Sensor Capacitivo

Capacitivo: Ofrece una señal análoga que indica tanto la posición como la distancia, útil cuando el material no deba ser tocado o se necesite saber distancias.



Figura 2.13 Final de carrera

Fin de carrera: Ofrece una señal digital, esta indica si el objeto se encuentra o no en la posición deseada. Se lo coloca dependiendo de las necesidades y útil para trabajo continuo.

3.7.3.3 Módulo 3: Despacho de Botellones

En la tabla 2.4 se encuentran las posibles alternativas para el módulo 3.

Tabla 2.4 Solución Módulo 3

| Señales de aviso | |
|---|---|
|  | <p>Sirena: Es un aviso auditivo. Se lo utiliza combinada con un aviso visual en ambientes de trabajo ruidosos, puede ocasionar molestias si se activa en tiempos cortos.</p> |
|  <p style="text-align: center;"><i>Figura 2.15 Luz de aviso</i></p> | <p>Luz: Es un aviso visual, se lo utiliza para determinar comienzo, final o alerta de procesos. Muy utilizado en la industria.</p> |
|  <p style="text-align: center;"><i>Figura 2.16 Baliza</i></p> | <p>Baliza: Combinación de aviso visual y auditivo. Tiene diferentes colores de luces por lo general amarilla, roja y verde más un aviso auditivo. Se la programa dependiendo de las necesidades del usuario.</p> |

| Separación de botellones | |
|---|--|
|  <p><i>Figura 2.17 Trabajo realizado por el operario</i></p> | <p>Manual: Se tiene como requerimiento de la empresa que el operario separe los botellones en la máquina.</p> |

3.8 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Se realiza un cuadro de ventajas y desventajas de los diferentes elementos que existen en el análisis de alternativas como se muestra en las tablas 2.5, 2.6 y 2.7.

3.8.1 Control electrónico

En la tabla 2.5 se realiza una comparación de las ventajas y desventajas de las alternativas del Control Electrónico.

Tabla 2.5 Comparaciones de Alternativas Control Electrónico

| Control Electrónico | Ventajas | Desventajas |
|----------------------------|--|--|
| PLC Siemens Logo Ethernet | <ul style="list-style-type: none"> • Estable para trabajo continuo. • Tiene soporte técnico garantizado. • Cumple con Estándares Nacionales. • Salidas tipo relay. | <ul style="list-style-type: none"> • Alto costo. |
| Arduino | <ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo • Fácil programación • Mayor número de entradas y salidas. | <ul style="list-style-type: none"> • Poco común en la industria. • Salidas necesitan circuitos adicionales. • Memoria limitada. |

| | | |
|------------------|---|---|
| Microcontrolador | <ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo • Mayor número de entradas y salidas. | <ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento complicado. • Salidas necesitan circuitos adicionales. |
|------------------|---|---|

3.8.2 Sensores de entrada

En la tabla 2.6 se realiza una comparación de las ventajas y desventajas de las alternativas de los sensores de entrada.

Tabla 2.6 Comparaciones de Alternativas Sensores de Entrada

| Sensores de Entrada | Ventajas | Desventajas |
|---------------------|---|---|
| Fin de Carrera | <ul style="list-style-type: none"> • Útil en procesos repetitivos • Bajo costo • Para trabajo continuo • Poco Mantenimiento • Digital | <ul style="list-style-type: none"> • No mide distancia • Necesita ser colocado en una posición fija • Necesita tener contacto con el elemento a detectar |
| Sensor de Inductivo | <ul style="list-style-type: none"> • Útil en procesos repetitivos • Alto costo • Para trabajo continuo • Indica distancia y posición • Analógico o Digital • No necesita de contacto con el elemento a detectar | <ul style="list-style-type: none"> • Se necesita módulos de PLC adicionales para su trabajo |
| Sensor Capacitivo | <ul style="list-style-type: none"> • Útil en procesos repetitivos • Alto costo • Para trabajo continuo • Indica distancia y posición • Analógico o Digital • No necesita de contacto con el elemento a detectar | <ul style="list-style-type: none"> • Se necesita módulos de PLC adicionales para su trabajo |

3.8.3 Señales de Aviso

En la tabla 2.7 se realiza una comparación de las ventajas y desventajas de las alternativas de las Señales de aviso.

Tabla 2.7 Comparaciones de Alternativas Señales de aviso

| Señales de aviso | Ventajas | Desventajas |
|------------------|--|--|
| Baliza | <ul style="list-style-type: none"> • Aviso Visual • Aviso Auditivo • Incluye varios tipos de salida visual • Programable | |
| Luz | <ul style="list-style-type: none"> • Aviso visual | <ul style="list-style-type: none"> • Poco útil en lugares con puntos ciegos |
| Sirena | <ul style="list-style-type: none"> • Aviso auditivo | <ul style="list-style-type: none"> • Poco útil en lugares que tienen ruido |

3.9 MATRIZ MORFOLÓGICA

Tomando en cuenta todas las alternativas de los módulos se crea una matriz morfológica que indica el número de opciones viables para la construcción del sistema; con esto se puede realizar las respectivas comparaciones y obtener la selección del sistema que cumpla con todos los requerimientos y sea óptimo. Como se indica en la tabla 2.18.

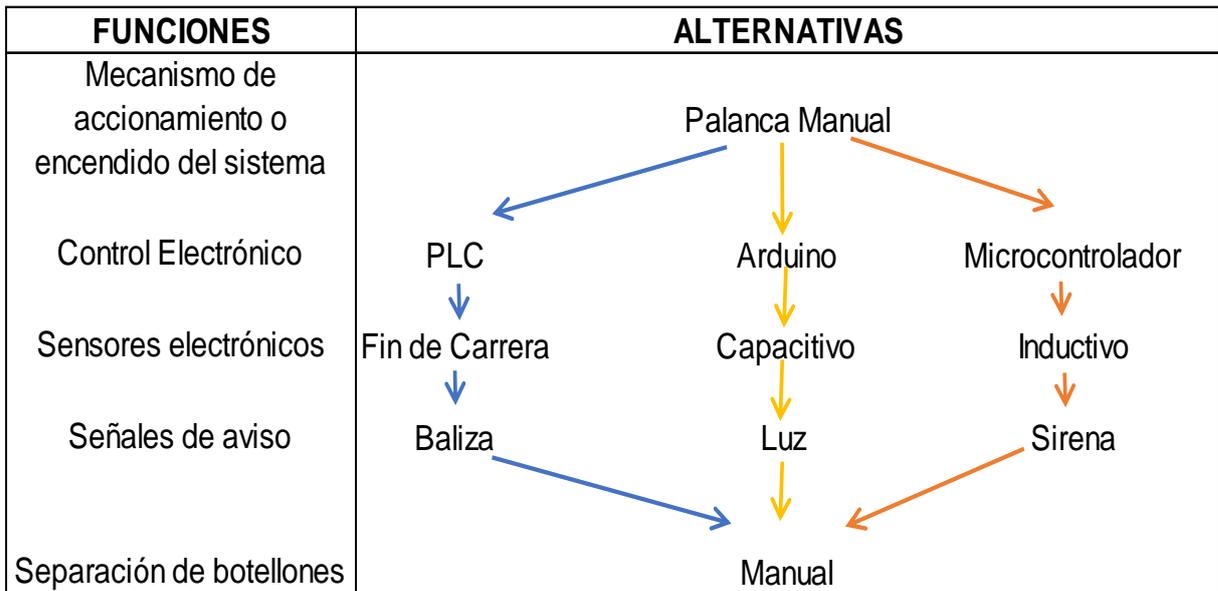


Figura 2.18 Matriz Morfológica

3.9.1 Solución de la matriz morfológica

Se toman en cuenta las soluciones factibles que resultan de la creación de la matriz morfológica. Luego de ser analizadas se selecciona la alternativa que cumple los requerimientos del proyecto de manera óptima.

3.9.1.1 Opción Uno

Se realiza el ingreso de forma manual. Los sensores son fines de carrera que están monitoreados por un PLC. La alarma de aviso de salida es a través de una baliza. Se realiza un despacho manual.

3.9.1.2 Opción Dos

Se realiza el ingreso de forma manual. Los sensores son fines de carrera que están monitoreados por un Arduino. La alarma de aviso de salida es a través de una luz de advertencia (licuadora). Se realiza un despacho manual.

3.9.1.3 Opción Tres

Se realiza el ingreso de forma manual. Los sensores son inductivos monitoreados por un Microcontrolador. La alarma de aviso de salida es a través de una sirena. Se realiza el despacho manual.

El sensor capacitivo no fue tomado en cuenta porque los beneficios del mismo no corresponden al costo, implementación y forma de uso del sensor para este proyecto.

3.10 MATRIZ DE RESIDUOS PONDERADOS

En esta sección se realiza el análisis de la mejor opción dependiendo de las necesidades o características principales que tiene la maquina o sistema. Se toma en consideración las siguientes recomendaciones y requerimientos analizados junto con la empresa:

- ✓ El sistema debe ser seguro para el operario por sobre toda importancia.
- ✓ El sistema es para trabajo cotidiano.
- ✓ Se puede dar un mantenimiento fácil y rápido ya que es parte fundamental del proceso.
- ✓ Se toma en cuenta el costo de los materiales y mecanismos, se desea que sean fáciles de conseguir en el mercado Ecuatoriano.

Con estas especificaciones se realiza la matriz de residuos ponderados que se encuentra a continuación en las tablas 2.8 – 2.12.

Los criterios tomados en cuenta para la construcción son:

- ✓ Robustez
- ✓ Mantenibilidad
- ✓ Precio o Costo
- ✓ Seguridad

3.10.1 Evaluación del peso específico de cada criterio

En esta sección se analiza los criterios y su importancia en el desempeño del sistema, esto ayuda en la parte de selección de alternativas para escoger la opción que mejor se adapte a los requerimientos.

En la Tabla 2.8 se observa con letras de color rojo el orden de importancia de cada criterio, siendo el más importante la Seguridad, seguido por Robustez, Mantenibilidad y como último el Costo, ya que uno de los objetivos principales es que el sistema sea seguro para el operario.

En el análisis se realiza una comparación de todos los criterios; por esta razón, al tener 4 criterios fundamentales, se construye 12 comparaciones. Cuando un criterio tiene mayor relevancia con respecto a otro tiene un valor de 1, cuando dos criterios tengan la misma relevancia obtienen un valor de 0.5 y por último si el criterio es de menor importancia obtiene un valor de 0.

Tabla 2.8 Evaluación del peso específico por criterios

Seguridad > Robustez = Mantenibilidad > Costo

| CRITERIOS | Robustez | Costo | Mantenibilidad | Seguridad | SUMA + 1 | Ponderación |
|-----------------------|----------|-------|----------------|-----------|----------|-------------|
| Robustez | | 1 | 1 | 0 | 3 | 0,28 |
| Costo | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0,09 |
| Mantenibilidad | 0,5 | 1 | | 0 | 2,5 | 0,23 |
| Seguridad | 1 | 1 | 1 | | 4 | 0,38 |
| | | | | SUMA | 10,5 | 1 |

3.10.2 Evaluación de alternativas por criterios

En esta sección se analiza y evalúa las Soluciones de la Matriz Morfológica con respecto a cada criterio que se encuentra en la Tabla 2.8. Este proceso es necesario para evaluar la relevancia que tiene cada una de las opciones y poder seleccionar la adecuada.

En este análisis se realiza una comparación de todas las alternativas seleccionadas. Cuando una opción o alternativa tiene mayor beneficio con respecto a otra tiene un valor de 1, cuando las dos opciones tengan el mismo beneficio obtiene un valor de 0.5 y por último si la opción no tiene mejor beneficio con la que se la compara obtiene un valor de 0.

3.10.2.1 Evaluación del peso específico para el criterio Robustez

Para el criterio de Robustez se analiza las ventajas y desventajas de los elementos que se encuentran Tabla 2.5, Tabla 2.6 y Tabla 2.7, se ha tomado el siguiente orden desde la opción que tiene mejor prestación de la siguiente manera:

- I. Opción 1
- II. Opción 2
- III. Opción 3

Tabla 2.9 Evaluación del peso específico por el criterio de robustez

| Opción 1 > Opción 2 > Opción 3 | | | | | |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|-------------|
| DIMENSIONES | Opción 1 | Opción 2 | Opción 3 | SUMA + 1 | PONDERACIÓN |
| Opción 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0,5 |
| Opción 2 | 0 | 1 | 0,5 | 1,5 | 0,25 |
| Opción 3 | 0 | 0,5 | 1 | 1,5 | 0,25 |
| | | | Suma | 6 | 1 |

3.10.2.2 Evaluación del peso específico para el criterio Mantenibilidad

Para el criterio de Mantenibilidad, se analiza las ventajas y desventajas de los elementos que se encuentran Tabla 2.5, Tabla 2.6 y Tabla 2.7, se ha tomado el siguiente orden desde la opción que tiene mejor prestación de la siguiente manera:

- I. Opción 1
- II. Opción 2
- II. Opción 3

Tabla 2.10 Evaluación del peso específico por el criterio de Mantenibilidad

| Opción 3 > Opción 2 > Opción 1 | | | | | |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|-------------|
| DIMENSIONES | Opción 1 | Opción 2 | Opción 3 | SUMA + 1 | PONDERACIÓN |
| Opción 1 | | 0 | 0 | 1 | 0,17 |
| Opción 2 | 1 | | 0 | 2 | 0,33 |
| Opción 3 | 1 | 1 | | 3 | 0,5 |
| | | | SUMA | 6 | 1 |

3.10.2.3 Evaluación del peso específico para el criterio Costo

Para el criterio de Costo, analizando las ventajas y desventajas de los elementos que se encuentran Tabla 2.5, Tabla 2.6 y Tabla 2.7, se ha tomado el siguiente orden desde la opción que tiene mejor prestación de la siguiente manera:

- I. Opción 3
- II. Opción 2
- III. Opción 1

Tabla 2.11 Evaluación del peso específico por el criterio de Costo

| Opción 1 > Opción 2 = Opción 3 | | | | | |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|-------------|
| DIMENSIONES | Opción 1 | Opción 2 | Opción 3 | SUMA + 1 | PONDERACIÓN |
| Opción 1 | | 1 | 1 | 3 | 0,5 |
| Opción 2 | 0 | | 0,5 | 1,5 | 0,25 |
| Opción 3 | 0 | 0,5 | | 1,5 | 0,25 |
| | | | SUMA | 6 | 1 |

3.10.2.4 Evaluación del peso específico para el criterio Seguridad

Para el criterio de Seguridad, analizando las ventajas y desventajas de los elementos que se encuentran Tabla 2.5, Tabla 2.6 y Tabla 2.7, se ha tomado el siguiente orden desde la opción que tiene mejor prestación de la siguiente manera:

- I. Opción 1
- II. Opción 2
- III. Opción 3

Tabla 2.12 Evaluación del peso específico por el criterio de Seguridad

| Opción 1 > Opción 2 > Opción 3 | | | | | |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|-------------|
| DIMENSIONES | Opción 1 | Opción 2 | Opción 3 | SUMA + 1 | PONDERACIÓN |
| Opción 1 | | 1 | 1 | 3 | 0,5 |
| Opción 2 | 0 | | 1 | 2 | 0,33 |
| Opción 3 | 0 | 0 | | 1 | 0,17 |
| | | | SUMA | 6 | 1 |

3.10.3 Esquema de la solución

En esta tabla se analiza los resultados matemáticos de este método para saber el orden de importancia de las opciones obtenidas. Se toma en cuenta la ponderación de cada criterio de la Tabla 2.8 la cual indica el orden de importancia del criterio expresado matemáticamente. Este valor se multiplica con la ponderación de cada opción con respecto a cada criterio, ubicado en las Tablas 2.9, 2.10, 2.11 y 2.12. Con el resultado se selecciona la mejor opción según la importancia de los requerimientos de la empresa y la voz del ingeniero. Se enumera en la tabla el orden de importancia dando 1 a la mejor alternativa y así sucesivamente. Para esto se debe conocer que la mejor alternativa es la que tenga la mayor sumatoria en la Tabla 2.13.

Como ejemplo en la Tabla de Peso Específico por criterios la ponderación de Robustez es de 0.285 (Tabla 2.8), la Opción 1 en la Tabla de Peso Específico criterio Robustez (Tabla 2.9) tiene una ponderación de 0.5. Por esta razón en la tabla de conclusiones (Tabla 2.13) el resultado es $0.285 \times 0.5 = 0.14$.

Tabla 2.13 Tabla de Conclusiones de Selección de Alternativas

| Conclusiones | Robustez | Costo | Mantenibilidad | Seguridad | SUMATORIA | PRIORIDAD |
|--------------|----------|-------|----------------|-----------|-----------|-----------|
| Opción 1 | 0,14 | 0,02 | 0,12 | 0,19 | 0,47 | 1 |
| Opción 2 | 0,07 | 0,03 | 0,06 | 0,13 | 0,29 | 2 |
| Opción 3 | 0,07 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,24 | 3 |
| | | | | | 1,00 | |

Se realizó el análisis de alternativas tomando todas las consideraciones importantes, tanto las del cliente como las del ingeniero, gracias a esto se ha llegado a la conclusión que la mejor alternativa es:

Opción Uno

Se realiza el ingreso de forma manual. Los sensores son fines de carrera que están monitoreados por un PLC. La alarma de aviso de salida es a través de una baliza. Se realiza un despacho manual.

CAPÍTULO III

DISEÑO, CÁLCULOS E IMPLEMENTACIÓN

4.1 SISTEMA ELÉCTRICO

El sistema eléctrico del proyecto está controlado por un PLC LOGO de marca Siemens, el cual se encargará de obtener las señales de los sensores de entrada, procesarlas y enviar las órdenes o acciones de salida para los actuadores.

En esta sección se obtiene una lista de los sensores, actuadores, dispositivos electrónicos y máquinas que se utilizan para el control y funcionamiento de la lavadora. Se debe tomar muy en cuenta que existen elementos que son entregados por la empresa como requisito para la construcción del proyecto. Se observa en la Tabla 3.1 los elementos entregados por la empresa Voz del Usuario y los seleccionados por la Voz del Ingeniero.

4.1.1 Sensores, Actuadores y Máquinas

En la Tabla 3.1 da la lista de elementos electrónico a utilizar en este proyecto detallando marca, modelo y la razón de su selección.

Tabla 3.1 Lista de Elementos Electrónicos

| | Ítem | Marca | Modelo | Cantidad | Descripción |
|--------------------------|----------------------------|--------------|-----------------------------------|----------|---|
| Voz del Usuario | Máquina de lavado a chorro | All American | NH4030EBNA | 2 | Máquina de lavado a chorro, entregada por la empresa para el proceso de lavado. |
| Voz del Usuario | Jet | Bolondi | ROTY 018 | 3 | Aspersores entregados por la empresa para el lavado de botellones. |
| Voz del Ingeniero | PLC | SIEMENS | LOGO 230 RCE ETHERNET 8E/4S | 1 | Seleccionado por la fiabilidad, calidad, soporte técnico y gran gama de accesorios. |

| | | | | | |
|--------------------------|-----------------------|-----------|--|----|--|
| Voz del Ingeniero | Extensión PLC | Siemens | Extensión LOGO 230 RCE ETHERNET 4E/4S | 1 | Adicional para complementar las salidas PLC. |
| Voz del Ingeniero | Fin de Carrera | YC-NJ | Resorte Largo | 4 | Seleccionado por su fiabilidad y costo. |
| Voz del Ingeniero | Baliza | Sin Marca | 110v Am/Ver/Ro | 1 | Seleccionada por su tamaño, utilidad y facilidad de control |
| Voz del Ingeniero | Cable | Flexible | N. 16 | 60 | Cable recomendado en el Manual Logo! Directrices Generales. Página 11. |
| Voz del Ingeniero | Contactador | Siemens | 25 A | 2 | Seleccionado por especificaciones técnicas de la máquina de lavado a chorro. |
| Voz del Ingeniero | Motor Bloqueo Central | Sin marca | Único | 1 | Seleccionado por costo, funcionamiento y facilidad de instalación. |
| Voz del Ingeniero | Pulsador | PTC | Marcha verde | 1 | Seleccionado por su calidad. |
| Voz del Ingeniero | Pulsador | PTC | Hongo Rojo | 3 | Seleccionado por su calidad y funcionalidad. |

4.1.2 Diseño del circuito de Paro de Emergencia

El sistema de Paro de Emergencia está construido con el objetivo de desconectar la máquina de lavado a chorro de forma inmediata en cualquier caso de emergencia. Se ha realizado un esquema eléctrico, en la Figura 3.1 se observa cómo está diseñado.

4.1.2.1 Funcionamiento

Para el diseño de este sistema se considera 3 puntos de referencia principales como son:

- ✓ Área de Trabajo
- ✓ Área de Panel de Control
- ✓ Área de máquinas

El sistema está constituido por 3 botones tipo hongo de emergencia (E1, E2, E3) en los lugares antes seleccionados como se muestra en la figura 3.1. Los tres botones están conectados en serie, y pasan por una salida del PLC que es el Freno de Emergencia Automático (I3), el cual es analizado en la sección de programación. Los botones de emergencias están conectados a los contactores de la máquina de lavado a chorro y a una entrada del PLC para saber si fueron activados. Son de tipo normalmente cerrados por esta razón siempre están activos a menos de que se cambie su estado.

Una de las condiciones importantes de este freno es que, el sistema funciona si los botones de emergencia están desactivados y el sistema de Freno Automático está activo. Solo si cumple estos requerimientos los contactores reciben la señal de apertura para que funcione la máquina de lavado a chorro. También se debe mencionar que el freno de emergencia manual no depende del automático, es totalmente independiente y desactiva directamente la fuente de electricidad, no como en el caso del freno automático que depende del freno manual que debe estar desactivado para poder activar el automático.

4.1.2.2 Diseño

Se observa en la Figura 3.1 que los botones de emergencia desactivan directamente la bobina del contactor al ser activados y dependen de la señal de freno automático. Con esto se garantiza que el sistema de paro de emergencia sea robusto.

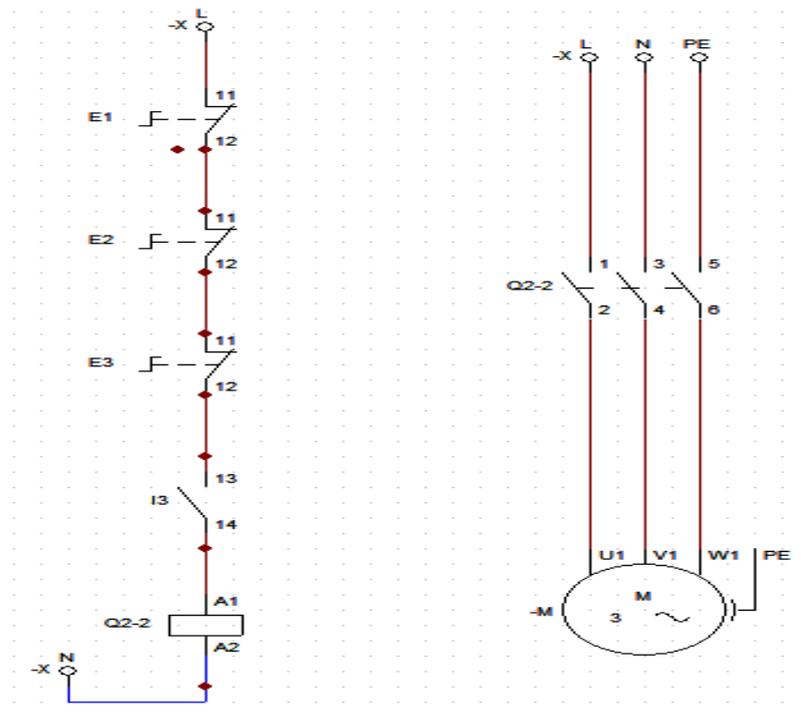


Figura 3.1 Diagrama Freno de emergencia

4.1.3 Diseño de Circuito Puente H

El circuito de puente en h es aquel que utilizan los motores de corriente continua para poder invertir de sentido de giro del motor. Cuando el motor tiene dos estados (abierto-cerrado) sirve para cambiar de estado al invertir la fuente de alimentación.

4.1.3.1 Funcionamiento

En el proyecto se lo utiliza para el control del motor de bloqueo central, este tiene la función de mantener cerrado o abierto un pin de seguridad. El pin de seguridad bloquea o permite el movimiento del volante, este se encarga de permitir el flujo de agua que lava los botellones.

El motor de bloqueo central está adaptado a un circuito eléctrico llamado Puente H que es controlado desde el PLC. La fuente de alimentación de este motor es de 12 voltios y para su óptimo funcionamiento debe ser activado por un impulso electrónico de 10 milisegundos.

Se ha seleccionado este tipo de motor por las siguientes razones:

- ✓ Facilidad de compra en el mercado ecuatoriano
- ✓ Facilidad en el control
- ✓ Costo
- ✓ Facilidad de instalación
- ✓ No necesita mantenimiento

4.1.3.2 Diseño

El circuito está diseñado en Proteus 7 y tiene la función de invertir la fuente de alimentación del motor para que este se abra o se cierre. Se puede ver la lista de materiales en la Figura 3.2 y su diseño en la Figura 3.3.

4.1.3.3 Materiales

```

Lista de Materiales
-----
Diseño : PUENTE H
Doc. no.: 1
Revision: LEONARDO WILD
Autor: CARLOS BEDÓN
Creado: 08/03/14
Modificado: 10/01/15

CANT PARTES VALOR
-----
Resistencias
-----
2 R1,R2 470
1 R3 10k

Diodos
-----
2 D1,D2 1N4007

Misceláneo
-----
1 ENTRADA TBLOCK-I4
2 FUENTE,SALIDA MOTOR TBLOCK-I2
1 LUZ ENCENDIDO LED-GREEN
2 RELAY1,RELAY2 12V
2 TRANSISTOR1,TRANSISTOR2 2N3904

```

Figura 3.2 Lista de Materiales Puente H

4.1.3.4 Diseño en Proteus

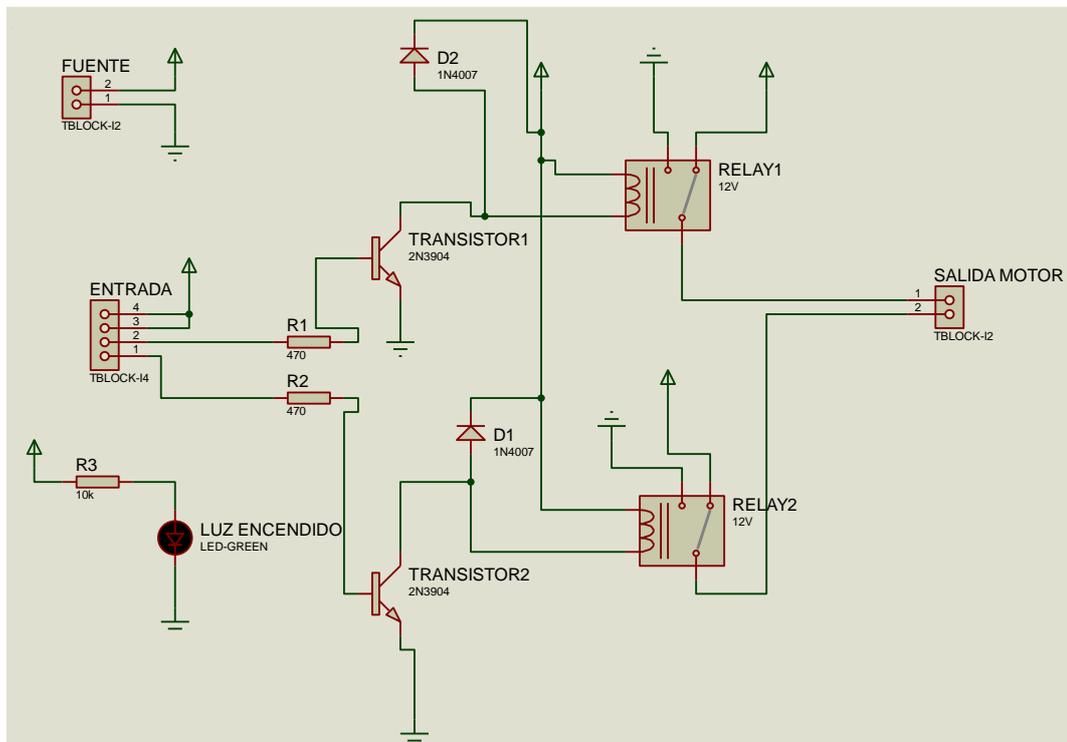


Figura 3.3 Puente H Motor Bloqueo Central

4.2 MECÁNICA

En el diseño de la parte mecánica se toma como referencia la estructura de la empresa matriz de Estados Unidos, en el Anexo C se observan las medidas y dimensiones de la estructura.

En este capítulo se realiza los cálculos del análisis estructural y presión de salida del agua para reafirmar el buen diseño y funcionamiento del sistema en la Empresa Matriz. También se realiza algunas modificaciones para adaptarlo a un sistema semiautomático con repuestos que se encuentren en el país. Los mecanismos que se encuentran en el sistema son:

- ✓ Volante acoplado a la válvula de agua para facilitar el trabajo del operario. Los planos se encuentran en el Anexo C. Como se muestra en la figura 3.4.

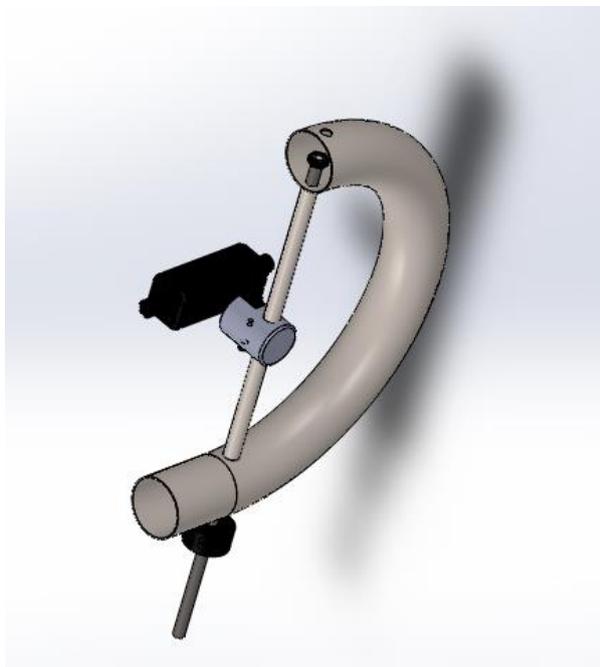


Figura 3.4 Esquema del mecanismo del Volante de válvula de agua

- ✓ Mecanismo de bloqueo del volante de la válvula de agua como medida de seguridad. El mecanismo es sencillo, el motor de bloqueo central abre o cierra un pin cilíndrico, el cual bloquea o habilita el giro del volante. Como se muestra en la figura 3.5.

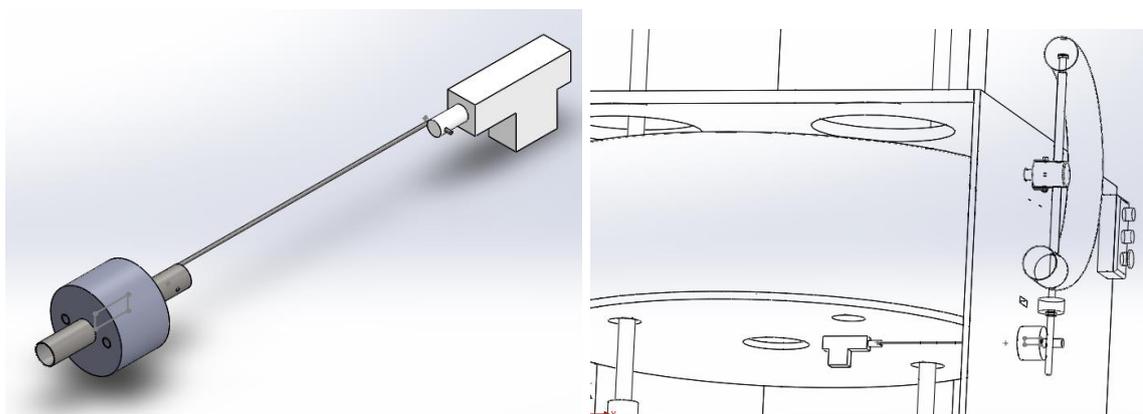


Figura 3.5 Esquema del mecanismo de Bloque del Volante

- ✓ Brazo de seguridad para los botellones de agua. Este brazo funciona con un fin de carrera que indica si el brazo se encuentra colocado encima de los botellones como medida de seguridad. Como se muestra en la figura 3.6.

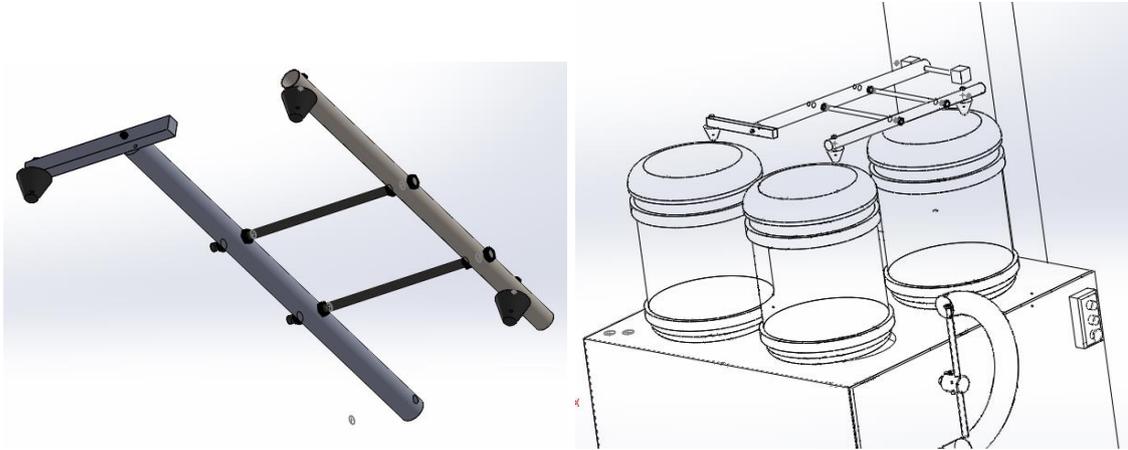


Figura 3.6 Brazo de seguridad para botellones de agua

4.2.1 Selección de Materiales

Para la selección de materiales se toma en consideración que el producto final es para el consumo humano, por esta razón existen leyes y normas que regulan el uso de equipos y materiales aptos para el uso en la industria alimenticia.

Los materiales tienen que cumplir la norma ISO 21469 de uso de Materiales en la Industria Alimenticia. La cual indica que los materiales deben ser resistentes a la corrosión, no tóxicas, no absorbentes e inocuas.

Hay que considerar que las partes de las instalaciones utilizadas deben ser de un material anticorrosivo y lavable o desinfectable, puesto que a largo plazo pueden aparecer focos de infección.

Para cumplir con los requerimientos y normas que tiene el proyecto se utilizará acero inoxidable AISI 304 para la parte de la estructura. La tubería es de acero inoxidable AISI 304 y soporta el doble de la presión a utilizar (6000 psi). Los elementos en contacto con el botellón son de nylon blanco, material fácil de lavar y desinfectar.

También se tomó en cuenta que los equipos en contacto con el botellón sean los apropiados, con materiales fáciles de lavar y desinfectar.

4.2.2 Diseño y Cálculos de la estructura o bancada

La bancada es la parte del proyecto que está encargada de soportar el peso de los botellones, la plancha de nylon, el tanque de agua y los jets que son elementos del proyecto. La figura 3.7 da una referencia de la posición de los elementos para realizar el análisis estructural de la misma.

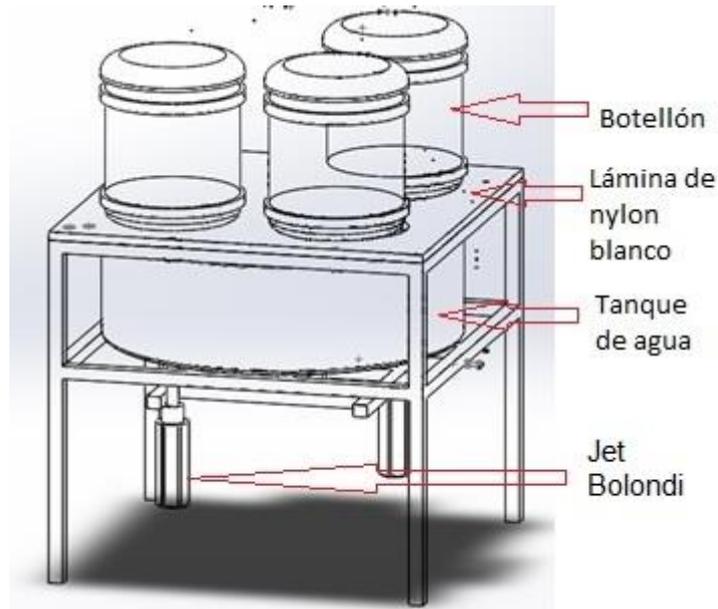


Figura 3.7 Bancada o Estructura Metálica

Se muestran los pesos de los elementos que soporta la bancada (figura 3.7), con esta información se puede realizar los cálculos del análisis estructural.

| ELEMENTO | MASA (Kg) | PESO (Newton) |
|----------------------------|-----------|---------------|
| Lámina de Nylon | 21.89 kg | 218.9 N |
| Jet Bolondi (x 3 unidades) | 15 kg | 150 N |
| Botellones (x 3 unidades) | 3 kg | 30 N |
| Tanque de agua | 20 kg | 200 N |

4.2.2.1 Análisis de Resistencia de la Bancada

En esta sección se selecciona el perfil adecuado para la construcción de la bancada que soporta el peso de los elementos. Para esto se determina la fuerza total aproximada a soportar con la ecuación 1.

$$F_T = \left(3 * W_J + 3 * W_B + \frac{W_T}{A_T} * L + \frac{W_N}{A_N} * L + W_P \right) \cdot F_c \quad (1)$$

Donde:

F_T = Fuerza Total [N]

W_J = Peso de los Jets Bolondi = 50 [N]

W_T = Peso del Tanque de agua = 200 [N]

W_N = Peso de la plancha de Nylon = 218.9 [N]

W_B = Peso del botellón = 10 [N]

W_P = Peso de una persona promedio de 70 kg = 700 [N]

F_c = Factor de carga = 2

Se reemplaza los valores en la ecuación 1:

$$F_T = \left(3 * 50 \text{ N} + 10 \text{ N} + \frac{200 \text{ N}}{2 * \pi * 0.42 \text{ m}^2} * 0.8 \text{ m} + \frac{218.9 \text{ N}}{0.8 * 0.8 \text{ m}^2} * 0.8 \text{ m} + 50 \text{ N} + 10 \text{ N} + 700 \text{ N} \right) * 2 = 2625.56 \text{ N}$$

En la figura 3.8 se observa que la fuerza total se encuentra soportada por 2 segmentos principales tipo pórtico, por esta razón la fuerza ejercida en la viga a analizar es la división del peso total entre 2.

$$F = \frac{F_T}{2} = 1312.78 \text{ N}$$

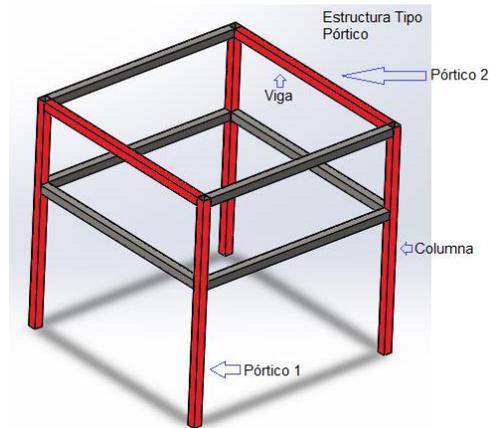


Figura 3.8 Estructura o Bancada

En la figura 3.9 se obtiene el diagrama de cuerpo libre, esfuerzo cortante y momento flexionante, de la viga que se encuentra con doble empotramiento y se obtiene los valores de las reacciones (R_a y R_b) y de los momentos producidos (M_a y M_b) mediante el programa Force Effect de Autodesk.



Figura 3.9 Diagrama de Cuerpo libre, Momento Cortante y Esfuerzo Flexionante

Fuente: Diseñado en Force Effect Autodesk

Para realizar la selección del perfil se debe obtener el módulo de resistencia como se indica en la ecuación 2:

$$W = \frac{M \cdot n}{S_y} \quad (2)$$

Donde:

W = Módulo de resistencia

M = Momento flector = 131.2 Nm (Figura 3.8)

n = Factor de Seguridad = 2

S_y = Resistencia a la fluencia = 310 MPa (Acero AISI 304 Inoxidable)

Aplicando los datos obtenidos a la ecuación 2:

$$W = \frac{131.2 \text{ Nm} \cdot 2}{310 * 10^6 \text{ MPa}} = 8.46 \times 10^{-7} \text{ m}^3 = 0.846 \text{ cm}^3$$

De la Tabla 3.2 se obtiene el perfil de acero inoxidable que cumple con el módulo de resistencia calculado ($W = 0.846 \text{ cm}^3$), se selecciona el superior inmediato en caso de no existir el módulo exacto.

Tabla 3.2 Tabla de características de Perfiles Cuadrados de Acero AISI 304

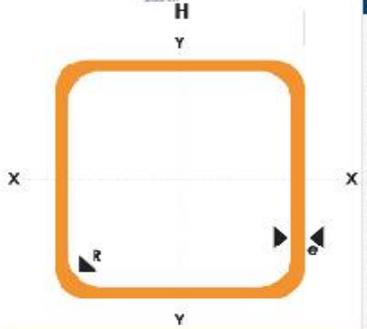
NORMA AISI 304

LARGO NORMAL 6.00m

OTROS LARGOS PREVIA CONSULTA

DIMENSIONES DESDE 1/2" HASTA 2"

ESPESOR DESDE 0.60mm HASTA 2.00mm



| DIMENSIONES | | | PESO | | | | |
|-------------|----|------|-------|----------------|-------|------|------|
| Pulgadas | H | e | P | EJES X-X E Y-Y | | | |
| | | | | AREA | I | W | I |
| | mm | mm | Kg/6m | cm2 | cm4 | cm3 | cm |
| 1/2 | | 0.60 | 1.32 | 0.27 | 0.06 | 0.10 | 0.47 |
| | | 0.75 | 1.86 | 0.32 | 0.07 | 0.12 | 0.47 |
| | | 0.95 | 2.28 | 0.40 | 0.08 | 0.13 | 0.45 |
| 5/8 | | 0.60 | 1.74 | 0.35 | 0.12 | 0.16 | 0.59 |
| | | 0.75 | 2.16 | 0.41 | 0.14 | 0.19 | 0.58 |
| | | 0.95 | 2.70 | 0.51 | 0.16 | 0.21 | 0.56 |
| 3/4 | | 0.60 | 2.22 | 0.47 | 0.29 | 0.29 | 0.79 |
| | | 0.75 | 2.88 | 0.56 | 0.34 | 0.34 | 0.78 |
| | | 0.95 | 3.60 | 0.70 | 0.41 | 0.41 | 0.77 |
| | | 1.10 | 4.20 | 0.80 | 0.47 | 0.47 | 0.77 |
| 1 | | 1.50 | 5.64 | 1.05 | 0.58 | 0.58 | 0.74 |
| | | 0.75 | 3.60 | 0.71 | 0.69 | 0.55 | 0.99 |
| | | 0.95 | 4.50 | 0.89 | 0.84 | 0.67 | 0.97 |
| | | 1.10 | 5.22 | 1.02 | 0.95 | 0.76 | 0.97 |
| 1 1/4 | | 1.50 | 7.08 | 1.35 | 1.21 | 0.97 | 0.95 |
| | | 0.95 | 5.40 | 1.08 | 1.50 | 1.00 | 1.18 |
| | | 1.10 | 6.24 | 1.24 | 1.70 | 1.13 | 1.17 |
| 1 1/2 | | 1.50 | 8.46 | 1.65 | 2.19 | 1.47 | 1.15 |
| | | 0.95 | 7.20 | 1.46 | 3.68 | 1.84 | 1.59 |
| | | 1.10 | 4.34 | 1.68 | 4.20 | 2.10 | 1.58 |
| 2 | | 1.50 | 11.28 | 2.25 | 5.48 | 2.74 | 1.56 |
| | | 1.50 | 14.04 | 2.85 | 11.06 | 4.42 | 1.97 |

Fuente: http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca_codigo=3707

El perfil óptimo para la construcción de la bancada es un perfil cuadrado de 25 mm de lado y 1.50 mm de espesor. Este perfil está seleccionado para soportar 2 veces el peso de los elementos, y el peso de 2 personas de 70 kg. La empresa Logichem

Solutions S. A. tiene en su bodega perfiles cuadrados de 30 mm de lado y 0.95 mm de espesor, el módulo de resistencia (W) es mayor al módulo del perfil calculado, por esta razón se convierte en una posibilidad para economizar costos.

4.2.2.2 Análisis de rigidez de la bancada

En esta sección se determina que el perfil seleccionado sea el adecuado para la bancada. Se calcula la deflexión máxima (Y) a la cual está sometido el perfil, se utiliza el método de la doble integración como se muestra en la ecuación 3:

$$E \cdot I \cdot Y = \int \left(\int M(x) \right) \quad (3)$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad = 200 [GPa]

I = Inercia del perfil en el eje Y-Y = $1.21 \text{ cm}^4 = 1.21 \times 10^{-8} \text{ m}^4$ (Tabla 3.2)

Y = Deflexión Máxima [m]

$M(x)$ = Sumatoria de momentos [Nm]

Para realizar el método de la doble integración realizamos un corte imaginario x , como se muestra en la Figura 3.10.

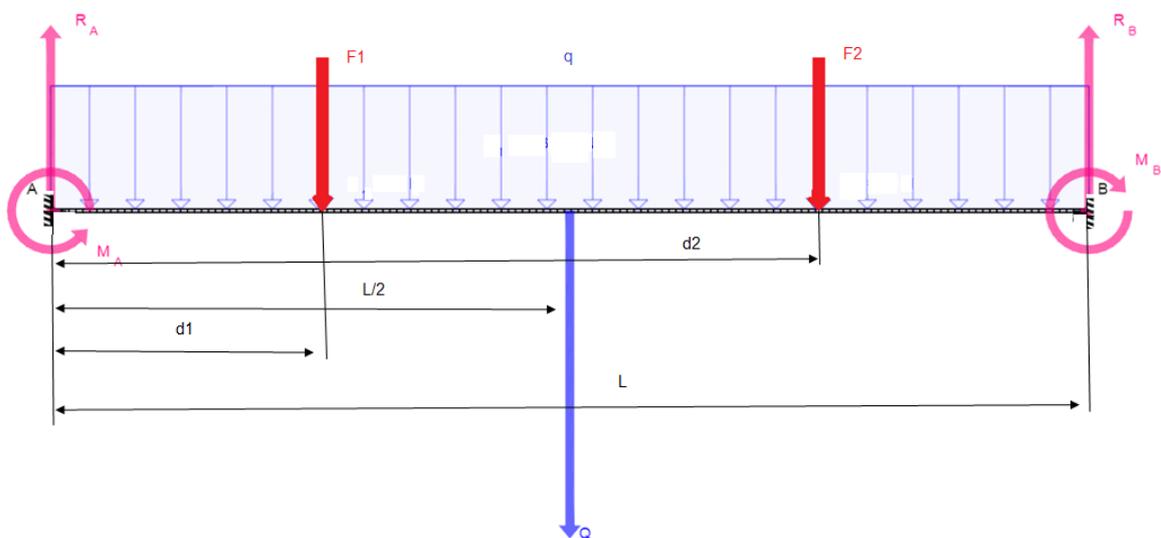


Figura 3.10 Diagrama de Cuerpo Libre para análisis de rigidez

Donde:

$$q = \text{Fuerza total distribuida} = q_{\text{nylon}} + q_{\text{tanque}} + q_{\text{persona}} + q_{\text{perfil}} = 1134.68 \text{ [N/m]}$$

$$F1 = \text{Fuerza que ejerce el botellón y el Jet Bolondi en el punto P1} = 60 \text{ [N]}$$

$$F2 = \text{Fuerza que ejerce el botellón y el Jet Bolondi en el punto P2} = 60 \text{ [N]}$$

M_a, M_b = Momento en a y b respectivamente

R_a, R_b = Reacción en a y b respectivamente

$d1$ = Distancia del punto A hasta $F1 = 0.21 \text{ m}$

$d2$ = Distancia del punto A hasta $F2 = 0.59 \text{ m}$

L = Longitud total de la viga = 0.8 m

Las cargas distribuidas vienen dadas por la fuerza ejercida sobre el área aplicada.

$$q_{\text{nylon}} = 273.6 \text{ [N/m]}$$

$$q_{\text{tanque}} = 150.9 \text{ [N/m]}$$

$$q_{\text{persona}} = 700 \text{ [N/m]}$$

$$q_{\text{perfil}} = 10.18 \text{ [N/m]}$$

Se realiza la sumatoria de momentos con respecto al punto X de la figura 3.10 (ecuación 4).

$$M(x) = M_a * x^0 + R_a * x - \frac{q(x^2)}{2} - F1 * (x - d1) - F2 * (x - d2) \quad (4)$$

Se realiza la primera integración como se muestra en la ecuación 5.

$$E * I * \theta = \int M(x) \quad (5)$$

$$= M_a * x + \frac{R_a * x^2}{2} - \frac{q * x^3}{6} - \frac{F1 * x^2}{2} - \frac{F2 * x^2}{2} - d1 * F1 * x - d2 * F2 * x + C1$$

Se realiza la segunda integración como se muestra en la ecuación 6.

$$E * I * Y = \int \int M(x) \quad (6)$$

$$= \frac{M_a * x^2}{2} + \frac{R_a * x^3}{6} - \frac{q * x^4}{24} - \frac{F1 * x^3}{6} - \frac{F2 * x^3}{6} - \frac{d1 * F1 * x^2}{2} - \frac{d2 * F2 * x^2}{2} + C1 * x + C2$$

Para resolver el sistema de ecuaciones se reemplaza $x = 0$, $\theta = 0$ y $Y = 0$, las cuales son condiciones de frontera para encontrar las constantes $C1$ y $C2$ en las ecuaciones 5 y 6 respectivamente.

Las constantes $C1$ y $C2$ son igual a 0. Se aplica la segunda condición de frontera $x = L$ y $\theta = 0$ en la ecuación 5 y despejamos R_a .

$$E * I * \theta = 0 \quad (7)$$

$$0 = M_a * L + \frac{R_a * L^2}{2} - \frac{q * L^3}{6} - \frac{F1 * L^2}{2} - \frac{F2 * L^2}{2} - d1 * F1 * L - d2 * F2 * L + C1$$

Donde:

$$R_a = \frac{-6 * d1 * F1 - 6 * d2 * F2 + 3 * F1 * L + 3 * F2 * L - 6 * M_a + q * L^2}{2}$$

Se aplica la segunda condición de frontera $x = L$ y $Y = 0$ en la ecuación 6 y despejamos R_a .

$$E * I * Y = 0 \quad (8)$$

$$0 = \frac{M_a * L^2}{2} + \frac{R_a * L^3}{6} - \frac{q * L^4}{24} - \frac{F1 * L^3}{6} - \frac{F2 * L^3}{6} - \frac{d1 * F1 * L^2}{2} - \frac{d2 * F2 * L^2}{2}$$

Donde:

$$R_a = \frac{-12 * d1 * F1 - 12 * d2 * F2 + 4 * F1 * L + 4 * F2 * L - 12 * M_a + L^2 * q}{4 * L}$$

Se iguala la ecuación 7 y 8 para obtener M_a :

$$M_a = \frac{1}{12} (-12 * d1 * F1 - 12 * d2 * F2 - L^2 * q)$$

Se reemplaza M_a en la ecuación 7 para obtener R_a :

$$Ra = F1 + F2 - \frac{2 * d1 * F1}{L} - \frac{2 * d2 * F2}{L} + \frac{L * q}{3} - \frac{-12 * d1 * F1 - 12 * d2 * F2 - L^2 q}{6L}$$

El valor de $Ma = -108.48$ [Nm] y $Ra = 573.6$ [N]. Estos son los datos necesarios para encontrar la deflexión máxima. Se despeja Y (deflexión) de la ecuación 6 como se muestra en la ecuación 9.

$$Y = \frac{1}{24 * E * I} * (12 * d1 * F1 * x^2 + 12 * d2 * F2 * x^2 + 12 * Ma * x^2 - 4 * F1 * x^3 - 4 * F * 2x^3 + 4 * Ra * x^3 - q * x^4) \quad (9)$$

Como la mayor deflexión se ejerce en el punto medio, se calcula cuando $x = 0.4$ m:

$$Y = 0.000499 \text{ m} = 0.49 \text{ mm.}$$

Se realiza la simulación en el software SolidWorks 2014 para realizar una comparación entre el resultado obtenido y el resultado del software. La figura 3.11 muestra la deflexión máxima de color rojo.

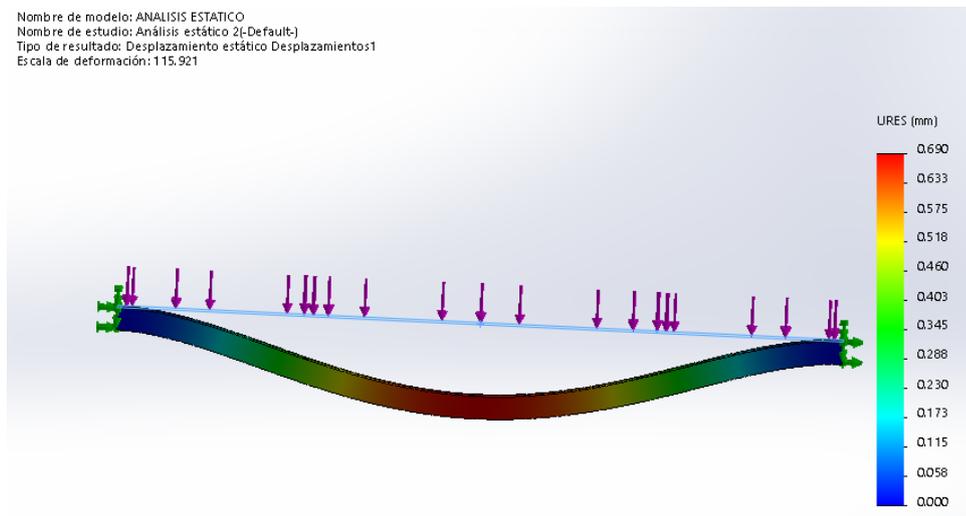


Figura 3.11 Simulación SolidWorks deflexión máxima

Como se observa en la en la figura 3.11 la deflexión máxima es de 0.69 mm. La deflexión calculada fue de 0.49 mm. Existen especificaciones propias del perfil que no

considera la simulación, por esta razón existe una pequeña diferencia entre la respuesta de la simulación y la calculada.

Se desea saber si la deformación máxima está dentro de los parámetros admisibles, de acuerdo a la ecuación 10:

$$\frac{L}{300} > Y > \frac{L}{2000} \quad (10)$$

Donde $L = 800 \text{ mm}$

$$2.66 \text{ mm} > Y > 0.4 \text{ mm}$$

Como el valor de $Y_{\text{máx}}$ calculado (0.49 mm) y la $Y_{\text{máx}}$ de la simulación (0.69mm) se encuentran dentro de los parámetros, el perfil es el adecuado.

4.2.3 Cálculos de presión en la tubería

Es muy importante saber la fuerza y velocidad de salida del agua hacia los botellones ya que este cálculo indicará si los botellones de agua son expulsados de la bancada por la fuerza percibida. Para este análisis se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ El caudal de agua es de 4 GPM⁵ (15 Litros/minuto).
- ✓ La presión de salida de agua de la máquina de lavado a chorro es de 3000 psi (207 Bar).
- ✓ La tubería utilizada es de acero inoxidable de ½ pulgada con una presión máxima de 6000 psi.
- ✓ Los Jets Bolondi utilizados tienen dos boquillas de salida de diámetro de 1.15 mm con una presión máxima de trabajo de 150 Bar (2100 psi). Las boquillas están opuestas una con respecto a la otra y giran en un rango de 360 grados por el motor del jet.

⁵ GPM: Galones por minuto.

- ✓ Se debe lavar 3 botellones por ciclo.

Todas las consideraciones antes determinadas fueron tomadas de las fichas técnicas de las máquinas que la empresa tiene en bodega.

En la Figura 3.12 se visualiza un diagrama de la trayectoria del fluido. Se tiene en la entrada de la tubería una bomba con una presión de 3000 psi (20.684 MPa) y un caudal de 15 L/min (0.00025 m³/s). Pasa por una válvula 1 recorriendo una distancia de 30 m y luego por la válvula 2 recorriendo una distancia de 6 m. Después la válvula se conecta a una T la cual da salida por medio de una manguera de 1.5 m de largo al primer jet. Se conecta a otra T la cual da las salidas a los 2 jets restantes, conectados por mangueras de 1.5m de largo. Cada jet tiene 2 boquillas de desfogue de 1.15 mm de diámetro. Estas boquillas giran 360 grados y son las encargadas de lavar el botellón.

El objetivo es encontrar la presión final del agua en cada boquilla. Con este dato se calculará la fuerza con la que sale el agua y la velocidad del fluido, para verificar que el botellón no sea expulsado por el impacto. Las boquillas de cada Jet Bolondi son opuestas, por esta razón se conoce que las fuerzas son de la misma magnitud pero con sentido contrario, es decir se anulan entre sí. Se realizan los cálculos a continuación para la verificación de lo antes expuesto.

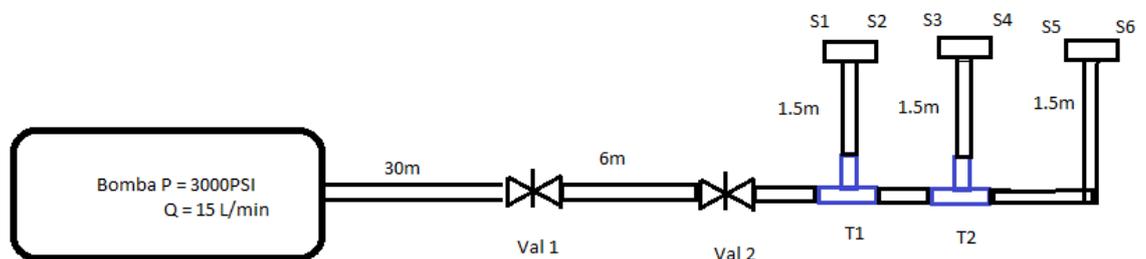


Figura 3.12 Diagrama de flujo de agua

Los datos que son constantes se los escribe a continuación:

$$P_B = 20.684 \text{ M Pa (Presión de salida de la bomba)}$$

$Q_B = 0.00025 \text{ m}^3/\text{s}$ (Caudal de salida de la bomba)

$D_T = 0.0124 \text{ m}$ (Diámetro de la tubería)

$D_{Boquilla} = 0.00115 \text{ m}$ (Diámetro de la Boquilla)

$A_T = r^2 * \pi = (0.0062 \text{ m})^2 * 3.1415 = 0.00012 \text{ m}^2$ (Área de la Tubería)

$A_{S1} = A_{S2} = A_{S3} = A_{S4} = A_{S5} = A_{S6} = \pi * (0.00115)^2 = 4.14476 * 10^{-6} \text{ m}^2$ (Área Boquilla de los jets)

Tomando en cuenta los datos obtenidos como constantes se inicia el estudio y el análisis. Utilizando las ecuaciones de flujo en tuberías. Se analiza tomando en cuenta las pérdidas por fricción, accesorios y considerando que existen 6 salidas en la parte final, dos salidas por cada boquilla del Jet Bolondi.

$$P1 + \frac{1}{2} * \delta * V1^2 + \delta * g * h1 + P_{Bomba} = P2 + \frac{1}{2} * \delta * V2^2 + \delta * g * h2 + H_{Pérdidas} \quad (11)$$

Para realizar el cálculo de pérdidas se debe tomar en cuenta las pérdidas por fricción y las pérdidas por accesorios. Se realizan los siguientes cálculos:

$$H_{Pérdidas} = H_{fricción} + H_{Accesorios} + 6 \frac{V^2}{2 * g} \quad (12)$$

(Pérdida de 6 salidas)

Donde:

$H_{Pérdidas}$ = Pérdida de presión total del sistema

$H_{fricción}$ = Pérdida de presión por fricción en la tubería

$H_{Accesorios}$ = Pérdida de presión por codos y accesorios.

$$H_{Pérdidas} = \frac{f * L * V^2}{2 * D * g} + \frac{k * V^2}{2 * g} + 6 * \frac{V^2}{2 * g}$$

La ecuación 13 es la ecuación del número de Reynolds que se lo utiliza para sacar el factor de pérdidas de la siguiente manera.

$$N_{RE} = \frac{V * D}{U_k} = \frac{0.625 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.00012 \text{ m}}{0.326 * 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 2380.38 \quad (13)$$

$$f = \frac{64}{N_{RE}} = 0.0268$$

$$H_{Pérdidas} = \frac{0.0268 * 32 \text{ m} * 0.625^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2 * 0.012 \text{ m} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 2 * \frac{10 * 0.625^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2 * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + \frac{20.10^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2 * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$H_{Pérdidas} = 124.25 \text{ m}$$

Ahora se determina la altura manométrica de la bomba. Para esto se utiliza la información de presión de salida que es 20.368 MPa (3000 psi). También se determinará la altura deseada por la empresa. El requerimiento es que el agua salga a 6.89 MPa (1000 psi). Existen pérdidas en el sistema, por esta razón la presión real de salida es menor a la presión deseada.

$$P = \delta * g * Z \quad (14)$$

Donde:

P = presión [Pa]

δ = densidad [kg/m³]

g = gravedad [m/s²]

Z = altura [m]

$$P = \delta * g * Z_{Bomba} \rightarrow 20.368 \text{ MPa} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * Z_{Bomba}$$

$$Z_{Bomba} = 2110.2 \text{ m}$$

$$P = \delta * g * Z_{Deseada} \rightarrow 6.89 \text{ MPa} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * Z_{Deseada}$$

$$Z_{Deseada} = 703.01 \text{ m}$$

La altura que debe superar la bomba está conformada por la diferencia de alturas entre la bomba y la deseada.

$$Z = Z_{Bomba} - Z_{Deseada} = 2110.2 \text{ m} - 703.01 \text{ m} = 1407.19 \text{ m}$$

En este punto se aplica la ecuación (7) para saber la presión real de salida del agua, así se obtiene la fuerza y velocidad en cada Jet Bolondi.

$$P_1 + \frac{1}{2} * \delta * V_1^2 + \delta * g * Z_1 + P_{Bomba} = P_{Jet} + \frac{1}{2} * \delta * V_{Jet}^2 + \delta * g * Z + H_{Perdidas}$$

Consideraciones:

$P_1 = 0$ porque no está expuesto a la atmosfera

$Z_1 = 0$ porque existe altura manométrica de la bomba

La velocidad del jet está dada por el área de salida del Jet Bolondi. Tiene un diámetro de 1.15 mm (0.00115 m) y un caudal es $4.16 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$; el caudal de cada salida del jet se determinó dividiendo el caudal total para el número de salidas. La velocidad obtenida del Jet (V_{Jet}) es 10.01 m/s.

$$\frac{1}{2} * \delta * V_1^2 + P_{Bomba} = P_{Jet} + \frac{1}{2} * \delta * V_{Jet}^2 + \delta * g * Z + H_{Perdidas} * \delta * g$$

$$P_{Jet} = \frac{1}{2} * \delta * V_1^2 + P_{Bomba} - \frac{1}{2} * \delta * V_{Jet}^2 - \delta * g * Z - H_{Perdidas} * \delta * g$$

$$P_{Jet} = \frac{1}{2} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.625^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} + 20.368 \text{ Mpa} - \frac{1}{2} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 10.01^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} - 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1407.19 \text{ m} - 124.25 \text{ m} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_{Jet} = 5.31 \text{ MPa} = 770 \text{ PSI}$$

La P_{Jet} es la presión real que tiene a la salida de cada boquilla de los jet. Con este dato se determina la fuerza de salida del agua mediante la ecuación 15.

$$\text{Presión} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Área}}$$

$$F = P * A \quad (15)$$

$$F = 5.31 \text{ MPa (N/m}^2) * 4.15 * 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$F = 22.03 \text{ N}$$

Se realiza el diagrama de cuerpo libre de la fuerza ejercida por las boquillas de los jets hacia el botellón para saber si puede salir expulsado de su lugar como se muestra en la figura 3.13.

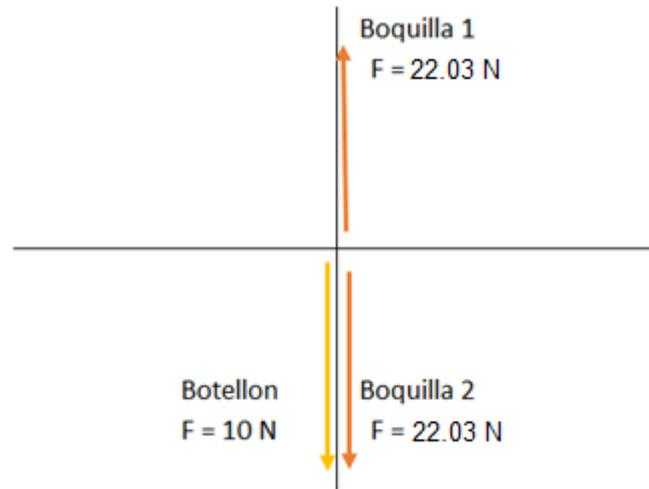


Figura 3.13 Diagrama de Cuerpo Libre

$$\sum F_y = 0$$

$$P_{Botellon} + F_{Boquilla\ 1} - F_{Boquilla\ 2} = 0$$

$$P_{Botellon} + F_{Boquilla\ 1} = F_{Boquilla\ 2}$$

$$10\ N + 22.03\ N = 22.03\ N$$

$$32.03\ N > 22.03\ N$$

Como se puede observar la fuerza que se ejerce en el eje Y negativo es mayor a la fuerza que se ejerce en el eje Y positivo, por esta razón el botellón no es expulsado. Se puede analizar en cualquier caso en que las fuerzas cambien de ángulo, pero el resultado es siempre el mismo ya que las dos fuerzas son opuestas y se anulan en todos los casos existentes.

4.3 CONTROL Y PROGRAMACIÓN

En este capítulo se analiza la parte de control de la lavadora de botellones. Se debe tomar en cuenta los estados lógicos de cada uno de los sensores. Como se puede ver en las Tablas 3.3 y 3.4, se ha hecho una descripción de todas entradas y salidas que tiene el PLC.

El tener un sistema semiautomático quiere decir que existen funciones realizadas por operario y funciones realizadas de forma automática. Este capítulo se enfoca en las siguientes funciones:

- ✓ Control de los Contactores de la máquina de lavado a chorro.
- ✓ Control del dispositivo de bloqueo del volante de la válvula de agua.
- ✓ Control de los sensores de entrada al PLC.
- ✓ Control de los actuadores de salida al PLC.
- ✓ Control de la baliza.

4.3.1 Dispositivos de entrada y salida del PLC

Se realiza una breve descripción de los elementos que interactúan con el sistema de control, esto sirve para realizar el programa de control y monitoreo del proceso de lavado. En la Tabla 3.3 se encuentran los dispositivos de entrada y en la Tabla 3.4 los actuadores de salida.

Tabla 3.3 Dispositivos de Entrada PLC

| | ENTRADAS | | | | |
|--------------------------|------------------------------------|---|-----------------|---|----------------|
| | Función del Estado Lógico | | Elemento | Estado del Sensor | PIN PLC |
| | 1 | 0 | | | |
| Sensor Botellones | Botellones colocados correctamente | Máquina Sin botellones o Botellones Mal Colocados | Fin de Carrera | Normalmente Abierto. Estado inicial (0) | I1 |

| | | | | | |
|---|--|-------------------------------------|------------------------------|---|----|
| Sensor Volante | Válvula Abierta Proceso de lavado. | Válvula cerrada | Fin de Carrera | Normalmente Cerrado. Estado Inicial (0). | 12 |
| Interruptores de Emergencia Manuales | Freno de emergencia manual desactivado | Freno de emergencia manual activado | Botón de Hongo de Emergencia | Normalmente Cerrado. Estado Inicial (1). | 13 |
| Botón Pulsador | Activado | Desactivado | Botonera | Normalmente Abierto. Estado inicial (0) | 14 |
| Sensor Tapa de Seguridad | Tapa de seguridad cerrada | Tapa de seguridad Abierta | Fin de Carrera | Normalmente Abierto. Estado inicial (0) | 15 |

Tabla 3.4 Dispositivos de Salida del PLC

| | SALIDAS PLC | | | | |
|-----------------------------|--------------------|----------------------|---------------|-------------------------------------|---|
| | PLC | SALIDAS RELAY | | Elemento | Función |
| | | Entrada | Salida | | |
| Luz Roja | Principal | Q1-1 | Q1-2 | Baliza | La máquina se encuentra en proceso de lavado |
| Luz Amarilla | Principal | Q1-1 | Q2-2 | Baliza | La tapa se encuentra bien colocada |
| Luz Verde | Principal | Q1-1 | Q3-2 | Baliza | Los botellones se encuentran bien colocados |
| Sirena | Principal | Q1-1 | Q4-2 | Baliza | Aviso de terminación de proceso. Se encienden a la vez las tres luces como complemento. |
| Motor Estado Abierto | Módulo Extensión | Q1-1 | Q1-2 | Motor Bloqueo Central | El volante de la válvula se encuentra sin bloqueo. |
| Motor Estado cerrado | Módulo Extensión | Q3-1 | Q3-2 | Motor Bloqueo Central | El volante de la válvula se encuentra con bloqueo. |
| Freno Automático | Módulo Extensión | Q2-1 | Q2-2 | Freno Emergencia Automático del PLC | Desactiva automáticamente las máquinas de Water Blasting en caso de emergencia. |

4.3.2 Estados lógicos del proceso

Es una parte fundamental para el diseño del programa de control. En esta sección se consideran cinco entradas de los sensores y siete salidas de los actuadores. Esto indica que cada dispositivo o sensor de entrada cuando este activado o desactivado, es un estado lógico posible del sistema y la combinación de estos es el estado actual del proceso. El enfoque se realiza en tres partes principales las cuales son:

- ✓ Cuando el freno de emergencia manual está activado ya que quiere decir que existe algún problema, fallo o emergencia.
- ✓ Cuando el sensor del volante de la válvula de agua se encuentra en estado lógico 1 (Tabla 3.3), esto indica que la máquina de lavado a chorro se encuentra activada y trabajando.
- ✓ Cuando el sensor del volante de la válvula de agua se encuentra en estado lógico 0 (Tabla 3.3), esto indica que la máquina de lavado a choro se encuentra activa pero no está trabajando.

Estos son los 3 grandes subgrupos de estados lógicos, que para su mejor comprensión se los observa en la Tabla 3.5. Desde ahora se colocan cada uno de un color diferente para facilitar el análisis.

Tabla 3.5 Tabla Procesos Principales

| Proceso | | Estado |
|----------|------------------------------------|-------------------------|
| Amarillo | Válvula cerrada | Preparación para lavado |
| Verde | Válvula abierta proceso de trabajo | Lavado |
| Rojo | Freno de Emergencia activado | Emergencia |

4.3.2.1 Entradas

Después de conocer las partes fundamentales del control, se debe reconocer las posibilidades lógicas que tiene el sistema. Para esto se utiliza el número de dispositivos de entrada y se realiza todas las combinaciones que se pueden dar entre ellos, separados por los grupos de proceso antes determinados (Tabla 3.5).

Tabla 3.6 Combinaciones posibles de dispositivos de entrada

| | ENTRADAS | | | | | |
|----|------------|---------|-----------------|----------|------|---|
| | Botellones | Volante | Freno Emergenci | Pulsador | Tapa | |
| | A | B | C | D | E | |
| 31 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Activado |
| 30 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | Aviso sin tapa 5s |
| 29 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | Activado |
| 28 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | Aviso sin tapa 5s |
| 27 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | Freno |
| 26 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | |
| 25 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | |
| 24 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| 23 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | Botella Tapa y Botón Listos |
| 22 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | Botella puesta estado no influyente |
| 21 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | Botella y Tapa Listos |
| 20 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | Botella Lista |
| 19 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | Freno |
| 18 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| 17 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| 16 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 15 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | Alarma automática desactiva todo el sistema. Botellones fuera de lugar. |
| 14 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | |
| 13 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | |
| 12 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| 11 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | Freno |
| 10 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | |
| 9 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | |
| 8 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| 7 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | Máquina sin botellones. |
| 6 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | |
| 5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | |
| 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | Freno |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

En la Tabla 3.6 se observa que existen 32 combinaciones posibles de los dispositivos de entrada, cada una de estas cumple con una función específica. Existen combinaciones que no pueden ser posibles en la realidad, pero son tomadas en cuenta para la realización del programa. También existen combinaciones que cuando un sensor se encuentra en el mismo estado lógico en varias de ellas indican un mismo

estado de proceso. Todas las combinaciones están explicadas para un mayor entendimiento.

Para el diseño del circuito lógico se toma en cuenta la nomenclatura de los sensores con letra de la A hasta la E como se muestra en la Tabla 3.6, también cada estado lógico posible esta enumerado desde el 0 hasta el 31.

4.3.2.1.1 *Descripción del estado lógico Emergencia.*

En este estado la entrada de PLC de freno de emergencia (Tabla 3.4) se encuentra desactivada lo que indica que cualquiera de los botones de emergencia fueron activados. Por esta razón cualquier combinación lógica que tenga un estado de 0 en el literal C de la Tabla 3.6 es parte de este grupo. La máquina de lavado a chorro se encuentra desactivada sin posibilidad de prenderla hasta desactivar los botones de emergencia.

4.3.2.1.2 *Descripción del estado lógico Preparación para Lavado*

En este estado la válvula de agua se encuentra cerrada y en proceso de preparación para poder ser activada. Esto lo determina el sensor del volante de la válvula y todas las combinaciones de la Tabla 3.6 literal C que se encuentren en 0 lógico son tomadas en cuenta para este grupo. También se observa en la Tabla 3.6 que cada combinación tiene una función diferente, la razón es que cada sensor indica en que parte del proceso se encuentra, las partes del proceso de este grupo son:

- ✓ Botellones colocados correctamente.
- ✓ Tapa de seguridad colocada.
- ✓ Botón de inicio de proceso activado.

4.3.2.1.3 *Descripción del estado lógico Lavado*

En este estado la válvula de agua se encuentra abierta y los botellones se encuentran en proceso de lavado. Esto lo determina el sensor del volante de la válvula y todas las combinaciones de la Tabla 3.6 literal C que se encuentren en 1 lógico son tomadas en cuenta para este grupo.

En este grupo se considera los frenos de emergencia automáticos, ya que la máquina de lavado a chorro se encuentra trabajando y existe peligro para el operario en caso de fallo del sistema. Se observa las acciones a tomar en caso de cambio de estado lógico de cualquiera de los sensores, de la siguiente manera:

- Si cualquier botellón sale de su lugar se desactivará la máquina automáticamente.
- Si el operario abre la tapa de seguridad por más de 5 segundos la máquina se desactivará.
- Si no existe ningún cambio en los sensores. El proceso de lavado continua hasta cumplir con un tiempo de 1 minuto 45 segundos y se activa las señales de aviso de fin de proceso.

4.3.3 Salidas

Se observa en la Tabla 3.7 las 7 salidas del PLC conectadas directamente a los actuadores. Se conoce que función cumple cada una individualmente (Tabla 3.4), pero se necesita saber en cada uno de los estados lógicos de las entradas que salidas deben estar activadas y cuáles no. Para esto dependiendo del estado de las entradas, se realiza un análisis de cada una de las salidas teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ Si está activado:
 - El freno de emergencia manual, todas las salidas de la baliza son activadas hasta que el freno sea desactivado.
 - El sensor de los botellones con la válvula de agua cerrada se enciende la luz verde de la baliza, indicando que los botellones fueron colocados correctamente.
 - El sensor de la tapa de seguridad con la válvula de agua cerrada se enciende la luz amarilla de la baliza, indicando que la tapa fue colocada correctamente.

- ✓ Si se presiona el botón verde, el motor del bloqueo del volante de la válvula de agua es activado en posición que permita abrir la válvula.
- ✓ Si la válvula está abierta se enciende la luz roja de la baliza por el tiempo de trabajo, al terminar el tiempo se activan toda las salidas de baliza como señal de aviso de fin de proceso.
- ✓ Cada vez que reciba la señal de la válvula de agua cuando ha sido cerrada, el bloqueo del volante es activado en posición de bloqueo.
- ✓ El botón verde no desactiva el motor de bloqueo de volante si no están activados los sensores de botellones y tapa.
- ✓ Si se encuentra:
 - La válvula en estado abierto y se desactiva el sensor de botellones, la salida de freno automático se desactiva al instante.
 - La válvula en estado abierto y se desactiva el sensor de la tapa de seguridad, la salida de freno automático se desactiva al pasar 5 segundos.
- ✓ Se presiona 2 veces el botón verde:
 - Al iniciar el sistema por primera vez para activar el freno de emergencia automático y dar paso a la activación de los contactores de la máquina de lavado a chorro.
 - Al regresar de un estado de emergencia manual o automático y dar paso a la activación de los contactores de la máquina de lavado a chorro.

Tabla 3.7 Estados Lógicos Salidas PLC

| ENTRADAS | | | | | SALIDAS | | | | | | | |
|------------|---------|------------------|----------|------|---------|-------------|----------|-----------|----------|----------|----------|---|
| Botellones | Volante | Freno Emergencia | Pulsador | Tapa | Q1 Rojo | Q2 Amarillo | Q3 Verde | Q4 Sirena | Q5 Motor | Q7 Motor | Q6 Freno | |
| A | B | C | D | E | | | | | Abierto | Cerrad | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | Activado |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | Aviso sin tapa 5s |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | Activado |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | Aviso sin tapa 5s |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | Freno |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | Botella, Tapa y Motor Listos |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | Botella puesta estado no influyente |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | Botella y Tapa |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | Botella Lista |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | Freno |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | Alarma automática desactiva todo el sistema |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | Freno |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | Máquina sin botellones. |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | Freno |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | |

4.4 DISEÑO DE CIRCUITO LÓGICO

Se ha recopilado toda la información necesaria en la Tabla 3.7 para el diseño del circuito lógico, la información es transformada a un lenguaje que entienda el PLC por medio del Algebra de Boole. Se realiza el circuito lógico para cada salida o actuador de la Tabla 3.7, ya que cada una es independiente. Cada salida depende del estado de las entradas de la Tabla 3.3 y se realiza el circuito para cada una. Para entender estos circuitos se toman los nombres de las entradas con letras de la A a la E como se muestra en la Tabla 3.7 y el nombre de las salidas con la nomenclatura Q1 hasta Q7 como se muestra en la misma tabla.

Para la simplificación de las ecuaciones se utiliza un software llamado Boole Deusto (Figura 3.14), en este programa se ingresan los datos de las entradas y condiciones de salida en forma de tabla. El programa los procesa y entrega como resultado el diagrama lógico de cada una de las salidas en lenguaje de algebra de Boole. Este resultado se lo ingresa al programa LogoSoft que utiliza el PLC y se tiene la programación deseada para cada condición y cualquier estado de las entradas.

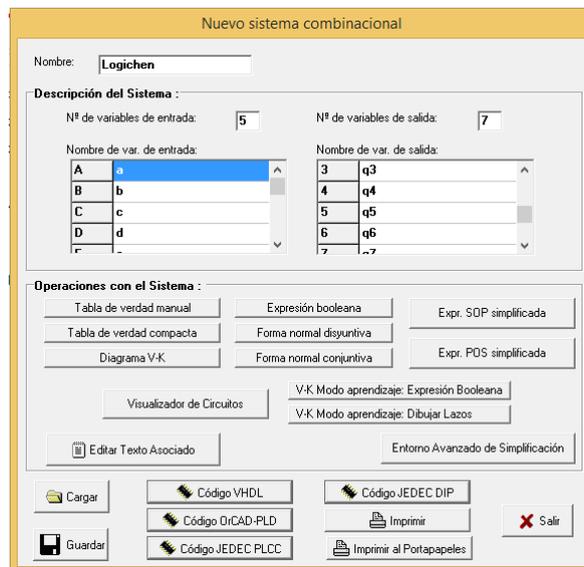


Figura 3.14 Circuito en Software Boole Deusto

4.4.1 Solución circuito lógico Q1 Luz Roja de Baliza

En este circuito se observa que las entradas influyentes o necesarias para cumplir con las condiciones de la salida Q1 son a, b, c, d, e. Como se muestra en la figura 3.15.

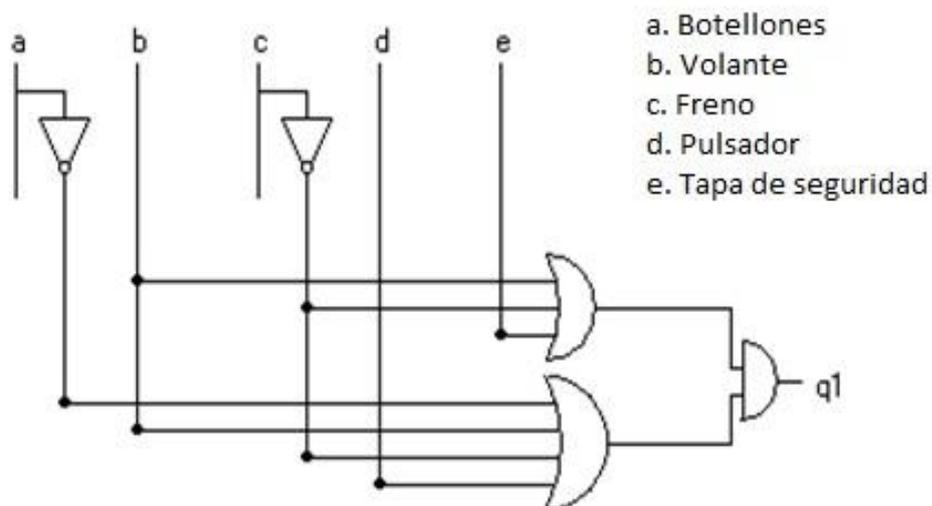


Figura 3.15 Solución salida PLC Q1

4.4.2 Solución circuito lógico Q2 Luz Amarilla de Baliza

En este circuito se observa que las entradas influyentes o necesarias para cumplir con las condiciones de la salida Q2 son a, b, c, e. Como se muestra en la figura 3.16.

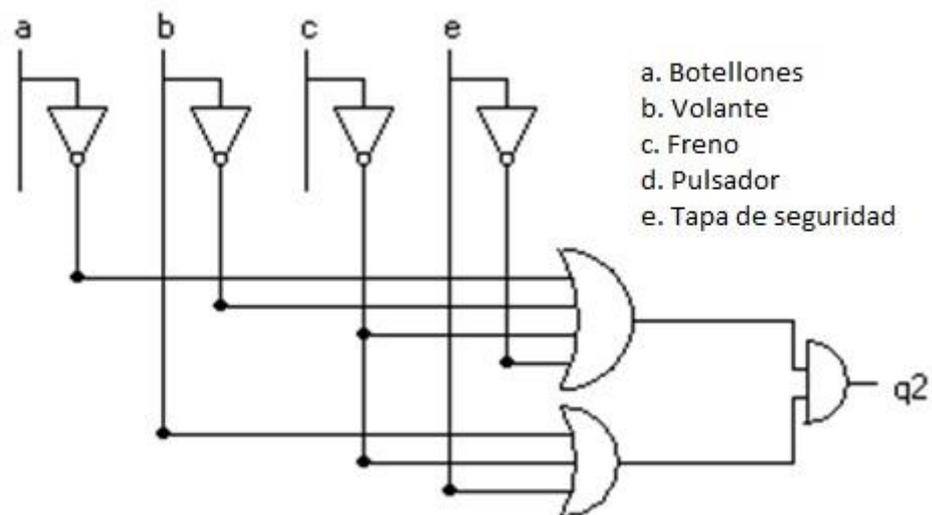


Figura 3.16 Solución salida PLC Q2

4.4.3 Solución circuito lógico Q3 Luz Verde de Baliza

En este circuito se observa que las entradas influyentes o necesarias para cumplir con las condiciones de la salida Q3 son a, b, c, e. Como se muestra en la figura 3.17.

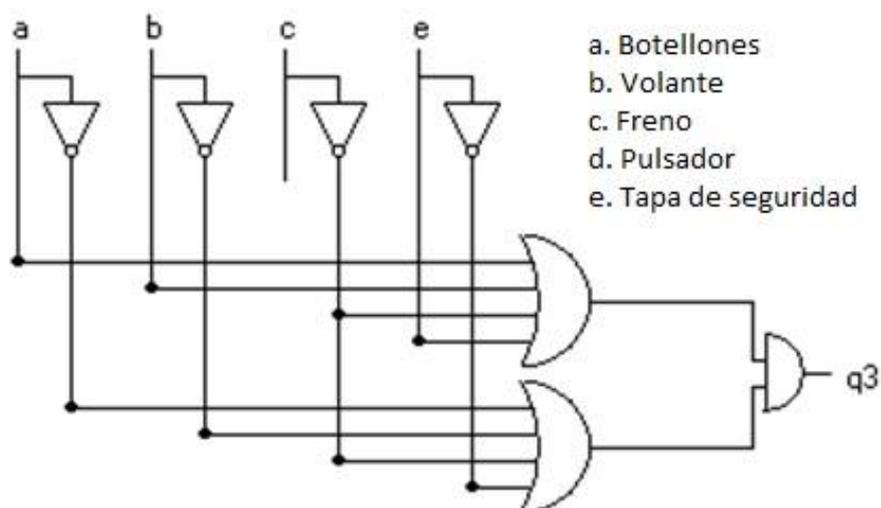


Figura 3.17 Solución salida PLC Q3

4.4.4 Solución circuito lógico Q4 Sirena de Baliza

En este circuito se observa que las entradas influyentes o necesarias para cumplir con las condiciones de la salida Q4 son a, b, c, e. Como se muestra en la figura 3.18.

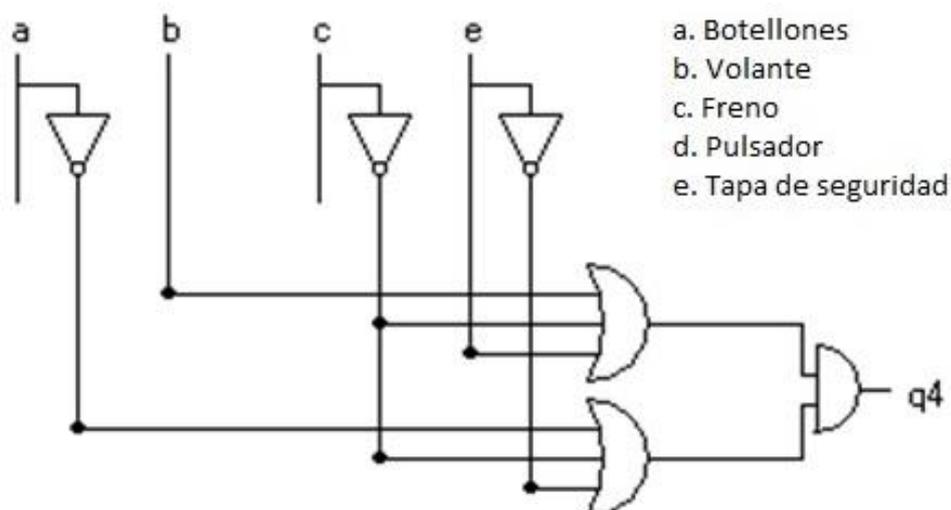


Figura 3.18 Solución salida PLC Q4

4.4.5 Solución circuito lógico Q5 Bloqueo volante motor Abierto

En este circuito se observa que las entradas influyentes o necesarias para cumplir con las condiciones de la salida Q5 son a, b, c, d, e. Como se muestra en la figura 3.19.

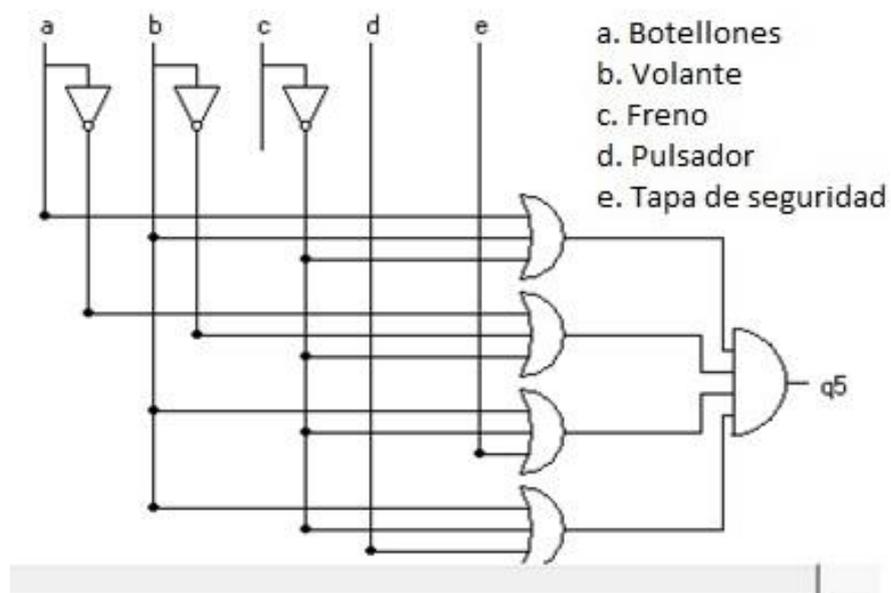


Figura 3.19 Solución salida PLC Q5

4.4.6 Solución circuito lógico Q6 Bloqueo volante motor Cerrado

En este circuito se observa que las entradas influyentes o necesarias para cumplir con las condiciones de la salida Q6 son a, b, c, e. Como se muestra en la figura 3.20.

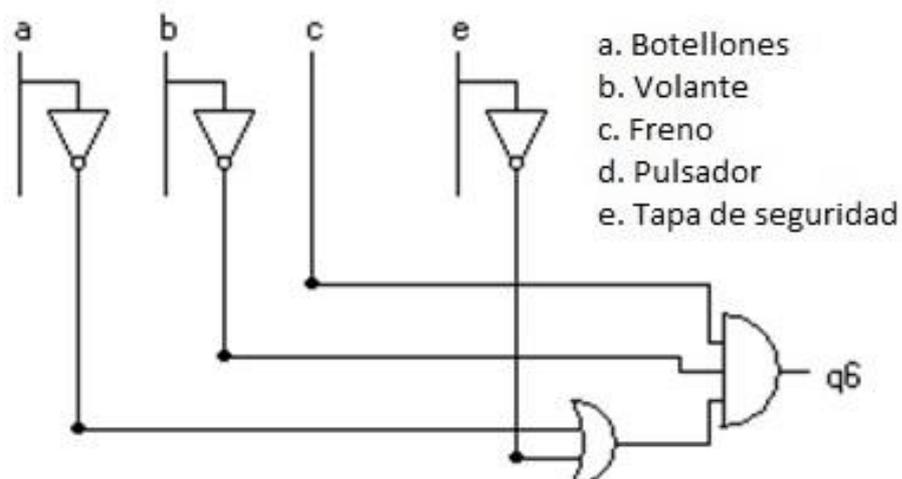


Figura 3.20 Solución salida PLC Q6

4.4.7 Solución circuito lógico Q7 Freno automático

En este circuito se observa que las entradas influyentes o necesarias para cumplir con las condiciones de la salida Q1 son a, b, c, e. Como se muestra en la figura 3.15.

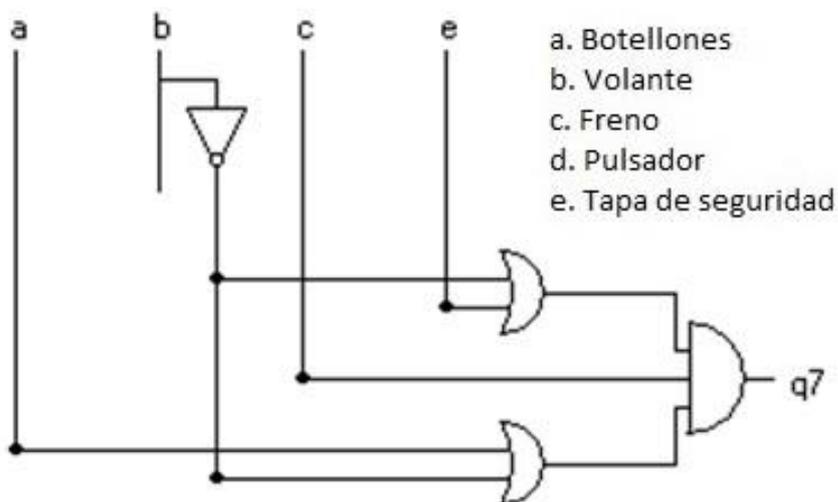


Figura 3.21 Solución salida PLC Q7

En el Anexo C se observa el programa acabado en el software LOGOSOFT! del PLC, esta programación se lo carga al PLC vía cable Ethernet y está listo para realizar las pruebas de funcionamiento.

4.5 NOMENCLATURA Y ETIQUETADO

Para tener una referencia en la parte física del proyecto, se ha etiquetado todos los cables y dispositivos como se muestra en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8 Etiquetado del sistema de control

| Número de Etiquetado | Elemento | SIGLAS PLC | Función |
|----------------------|-------------------|--------------|---|
| 1 | PLC Principal | I1 | Sensor Botellones |
| 2 | | I2 | Sensor Volante |
| 3 | | I3 | Freno de Emergencia |
| 4 | | I4 | Botón de Encendido |
| 5 | | I5 | Sensor Tapa de Seguridad |
| 6 | | Q1-1 | Común Baliza |
| | | Q1-2 | |
| | | Q1-3 | |
| | | Q1-4 | |
| 7 | | Q4-2 | Sirena |
| 8 | Q3-2 | Luz Verde | |
| 9 | Q2-2 | Luz Amarilla | |
| 10 | Q1-2 | Luz Roja | |
| 11 | Circuito Puente H | Salida 1 | Motor Bloqueo Central |
| 12 | | Salida 2 | |
| 13 | PLC Extensión | Q1-2 | Control del Motor de Bloqueo central Habilitado |
| 14 | | Q3-2 | Control del Motor de Bloqueo central bloqueado |
| CD | | Q1-1 | Fuente de 12V |
| | | Q3-1 | |
| E | | Q2-1 | Freno de Emergencia en Serie |
| | Q2-2 | | |

CAPÍTULO IV

CONSTRUCCIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1 CONSTRUCCIÓN

Para realizar el proceso de construcción del sistema de lavado de botellones se debe tomar en cuenta la simbología de procesos como se indica en la figura 4.1.

| SIMBOLO | NOMBRE | DESCRIPCIÓN |
|---------|----------------|---|
| ○ | OPERACIÓN | Indica las principales fases del proceso Agrega, modifica, montaje, etc. |
| □ | INSPECCIÓN | Verifica la calidad y cantidad. En general no agrega valor. |
| → | TRANSPORTE | Indica el movimiento de materiales. Traslado de un lugar a otro. |
| D | ESPERA | Indica demora entre dos operaciones o abandono momentaneo. |
| ▽ | ALMACENAMIENTO | Indica depósito de un objeto bajo vigilancia en un almacén |
| ◻ | COMBINADA | Indica varias actividades simultáneas |

Figura 4.1 Simbología ASME

Fuente: <https://docenteuvm.files.wordpress.com/2013/05/simbolos-de-diagramas.jpg>

Las operaciones principales para el proceso de construcción se describen en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Operaciones principales

| OPERACIONES | |
|-------------|-------------------------------|
| 1 | Trazado Y Corte de Materiales |
| 2 | Cepillado y Limado |
| 3 | Limpieza de Rebabas y Amolado |
| 4 | Perforado |
| 5 | Doblado o Curvado |
| 6 | Soldado |
| 7 | Pulido |
| 8 | Limpiado |
| 9 | Montaje |

5.1.1.1 Cursogramas Sinópticos de piezas y sub-ensamblajes

Los cursogramas sinópticos siguientes corresponden a las diferentes etapas de construcción para cada uno de los elementos del sistema de lavado de botellones.

5.1.1.1.1 Tanque de agua (Plano D03-101)

El proceso de construcción se lo indica en la figura 4.2.

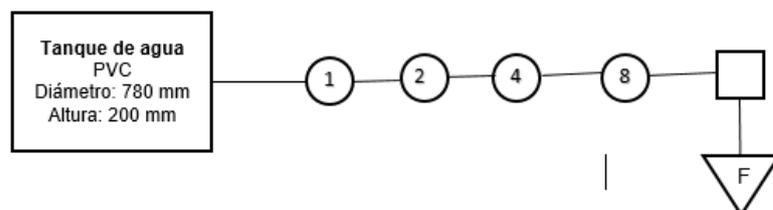


Figura 4.2 Cursograma del Tanque de Agua

5.1.1.1.2 Soporte fin de carrera (Plano D03-102)

El proceso de construcción se lo indica en la figura 4.3.

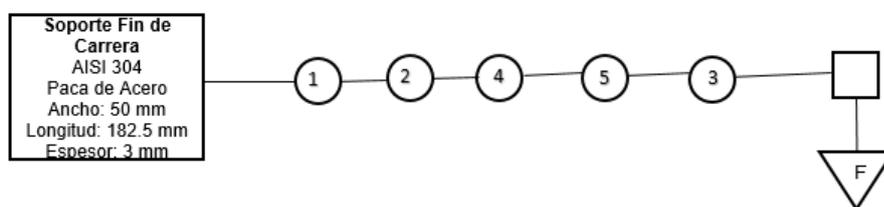


Figura 4.3 Cursograma del Soporte del fin de carrera

5.1.1.1.3 Tapa Superior (Plano D03-103)

El proceso de construcción se lo indica en la figura 4.3.

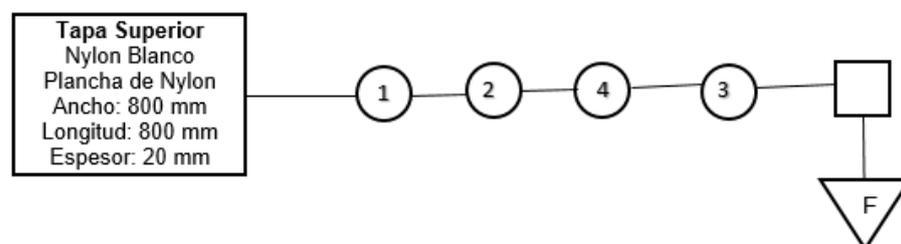


Figura 4.4 Cursograma de la Tapa superior

5.1.1.1.4 Tapa Lateral (Plano D03-105)

El proceso de construcción se lo indica en la figura 4.5.

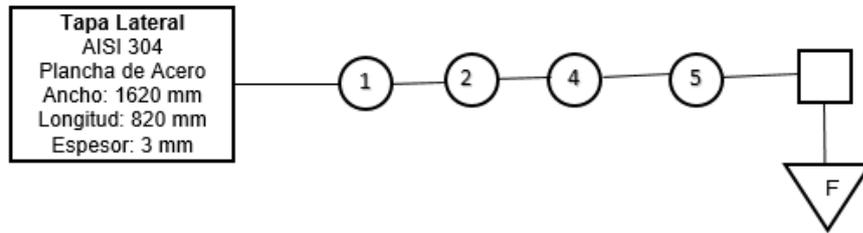


Figura 4.5 Cursograma de la Tapa Lateral

5.1.1.1.5 Estructura o Bancada (Plano D03-002)

El proceso de construcción se lo indica en la figura 4.6.

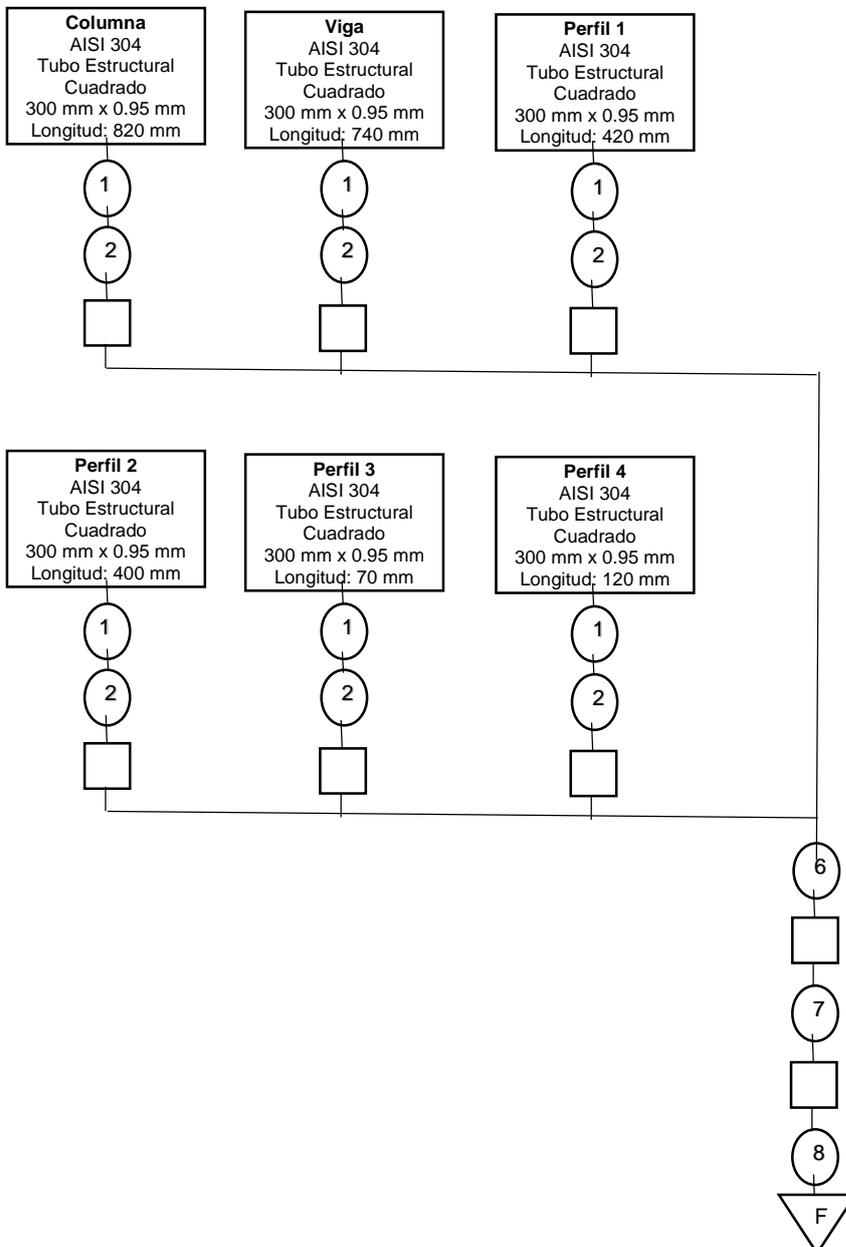


Figura 4.6 Cursograma de la Estructura

5.1.1.1.6 Tapa Frontal (Plano D03-104)

El proceso de construcción se lo indica en la figura 4.7.

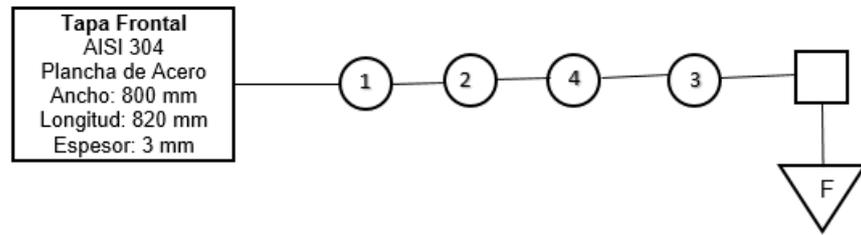


Figura 4.7 Cursograma de la Tapa frontal

5.1.1.1.7 Brazo de Seguridad (Plano D03-003)

El proceso de construcción se lo indica en la figura 4.8.

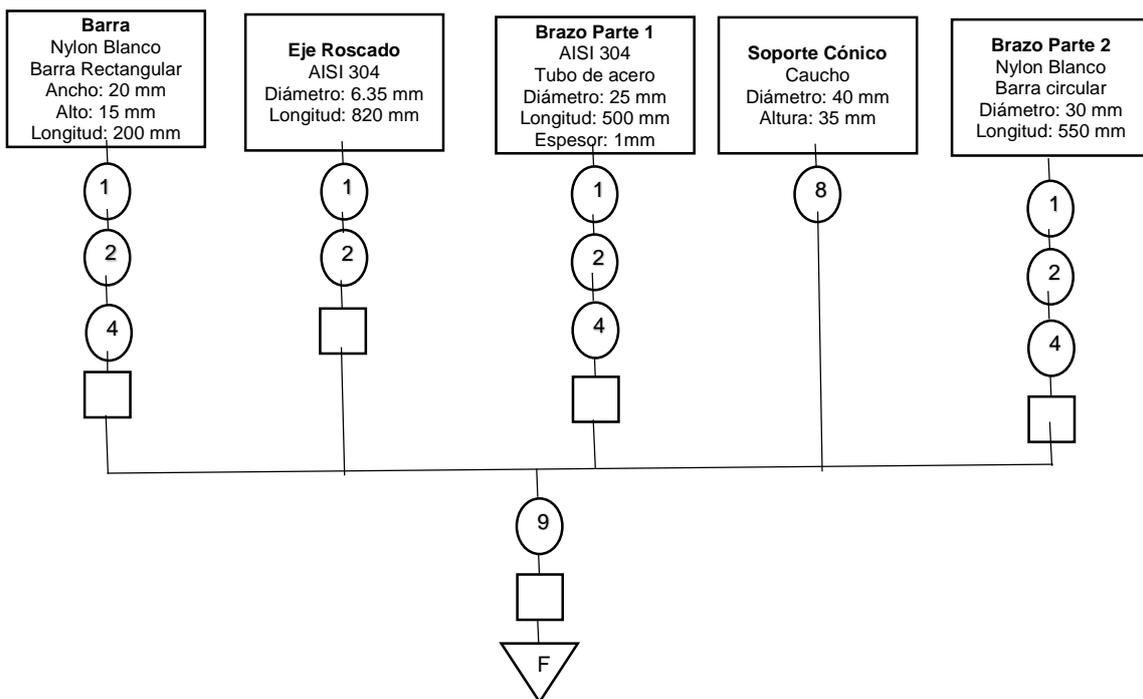


Figura 4.8 Cursograma del Brazo de seguridad

5.1.1.1.8 Volante (Plano D03-004)

El proceso de construcción se lo indica en la figura 4.9.

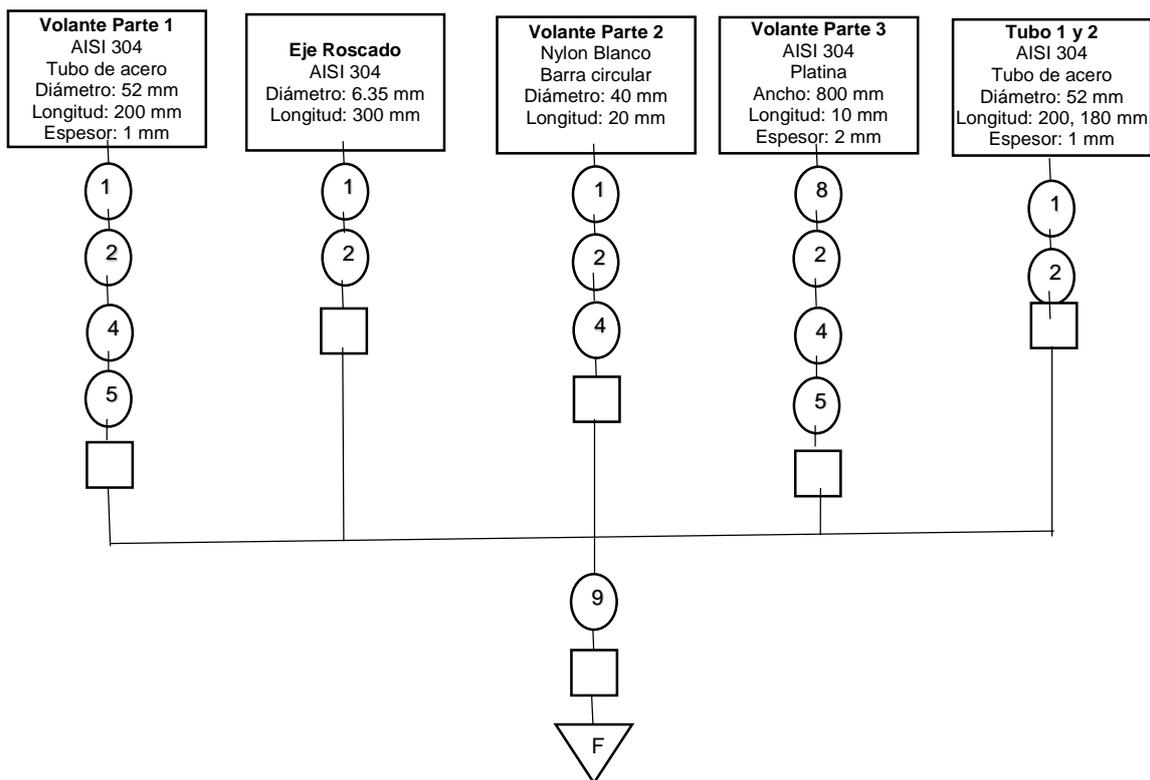


Figura 4.9 Cursograma del Volante

5.1.1.1.9 Mecanismo Bloqueo Volante (Plano D03-005)

El proceso de construcción se lo indica en la figura 4.10.

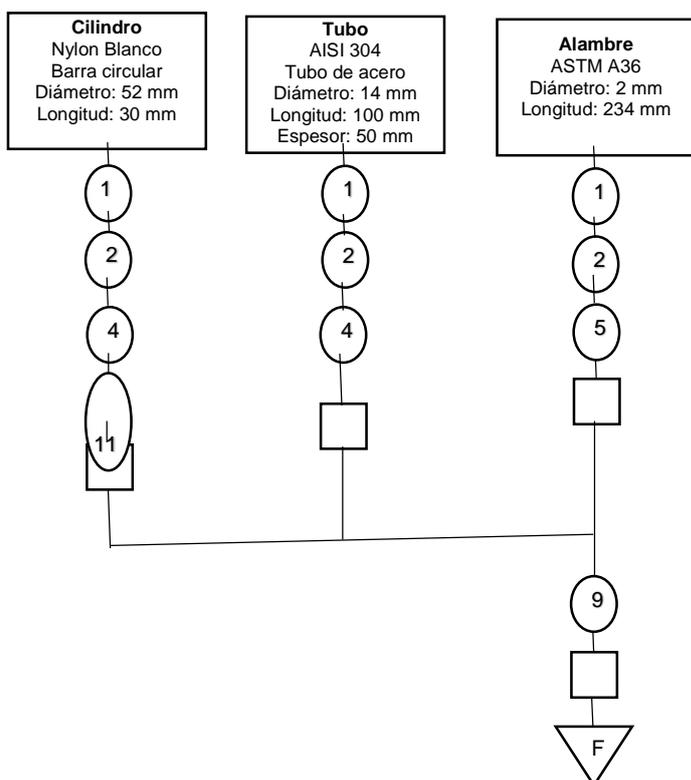


Figura 4.10 Cursograma del Mecanismo de bloqueo del volante

5.1.2 Cursograma Sinóptico de Ensamblaje

Las operaciones que se realizan para el ensamblaje se las debe realizar de manera ordenada y organizada como se muestra Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Tabla de Proceso de Ensamblaje

| Núm. | Procedimiento |
|------|--|
| E1 | Montar la estructura en el área de trabajo. |
| E2 | Montar el tanque de agua dentro de la estructura. |
| E3 | Montar los Jets Bolondi a la bancada. |
| E4 | Acoplar la tapa superior en la estructura mediante tornillos autorroscantes. |
| E5 | Acoplar los sensores finales de carrera en los soportes de los fines de carrera mediante pernos. |
| E6 | Montar los soportes de los fines de carrera en la tapa superior mediante pernos. |
| E7 | Montar la válvula de agua a la estructura mediante pernos. |
| E8 | Conectar las mangueras de acople rápido por medio de los accesorios (unión T) a cada Jet Bolondi. Conectar la tubería de la máquina de lavado a chorro a la entrada de la válvula. |
| E9 | Montar el sistema de bloqueo del volante a la estructura mediante tornillos autorroscantes. |
| E10 | Acoplar la tapa frontal a la estructura mediante tornillos autorroscantes. |
| E11 | Montar el volante a la tapa frontal y acoplar a la válvula de agua mediante pernos. |
| E12 | Montar el sensor del volante a la tapa frontal mediante pernos. |
| E13 | Montar el brazo de seguridad y el sensor final de carrera a la viga metálica del área de trabajo mediante tornillos autorroscantes. |
| E14 | Instalar la botonera a la tapa frontal con tornillos autorroscantes. |
| E15 | Instalar la baliza a la viga metálica del área de trabajo mediante tornillos autorroscantes |
| E16 | Cablear sensores, actuadores y señales de alimentación hacia el área del PLC. |
| E17 | Acoplar tapa lateral a la estructura mediante tornillos autorroscantes. |

El cursograma del sistema de lavado de botellones de la tabla 4.2 se muestra a continuación en la figura 4.12.

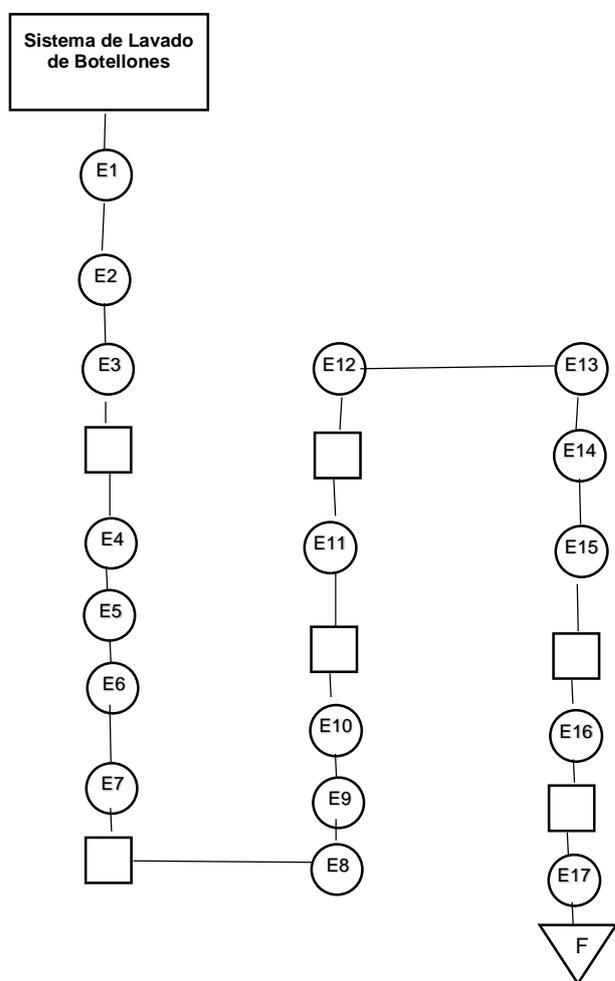


Figura 4.12 Cursograma de Ensamblaje

5.2 PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se realiza el seguimiento del funcionamiento de la lavadora de botellones, se realizan las pruebas de funcionamiento y se analizan los resultados. Las pruebas realizadas están basadas en 3 meses de trabajo del sistema, en este tiempo no se han registrado problemas o fallos.

El sistema de lavado de botellones ha sido utilizado por la empresa dos veces por semana con un tiempo de trabajo de 2 horas promedio. Se trabajó en pruebas de dos maneras, analizando cuando la empresa estaba en proceso de producción en el transcurso de los 3 meses y pruebas específicas de los estados de los sensores.

Se han realizado un mínimo de 30 muestras por cada prueba en el transcurso de tiempo de funcionamiento de la máquina, el número de botellones lavados es de 1000 botellones aproximadamente. Las pruebas realizadas fueron tomadas en días aleatorios de cada mes y en días en que la empresa se encontraba en proceso de producción.

En la Tabla 4.3 se indican el tipo de prueba y la descripción de cada una, el resultado de cada una se lo escribirá de la siguiente manera:

- ✓ A = Aprobado (La acción a realizar fue correcta en todas las muestras)
- ✓ FT = Fallo Total (La acción a realizar fallo en todas las muestras)
- ✓ FP = Fallo Parcial (La acción a realizar fallo en varias muestras)

En la figura 4.1 se observa la lavadora de botellones instalada en la empresa en la cual se realizarán todas las pruebas, ubicada en el área de trabajo. En la sección de anexos A se encuentran las fotos del proyecto terminado para mejor comprensión de las pruebas de funcionamiento.

El objetivo principal de este capítulo es analizar el comportamiento del sistema durante un periodo de tiempo para tomar acciones correctivas en caso de fallos. Las pruebas iniciales que se realizaron ayudaron a encontrar errores en la versión uno de la programación. Después de varias versiones se llegó al programa final. Cuando se terminó la programación se realizaron las pruebas que observamos en la Tabla 4.3.



Figura 4.13 Lavadora de botellones instalada en el área de trabajo.

Para entender de mejor manera la tabla 4.3 de pruebas se observa en la Figura 4.13 el sistema de lavado de botellones implementado y trabajando en la empresa. El botón rojo en forma de hongo es el freno de emergencia manual, se tiene 3 botones que realizan la misma función en tres partes principales de la planta que son Área de trabajo, Área de máquinas y Área del PLC. En la botonera de la Figura 4.13 se encuentra un botón de color verde. Este se encarga de desbloquear el volante para permitir el paso del agua.

Tabla 4.3 Pruebas de Funcionamiento

| # Prueba | Tipo | Descripción de la prueba | Acción a realizar | Resultado |
|----------|---|--|--|-----------|
| 1 | Prueba del freno de emergencia manual ubicado en el área de trabajo. | El operario presiona el botón de emergencia. | La máquina de lavado a chorro se desactiva inmediatamente. | A |
| 2 | Prueba del freno de emergencia manual ubicado en el área de control. | El operario presiona el botón de emergencia. | La máquina de lavado a chorro se desactiva inmediatamente. | A |
| 3 | Prueba del freno de emergencia manual ubicado en el área de bombas. | El operario presiona el botón de emergencia. | La máquina de lavado a chorro se desactiva inmediatamente. | A |
| 4 | Pruebas del freno automático en caso de que un botellón sea retirado cuando se encuentra en tiempo de lavado. | Para esta prueba se activó el fin de carrera del brazo de seguridad de forma manual sin que el brazo este encima de los botellones. Esta prueba se realizó para comprobar la fiabilidad del PLC. | La máquina de lavado a chorro se desactiva inmediatamente. | A |
| 5 | Pruebas del freno automático en caso de que el brazo de seguridad sea retirado durante el tiempo de lavado. | El operario abre el brazo. | Se activa la baliza en modo alarma. | A |
| 6 | | El operario abre el brazo y no mira la alarma de emergencia activada. | La máquina de lavado a chorro se desactiva en un tiempo de 5s. | A |
| 7 | | El operario abre el brazo, mira la alarma de emergencia activada y regresa el brazo a la posición de cerrado antes de 5s. | El proceso continua de forma normal. | A |
| 8 | Prueba de luces de la Baliza. | Los botellones se encuentran colocados en la posición correcta. | Luz verde activada. | A |
| 9 | | Los botellones y el brazo de seguridad se encuentran colocados en la posición correcta. | Luz verde y amarilla activadas. | A |
| 10 | | El botellón se encuentra en tiempo de lavado. | Luz Roja Activada durante 1 minuto 45 segundos. | A |
| 11 | | Activación por alarmas de emergencia o automáticas. | Baliza activada en modo de alarma. | A |
| 12 | | Uno o varios botellones se encuentran colocados de manera incorrecta. | Luz verde desactivada. | A |
| 13 | | El brazo se encuentra colocado de manera incorrecta. | Luz amarilla desactivada. | A |

| # Prueba | Tipo | Descripción de la prueba | Acción a realizar | Resultado |
|----------|---|--|---|-----------|
| 14 | | Uno o varios botellones se encuentran colocados de manera incorrecta y el brazo de seguridad colocado correctamente. | Luz verde desactivada y luz amarilla activada. | A |
| 15 | | Los botellones y el brazo de seguridad se encuentran colocados en la posición correcta. El operario presiona el botón verde de desbloqueo. | El pin de bloqueo cambia de posición y permite girar el volante. | A |
| 16 | | Uno o varios botellones se encuentran colocados de manera incorrecta. El operario presiona el botón verde de desbloqueo. | El pin de bloqueo no cambia de estado. No permite girar el volante | A |
| 17 | | El brazo se encuentra colocado de manera incorrecta. El operario presiona el botón verde de desbloqueo. | El pin de bloqueo no cambia de estado. No permite girar el volante | A |
| 18 | | Uno o varios botellones se encuentran colocados de manera incorrecta y el brazo de seguridad colocado correctamente. El operario presiona el botón verde de desbloqueo. | El pin de bloqueo no cambia de estado. No permite girar el volante | A |
| 19 | Pruebas del mecanismo de bloqueo del volante de la válvula de agua. | Uno o varios botellones se encuentran colocados de manera incorrecta, el brazo de seguridad está colocado de manera incorrecta. El operario presiona el botón verde de desbloqueo. | El pin de bloqueo no cambia de estado. No permite girar el volante | A |
| 20 | | No existen botellones. El operario presiona el botón verde de desbloqueo. | El pin de bloqueo no cambia de estado. No permite girar el volante | A |
| 21 | | Se activada la alarma de emergencia manual. | El pin de bloqueo cambia o se mantiene en posición abierta. Permite girar el volante. | A |
| 22 | | Se activada la alarma de emergencia automática. | El pin de bloqueo cambia o se mantiene en posición abierta. Permite girar el volante. | A |
| 23 | | Cada vez que el volante se cierre. | El pin de bloqueo pasa de posición abierta a cerrada. | A |
| 24 | | Al encender el sistema y el volante se encuentra abierto. | El pin de bloqueo cambia o se mantiene en posición abierta. Permite girar el volante. | A |

| # Prueba | Tipo | Descripción de la prueba | Acción a realizar | Resultado |
|----------|--|--|---|-----------|
| 25 | | Al encender el sistema y el volante se encuentra cerrado. | El pin de bloqueo pasa de posición abierta a cerrada. | A |
| 26 | Pruebas de la salida del PLC para encender los contactores de la máquina de lavado a chorro. Se considera una parte de la Alarma Automática. | Al encender el sistema y el volante se encuentra abierto. El operario presiona 2 veces el botón verde para activar el sistema. | La salida del PLC a los contactores se encuentra desactivada. | A |
| 27 | | Al encender el sistema y el volante se encuentra cerrado. El operario presiona 2 veces el botón verde para activar el sistema. | La salida del PLC a los contactores se encuentra desactivada. | A |
| 28 | | Al encender el sistema, el volante se encuentra abierto y los botellones colocados correctamente. El operario presiona 2 veces el botón verde para activar el sistema. | La salida del PLC a los contactores se activa. Permite el encendido de la máquina de lavado a chorro. | A |
| 29 | | Al encender el sistema, el volante se encuentra abierto y uno o varios botellones están colocados de manera incorrecta. El operario presiona 2 veces el botón verde para activar el sistema. | La salida del PLC a los contactores se encuentra desactivada. | A |
| 30 | | Al encender el sistema, el volante se encuentra abierto y no existen botellones. El operario presiona 2 veces el botón verde para activar el sistema. | La salida del PLC a los contactores se encuentra desactivada. | A |
| 31 | | Freno Manual activado ubicado en el área de trabajo. Cuando el sistema esta encendido. | La salida del PLC a los contactores se desactiva de inmediato. | A |
| 32 | | Freno Manual activado ubicado en el área de control. Cuando el sistema esta encendido. | La salida del PLC a los contactores se desactiva de inmediato. | A |
| 33 | | Freno Manual activado ubicado en el área de bombas. Cuando el sistema esta encendido. | La salida del PLC a los contactores se desactiva de inmediato. | A |
| 34 | Freno automático activado para cualquier caso. Cuando el sistema esta encendido. | La salida del PLC a los contactores se desactiva de inmediato. | A | |

Como se observa las pruebas de funcionamiento tienen un resultado satisfactorio, también se analiza el tiempo que el operario tarda por cada ciclo de lavado. Para esto se toma los tiempos de cada ciclo desde que el operario giro el volante para abrirlo hasta que lo cierra. Es importante saber estos tiempos ya que es el tiempo en que la máquina de lavado a chorro se encuentra trabajando, si se toma todos los tiempos acumulados se tiene el tiempo de trabajo total de las máquinas y se puede programar un mantenimiento preventivo.

La empresa Logichem Solutions S. A. recomendó que el tiempo de lavado del botellón sea de 1 minuto 45 segundos, con este tiempo como base más el tiempo que el operario se demore en cerrar el volante, se obtiene el tiempo total. Este tiempo es variable ya que depende del operario.

Los datos son el resultado de la medición del tiempo que se demora el proceso de lavado de los botellones, para esto se toma una muestra (subgrupo) del tiempo de 5 ciclos de lavado de manera consecutiva por cada lote de 15 ciclos que realiza la empresa por lote de producción. Se toman 21 subgrupos para tener mayor exactitud en las cartas de control. En la Tabla 4.4 se muestran los tiempos en segundos de todas las muestras.

Tabla 4.4 Tiempo de lavado de botellones en segundos

| Número de Subgrupo | Número de Muestras | | | | |
|--------------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|
| | 1ra | 2da | 3ra | 4ta | 5ta |
| 0 | 109 | 115 | 113 | 119 | 106 |
| 1 | 111 | 107 | 110 | 108 | 107 |
| 2 | 108 | 111 | 106 | 106 | 112 |
| 3 | 112 | 107 | 115 | 115 | 107 |
| 4 | 106 | 114 | 110 | 106 | 112 |
| 5 | 115 | 113 | 114 | 115 | 113 |
| 6 | 112 | 108 | 113 | 114 | 109 |
| 7 | 113 | 107 | 107 | 110 | 114 |
| 8 | 113 | 110 | 109 | 108 | 112 |
| 9 | 109 | 106 | 111 | 114 | 113 |
| 10 | 106 | 106 | 111 | 114 | 107 |
| 11 | 112 | 108 | 106 | 116 | 112 |

| | | | | | |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 12 | 111 | 108 | 111 | 113 | 114 |
| 13 | 109 | 111 | 107 | 109 | 112 |
| 14 | 115 | 108 | 106 | 111 | 110 |
| 15 | 113 | 112 | 111 | 115 | 112 |
| 16 | 106 | 112 | 114 | 114 | 111 |
| 17 | 115 | 110 | 112 | 111 | 112 |
| 18 | 111 | 112 | 114 | 114 | 106 |
| 19 | 108 | 109 | 110 | 113 | 108 |
| 20 | 106 | 110 | 118 | 114 | 111 |

Se ha seleccionado las cartas de control por variables $\bar{X} - R$ ya que ayuda en el Control de Calidad, mediante un término variable para cualquier característica de calidad medible como es el tiempo de proceso. Para crear las cartas de control se utiliza las siguientes ecuaciones:

N = número de muestras por subgrupo

K = número de subgrupos

\bar{X} = Media del subgrupo

\bar{R} = Rango Promedio

$\bar{\bar{X}}$ = Promedio de \bar{X}

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_N}{N} \quad (16)$$

$$\bar{R} = X_{mayor} - X_{menor} \quad (17)$$

En la Tabla 4.5 se obtienen los resultados al aplicar las ecuaciones 22 y 23.

Tabla 4.5 Tabla de Medias y Rango de Muestras

| Número de Subgrupo | \bar{X} | R |
|---------------------------|-----------|----------|
| 0 | 113 | 13 |
| 1 | 109 | 4 |
| 2 | 108 | 6 |
| 3 | 111 | 8 |
| 4 | 110 | 8 |
| 5 | 114 | 2 |

| | | |
|----|-----|----|
| 6 | 111 | 6 |
| 7 | 110 | 7 |
| 8 | 110 | 5 |
| 9 | 111 | 8 |
| 10 | 109 | 8 |
| 11 | 111 | 10 |
| 12 | 112 | 6 |
| 13 | 110 | 5 |
| 14 | 110 | 9 |
| 15 | 113 | 4 |
| 16 | 111 | 8 |
| 17 | 112 | 5 |
| 18 | 111 | 8 |
| 19 | 110 | 5 |
| 20 | 112 | 12 |

Se aplica las ecuaciones 18 y 19 a la Tabla 4.5 para obtener $\bar{\bar{X}}$ y $\bar{\bar{R}}$, datos necesarios para las cartas de control.

$$\bar{\bar{R}} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_K}{K} \quad (18)$$

$$\bar{\bar{R}} = 7$$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_K}{K} \quad (19)$$

$$\bar{\bar{X}} = 110.80$$

Se calcula los límites de control que determinan la variación de cada subgrupo, los cuales están basados en el tamaño de los subgrupos y se calculan con las siguientes ecuaciones.

Para la Tabla de Control de Rango los límites son:

$$LSC_R = D_4 \bar{\bar{R}} \quad (20)$$

$$LIC_R = D_3\bar{R} \quad (21)$$

Para la Tabla de Control de Medias los límites son:

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} \quad (22)$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} \quad (23)$$

Donde D_4 , D_3 , A_2 son constantes que varían según el tamaño de muestra, para una muestra de 5 los valores son $D_4=2.115$, $D_3=0$, $A_2=.0.577$. En la Tabla 4.6 se observada los límites para la construcción de las cartas de control.

Tabla 4.6 Límites de las Cartas de Control

| | Media | Rango |
|------------|--------|-------|
| LSC | 114,84 | 14,81 |
| LM | 110,80 | 7,00 |
| LIC | 106,76 | 0,00 |

Con todos los datos ya calculados se procede a realizar las cartas de control como se muestra a continuación como se muestra en las figuras 4.14 y 4.15.

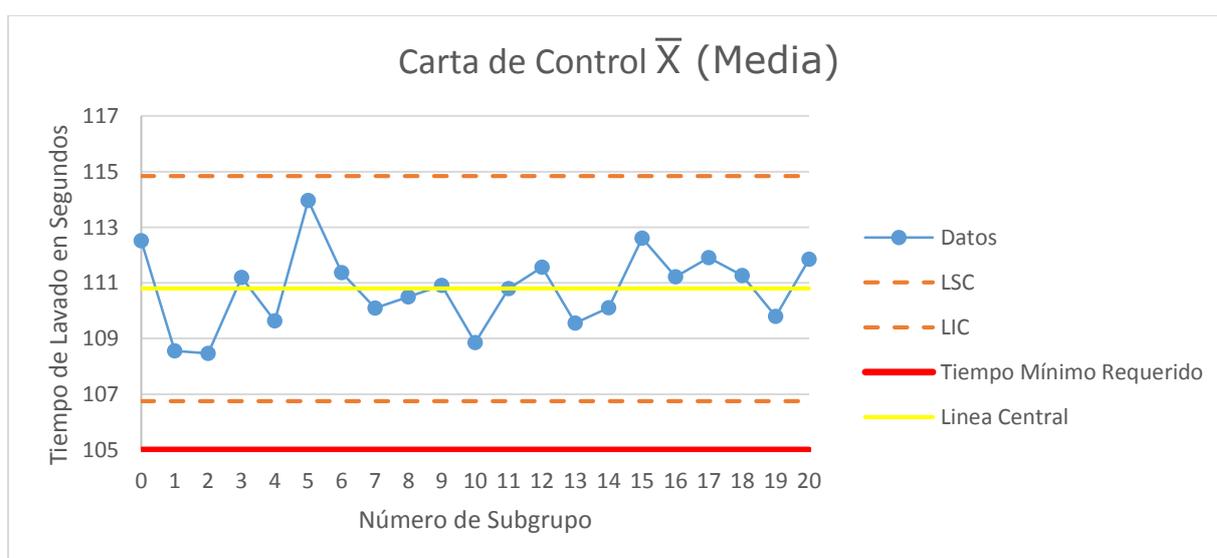


Figura 4.14 Carta de Control X media

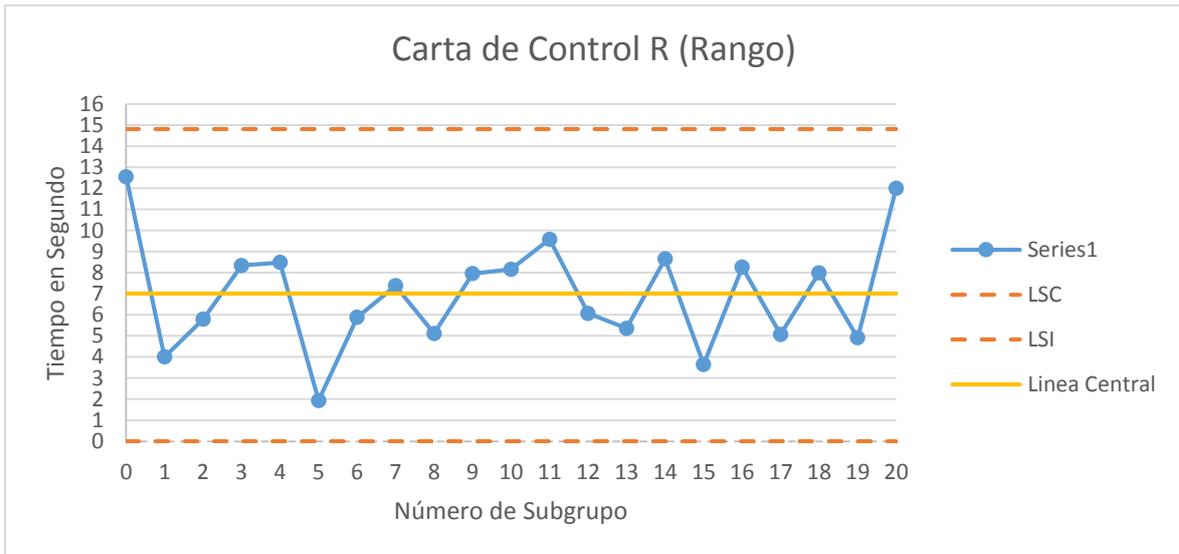


Figura 4.15 Carta de Control R (Rango)

Mediante el cálculo de la Capacidad de proceso (CP) y el Índice de Capacidad de proceso se determina si el proceso está bajo control, de acuerdo a la ecuación 24 y 25:

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6 \delta} \quad (24)$$

$$Cpk = \text{Min} (Cpk \text{ superior}, Cpk \text{ inferior}) \quad (25)$$

Donde:

Cp = Capacidad de proceso

LSE = Límite superior especificado

LIE = Límite inferior especificado

δ = Sigma Estimado

Cpk = Índice de capacidad de proceso

Para determinar el valor del LIE la empresa Logichem Solutions S.A., hizo el requerimiento que el tiempo mínimo de lavado de los botellones debe ser 1 minuto 45 segundos (105 segundos), también se realizó el requerimiento del tiempo máximo de lavado, es el valor de LSE de 2 minutos 10 segundos (130 segundos).

El Sigma estimado se calcula a partir de la ecuación 26:

$$\delta = \bar{R} / d_2 \quad (26)$$

Donde:

\bar{R} = Rango Promedio = 7 (Ecuación 24)

d_2 = 2.326 (Constante para Gráficos de control)

$$\delta = 3.011$$

Para determinar Cpk Superior y Cpk Inferior se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$Cpk Superior = \frac{LSE - \bar{\bar{X}}}{3 \delta} \quad (27)$$

$$Cpk Superior = \frac{130 - 110.8}{3 * 3.011} = 1.38$$

$$Cpk Inferior = \frac{\bar{\bar{X}} - LIE}{3 \delta} \quad (28)$$

La fórmula del Cpk Inferior nos indica que se debe utilizar 3 desviaciones estándar, pero por el diseño del proyecto se sabe que nunca existirá un tiempo menor al mínimo requerido (exceptuando casos de emergencia), por esta razón se utilizará 1 desviación estándar ya que al utilizar más, se contradice matemáticamente con el diseño del proyecto.

$$Cpk Inferior = \frac{\bar{\bar{X}} - LIE}{\delta}$$

$$Cpk Inferior = \frac{130 - 110}{3.011} = 1.92$$

Aplicamos los resultados a las ecuaciones 24 y 25.

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6 \delta} = \frac{130 - 105}{6 * 3.011} = 1.3$$

$$Cpk = \text{Min} (Cpk superior, Cpk inferior) = 1.38$$

Cuando el valor de Cp es mayor a 1 nos indica que el proceso está controlado, para nuestro proceso $CP = 1.38$, Cpk nos indica si el proceso está centrado en el punto medio de las especificaciones. El resultado nos indica que está controlado y no se encuentra centrado, pero es un resultado esperado ya que el tiempo depende del operario y es completamente aleatorio. El proceso de lavado no exige un tiempo exacto para cada ciclo, pero si requiere un tiempo mínimo y un tiempo máximo, como el proceso se encuentra controlado en los tiempos determinados, se concluye que el sistema de lavado de botellones cumple su función de manera satisfactoria.

Como se observa en las cartas de control el proceso se encuentra bajo control, el tiempo entre ciclos siempre supera el tiempo mínimo requerido. El resultado es bueno ya que la alarma está cumpliendo la función de aviso de fin de proceso de manera adecuada. Los tiempos de lavado de los botellones son correctos y el trabajo del operario es satisfactorio. Este análisis sirve a la empresa para saber el tiempo que se tiene promedio para un ciclo de lavado, monitorear el trabajo de las máquinas y controlar el adecuado trabajo del operario.

5.3 COSTOS

Los costos del proyecto se reflejan en las tablas 4.7, 4.8 y 4.9 que se muestran a continuación.

Tabla 4.7 Costo Materiales

| MATERIALES | | | | |
|-----------------------------|---------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| DESCRIPCIÓN | Unidad | Cantidad | P. U. (\$) | P. T. (\$) |
| Máquina de lavado a chorro | unidad | 2 | \$ 18.000,00 | \$ 36.000,00 |
| Jet Bolondi | unidad | 3 | \$ 3.000,00 | \$ 9.000,00 |
| PLC Logo Ethernet | unidad | 1 | \$ 280,00 | \$ 280,00 |
| Extensión PLC Logo Ethernet | unidad | 1 | \$ 80,00 | \$ 80,00 |
| Final de Carrera | unidad | 5 | \$ 25,00 | \$ 125,00 |
| Baliza | unidad | 1 | \$ 30,00 | \$ 30,00 |
| Memoria SD | unidad | 1 | \$ 15,00 | \$ 15,00 |
| Válvula 6000 PSI | unidad | 1 | \$ 180,00 | \$ 180,00 |
| Manguera Acople Rápido | unidad | 3 | \$ 110,00 | \$ 330,00 |
| Plancha de Acero AISI 304 | unidad | 1 | \$ 110,00 | \$ 110,00 |
| Plancha Nylon | unidad | 1 | \$ 680,00 | \$ 680,00 |
| Perfil Acero 304 | metros | 50 | \$ 15,95 | \$ 797,50 |
| Cable Número 18 | metros | 300 | \$ 0,28 | \$ 84,00 |
| Botón Tipo Hongo | unidad | 3 | \$ 4,00 | \$ 12,00 |
| Botonera | unidad | 1 | \$ 3,00 | \$ 3,00 |
| Botón Industriales | unidad | 1 | \$ 3,00 | \$ 3,00 |

| | | | | |
|--------------------------|----------|-----|-----------|---------------------|
| Luz Piloto | unidad | 1 | \$ 3,00 | \$ 3,00 |
| Canaleta | 6 metros | 8 | \$ 3,50 | \$ 28,00 |
| Tubo Conduit 1/2 pulgada | 6 metros | 5 | \$ 4,00 | \$ 20,00 |
| Tanque de Agua | unidad | 1 | \$ 90,00 | \$ 90,00 |
| Gabinete | unidad | 1 | \$ 35,00 | \$ 35,00 |
| Contactador 25 Amperios | unidad | 2 | \$ 35,00 | \$ 70,00 |
| Manómetro | unidad | 1 | \$ 30,00 | \$ 30,00 |
| Tubería 6000 PSI | 6 metros | 8 | \$ 225,00 | \$ 1.800,00 |
| Motor Bloqueo Central | unidad | 2 | \$ 15,00 | \$ 30,00 |
| Circuito Bloqueo Central | unidad | 2 | \$ 70,00 | \$ 140,00 |
| Accesorios Tubería | unidad | 10 | \$ 10,00 | \$ 100,00 |
| Tornillos y Pernos | unidad | 100 | \$ 0,20 | \$ 20,00 |
| Platina | unidad | 6 | \$ 3,00 | \$ 18,00 |
| Aislante de ruido | unidad | 1 | \$ 75,00 | \$ 75,00 |
| | | | | \$ 50.188,50 |

Tabla 4.8 Costo Recursos Humanos

| RECURSOS HUMANOS | | | | | |
|------------------|--------|--------|---------------|-------------|--------------------|
| DESCRIPCIÓN | Unidad | Tiempo | Núm. Personas | Precio | Precio Total |
| Obreros | Mes | 2 | 3 | \$ 450,00 | \$ 2.700,00 |
| Diseño | Único | 1 | 1 | \$ 3.000,00 | \$ 3.000,00 |
| | | | | | \$ 5.700,00 |

Tabla 4.9 Costos Varios

| VARIOS | | | | |
|-------------|--------|----------|------------|------------------|
| DESCRIPCIÓN | Unidad | Cantidad | P. U. (\$) | P. T. (\$) |
| Almuerzo | unidad | 40 | \$ 3,50 | \$ 140,00 |
| Transporte | unidad | 40 | \$ 2,00 | \$ 80,00 |
| Impresiones | unidad | 1000 | \$ 0,10 | \$ 100,00 |
| Empastado | unidad | 2 | \$ 20,00 | \$ 40,00 |
| Anillados | unidad | 6 | \$ 2,00 | \$ 12,00 |
| | | | | \$ 372,00 |

En la tabla 4.10 se muestra el costo total del sistema de lavado de botellones de agua.

Tabla 4.10 Costo Total

| Descripción | Costo |
|---------------------|--------------|
| Materiales | \$ 50.188,50 |
| Recursos Humanos | \$ 5.700,00 |
| Varios | \$ 372,00 |
| \$ 56.260,50 | |

CONCLUSIONES

- ✓ Los materiales utilizados en el proyecto fueron seleccionados cumpliendo la norma ISO 21469 de uso de Materiales en la Industria Alimenticia. La bancada diseñada en acero inoxidable y las superficies de contacto realizadas con nylon son resistentes a la corrosión, no tóxicas y no absorbentes, anticorrosivas y lavables o desinfectables. La máquina de lavado a chorro y los Jets Bolondi fueron seleccionados por su característica principal que es la limpieza de recipientes o lugares con contorno cerrado.
- ✓ Los botones tipo hongo del sistema de seguridad manual se encuentran situados en 3 lugares estratégicos como son el área de máquinas, área de control y área de trabajo. Para poder activarlos en cualquier situación de emergencia sin exponerse a peligro alguno y precautelando la seguridad del operario, trabajadores y de las máquinas que conforman el sistema. El sistema de seguridad manual es un complemento para el sistema automático, pero completamente independiente y autónomo. Al activar el sistema de seguridad manual se activa la señal del sistema de seguridad automático registrando toda actividad en la memoria del PLC para corregir, mejorar y prevenir el mal uso del sistema mediante las Cartas de Control y la Bitácora de trabajo.
- ✓ El sistema de seguridad automático está diseñado tomando en cuenta los posibles 32 estados de los sensores y 8 estados adicionales que dependen de los sensores y el tiempo transcurrido. Por el tipo de proceso se realizó medidas de protección en beneficio del operario como alertas de uso incorrecto del sistema, hasta la desactivación total de la máquina de lavado a chorro en caso de emergencia. El sistema automático tiene una relación directa con el sistema de seguridad manual, es dependiente y trabaja solo cuando los dos están activados.
- ✓ Las pruebas de funcionamiento fueron utilizadas para encontrar errores en el programa del PLC, determinando que no existe segundades en el arranque del sistema de lavado de botellones. Se logró pulir el programa y realizar las modificaciones necesarias para que el sistema no pueda activarse sin la ayuda

de un proceso externo realizado por el operario. Los cambios realizados hacen un diseño de programación robusto y seguro.

- ✓ Después de analizar las pruebas y resultados, se verificó el correcto funcionamiento del sistema por medio de las Cartas de Control. Para que un proceso esté controlado la Capacidad de Proceso (CP) debe ser mayor a 1. El valor de CP obtenido en este sistema es de 1.38 lo que garantiza la seguridad y fiabilidad del sistema de lavado de botellones.
- ✓ El diseño del panel de control cumple con las normas y requerimientos del Reglamento de Buenas Prácticas para Alimentos del Ecuador. Se consideran los requisitos para el dimensionamiento de cables, sensores y actuadores adecuados con el objetivo de prevenir errores de funcionamiento por fallas eléctricas, electrónicas o de instalación. El etiquetado de todo el cableado sirve para encontrar de manera rápida y óptima fallos en los sensores y actuadores optimizando el tiempo de los trabajadores y de la empresa.
- ✓ El brazo de seguridad es un mecanismo de seguridad auxiliar, que cumple con dos funciones específicas como son no permitir que el operario quite el botellón en tiempo de proceso y como sensor de alerta en caso de un mal uso del sistema. Este incrementa la fiabilidad y seguridad del sistema como se comprobó en las pruebas de funcionamiento.
- ✓ El sistema de lavado de botellones de agua tiene una deflexión máxima $Y = 0.49$ mm, y esta se encuentra entre los valores admisibles del diseño mecánico como son 2.66 mm $> Y > 0.4$ mm. Esto garantiza el correcto dimensionamiento de los materiales formando una estructura robusta y segura.
- ✓ El diseño del mecanismo de bloqueo del volante utiliza un motor de bloqueo central y un puente en H. Tiene un costo-beneficio alto en comparación con otros sistemas de bloqueo utilizados para la misma aplicación (pines electromecánicos industriales) debido a que son materiales que se encuentran de manera fácil en Ecuador y su costo es 3 veces menor. El mecanismo es necesario para el sistema de lavado de botellones por su seguridad, no tiene mantenimiento y bajo costo ya que optimiza tiempo y recursos de la empresa.

RECOMENDACIONES

- ✓ El sistema de lavado de botellones debe ser utilizado exclusivamente para lavar botellones de agua, no se le debe dar un uso incorrecto lavando otro tipo de objetos.
- ✓ Cumplir con las reglas y procedimientos del Manual de Usuario. No se debe evadir las seguridades para un correcto funcionamiento del sistema.
- ✓ Es necesario el uso del equipo de protección personal (EPP) al operar la máquina, que consta de uniforme, protección auditiva y protección visual.
- ✓ Se debe aplicar un proceso de mejora continua (KAISEN) con el paso del tiempo, ya que es una herramienta que ayuda en procesos de producción. Se puede implementar controles adicionales por internet y extras que facilitan el control y monitoreo del sistema. También aplicar un proceso para controlar el ruido que emite el sistema para mejorar el ambiente de trabajo.
- ✓ Es necesario cumplir el mantenimiento preventivo de las máquinas que utiliza el sistema de acuerdo al Manual de Mantenimiento. El PLC contabiliza el tiempo de trabajo que se lo utiliza para realizar los mantenimientos preventivos.
- ✓ El uso del sistema de lavado de botellones de agua lo puede utilizar una persona que está capacitada y pertenezca a la empresa. No debe ser utilizado por personas ajenas a la empresa ya que no tienen los conocimientos necesarios para su utilización.
- ✓ Se recomienda realizar pruebas de funcionamiento periódicas de los paros de emergencia y sensores para verificar que realicen su función de manera correcta.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Marcelo M. Gómez, “El Marco Teórico”, Introducción a la metodología de la investigación científica, 1ra ed. Córdoba, Brujas, 2006, cap. 4, pág. 49.
- [2] Logo! Manual, 2003. Siemens, Alemania, 2001.
- [3] Carles Riba i Romeva, “Estructuración del Diseño”, en Diseño Concurrente, 1ra ed. Barcelona, CPET, 2002, cap. 2, p. 85.
- [4] Carles Riba i Romeva, “Herramientas para el Diseño Concurrente”, en Diseño Concurrente, 1ra ed. Barcelona, CPET, 2002, cap. 3, p. 178.
- [5] Carles Riba i Romeva, “Herramientas para el Diseño Concurrente”, en Diseño Concurrente, 1ra ed. Barcelona, CPET, 2002, cap. 2, p. 91.
- [6] Carles Riba i Romeva, “Herramientas para el Diseño Concurrente”, en Diseño Concurrente, 1ra ed. Barcelona, CPET, 2002, cap. 3, p. 121.
- [7] Y. A. Cengel y M. A. Boles, “Termodinámica”, 6ta ed. España, Mc Graw Hill, 2012.
- [8] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley”, 8va ed. Monterrey, México, Mc Graw Hill, 2008.
- [9] R. Johnsonbaugh, “Matemáticas Discretas”, 6ta ed. México, Pearson Education, 2005.
- [10] R. Tocci, N. S. Widmer y G. L. Moss, “Sistemas Digitales”, 10ma ed. México, Pearson Education, 2007.
- [11] A. Pytel y F. Singer, “Resistencia de Materiales”, 4ta ed, México D.F., Alfaomega, 2010.

ANEXO A

A.1 IMÁGENES



Figura A.1 Vista Panorámica del Área de Máquinas



Figura A.2 Vista Panorámica del Área de Trabajo



Figura A.3 Vista Panorámica del Área de Control del PLC



Figura A.4 Máquinas de lavado a chorro

| PERFORMANCE Specifications | |
|--|---|
| Discharge Volume | |
| Pump Head Pressure | 4.0 gal/m / 15.1 L/m |
| Temperature Rise | 3000 psi / 207 bar |
| Temperature Limit | 140°F @ 4.0 gal/m / 60°C @ 15.1 L/m |
| Combustion Smoke/Bacharach Scale | 210°F / 99°C |
| Carbon Monoxide Allowed | #1 OR #2 SMOKE |
| Draft/Stack Installation | 0.01% |
| Heat Input | 0.2" - 0.04" WC READING |
| | 320,000 Btu/Hr / 80,640 Kcal/Hr |
| GENERAL | |
| Minimum Inlet Water Pressure | over 65 psi may require water inlet regulator 10 psi / 0.68 bar |
| Stack Size | 12" OD / 304.8 mm OD |
| Spray Tip | (#4.5 - 0") p/n JA0-00045-2 (#4.5 - 15") p/n JA0-15045-2 (#4.5 - 25") p/n JA0-25045-2 (#4.5 - 40") p/n JA0-40045-2 |
| Hose Assembly | 3/8" x 50' P/N K02-03150E1 |
| Trigger Gun & Wand | |
| - Trigger Gun | p/n J06-00158-B |
| - Trigger Wand | p/n J06-00158 p/n J06-00104EZ |
| Coil | |
| SS Coil With Wrapper | 18"OD x 1/2"ID x 241.5' Schedule 80 |
| Coil Back Pressure (New) | |
| Coil Back Pressure Requiring Descaling | 5 psi / 0.34 bar 50 psi / 3.40 bar |

Figura A.5 Especificaciones técnicas de la máquina de lavado a chorro



Figura A.6 Instalación Jet Bolondi

5) ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

| BOQUILLAS STANDARD TABLA "A" | | | | | |
|------------------------------|----------------------------|-------------|----------------|----------------|----------------|
| Caudal l/min | AMARILLO Ø 0.9 | ROJO Ø 1 | AZUL Ø 1.15 | VERDE Ø 1.3 | NEGRO Ø 1.5 |
| 8 | 120 | 70 | 40 | 30 | 15/ |
| 12 | | 150 | 100 | 60 | 40 |
| 15 | | | 150 | 90 | 60 |
| 18 | | | | 140 | 80 |
| PRESIÓN (bar) | | | | | |
| DATOS TÉCNICOS | | | | | |
| Material | Acero Inox 304 | | | | |
| Max caudal | 18 l/min | | | | |
| Max caudal | 150 bar | | | | |
| Temperatura máx | 90° C | | | | |
| Juntas de estanqueidad | nbr | | | | |
| TENSIÓN MOTOR 12 V AC | | | | | |
| Tensión de alimentación | 220/240 V 50Hz | | | | |
| Cable alimentador | 10m+transformador conector | | | | |

30

Figura A.7 Especificaciones técnicas de los Jet Bolondi



Figura A.8 Proceso de construcción



Figura A.9 Proceso de construcción 2



Figura A.10 Botonera



Figura A.11 Lavadora Terminada



Figura A.12 Tablero de Potencia Apariencia externa

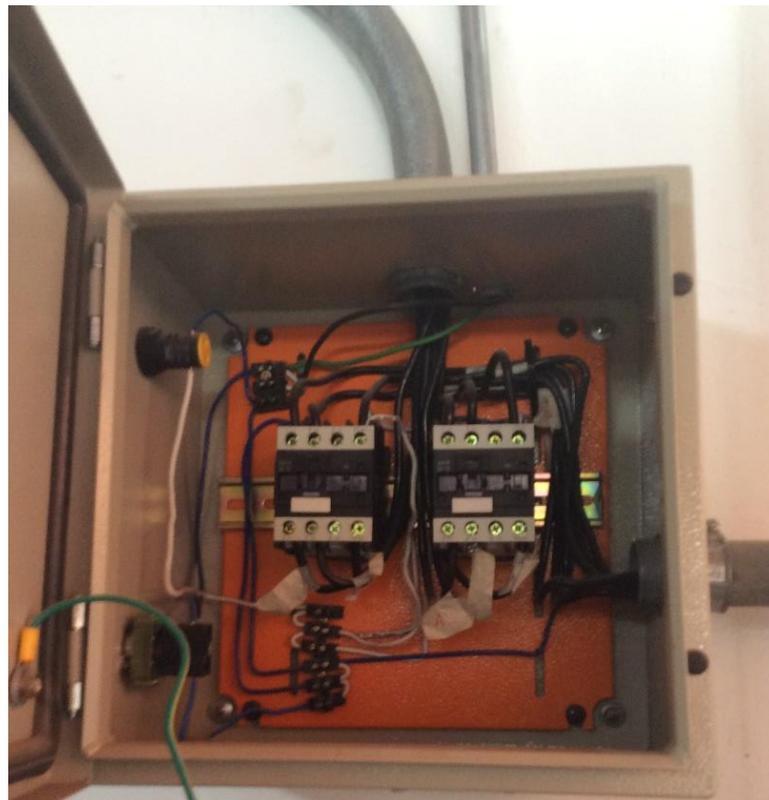


Figura A.13 Tablero de Potencia Apariencia interna

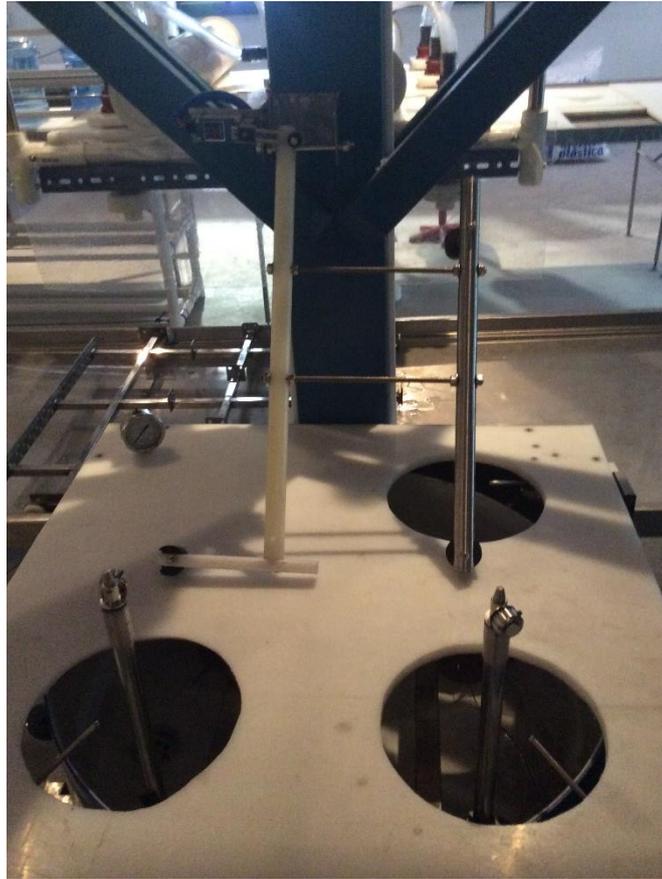


Figura A.14 Brazo se Seguridad



Figura A.15 Brazo de Seguridad sobre los botellones

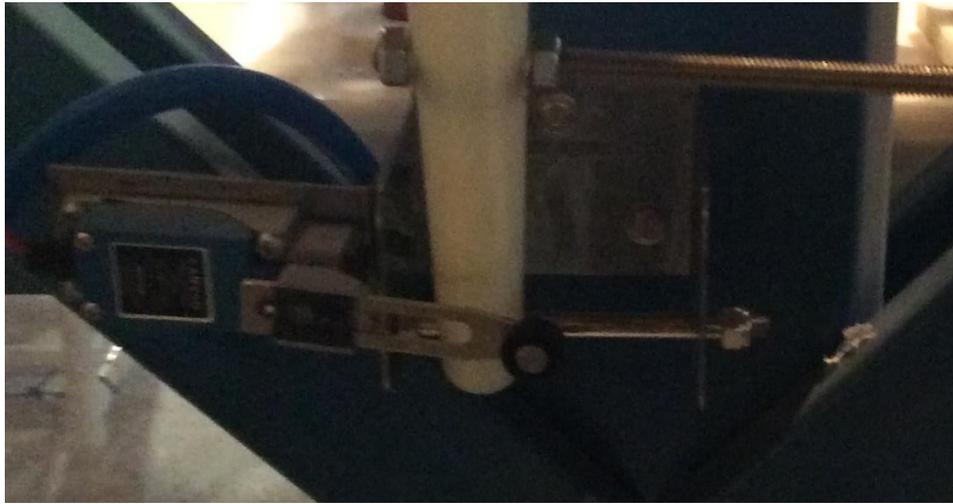


Figura A.16 Fin de Carrera

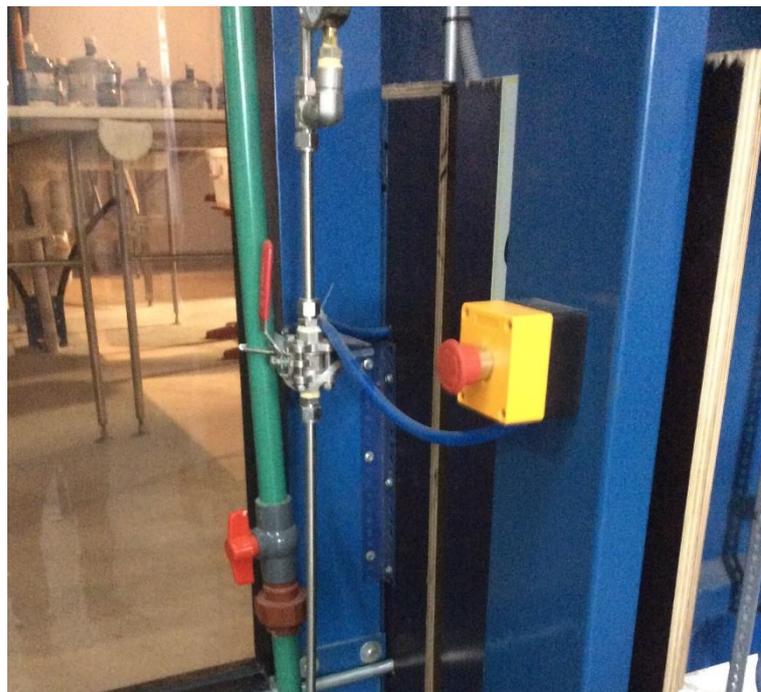


Figura A.17 Botón de Emergencia en el Área del PLC



Figura A.18 PLC instalado



Figura A.19 Botellones para lavar

ANEXO B

B.1 Manual de Usuario

B.2 Manual de Mantenimiento

ANEXO C

C.1 PLANOS