



# **UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**DISEÑO DE UN ENVASADOR SEMIAUTOMÁTICO DE  
POLÍMERO COAGULANTE DE CUATRO SALIDAS PARA  
CANECAS DE 25 KG.**

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

**CAROLINA ALEJANDRA SALAZAR BELTRÁN**

**DIRECTOR: ING. ESTEBAN MONTÚFAR, (M.Sc.)**

**D. M. Quito,  
2020**

## DECLARACIÓN

Yo, Carolina Alejandra Salazar Beltrán 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 correspondientes a este trabajo, a la Universidad Internacional del Ecuador, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por normativa institucional vigente.

---

Carolina Alejandra Salazar Beltrán

C.C: 1717357089

## CERTIFICACIÓN

El docente de la facultad de Ciencias Técnicas Ingeniero Esteban Gabriel Montúfar Ayala, M.Sc.

### CERTIFICA QUE:

El proyecto de investigación denominado “Diseño de un envasador semiautomático de polímero coagulante de cuatro salidas para canecas de 25 kg”, fue desarrollado por la Srta. Carolina Alejandra Salazar Beltrán y ha sido debidamente revisado y está en condiciones de ser entregado para que siga lo dispuesto por la Facultad de Ciencias Técnicas, correspondiente a la sustentación y defensa del mismo.

---

Ing. Esteban Gabriel Montúfar Ayala, M.Sc.

Director Del Proyecto

C.C. 171294941-9

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	TEMA .....	1
2.	OBJETIVOS .....	1
2.1	Objetivo General: .....	1
2.2	Objetivos Específicos .....	1
3.	PROBLEMA .....	1
4.	HIPÓTESIS .....	1
5.	ESTUDIO TEÓRICO DE LOS COMPONENTES DE UN ENVASADOR DE POLIMERO COAGULANTE .....	2
5.1	Estado del Arte .....	2
5.1.1	Máquinas de envasado .....	2
5.2	Tipos de Llenado .....	3
5.3	Concepto del Producto .....	4
5.3.1	Polímero coagulante PAC-25 .....	4
5.3.2	Policloruro de Aluminio .....	5
6.	DISEÑO DEL SISTEMA SEMI AUTOMATICO DE ENVASADO DE POLIMERO COAGULANTE .....	6
6.1	Dimensionamiento Mecánico .....	6
6.1.1	Selección del material para la estructura .....	6
6.1.2	Diseño de la estructura de soporte .....	7
6.1.3	Dimensionamiento de la plancha base .....	7
6.1.4	Dimensionamiento del perfil estructural .....	13
6.1.5	Análisis estático de la estructura completa .....	16
6.1.6	Cálculo de la soldadura para la estructura .....	18
6.1.7	Verificación del factor de seguridad del tanque .....	22
6.1.8	Dimensionamiento del sistema hidráulico .....	24
6.2	Dimensionamiento Electrónico .....	37

6.2.1	Diagrama de entradas y salidas.....	37
6.2.2	Módulo de control PLC.....	37
6.2.3	Módulo de entradas analógicas .....	38
6.2.4	HMI .....	38
6.2.5	Sensor de nivel .....	39
6.2.6	Celdas de carga.....	40
6.2.7	Micro switch de presencia.....	40
6.2.8	Electroválvulas .....	41
6.2.9	Transmisor de presión .....	42
6.2.10	Electroválvula neumática.....	43
6.2.11	Fuente de Alimentación .....	44
6.3	Diseño de la Interfaz .....	44
6.4	Algoritmo de la Programación .....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Resistencia química del Policloruro de Aluminio .....	5
Figura 2 Esquema inicial de la estructura del envasador .....	7
Figura 3 Medidas de la plancha base para una estación. ....	8
Figura 4 Diagrama de cuerpo libre de plancha para una estación .....	9
Figura 5 Diagrama de esfuerzo cortante de la plancha para una estación .....	10
Figura 6 Diagrama de momentos de la plancha.....	10
Figura 7 Desplazamiento de la plancha para una estación.....	13
Figura 8 Dimensión del tubo cuadrado en mm.....	13
Figura 9 Diagrama de cuerpo libre de perfil cuadrado .....	14
Figura 10 Diagrama de esfuerzo cortante de la perfil para una estación .....	15
Figura 11 Diagrama de momentos del perfil cuadrado.....	15
Figura 12 Desplazamiento del perfil cuadrado. ....	16
Figura 13 Factor de seguridad de la estructura.....	17
Figura 14 Desplazamiento de la estructura.....	17
Figura 15 Modelo 3D de la estructura del sistema .....	18
Figura 16 Medida del perfil seleccionado para el análisis de soldadura.....	18
Figura 17 Diagrama de cuerpo libre del perfil para el análisis de soldadura ....	19
Figura 18 Diagrama de cortantes en el análisis de soldadura.....	19
Figura 19 Diagrama de momentos en el análisis de soldadura.....	19
Figura 20 Cordón de soldadura utilizado.....	20
Figura 21 a) Desplazamiento del tanque de almacenamiento .....	24
Figura 21 b) Factor de seguridad del tanque de almacenamiento. ....	24
Figura 22 Bomba de desplazamiento positivo ARO 1" .....	25
Figura 23 Puntos de análisis del sistema. ....	26
Figura 24 Flujo laminar en una tubería circular. ....	28

Figura 25 Flujo turbulento a) diversas partículas desordenadas .....	29
Figura 25 Flujo turbulento b) trayectoria de una sola partícula.....	29
Figura 26 Nomógrafo de accesorios para circuito hidráulico.....	30
Figura 27 Curva de comportamiento de la bomba de desplazamiento positivo de 1 pulgada de diámetro.....	32
Figura 28 Circuito de tubería hidráulica.....	33
Figura 29 Prototipo del Sistema .....	35
Figura 30 Diagrama de bloques del sistema .....	37
Figura 31 Posición del sensor de nivel en el tanque .....	40
Figura 32 Posicionamiento de la caneca en la mesa de la estación de llenado. .....	41
Figura 33 ADV inicial.....	45
Figura 34 ADV Envasado.....	45
Figura 35 Diagrama de Flujo del proceso general.....	46

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Máquinas de envasado comerciales .....	2
Tabla 2 Máquinas similares de tesis de Ingeniería.....	3
Tabla 3 Descripción general de los tipos de llenado .....	4
Tabla 4 Datos técnicos PAC-25 .....	5
Tabla 5 Tipos de acero inoxidable.....	6
Tabla 6 Propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 304.....	7
Tabla 7 Descripción de pesos que soporta la plancha de una estación.....	8
Tabla 8 Coeficiente de seguridad.....	11
Tabla 9 Cálculo del esfuerzo flector de la plancha. ....	12
Tabla 10 Cálculo del esfuerzo flector del perfil.....	15
Tabla 11 Detalle de peso total aplicado a la estructura .....	16
Tabla 12 Cálculo de la soldadura .....	22
Tabla 13 Propiedades mecánicas de HDPE .....	22
Tabla 14 Características relevantes de PAC-25.....	25
Tabla 15 Longitud equivalente de accesorios del circuito hidráulico. ....	31
Tabla 16 Datos de la simulación del comportamiento de flujo del sistema .....	34
Tabla 17 Resultados de las pruebas del prototipo .....	35
Tabla 18 Datos de la simulación del comportamiento de flujo del prototipo.....	36
Tabla 19 Características del PLC Siemens S7-1212 AC/DC Relay .....	37
Tabla 20 Características del módulo Siemens SM 1234.....	38
Tabla 21 Características HMI SIMATIC KTP600 Basic.....	39
Tabla 22 Características Sensor de nivel Ultrasónico 2260 .....	39
Tabla 23 Características de celda de carga L6N.....	40
Tabla 24 Características del micro switch Honeywell.....	41
Tabla 25 Características electroválvula Plastomatic 3 vías.....	42

Tabla 26 Características electroválvula Plastomatic 2 vías.....	42
Tabla 27 Características transmisor de presión WIKA A-10 .....	43
Tabla 28 Características electroválvula neumática STC 2P025.....	43
Tabla 29 Sumatoria de corrientes de la fuente de 12 voltios.....	44

# **DISEÑO DE UN ENVASADOR DE POLIMERO COAGULANTE**

## **1. TEMA**

“Diseño de un envasador semiautomático de polímero coagulante de cuatro salidas para canecas de 25 kg”.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General:**

- Diseñar un envasador semiautomático de polímero coagulante de cuatro salidas para canecas de 25 kg.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Investigar el funcionamiento de un envasador de polímeros coagulantes junto con su respectiva normativa.
- Diseñar la estructura y mecanismos que implican un envasador de cuatro salidas.
- Modelar matemáticamente el comportamiento de la planta.
- Simular el comportamiento de la planta
- Seleccionar un controlador digital para la aplicación deseada.
- Seleccionar una HMI que permita modificar las variables de control relevantes al proceso de envasado.

## **3. PROBLEMA**

La empresa Wascorp S.A realiza varios productos para el tratamiento de aguas residuales, siguiendo procesos desde la fabricación hasta la distribución. En la línea de producción de PAC-25, se requiere automatizar el proceso de envasado para evitar pérdida de material y tiempo. Se requiere de un sistema que sea capaz de envasar el producto “PAC-25”, agilitando el proceso y disminuyendo las pérdidas del mismo.

## **4. HIPÓTESIS**

El envasador semiautomático es capaz de llenar cuatro canecas con 25 kilogramos de polímero coagulante por minuto.

## 5. ESTUDIO TEÓRICO DE LOS COMPONENTES DE UN ENVASADOR DE POLIMERO COAGULANTE

En esta sección se recopila la investigación necesaria para el diseño del envasador semiautomático de polímero coagulante.

### 5.1 Estado del Arte

#### 5.1.1 Máquinas de envasado

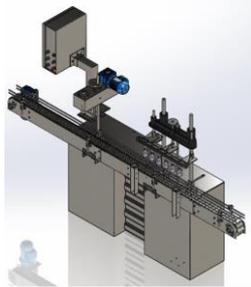
Existe una gran variedad de máquinas capaces de envasar todo tipo de materia, pueden ser tanto sólidos como líquidos. Estas máquinas por lo general se adaptan a una línea de procesos, contando con sistemas que generan una producción en serie. Los tipos de envasadores son: Rotacional, lineal y vertical. En la Tabla 1 se detallan aquellas máquinas especializadas en el envasado de líquidos.

Tabla 1. Máquinas de envasado comerciales

Tipo de máquina	Especificaciones	Imagen
Máquina automática rotativa de llenado volumétrico. [1]	Cadencia: 9000 botellas de 500ml por hora. Dedicada a industria alimentaria. Accionamiento neumático.	 <p>Fuente: [1]</p>
Máquina automática de llenado y enroscado, con un transportador de acero inoxidable. [2]	Cadencia: máximo 1200 productos por hora. Precisión de llenado: +/- 0.5%. Tipo bomba: Centrífuga, volumétrica, peristáltica, pistón.	 <p>Fuente: [2]</p>

También se realizó una revisión de trabajos de titulación similares, en la Tabla 2 se detallan sus características.

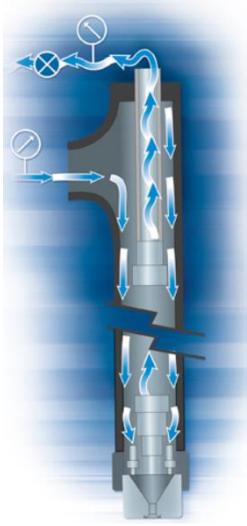
Tabla 2 Máquinas similares de tesis de Ingeniería

Tipo de máquina	Especificaciones	Dimensiones	Salidas	Imagen
Sistema de envasado de refrescos para la industria de lácteos. [3]	Destinada a envases de 250 ml y 500 ml. Incluye banda transportadora y sistema de roscado de botellas.	Largo: 6 m Alto: 2.3 m Ancho: 0.6 m	Tiene 6 pistolas con regulación de altura para cada tipo de envase.	 <p>Fuente: [3]</p>
Envasadora semiautomática para yogurt con sellado termoplástico. [4]	Tolva de 20 litros. Destinado para envases de 100 ml. Plato giratorio con 5 portavasos.	Largo:0.45m Alto: 1.13 m Ancho: 0.37 m	Tiene 1 salida, con activación manual y restricción mecánica.	 <p>Fuente:[4]</p>
Sistema de envasado de mermelada de frutas en frascos de vidrio. [5]	Capaz de llenar envases de 250 ml y 500ml.	Largo:1.52m Alto: 1.84 m Ancho: 0.47 m	Tiene 1 salida, sistema neumático.	 <p>Fuente: [5]</p>

## 5.2 Tipos de Llenado

El proceso de llenar se lo puede clasificar de diversas formas, dado que existe una gran variedad de mecanismos que cumplen con la función, puede realizarse el control del llenado mediante parámetros mecánicos como también se lo puede controlar de manera electrónica con la ayuda de sensores. En la Tabla 3 se desarrolla una clasificación general del tipo de llenado que un envasador puede poseer.

Tabla 3 Descripción general de los tipos de llenado

Tipo de llenado	Explicación	Imagen
Llenado por volumen	Consta de un pistón que puede ser accionado neumáticamente o eléctricamente con el fin de absorber un volumen de fluido, el cual succiona de una tolva de almacenamiento para después depositarlo en el envase. [6]	 <p>Fuente: [7]</p>
Llenado por peso	Se utilizan celdas de carga, son construidas con acero o aluminio y contienen galgas extensométricas que son las que por medio de una ligera deformación y una electrónica de análisis determinan el peso. Pueden ser analógicas o digitales y según su previa calibración suelen ser muy precisas. [8]	 <p>Fuente: [8]</p>
Llenado por nivel	Por lo general se utilizan boquillas flowback, las cuales consisten en un orificio de evacuación del líquido que se comunica con el depósito de almacenamiento del fluido. Al momento de sobrepasar la presión calibrada el fluido se regresa al depósito. Se la puede considerar como una restricción mecánica y en los envasadores se utiliza este tipo de llenado con la ayuda de un temporizador. [9]	 <p>Fuente: [9]</p>

### 5.3 Concepto del Producto

#### 5.3.1 Polímero coagulante PAC-25

El PAC-25 es un químico a base de Policloruro de aluminio. Es también conocido como Alumina. Este producto es ligeramente corrosivo y abrasivo por lo que se

debe tener ciertas precauciones como utilizar guantes de caucho, lentes y overol. En la Tabla 4 se muestra algunos datos técnicos de este químico tomados del Anexo C.

Tabla 4 Datos técnicos PAC-25

Datos técnicos del	
Nombre químico:	Alumina
Forma:	Líquida
Color	Ámbar Claro
Gravedad específica:	1.25 – 1.30
PH puro:	1.5 – 3.5
Hierro:	<0.1%
Punto de ebullición (°C):	Aprox. 100°
Solubilidad en agua:	Completamente soluble

Fuente: Wascorp S.A

### 5.3.2 Policloruro de Aluminio

Es un coagulante inorgánico a base de sales de aluminio polimerizado, es ampliamente utilizado en procesos industriales, su principal función es remover color y material coloidal en sistemas acuosos, plantas potabilizadoras, entre otros [10]. En la Figura 1 se muestra una tabla donde se detalla la resistencia de varios materiales con respecto al Policloruro de aluminio.

A - Excellent  
 B - Good  
 C - Good to 80° F  
 D - Moderate effect  
 Use under limited conditions  
 E - Not Recommended  
 F - Autocatalytic  
 X - Unknown

### CHEMICAL RESISTANCE GUIDE INDUSTRIAL CHEMICALS

CHEMICAL	PVC	PVDF	GFPPL	Polyethylene	SAN	Teflon	316SS	Norprene	Ceramic	Hypalon	Viton
ACETIC ACID, 5%	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	E
ACETIC ACID, 80%	E	A	C	B	E	A	A	B	A	E	E
ACETIC ACID, GLACIAL	E	A	C	B	E	A	A	B	A	E	E
ACETIC ANHYDRIDE	E	E	A	X	E	A	D	A	A	A	E
ALUMINUM CHLORIDE	A	A	A	A	A	A	D	A	A	A	A
ALUMINUM FLOURIDE	A	A	A	X	A	A	C	A	X	A	A

Figura 1 Resistencia química del Policloruro de Aluminio

Fuente: [11]

Por esta razón, se utilizan tuberías y envases de PVC y polietileno de alta densidad.

## 6. DISEÑO DEL SISTEMA SEMI AUTOMÁTICO DE ENVASADO DE POLIMERO COAGULANTE

En esta sección se desarrollan los cálculos que conlleva el diseño mecánico, la selección de componentes electrónicos y el desarrollo del algoritmo de programación para el correcto funcionamiento del sistema de envasado.

### 6.1 Dimensionamiento Mecánico

En esta sección se desarrolla el dimensionamiento los elementos que componen la estructura mecánica y el sistema hidráulico del envasador de polímero coagulante

#### 6.1.1 Selección del material para la estructura

Para la selección del material se toma en cuenta que el fluido que se va a envasar es ligeramente corrosivo por lo que se opta por trabajar con acero inoxidable. Se tienen 3 tipos del acero inoxidable y se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5 Tipos de acero inoxidable

Tipo de Acero	Aleaciones	Propiedades
Austenítico	Hierro, cromo, níquel y carbono.	Buena resistencia mecánica. Buena soldabilidad. Resistencia a varios tipos de corrosión.
Martensítico	Hierro, cromo y carbono	Resistencia a corrosión moderada. Mala soldabilidad debido a que sufren modificaciones estructurales con la temperatura. Buena resistencia mecánica.
Ferríticos	Hierro, cromo y carbono	Resistencia a la corrosión moderada. Mala soldabilidad.

Fuente: [12]

Este material se va a utilizar para la selección de perfiles y planchas que conformarán la estructura del envasador, por lo que se selecciona el acero AISI 304 que es de tipo austenítico, el cual es el más común cuando se trata de muebles de exterior, se utiliza en industrias alimenticia, químicas y petroleras [13]. En la Tabla 6 se detallan las características del material.

Tabla 6 Propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 304

PROPIEDADES FISICAS DE ACEROS INOXIDABLES	
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	7900
Módulo de elasticidad [GPa]	193
Módulo de Poisson	0.26
Resistencia a la tracción (Sut) [MPa]	515
Límite de fluencia (Sy) [MPa]	205

Fuente:[14]

### 6.1.2 Diseño de la estructura de soporte

Se diseña la estructura de soporte de la máquina de envasado tomando en cuenta que tiene cuatro estaciones de llenado, donde cada estación consta de una celda de carga, una mesa base, una caneca y un microswitch de presencia de la caneca. En la Figura 2 se muestra el esquema inicial de la estructura, sus dimensiones generales son: Largo: 2,6 m, Ancho: 0,8 m, Alto: 0,9 m.



Figura 2 Esquema inicial de la estructura del envasador

### 6.1.3 Dimensionamiento de la plancha base

Para el dimensionamiento del espesor de la plancha base, se toman las medidas de una estación de llenado y las cargas que influyen en ella, debido a que estas

últimas son iguales para cada estación. En la Tabla 7 se enlistan las cargas que va a soportar la plancha mostrada en la Figura 3.

Tabla 7 Descripción de pesos que soporta la plancha de una estación.

Cantidad	Descripción	Peso unitario [kg]	Peso total [kg]
1	Caneca con PAC-25	27	27
1	Mesa Base de la Caneca	5,26	5,26
1	Celda de Carga	1	1
1	Micro Switch	1	1
	Varios		10
		<b>TOTAL MASA</b>	<b>44,26</b>
		<b>FUERZA <math>F_p</math></b>	<b>434,191 [N]</b>

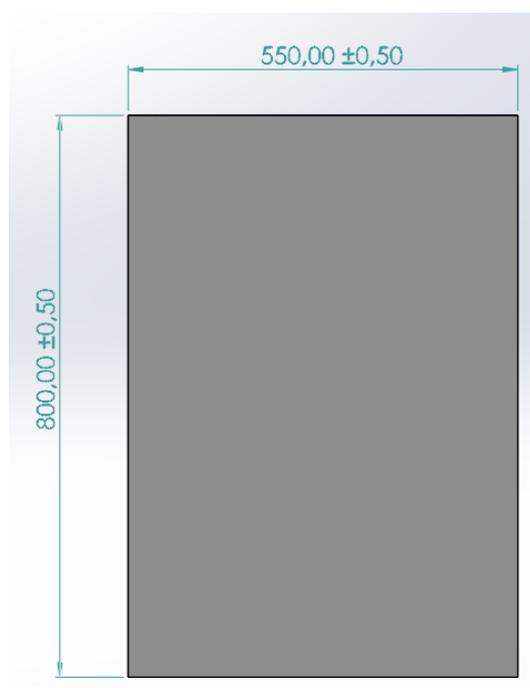


Figura 3 Medidas de la plancha base para una estación.

En la Tabla 7 se observa que la fuerza  $F_p$  que ejerce sobre la plancha base es de 434,191 N, con esto se realiza un análisis mecánico por resistencia, donde se trata a la plancha como una viga de 0,55 m de largo  $l_p$ , en la Figura 4 se muestra el diagrama del cuerpo libre.

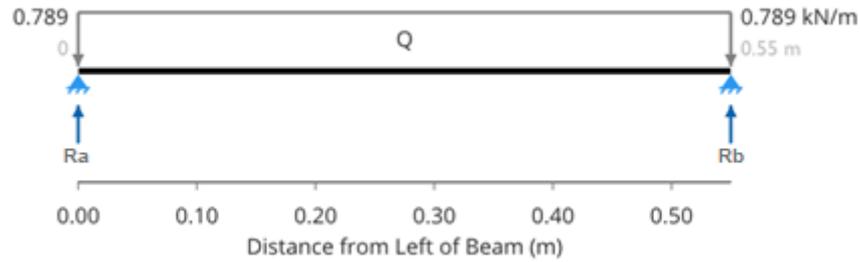


Figura 4 Diagrama de cuerpo libre de plancha para una estación

Para obtener la carga distribuida que actúa sobre la plancha se utiliza (1).

$$Q = \frac{F_p}{l_p} \quad (1)$$

$$Q = \frac{434,191 \text{ N}}{0,55 \text{ m}} = 789,44 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

La carga distribuida  $Q$  aplicada a la viga genera reacciones en el sentido contrario de la misma. Para obtener estas reacciones  $Ra_p$  y  $Rb_p$  se trabaja con la fuerza puntual y se realiza una sumatoria de las fuerzas en el eje "Y" con (2).

$$\sum F_y = 0 \quad (2)$$

$$Ra_p = 434,191 \text{ N} - Rb_p \quad (3)$$

Luego se realiza sumatoria de momentos con (4):

$$\sum Ma = 0 \quad \downarrow + \quad (4)$$

$$(434,191 \cdot 0,275 \text{ m}) - Rb_p \cdot 0,55 = 0$$

$$Rb_p = 217,10 \text{ N}$$

Reemplazando el valor de  $Rb_p$  en (3) se obtiene  $Ra_p$ :

$$Ra_p = 217,10 \text{ N}$$

Una vez que se tienen las reacciones se realiza el diagrama de esfuerzos cortantes que se muestra en la Figura 5.

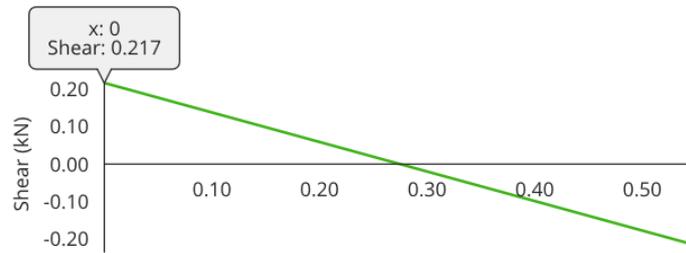


Figura 5 Diagrama de esfuerzo cortante de la plancha para una estación

Para el cálculo de momentos se sacan las áreas de cada triángulo del diagrama de cortantes de la Figura 5, tomando como base la distancia del primer triángulo, como altura se toma la fuerza de cada punto, se debe tomar en cuenta si es positiva o negativa, en la Figura 6 se observa el diagrama.

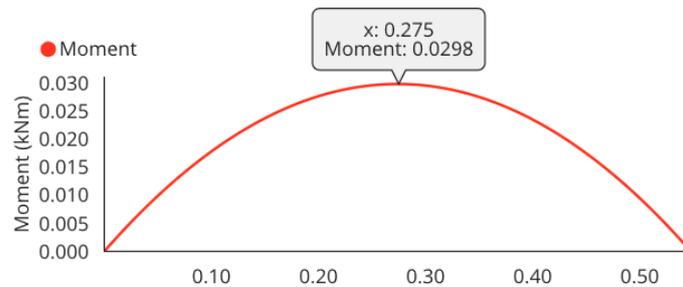


Figura 6 Diagrama de momentos de la plancha

El momento máximo es de 29,8 N.m. Se calcula con ese valor el esfuerzo flector máximo con (5).

$$\sigma_{fp} = \frac{M_p \cdot c_p}{I_p} \quad (5)$$

Donde:

$M_p$  es el momento máximo obtenido del diagrama de momentos.

$c_p$  la distancia perpendicular desde el centroide al punto de análisis.

$I_p$  es la inercia calculada en el eje perpendicular donde cae la fuerza.

Para el cálculo de  $c_p$  en este caso se utiliza (6):

$$c_p = \frac{\text{espesor plancha}}{2} \quad (6)$$

Para el cálculo de  $I_p$  en figuras rectangulares que es este caso se utiliza (7).

$$I_{p(xx)} = \frac{b_p \cdot h_p^3}{12} \quad (7)$$

Donde

$b_p$  base en el eje x de la plancha, en la Figura 3 se observa que es 0,8 m.

$h_p$  es el espesor de la plancha.

Para seleccionar el espesor se debe tomar en cuenta dos valores importantes que son el factor de seguridad y el desplazamiento. El factor de seguridad se calcula con (8) se aplica al criterio de diseño y generalmente debe ser mayor a 1 ya que es la división entre el límite a la fluencia y el esfuerzo máximo calculado, si resulta menor a 1 significa que el elemento en análisis puede fallar. Al no conocer exactamente las propiedades del material se utiliza la Tabla 8 tomada de [15] y se trabaja con factores de seguridad mayores a 2 ya que el cálculo se basa en el criterio de resistencia a fluencia.

Tabla 8 Coeficiente de seguridad

Clases de carga	Acero, Metales dúctiles		Hierro fundido, metales quebradizos.	Madera de construcción
	Basado en resistencia máxima	Basado en resistencia a fluencia	Basado en resistencia máxima	
Carga permanente, N=	3-4	1.5-2	5-6	7
Repetida una dirección, gradual, N=	6	3	7-8	10
Repetida invertida, gradual, N=	8	4	10-12	15
Choque, N=	10-15	5-7	15-20	20

Fuente: [15]

$$FDS = \frac{Sy_p}{\sigma_{fp}} \quad (8)$$

Para conocer el desplazamiento se toma en cuenta que la estructura es considerada una parte general de la máquina [16], se utiliza (9) para conocer el desplazamiento máximo.

$$\frac{y_{max}}{l_p} = 0,0005 \text{ a } 0,003 \text{ de longitud de viga en mm} \quad (9)$$

Tomando los límites y despejando el desplazamiento  $y_{max}$  se tiene:

$$y_{max} = l_p \cdot 0,0005 = 550 \text{ mm} \cdot 0,0005 = 0,28 \text{ mm}$$

$$y_{max} = l_p \cdot 0,003 = 550 \text{ mm} \cdot 0,003 = 1,65 \text{ mm}$$

El desplazamiento máximo puede estar entre 0,28 mm y 1,65 mm.

En la Tabla 9 se desarrolla el cálculo de esfuerzo flector para los diferentes espesores encontrados en el catálogo de Iván Bohman que se detalla en el Anexo C. Se observa que el factor de seguridad del espesor más pequeño supera las condiciones indicadas anteriormente, se realiza la simulación para analizar el desplazamiento de la plancha. Con la ayuda de Solidworks se obtienen los datos de las columnas del factor de seguridad y desplazamiento, se selecciona la plancha con el espesor de 5 mm.

Tabla 9 Cálculo del esfuerzo flector de la plancha.

Espesor [m]	C [m]	Ixx [m <sup>4</sup> ]	$\sigma_f$ [MPa]	Factor de seguridad	Desplazamiento [mm]
0,004	0,002	4,26 e-9	13,993	15,01	1,82
0,005	0,0025	8,33e-9	8,955	23,04	<b>0,65</b>

La Figura 7 expresa el análisis estático con el desplazamiento máximo en la plancha de 5 mm.

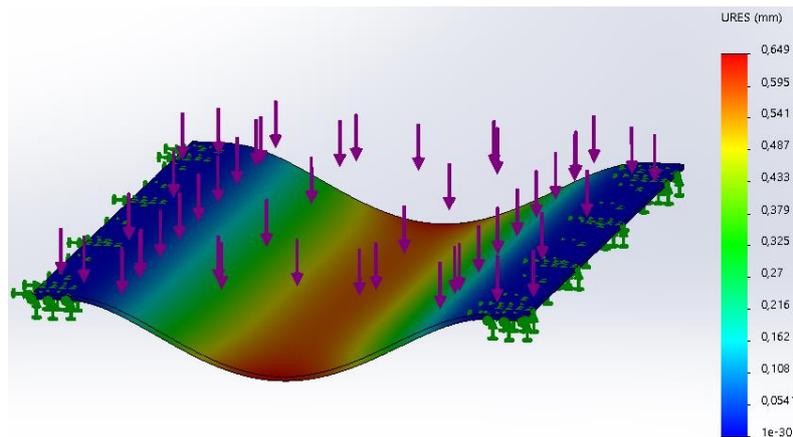


Figura 7 Desplazamiento de la plancha para una estación.

Con los cálculos realizados se concluye que para la carga distribuida de 789,44 N.m es suficiente implementar un acero con espesor de 5mm, ya que asegura un factor de 23,04 y una deformación máxima de 0,649 mm.

#### 6.1.4 Dimensionamiento del perfil estructural

Para el estudio se parte de un tubo cuadrado, en el cual se va a dimensionar el espesor del mismo, se realiza el análisis mecánico por resistencia para una viga. En la Figura 8 se encuentran las dimensiones del tubo, este análisis también se lo realiza tomando en cuenta las medidas de una estación de llenado.



Figura 8 Dimensión del tubo cuadrado en mm.

En este perfil se toma en cuenta el peso de la plancha seleccionada en la sección anterior, se adquiere el volumen con (10).

$$V_{plancha} = largo \cdot ancho \cdot espesor \quad (10)$$

$$V_{plancha} = 0,55 \text{ m} \cdot 0,8 \text{ m} \cdot 0,005 \text{ m} = 0,0022 \text{ m}^3$$

Para obtener la masa de la plancha se aplica (11) .

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (11)$$

Tomando la densidad de la Tabla 6 y reemplazando los valores de (10) en (11) se tiene:

$$m = 7930 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0.0022 \text{ m}^3 = 17,45 \text{ kg}$$

Se suma el valor de  $m$  al resultado de la Tabla 7 y su consecuencia es una fuerza puntual de 605,34 N. Con la ayuda de (1) se obtiene la carga distribuida en viga de análisis y su valor es de 1100,61 N.m, en la Figura 9 se tiene el diagrama de cuerpo libre.

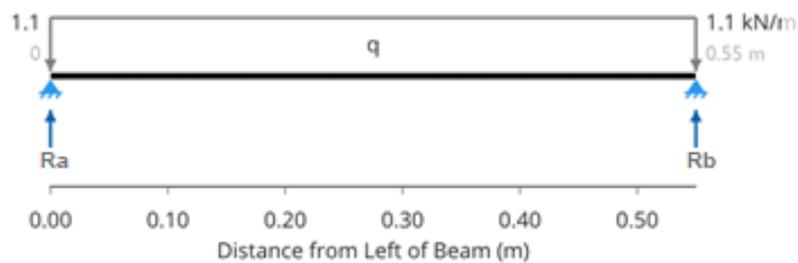


Figura 9 Diagrama de cuerpo libre de perfil cuadrado

Para obtener las reacciones  $Ra_v$  y  $Rb_v$  de la Figura 9 se utiliza (2) y se genera (12) .

$$Ra_v = 605,34 \text{ N} - Rb_v \quad (12)$$

Luego se realiza sumatoria de momentos con (4) y se obtiene (13).

$$(605,34 \text{ N} \cdot 0,275 \text{ m}) - Rb_v \cdot 0,55 \text{ m} = 0 \quad (13)$$

$$Rb_v = 302,67 \text{ N}$$

Reemplazando el valor de  $Rb_v$  en (12) se soluciona  $Ra_v$ :

$$Ra_v = 302,67 \text{ N}$$

Con los valores de las reacciones se realiza el diagrama de esfuerzos cortantes que describe la Figura 10.

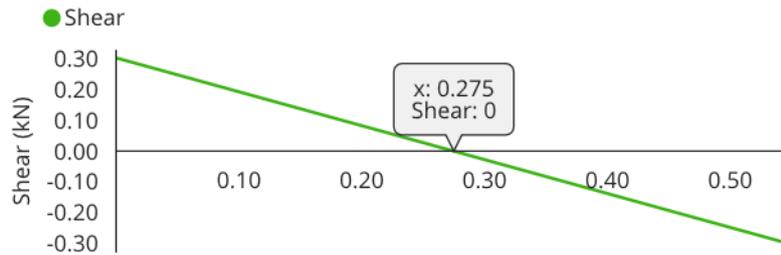


Figura 10 Diagrama de esfuerzo cortante de la perfil para una estación

Con el diagrama de cortantes se obtiene el diagrama de momentos que se muestra en la Figura 11.

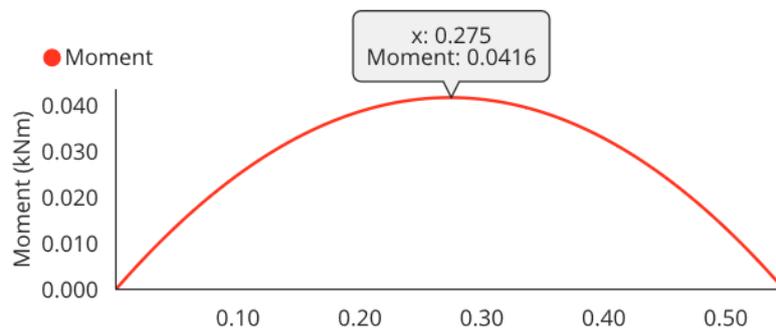


Figura 11 Diagrama de momentos del perfil cuadrado.

El momento máximo es de 41,6 N.m y con este dato se desarrolla la Tabla 10, donde se aplica (5), (6) y (8) y se utiliza las dimensiones del catálogo de Iván Bohman que se encuentra en el Anexo C en la sección de perfiles cuadrados para seleccionar el ancho y espesor del mismo. Para el cálculo de la inercia se utiliza (14) ya que se trata de un tubo hueco.

$$I_{v(xx)} = \frac{b_{ext} \cdot h_{ext}^3}{12} - \frac{b_{int} \cdot h_{int}^3}{12} \quad (14)$$

Tabla 10 Cálculo del esfuerzo flector del perfil.

Lado [m]	Espesor [m]	C [m]	I <sub>xx</sub> [m <sup>4</sup> ]	σ <sub>f</sub> [MPa]	FDS	Desplazamiento [mm]
0,02	0,0012	0,01	5,34 e-9	77,972	2,69	2,72
0,0254	0,0012	0,0127	1,14 e-8	46,502	4,52	1,75
0,03	0,0012	0,015	1,91 e-8	32,609	6,44	<b>0,857</b>

Se selecciona el perfil cuadrado con lado de 30 mm y 1,2 mm de espesor, debido a que el desplazamiento cumple con las condiciones explicadas en la sección anterior. La Figura 12 enseña la simulación del análisis estático de la viga.

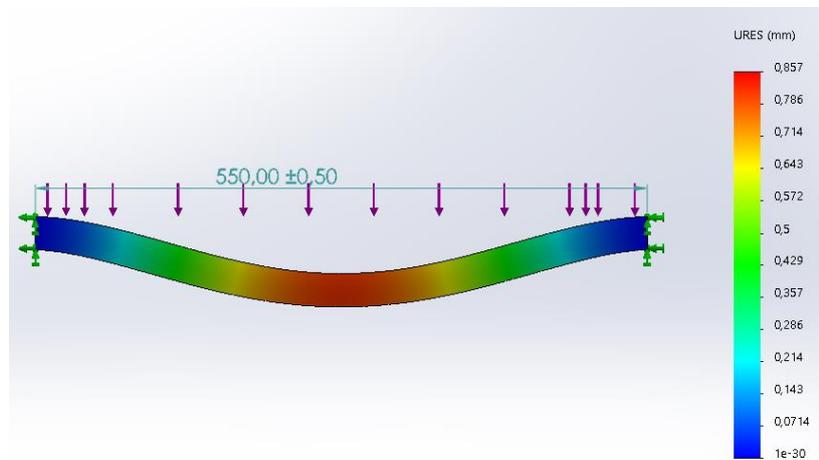


Figura 12 Desplazamiento del perfil cuadrado.

#### 6.1.5 Análisis estático de la estructura completa

Una vez que en la sección 6.1.3 y 6.1.4 se analizan los elementos para una sola estación y cumple con las condiciones deseadas, se realiza un análisis estático de la estructura completa detallando en la Tabla 11 la carga total que esta va a soportar.

Tabla 11 Detalle de peso total aplicado a la estructura

Cantidad	Descripción	Peso unitario [kg]	Peso total [kg]
4	Caneca con PAC-25	27	108
4	Mesas Base de la Canecas	5,26	21,04
4	Celdas de Carga	1	4
4	Micro Switch	1	4
1	Plancha ACERO AISI 304 0,8x2,23m	70,74	70,74
	Varios	40	40
	<b>TOTAL MASA</b>		<b>247,78 kg</b>
	<b>FUERZA</b>		<b>2430,68 [N]</b>

Con estos datos se desarrolla el análisis estático en el simulador de Solidworks, para esto se considera que existen sujeciones al inferior de la estructura, se ingresa una masa distribuida de 247,78 kg que cae sobre los perfiles horizontales de la base. La Figura 13 detalla los resultados del factor de seguridad general de la estructura que es de 4,7 y la Figura 14 muestra que el desplazamiento máximo es de 0,97 mm.

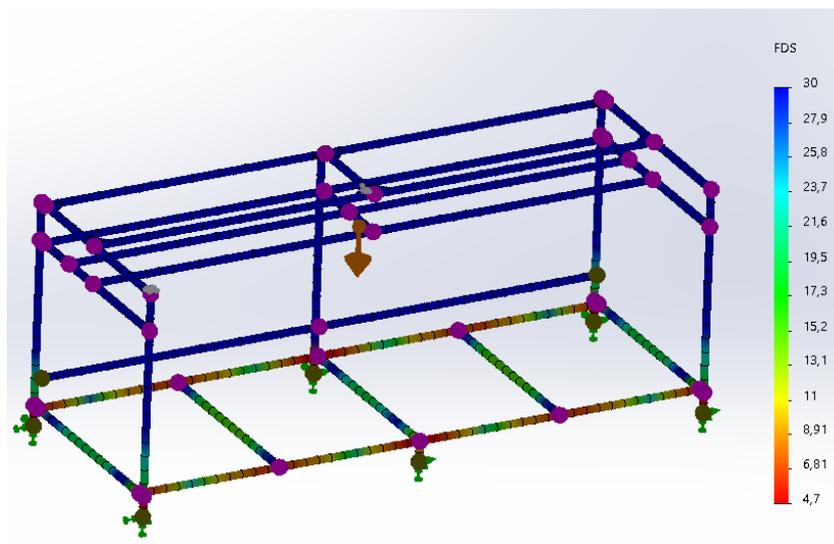


Figura 13 Factor de seguridad de la estructura

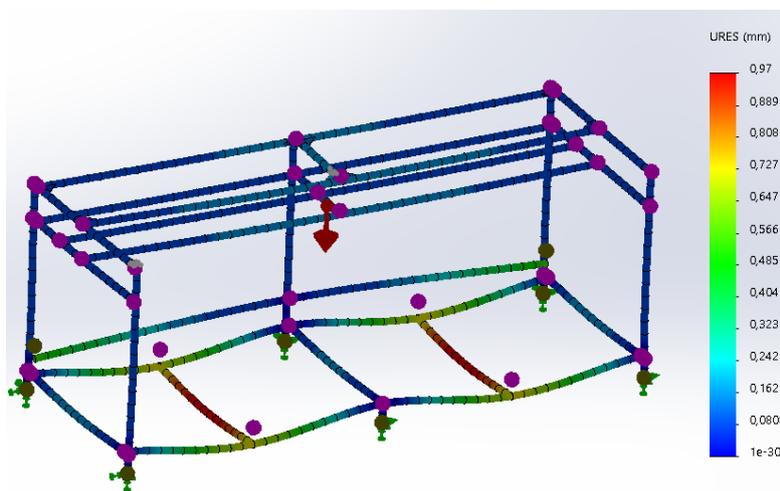


Figura 14 Desplazamiento de la estructura

Concluyendo finalmente que la estructura del sistema cumple con las condiciones y puede soportar las cargas calculadas. En la Figura 15 se observa el modelo 3D de la estructura.

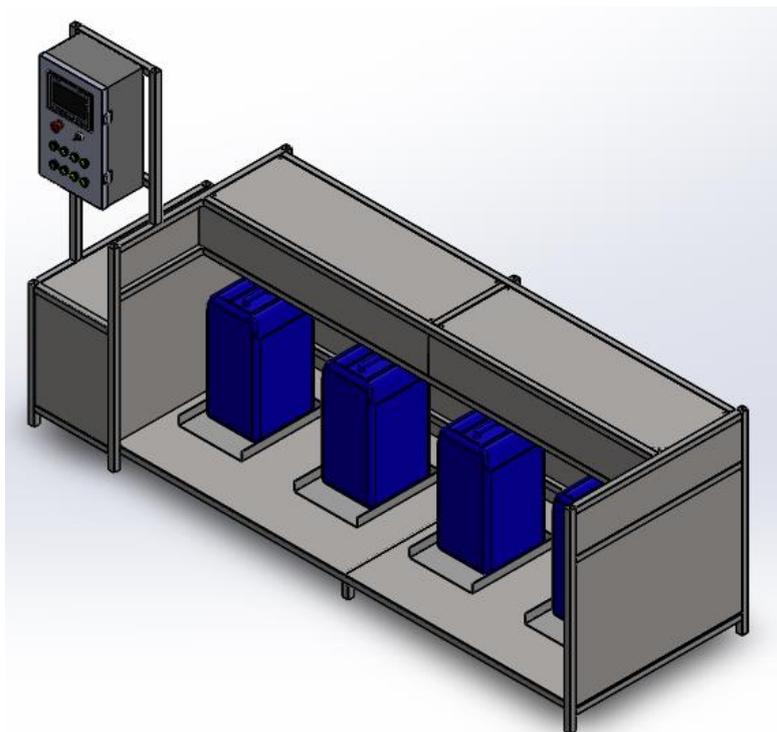


Figura 15 Modelo 3D de la estructura del sistema

#### 6.1.6 Cálculo de la soldadura para la estructura

El cálculo de la soldadura se realiza en la viga más larga que soporte el mayor peso considerando que esta se encuentra a flexión, en la Figura 16 se muestra el perfil con el que se va a trabajar y sus medidas.

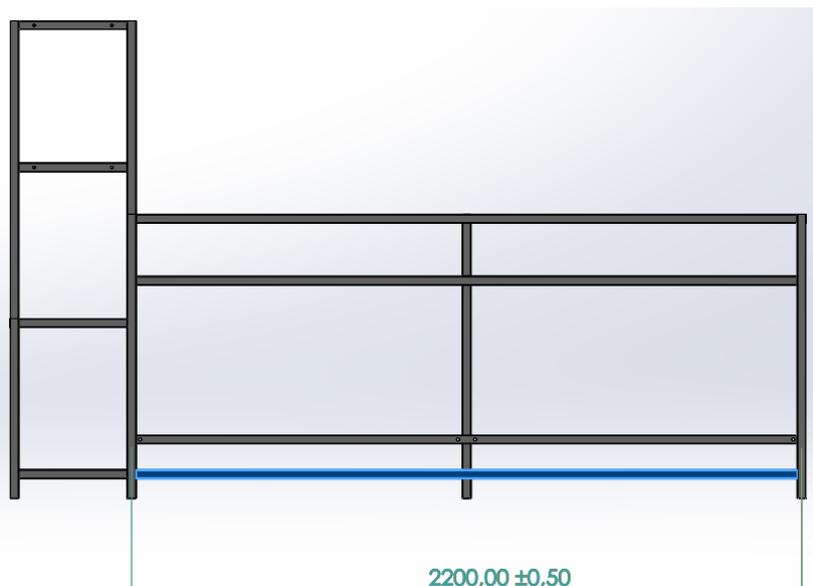


Figura 16 Medida del perfil seleccionado para el análisis de soldadura

Se toma de la Tabla 11 el valor de la fuerza que soporta la viga y es 2430,68 N. Con la ayuda de (1) se obtiene la carga distribuida.

$$Q_s = \frac{2430 \text{ N}}{2,2 \text{ m}} = 1104,5 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Con estos datos se desarrolla el diagrama del cuerpo libre como expresa la Figura 17.

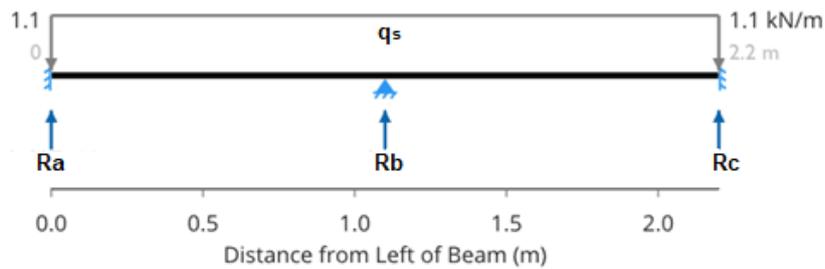


Figura 17 Diagrama de cuerpo libre del perfil para el análisis de soldadura

Con la ayuda del software Free Beam Calculator se obtienen los diagramas de cortantes y momentos. En la Figura 18 se observa que la fuerza cortante máxima  $V_s$  es 607 N y en la Figura 19 se tiene que el momento máximo  $M_s$  es de 111 N.m.

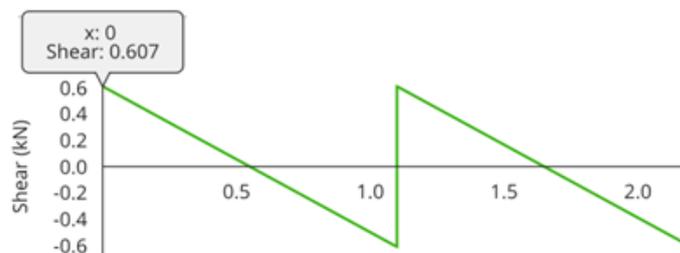


Figura 18 Diagrama de cortantes en el análisis de soldadura

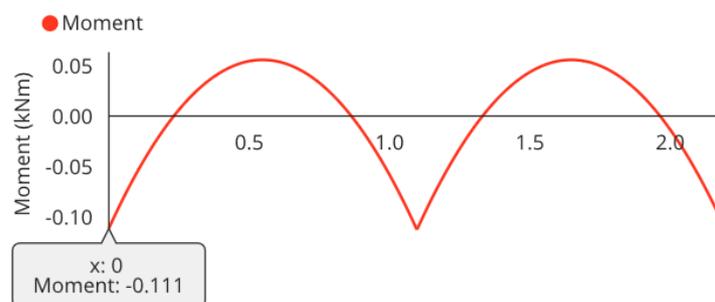


Figura 19 Diagrama de momentos en el análisis de soldadura

Con estos valores se procede a realizar el cálculo de la soldadura. El objetivo de este cálculo es obtener el diámetro del cordón de soldadura, para esto se obtiene el esfuerzo cortante equivalente con (15):

$$\tau_{eq} = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2} \quad (15)$$

Para calcular el cortante primario  $\tau'$  se utiliza (16):

$$\tau' = \frac{V_s}{A_s} \quad (16)$$

Donde  $A_s$  es el área del cordón de soldadura mostrado en la Figura 20 y se obtiene con (17). Se considera que el cordón va alrededor de perfil cuadrado seleccionado en la Tabla 10, es decir un perfil de 30x30 mm de lado.

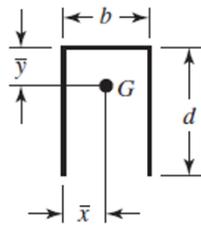


Figura 20 Cordón de soldadura utilizado

Fuente: [17]

$$A_s = 0,707 \cdot h_s \cdot (b_s + (2 \cdot d_s)) \quad (17)$$

Donde:

$h_s$  es el diámetro del electrodo

$b_s$  es el largo del cordón de soldadura (Figura 20)

$d_s$  es el alto del cordón de soldadura (Figura 20)

Para obtener el cortante secundario  $\tau''$  se aplica (18).

$$\tau'' = \frac{M_s \cdot c_s}{I_s} \quad (18)$$

Donde  $c_s$  es la distancia máxima del centroide al punto de análisis, y se calcula con (19).

$$c_s = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \quad (19)$$

Los puntos  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  se utilizan para conocer la ubicación del centroide y se calcula con (20) y (21)

$$\bar{x} = \frac{b_s}{2} \quad (20)$$

$$\bar{x} = \frac{0,03 \text{ m}}{2} = 0,015 \text{ m}$$

$$\bar{y} = \frac{d_s^2}{b_s + (2 \cdot d_s)} \quad (21)$$

$$\bar{y} = \frac{0,03 \text{ m}^2}{0,03 \text{ m} + (2 \cdot 0,03 \text{ m})} = 0,010 \text{ m}$$

Reemplazando los datos obtenidos en (20) y (21) se resuelve (19):

$$c_s = \sqrt{0,015 \text{ m}^2 + 0,010 \text{ m}^2} = 0,018 \text{ m}$$

Para calcular  $I_s$  se tiene (22):

$$I_s = 0,707 \cdot h_s \cdot I_u \quad (22)$$

Donde  $I_u$  se calcula con (23):

$$I_u = \frac{2 \cdot d^3}{3} - (2 \cdot d_s^2 \cdot \bar{y}) + (b_s + (2 \cdot d_s)) \cdot \bar{y}^2 \quad (23)$$

Se reemplazan los datos y se obtiene el valor de  $I_u$ :

$$I_u = \frac{2 \cdot 0,03 \text{ m}^3}{3} - (2 \cdot 0,03 \text{ m}^2 \cdot 0,01 \text{ m}) + (0,03 \text{ m} + (2 \cdot 0,03 \text{ m})) \cdot 0,01 \text{ m}^2 = 9 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Se selecciona un electrodo para acero inoxidable que es el 308 L, se toman los valores del diámetro del electrodo del Anexo C y se desarrolla la Tabla 12, resolviendo (15) con la ayuda de (16), (17), (18), (19), (22) y (23).

Tabla 12 Cálculo de la soldadura

$h_s$ [m]	A [m <sup>2</sup> ]	$\tau'$ [Pa]	$I_s$ [m <sup>4</sup> ]	$\tau''$ [Pa]	$\tau$ [MPa]
0,0024	0,000153	3974802,24	1,5271E-08	131036261,6	131,096533
0,0032	0,000204	2981101,68	2,0362E-08	98277196,19	98,3223996
<b>0,004</b>	0,000255	2384881,35	2,5452E-08	78621756,95	<b>78,6579197</b>
0,0048	0,000305	1987401,12	3,0542E-08	65518130,79	65,5482664

Se obtiene el esfuerzo permisible del material base [17] con la ayuda de (24) y (25). Los valores de  $S_{ut}$  y  $S_y$  se toman de la Tabla 6.

$$\tau_{S_{ut}(AISI\ 304)} = 0,3 \cdot S_{ut}_{AISI\ 304} \quad (24)$$

$$\tau_{S_{ut}(AISI\ 304)} = 0,3 \cdot 515\ \text{MPa} = 154,5\ \text{MPa}$$

$$\tau_{S_y(AISI\ 304)} = 0,3 \cdot S_y_{AISI\ 304} \quad (25)$$

$$\tau_{S_y(AISI\ 304)} = 0,4 \cdot 205\ \text{MPa} = 82\ \text{MPa}$$

El esfuerzo permisible del electrodo se toma del Anexo C y es 560 MPa. De los 3 valores obtenidos anteriormente se toma el menor, que es 82 MPa. El esfuerzo equivalente calculado en la Tabla 12 debe ser menor a 82 MPa, por lo que se elige el electrodo con diámetro de 4 mm.

#### 6.1.7 Verificación del factor de seguridad del tanque de almacenamiento

La empresa Wascorp S.A cuenta con una tanque de almacenamiento de 5000 litros, tiene un espesor de 15 mm y es de polietileno de alta densidad cuyas propiedades mecánicas se detallan en la Tabla 13. Dicho tanque será sometido a una simulación de análisis estático para verificar su factor de seguridad.

Tabla 13 Propiedades mecánicas de HDPE

Característica	Detalle
Densidad (ISO 1183) [g/cm <sup>3</sup> ]	0.95
Resistencia a la tracción (ISO 527)[MPa]	34
Tensión de fluencia (ISO 527)[MPa]	24
Resistencia al alargamiento (ISO 527) [%]	+8

Módulo - E (ISO 527) [MPa]	950
Resistencia productos químicos	Alta resistencia a ácidos, álcalis y disolventes.

Fuente: [18]

Del plano del tanque de almacenamiento que se encuentra en el Anexo C se toman las dimensiones y se calcula el esfuerzo tangencial con (26) y longitudinal del tanque (27).

$$\sigma_t = \frac{P_t \cdot r_t}{t_t} \quad (26)$$

$$\sigma_L = \frac{P_t \cdot r_t}{2 \cdot t_t} \quad (27)$$

Donde

$P_t$  es la presión absoluta al interior del tanque.

$r_t$  es el radio interno del tanque.

$t_t$  es el espesor de la pared del tanque.

Para el cálculo de la presión se utiliza (28):

$$P_t = \rho_{PAC} \cdot g \cdot h_t \quad (28)$$

Tomando el valor de densidad del fluido de la Tabla 4 y la altura total del tanque se tiene:

$$P_t = 1300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2.9 \text{ m} = 36.983 \text{ KPa}$$

Sumando la presión atmosférica el valor final de la presión es:

$$P_t = 36.983 \text{ KPa} + 101.3 \text{ KPa} = 138.30 \text{ KPa}$$

El esfuerzo equivalente viene dado por (29).

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\left(\frac{P_t \cdot r_t}{t_t}\right)^2 + \left(\frac{P_t \cdot r_t}{2 \cdot t_t}\right)^2 - \left(\frac{P_t \cdot r_t}{t_t} \cdot \frac{P_t \cdot r_t}{2 \cdot t_t}\right)} \quad (29)$$

Reemplazando los datos se tiene que:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\left(\frac{138.30 \times 10^3 * 1.15}{0,015}\right)^2 + \left(\frac{138.30 \times 10^3 * 1.15}{2 * 0,015}\right)^2 - \left(\frac{138.30 \times 10^3 * 1.15}{0,015} * \frac{138.30 \times 10^3 * 1.15}{2 * 0,015}\right)}$$

$$\sigma_{eq} = 7,498 \text{ MPa}$$

Para obtener el factor de seguridad se utiliza (8), tomando en cuenta el limite a la fluencia de la Tabla 13.

$$\eta = \frac{24 \text{ MPa}}{7,498 \text{ MPa}} = 3,2$$

Posterior a esto se realiza el análisis estático en el simulador de Solidworks, agregando geometrías fijas en las patas del tanque, se adiciona una fuerza en el interior del tanque de 12753 N que es el resultado de la gravedad por la densidad del PAC-25. La Figura 21 detalla el comportamiento del desplazamiento y el factor de seguridad.

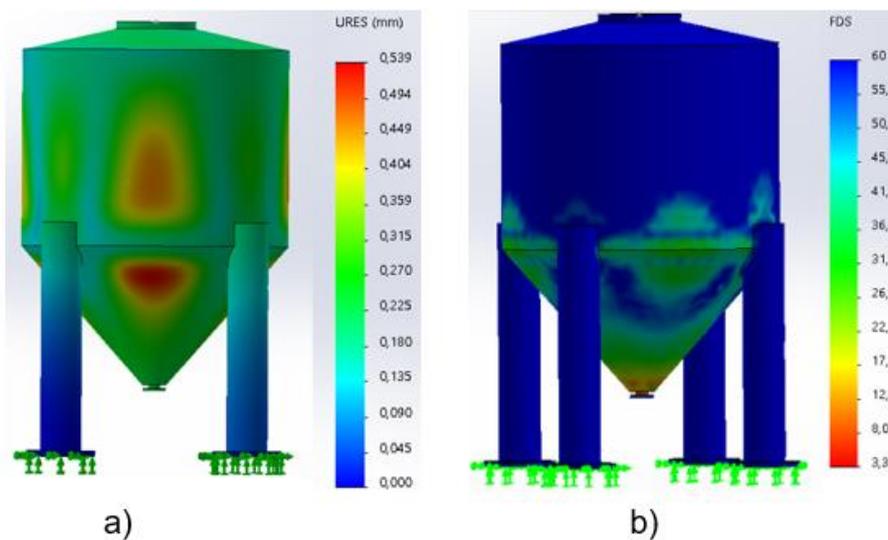


Figura 21 a) Desplazamiento del tanque de almacenamiento b) Factor de seguridad del tanque de almacenamiento.

### 6.1.8 Dimensionamiento del sistema hidráulico

La empresa cuenta con una bomba neumática marca ARO indicada en la Figura 22, la cual tiene una entrada y salida de 1 pulgada de diámetro. Se utiliza este dato para el cálculo del sistema del bombeo, teniendo en cuenta que la incógnita es la cabeza de bomba que el sistema requiere.

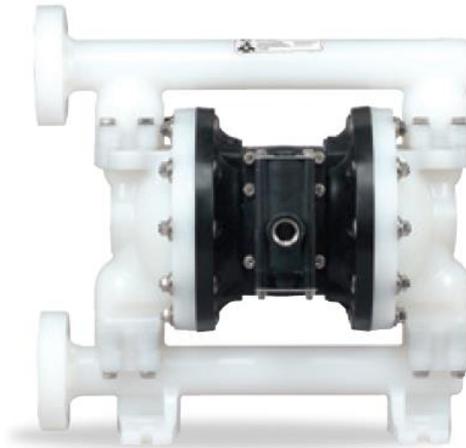


Figura 22 Bomba de desplazamiento positivo ARO 1"

Fuente: [20]

Es importante resaltar las características del fluido que se detallan en la Tabla 14.

Tabla 14 Características relevantes de PAC-25

Magnitud	Valor	Unidades
Densidad $\rho_{PAC}$	1300	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Viscosidad Dinámica $\mu$	0,075	$\frac{\text{Kg}}{\text{m} * \text{s}}$

Se calcula con (11) el volumen de llenado de un ciclo, sabiendo que cada caneca debe tener 25 kg de producto, el total de las 4 canecas son 100 kg.

$$V_c = \frac{m_c}{\rho_{PAC}}$$

$$V_c = \frac{100 \text{ kg}}{1300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,077 \text{ m}^3 \approx 76,92 \text{ l}$$

Existen algunos conceptos y fórmulas que se utilizan en el desarrollo del cálculo del sistema de bombeo que se explican a continuación:

- Ecuación de Bernoulli: es una expresión matemática que relaciona términos de presión, velocidad y altura en dos puntos diferentes de un fluido con flujo continuo [19]. Se puede expresar de diversas formas, la que se utiliza en este desarrollo es (30). Esta ecuación se utiliza

para conocer la cabeza de bomba que el sistema requiere, se definen los puntos de análisis y el nivel de referencia para el cálculo, en la Figura 23 se detallan estos puntos importantes.

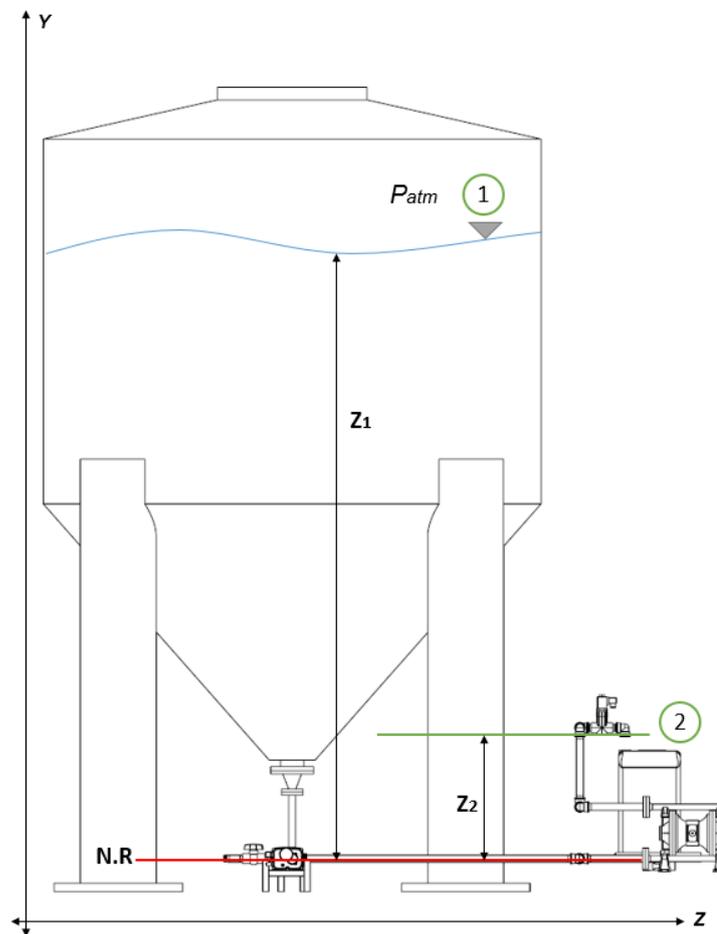


Figura 23 Puntos de análisis del sistema.

$$\frac{P_1}{\rho g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - \sum (H_{r1-2}) + \sum H_b - \sum H_t = \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (30)$$

Donde

- $\frac{P_1}{\rho g}$  y  $\frac{P_2}{\rho g}$  altura de presión en puntos 1 y 2.
- $z_1$  y  $z_2$  altura desde el nivel de referencia al punto 1 y al punto 2.
- $\frac{v_1^2}{2g}$  y  $\frac{v_2^2}{2g}$  altura de velocidad en el punto 1 y 2.
- $H_{r1-2}$  pérdidas totales hidráulicas entre el punto 1 y 2.
- $H_b$  incremento de altura proporcionada por bombas entre 1 y 2.
- $H_t$  incrementos de altura absorbida por turbinas entre 1 y 2.

La presión del punto 1 y 2 es la atmosférica debido a que el tanque no se encuentra presurizado y la salida de las tuberías tampoco, razón por la cual en la ecuación de Bernoulli se eliminan. La velocidad del punto 1 se la considera despreciable debido a que el área de este es muy grande en comparación al punto 2, por lo tanto, también se anula este término. El sistema no contiene ningún motor o turbina, entonces  $H_t$  se descarta. La altura del punto 1 no se toma en cuenta en la ecuación ya que esta altura se encuentra a favor de la bomba. Al despejar la cabeza de bomba se tiene (31).

$$\sum H_b = \sum H_{r1-2} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (31)$$

- Caudal: Se define como el volumen del fluido por unidad de tiempo que pasa a través de una sección transversal [19], Y viene dado por (32).

$$Q_c = \frac{V_c}{t_c} \quad (32)$$

Se determina que 1 minuto será el tiempo de llenado de un ciclo, reemplazando los datos se tiene que  $Q_c$  tiene un valor de:

$$Q_c = \frac{0,077\text{m}^3}{60\text{ s}} = 0,00128 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

O a su vez puede ser:

$$Q_c = \frac{76,92\text{ l}}{1\text{ min}} = 76,92 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

El caudal también puede ser definido por (33).

$$Q_c = A_c \cdot v_c \quad (33)$$

- Área de la tubería: Para el cálculo del área transversal de la tubería se utiliza (34).

$$A_c = \frac{\pi \cdot D_{int}^2}{4} \quad (34)$$

Donde

$D_{int}$  es el diámetro interno de la tubería.

La tubería que se utiliza es de 1 pulgada, debido a que la bomba tiene dicho diámetro.

$$A_c = \frac{\pi \cdot (0,0243 \text{ m})^2}{4} = 0,00046 \text{ m}^2$$

- Velocidad del fluido: Para el cálculo de la velocidad se despeja (33) y se obtiene (35).

$$v_c = \frac{Q_c}{A_c} \quad (35)$$

Reemplazando los datos de caudal y área se tiene que:

$$v_c = \frac{0,00128 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,00046 \text{ m}^2} = 2,76 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Flujo laminar y turbulento: Es importante determinar en qué estado se encuentra el fluido para posteriores cálculos. El flujo laminar tiene un comportamiento ordenado, avanza en capas que no se mezclan entre sí [19], en una tubería circular su desplazamiento es similar al de la Figura 24.

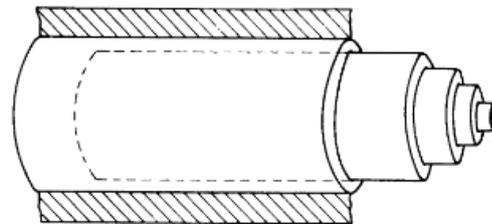


Figura 24 Flujo laminar en una tubería circular.

Fuente: [19]

El flujo turbulento tiene un comportamiento caótico, se da en fluidos de baja viscosidad, sus partículas se mueven desordenadamente [19], como indica la Figura 25.

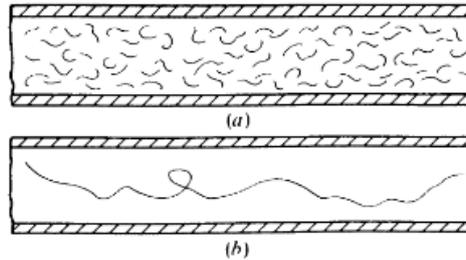


Figura 25 Flujo turbulento a) diversas partículas desordenadas, b) trayectoria de una sola partícula.

Fuente: [19]

- Número de Reynolds: Es un valor adimensional el cual ayuda a saber si el fluido se encuentra en régimen laminar o turbulento, para esto se utiliza (36). Si  $Re$  es mayor a 4000 el fluido se encuentra en régimen turbulento, si  $Re$  es menor a 2000 el fluido se encuentra en régimen laminar [19].

$$Re = \frac{\rho_{PAC} \cdot v_c \cdot D_{int}}{\mu} \quad (36)$$

Donde

$\mu$  es la viscosidad dinámica del PAC

Al resolver (36) se obtiene:

$$Re = \frac{1300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2,76 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,0243 \text{ m}}{0,075 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}} = 1164,37$$

El valor obtenido de Reynolds indica que el fluido se encuentra en régimen laminar.

- Pérdidas hidráulicas: Estas pérdidas son provocadas por rozamiento del fluido en la superficie que lo transporta, existen pérdidas primarias y secundarias. Las pérdidas primarias se deben al rozamiento provocado por el fluido en las paredes de la tubería, las pérdidas secundarias se dan en los accesorios acoplados al circuito hidráulico [19]. Las pérdidas totales se expresan con (37) .

$$H_r = f \cdot \frac{(L_c + \sum Le)}{D_{int}} \cdot \frac{v_c^2}{2g} \quad (37)$$



En la Tabla 15 se detallan los accesorios que se utilizan en el sistema y su longitud equivalente.

Tabla 15 Longitud equivalente de accesorios del circuito hidráulico.

Cantidad	Nombre	Long. Equivalente unitaria [m]	Long. Equivalente total [m]
4	Tees	1	4
11	Codos 90°	1	11
1	Válvula angular	2	2
		$\sum Le$	<b>17</b>

Se reemplazan los valores obtenidos en (25):

$$H_r = 0,055 \cdot \frac{(4,2 \text{ m} + 17 \text{ m})}{0,0243 \text{ m}} \cdot \frac{\left(2,76 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 18,62 \text{ m}$$

Se toman los valores resultantes de (34), (35), (36) y (37) para reemplazar en (31), obteniendo la cabeza de bomba de PAC-25.

$$H_b = 18,62 \text{ m} + 0,575 \text{ m} + \frac{\left(2,76 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 19,58 \text{ mPAC}$$

Con la ayuda de (28) se determina la presión causada por la cabeza de bomba de PAC, esta se iguala a una presión que genera la columna de agua, lo cual permite obtener el valor de la cabeza de bomba de H<sub>2</sub>O. Esto se realiza para conocer el punto de operación de la bomba y culminar con el análisis.

$$P_{(PAC)} = P_{(H_2O)}$$

$$\rho_{PAC} \cdot g \cdot H_{b(PAC)} = \rho_{H_2O} \cdot g \cdot H_{b(H_2O)}$$

$$H_{b(H_2O)} = \frac{\rho_{PAC} \cdot H_{b(PAC)}}{\rho_{H_2O}}$$

$$H_{b(H_2O)} = \frac{1300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 19,58 \text{ m}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 25,45 \text{ m. c. a}$$

Como resultante se tiene una cabeza de bomba de 25,45 m de columna de agua, se observa en la gráfica de la bomba de desplazamiento positivo la presión requerida a la entrada de aire. La Figura 27 indica que para un caudal de 76,92 l/min la bomba necesita una entrada de aire de 5,5 bar.

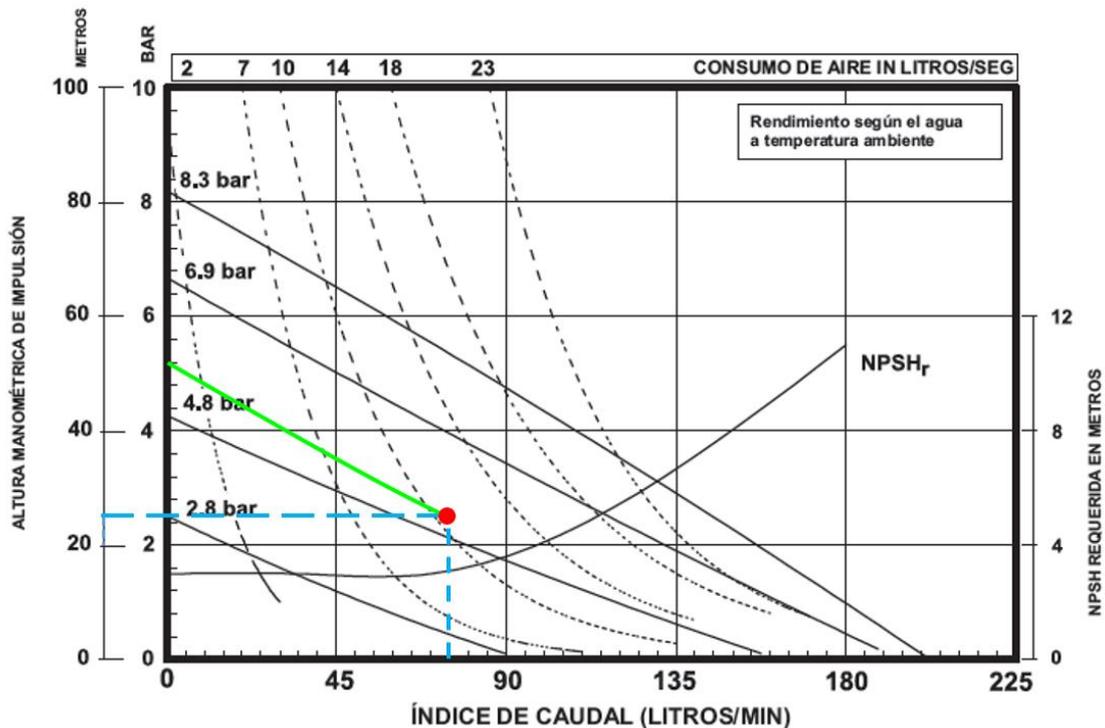


Figura 27 Curva de comportamiento de la bomba de desplazamiento positivo de 1 pulgada de diámetro.

Fuente: [20]

### 6.1.9 Simulación del sistema hidráulico:

Para conocer el comportamiento del fluido en el sistema hidráulico se utiliza el complemento de Solidworks "Flow Simulation", en el cual se modela como un solo elemento todo el circuito hidráulico que va a la salida de la bomba, como se muestra en la Figura 28.

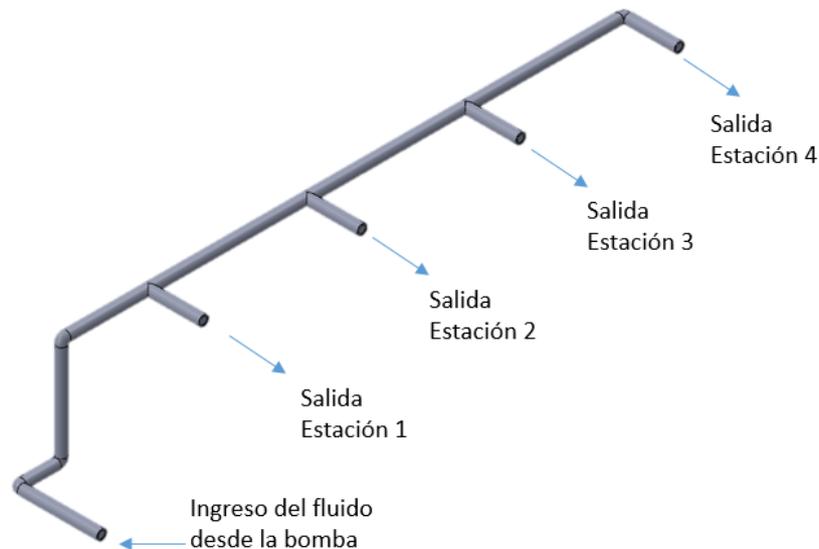


Figura 28 Circuito de tubería hidráulica

En el simulador de fluidos se definen parámetros importantes como son: Entradas y salidas de flujo, caudal de entrada con un valor de  $0,00128 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$  y presión de salida que es 101.325 kPa, el tiempo del proceso es 1 minuto. Se realizan 4 simulaciones para obtener el comportamiento del llenado de canecas. La primera simulación parte del caso inicial del sistema, cuando las 4 estaciones se encuentran habilitadas y llenan las 4 canecas respectivamente, el simulador entrega datos de caudal, del cual se despeja el tiempo bruto con la ayuda de (32), se selecciona el valor con menor tiempo o “tiempo mínimo”, debido a que este será el que se llene más rápido, con este tiempo se calcula el volumen de llenado de cada estación y un porcentaje de llenado. Se procede a realizar la segunda simulación deshabilitando la estación que tiene el porcentaje de llenado al 100% y habilitando las 3 estaciones restantes, se analiza nuevamente el “tiempo mínimo” y se calcula el volumen de llenado de cada estación, se suma el volumen de la iteración anterior, obteniendo el “volumen de llenado total”, se obtienen los porcentajes de llenado y el que tenga un 100% es el que se deshabilitará en la tercera simulación, repitiendo el proceso hasta deshabilitar las 4 estaciones, para esto las 4 estaciones deben tener el porcentaje de llenado al 100%. En la Tabla 16 se muestran los resultados.

Tabla 16 Datos de la simulación del comportamiento de flujo del sistema

Estado	Estación	Q[m <sup>3</sup> /s]	Tiempo bruto[s]	Tiempo mínimo [s]	Volumen llenado [m <sup>3</sup> ]	Volumen llenado total [m <sup>3</sup> ]	Porcentaje llenado [%]	Porcentaje vacío [%]
<b>1</b>	<b>PRIMERA SIMULACIÓN</b>							
ABIERTO	<b>Estación1</b>	<b>0,0004483</b>	<b>42,9405</b>	<b>42,9405</b>	<b>0,01925</b>	<b>0,01925</b>	<b>100,00</b>	<b>0,00</b>
ABIERTO	Estación2	0,0002923	65,8500		0,01255	0,01255	65,21	34,79
ABIERTO	Estación3	0,0002400	80,2129		0,01031	0,01031	53,53	46,47
ABIERTO	Estación4	0,0003014	63,8686		0,01294	0,01294	67,23	32,77
<b>2</b>	<b>SEGUNDA SIMULACIÓN</b>							
CERRADO	Estación1	0,0000000	0	<b>13,1256</b>	0,00000	0,01925	100,00	<b>0,00</b>
ABIERTO	Estación2	0,0004310	15,5398		0,00566	0,01821	94,60	5,40
ABIERTO	Estación3	0,0003705	24,1448		0,00486	0,01517	78,79	21,21
ABIERTO	<b>Estación4</b>	<b>0,0004806</b>	<b>13,1256</b>		<b>0,00631</b>	<b>0,01925</b>	<b>100,00</b>	<b>0,00</b>
<b>3</b>	<b>TERCERA SIMULACIÓN</b>							
CERRADO	Estación1	0	0	<b>2,00065</b>	0,00000	0,01925	100,00	<b>0,00</b>
ABIERTO	<b>Estación2</b>	<b>0,00052</b>	<b>2,0007</b>		<b>0,00104</b>	<b>0,01925</b>	<b>100,00</b>	<b>0,00</b>
ABIERTO	Estación3	0,000762	5,3576		0,00152	0,01669	86,71	13,29
CERRADO	Estación4	0	0		0,00000	0,01925	100,00	0,00
<b>4</b>	<b>CUARTA SIMULACIÓN</b>							
CERRADO	Estación1	0	0	<b>1,9952</b>	0,00000	0,01925	100	0
CERRADO	Estación2	0	0		0,00000	0,01925	100	0
ABIERTO	<b>Estación3</b>	<b>0,001282</b>	<b>1,9952</b>		<b>0,00256</b>	<b>0,01925</b>	<b>100</b>	<b>0</b>
CERRADO	Estación4	0	0		0,00000	0,01925	100	0
<b>FIN DE PROCESO</b>								

Como se observa en la Tabla 16 el comportamiento de llenado obtenido de la simulación es: Estación 1, estación 4, estación 2 y por ultimo estación 3.

#### 6.1.10 Prototipo del sistema hidráulico:

Se realiza un prototipo del sistema para conocer el comportamiento real del fluido. Para esto se utilizan los siguientes materiales:

- Tubería PVC de 1 pulgada.
- 1 Codo - unión pegable.
- 3 Tees - unión pegable.
- 4 electroválvulas solenoides
- 4 codos – unión roscados

En la Figura 29 se observa el prototipo del sistema.



Figura 29 Prototipo del Sistema

También se acopla en la base de las estaciones celdas de carga de 20 kg y microswitch de presencia. Se hizo una prueba del prototipo, con un caudal de entrada de 13,5 l/min, se llenan los baldes de cada estación con 8 litros. Los resultados se plasman en la Tabla 17.

Tabla 17 Resultados de las pruebas del prototipo

		ESTACIÓN 1	ESTACIÓN 2	ESTACIÓN 3	ESTACIÓN 4
1 era PRUEBA	LUGAR	2	1	3	4
	t en llenarse [s]	117	108	128	144
2 era PRUEBA	LUGAR	2	1	3	4
	t en llenarse [s]	117	107	135	151
3 era PRUEBA	LUGAR	2	1	3	4
	t en llenarse [s]	117	105	127	145

Se concluye que el prototipo tiene un tiempo promedio de llenado de 146 segundos y el orden de llenado es: Estación 2, estación 1, estación 3 y estación 4.

Se realiza una simulación del circuito hidráulico del prototipo, tomando sus medidas y utilizando el método explicado en la sección 6.1.9, obteniendo los resultados en la Tabla 18.

Tabla 18 Datos de la simulación del comportamiento de flujo del prototipo

Estado	Estación	Q[m <sup>3</sup> /s]	Tiempo bruto[s]	Tiempo mínimo [s]	Volumen llenado [m <sup>3</sup> ]	Volumen llenado total [m <sup>3</sup> ]	Porcentaje llenado [%]	Porcentaje vacío [%]
<b>1 PRIMERA SIMULACIÓN</b>								
ABIERTO	Estación1	0,0000387	206,6249	80,5744	0,00312	0,00312	39,00	61,00
ABIERTO	Estación2	0,0000308	259,6936		0,00248	0,00248	31,03	68,97
ABIERTO	Estación3	0,0000562	142,3748		0,00453	0,00453	56,59	43,41
ABIERTO	<b>Estación4</b>	<b>0,0000993</b>	<b>80,5744</b>		<b>0,00800</b>	<b>0,00800</b>	<b>100,00</b>	<b>0,00</b>
<b>2 SEGUNDA SIMULACIÓN</b>								
ABIERTO	Estación1	0,0000491	99,32056	33,3539	0,00164	0,00476	59,48	40,52
ABIERTO	Estación2	0,0000718	76,9037		0,00239	0,00488	60,94	39,06
ABIERTO	<b>Estación3</b>	<b>0,0001041</b>	<b>33,3539</b>		<b>0,00347</b>	<b>0,00800</b>	<b>100,00</b>	<b>0,00</b>
CERRADO	Estación4	0,0000000	0,0000		0	0,00800	100,00	0,00
<b>3 TERCERA SIMULACIÓN</b>								
ABIERTO	Estación1	0,0000958	33,85293	24,17586	0,00231	0,00707	88,42	11,58
ABIERTO	<b>Estación2</b>	<b>0,0001292</b>	<b>24,1759</b>		<b>0,00312</b>	<b>0,00800</b>	<b>100,00</b>	<b>0,00</b>
CERRADO	Estación3	0,0000000	0		0	0,00800	100,00	0,00
CERRADO	Estación4	0,0000000	0		0	0,00800	100,00	0,00
<b>4 CUARTA SIMULACIÓN</b>								
ABIERTO	<b>Estación1</b>	<b>0,0002250</b>	<b>4,118157</b>	4,1182	<b>0,00093</b>	<b>0,008</b>	<b>100</b>	<b>0</b>
CERRADO	Estación2	0,0000000	0		0	0,008	100	0
CERRADO	Estación3	0,0000000	0		0	0,008	100	0
CERRADO	Estación4	0,0000000	0		0	0,008	100	0
<b>FIN DE PROCESO</b>								

Realizando una sumatoria de los tiempos de las 4 simulaciones se tiene un tiempo total del proceso de 142 segundos aproximadamente. Para el cálculo del error porcentual se utiliza (39) .

$$E = \frac{t_r - t_s}{t_r} * 100 \quad (39)$$

Donde:

$E$  es el error porcentual

$t_r$  es el tiempo real

$t_s$  es el tiempo simulado

Reemplazando los valores se tiene que:

$$E = \frac{146 - 142}{146} * 100 = 2,73\%$$

Lo cual indica que los valores de la simulación son confiables y se puede tener una idea clara del comportamiento del sistema en tamaño real.

## 6.2 Dimensionamiento Electrónico

En esta sección se realiza la selección de componentes electrónicos y eléctricos que conforman el sistema de envasado de polímero coagulante.

### 6.2.1 Diagrama de entradas y salidas

El sistema va a ser controlado por medio de un PLC y una HMI. En la Figura 30 se detalla un diagrama de bloques con las entradas y salidas que el sistema posee.

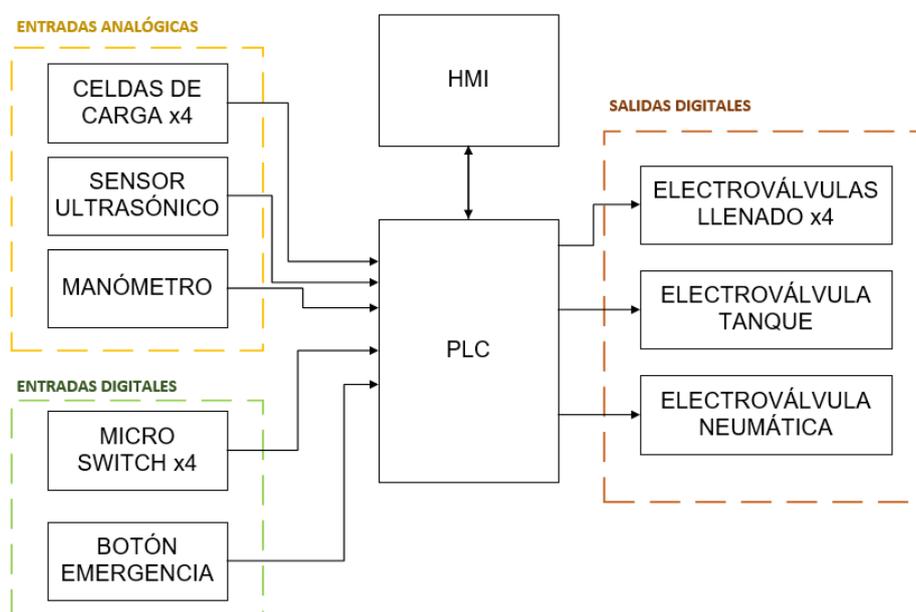


Figura 30 Diagrama de bloques del sistema

### 6.2.2 Módulo de control PLC

Para el control del sistema se utiliza un PLC Siemens SIMATIC S7-1212 AC/DC/Relay, ya que cumple con los parámetros requeridos para la aplicación. En la Tabla 19 se detallan las características relevantes.

Tabla 19 Características del PLC Siemens S7-1212 AC/DC Relay

Características	Descripción	Imagen
Entradas / Salidas digitales	8 entradas 24 V DC 6 salidas 24 V DC o Relé	
Entradas analógicas	2 entradas 0 a 10 V	

Potencia	30 W	
Memoria de trabajo	75 Kbyte	
Fuente de alimentación	24 VDC / 300 mA max.	
Módulos expansibles	1 módulo de comunicación 2 módulos de señal	

Fuente: [21]

### 6.2.3 Módulo de entradas analógicas

Se utiliza un módulo de entradas analógicas debido a que el número de entradas del PLC seleccionado no es suficiente para la aplicación, se realiza una expansión con el modulo Siemens SM 1234, en la Tabla 20 se detallan sus características principales.

Tabla 20 Características del módulo Siemens SM 1234

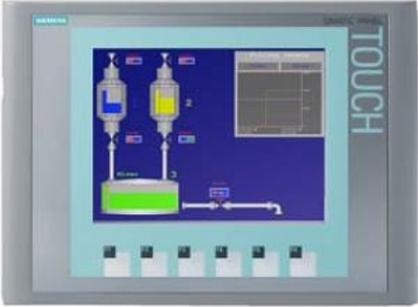
Características	Descripción	Imagen
Voltaje de alimentación	24 V DC	
Intensidad de entrada	60 mA	
Entradas analógicas	4 entradas analógicas. <ul style="list-style-type: none"> <li>Tensión: <math>\pm 10</math> V, <math>\pm 5</math> V, <math>\pm 2,5</math> V.</li> <li>Intensidad: 4 a 20 mA, 0 a 20 mA.</li> </ul>	
Salidas analógicas	2 salidas analógicas. <ul style="list-style-type: none"> <li>Tensión: -10 V a 10 V.</li> <li>Intensidad: 4 a 20 mA, 0 a 20 mA.</li> </ul>	

Fuente: [22]

### 6.2.4 HMI

Es de importancia implementar una interfaz la cual permita al operador interactuar con la máquina. Para lo cual se selecciona una HMI Siemens SIMATIC KTP600 Basic, la cual detalla sus características en la Tabla 21.

Tabla 21 Características HMI SIMATIC KTP600 Basic

Características	Descripción	Imagen
Voltaje de alimentación	24 V DC	
Intensidad de entrada	0,35 mA	
DISPLAY Colores Diagonal pantalla	256 colores 5,7 inch	
Protocolo	PROFINET	
Grados de protección IP (Frontal) IP(Lado posterior)	IP65 IP20	

Fuente: [23]

### 6.2.5 Sensor de nivel

Se requiere de un sensor de nivel para el tanque de almacenamiento, ya que es relevante tener en cuenta esta variable para el inicio del proceso de llenado de las canecas. El sensor que se utiliza es un sensor ultrasónico GF 2260, el cual tiene un rango de medición de 4 metros. En la Tabla 22 se detallan sus características.

Tabla 22 Características Sensor de nivel Ultrasónico 2260

Características	Descripción	Imagen
Tipo de sensor	Sensor de no contacto ultrasónico	
Rango de medición	0,2 a 4 metros	
Ángulo de haz de luz	6°	
Material del cuerpo	PP o PVDF	
Precisión	±0,2% del valor medido. ±0,05% del rango de medición	
Señal de salida	4 – 20 mA, HART, Relé	
Voltaje de operación Intensidad	12 V DC 0,030 A	
Grados de protección	IP68 (Sensor).IP67 (Cubierta)	

Fuente: [24]

Este sensor se posiciona en la tapa del tanque, la base del sensor debe estar paralelo al nivel del fluido de medición y siempre tomando en cuenta la zona ciega para la correcta medición como indica la Figura 31.

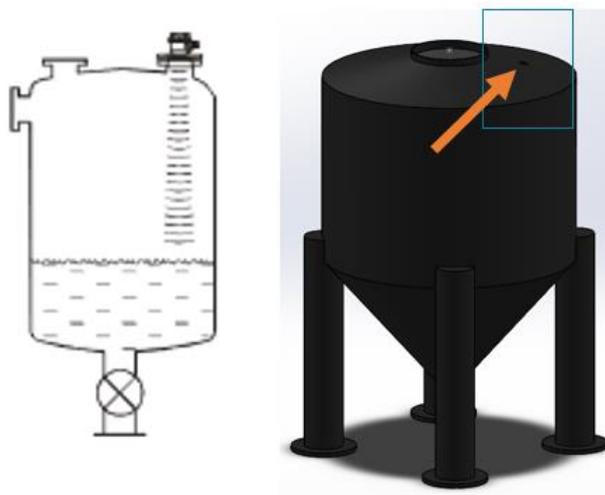


Figura 31 Posición del sensor de nivel en el tanque

### 6.2.6 Celdas de carga

Para la medición del peso de las canecas se utilizan celdas de carga. Para el sistema se adaptan celdas de carga Zemic L6N de 100 kg. Son construidas de aluminio y sus características se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23 Características de celda de carga L6N

Características	Descripción	Imagen
Capacidad máxima E max	100 kg	
Carga muerta mínima	0 kg	
Sobre carga segura	150 % E max	
Última sobrecarga	300% E max	
Voltaje de alimentación	12 V DC	
Grados de protección	IP65	

Fuente: [25]

### 6.2.7 Micro switch de presencia

Es de gran importancia verificar el correcto posicionamiento de la caneca en la mesa de cada estación, por esta razón a más de tener las medidas exactas para

que entre la caneca, se implementa un micro switch de presencia, el cual está posicionado en la parte posterior de la mesa, obligando al operador a poner la caneca hasta el fondo de la mesa como indica la Figura 32.

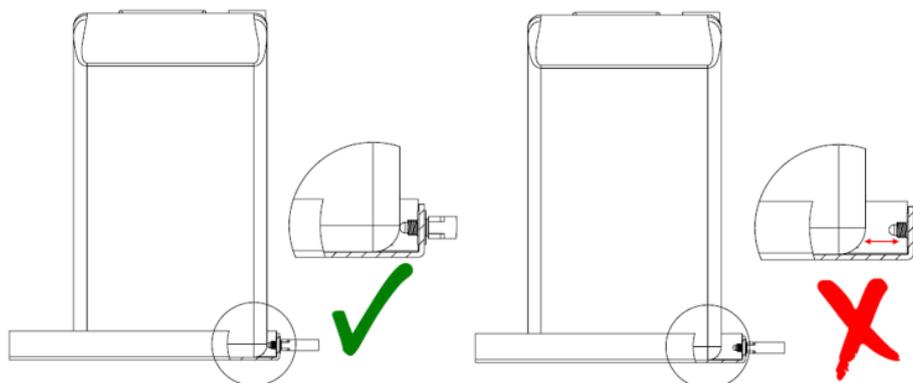


Figura 32 Posicionamiento de la caneca en la mesa de la estación de llenado.

El micro switch seleccionado es de marca Honeywell, serie NGC, en la Tabla 24 se detallan las características de selección.

Tabla 24 Características del micro switch Honeywell

Características	Descripción	Imagen
Tipo	Pulsador normalmente abierto	
Distancia de recorrido	1,2 mm	
Peso mínimo	0,67 lb o 0,3 kg	
Material de encapsulado	PVDA	
Grados de protección	IP 67, NEMA 6P	

Fuente: [26]

### 6.2.8 Electroválvulas

Para el control del sistema hidráulico se utilizan electroválvulas de marca Plastomatic, se implementa una electroválvula de 3 vías en la salida del tanque, la cual tiene una vía a un desfogue para lodos y la otra tiene conexión al sistema del envasador. En la Tabla 25 se detallan características relevantes para la selección de esta electroválvula.

Tabla 25 Características electroválvula Plastomatic 3 vías

Características	Descripción	Imagen
Tipo de válvula	Bola de 3 vías	
Material de construcción	PVC	
Tamaño de válvula	1"	
Voltaje de Actuador	110 V AC	
Intensidad de Actuador	0,36 A	
Ángulo de trabajo	90°	
Tiempo de trabajo	4,8 s	
Grados de protección	IP65	

Fuente: [27]

Se utilizan electroválvulas solenoides de 2 vías para el control del llenado de cada estación, en la Tabla 26 se detallan las características de selección.

Tabla 26 Características electroválvula Plastomatic 2 vías

Características	Descripción	Imagen
Tipo de válvula	Solenoides 2 vías	
Material de construcción	PVC	
Tamaño de válvula	1"	
Presión de entrada máxima	9,5 Bars ~ 140 psi	
Voltaje de Actuador	110 V AC	
Intensidad de arranque	0,22 A	
Falla	Cierre	
Tiempo de respuesta	0,1 s	
Grados de protección	IP65	

Fuente: [28]

### 6.2.9 Transmisor de presión

Se implementa un transmisor de presión en el circuito hidráulico con el objetivo de proteger al sistema de una sobre presión. Se selecciona un transmisor WIKA A-10 en la Tabla 27 se detallan los datos principales.

Tabla 27 Características transmisor de presión WIKA A-10

Características	Descripción	Imagen
Material de fabricación	Acero inoxidable 316 L	
Rango de medición	0 - 25 Bars	
Señal de salida	4 - 20 mA	
Conexión a proceso	½ inch	
Voltaje de entrada	12 V DC	
Corriente de trabajo	0,025 A	
Rango de precisión	0,5%	
Tiempo de respuesta	4 ms	
Grados de protección	IP65	

Fuente: [29]

### 6.2.10 Electroválvula neumática

La electroválvula neumática se utiliza para el control del encendido de la bomba, se toma en consideración que la presión de aire que la bomba necesita para generar el caudal calculado en la sección 6.1.8 es de 5,5 Bars. Se selecciona una electroválvula STC 2P025. En la Tabla 28 se detallan las características relevantes.

Tabla 28 Características electroválvula neumática STC 2P025

Características	Descripción	Imagen
Tipo de válvula	Solenoides 2 vías	
Material de fabricación	Nylon	
Tamaño de puerto	1/4 inch	
Medio de trabajo	Aire	
Voltaje de Actuador	12 V DC	
Potencia	3 W	
Falla	Cierre	
Tiempo de respuesta	<20 ms	
Grados de protección	IP65	

Fuente: [30]

### 6.2.11 Fuente de Alimentación

El sistema requiere de una fuente de voltaje DC de 12 voltios para alimentar algunos componentes electrónicos, en la Tabla 29 se detallan los elementos involucrados y su corriente de trabajo para el dimensionamiento de la fuente.

Tabla 29 Sumatoria de corrientes de la fuente de 12 voltios

Componente	Intensidad de trabajo
Sensor ultrasónico	0,030 A
Celda de carga (x4)	0,12 A
Transmisor de presión	0,025 A
Electroválvula neumática	0,25 A
<b>Total</b>	0,425 A

De la Tabla 29 se obtiene que la corriente requerida es de 0,425 A, por lo que se selecciona una fuente de 12 v DC a 1 A.

### 6.3 Diseño de la Interfaz

En esta sección se desarrolla el diseño de la interfaz gráfica con el fin de facilitar al usuario el control del sistema de envasado. Se utilizan ADV's (Abstract Data Views) que son vistas de datos abstractos y sirven para especificar la estructura de los objetos de una interfaz. Están conformados por un conjunto de atributos, mensajes o eventos que pueden redirigir a otros ADV's [31]. En la Figura 33 se muestra el ADV inicial, el cual consta de una imagen del tanque de almacenamiento, un botón para descargar lodos y un botón para continuar al proceso de envasado

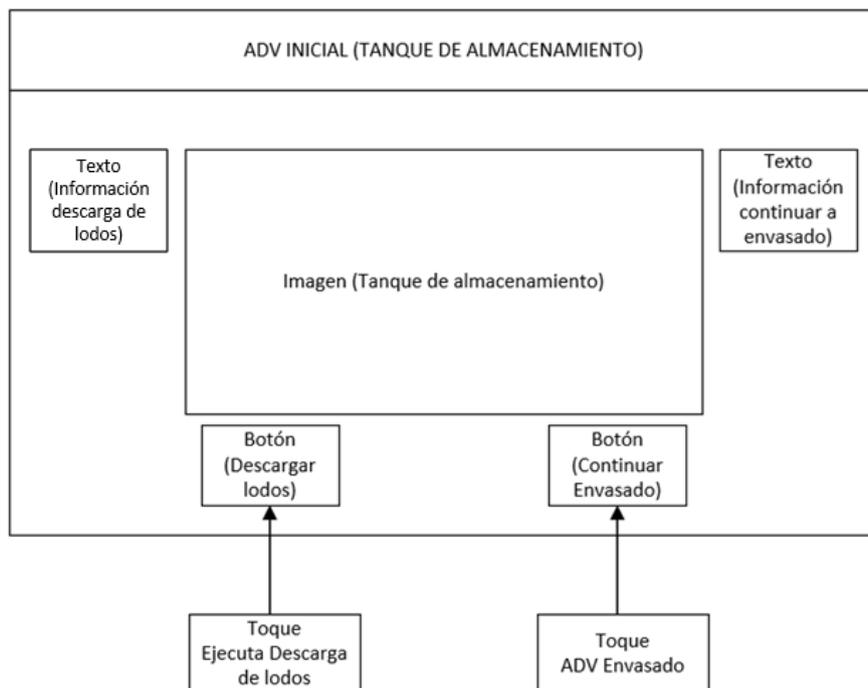


Figura 33 ADV inicial

Al presionar el botón de "Continuar envasado" aparece la interfaz que expresa la Figura 34 en la cual se encuentra una imagen de las estaciones de llenado, un cuadro de texto para ingresar el peso con el que se van a llenar las canecas, un cuadro de texto con el porcentaje del nivel del tanque de almacenamiento, el botón de "iniciar" que inicia el llenado de las canecas, un botón de "home" para volver a la pantalla principal y cuatro cuadros de texto debajo de cada estación de llenado para contabilizar el peso durante el proceso.

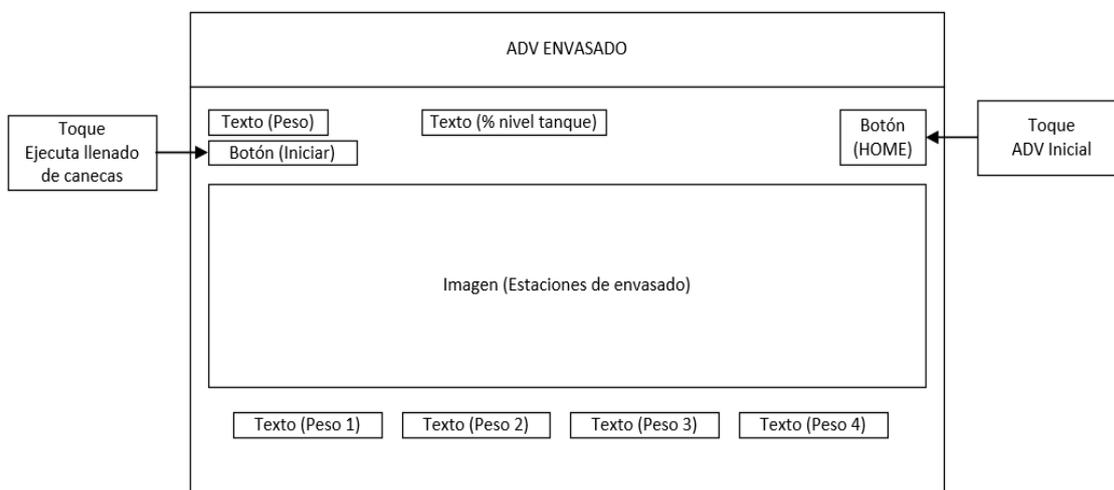


Figura 34 ADV Envasado

## 6.4 Algoritmo de la Programación

En la Figura 35 se encuentra el diagrama de flujo general del proceso que el sistema de envasado va a realizar.

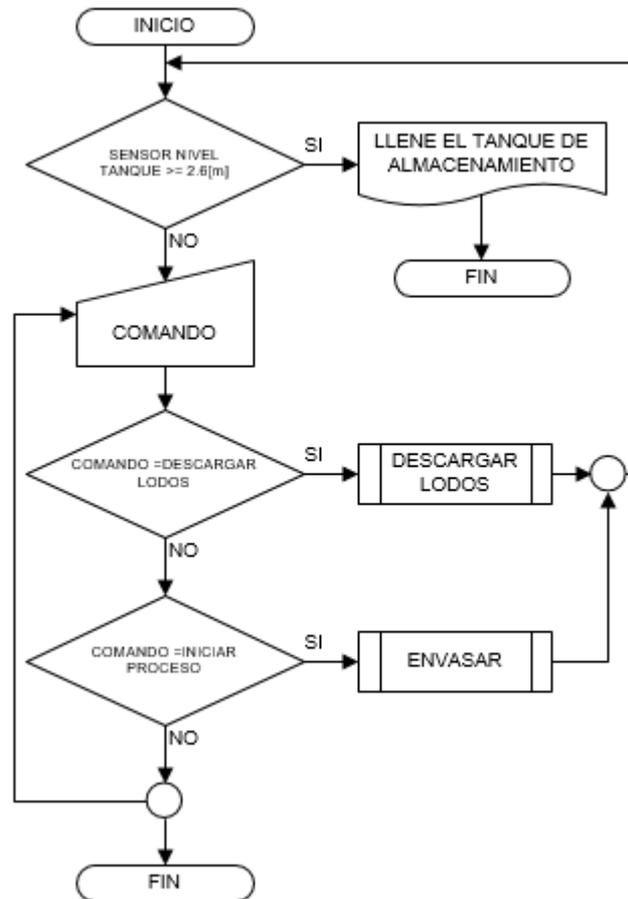


Figura 35 Diagrama de Flujo del proceso general

Al encender la máquina lo primero que se debe tomar en cuenta es el nivel del tanque de almacenamiento, si este se encuentra vacío se debe llenar para continuar con el proceso. Una vez que se encuentre lleno, el operador debe tomar en cuenta si se han descargado los lodos, caso contrario se debe realizar la subrutina de “Descargar lodos”. Este proceso se realiza de forma manual, tomando en cuenta que el operador tiene conocimiento que la descarga de lodos se realiza solo una vez cuando se llena el tanque de almacenamiento. Al momento en que se han descargado los lodos, el sistema se encuentra listo para iniciar la subrutina de “Envasar”, la cual se encuentra detallada en el Anexo A en el plano informático del sistema.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] "Máquina de llenado Mesal", *Maquina Industrial*. [En línea]. Disponible: [https://es.maquinaindustrial.com.br/maquinaria-usada/?e=Maquina+de+llenado+Mesal\\_621-642](https://es.maquinaindustrial.com.br/maquinaria-usada/?e=Maquina+de+llenado+Mesal_621-642). [Acceso: 04- Ago- 2019].
- [2] "Feria Virtual Interempresas", *Interempresas.net*. [En línea]. Disponible: <https://www.interempresas.net/Envase/FeriaVirtual/Producto-Maquina-automatica-de-llenado-y-enroscado-CDA-K-Line-175550.html>. [Acceso: 04- Ago- 2019].
- [3] A. Sani Centeno y J. Toapanta Carrasco, "Diseño, Construcción e Implementación de una Máquina Envasadora y Dosificadora de Refrescos para la Industria de Lácteos Santillán "PRASOL" ", Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2015.
- [4] N. Noboa, V. Campaña y F. Chungata, "Operación y Control de Rendimientos de una Envasadora Semiautomática para Yogurt con Sellado Termoplástico, en la Planta Piloto de Lácteos de la Universidad Politécnica Salesiana", Ingeniería, Universidad Politécnica Salesiana, 2014.
- [5] D. Atiencia, "Estudio de los Sistemas de Envasado de Mermeladas de Frutas en Frascos de Vidrio para Incrementar la Producción en la Fábrica Carlita, Cantón Guaranda, Provincia de Bolívar", Ingeniería, Universidad Técnica de Ambato, 2015.
- [6] "Sistema de dosificación volumétrica por pistones | Scheugenpflug AG", *Scheugenpflug AG*. [En línea]. Disponible: <https://www.scheugenpflug-dispensing.com/es/productos/dosificadores/dosificadores-por-pistones.html>. [Acceso: 12- Ago- 2019].
- [7] "Llenadora manual de pistón LP-ACT", *Empakando.com*. [En línea]. Disponible: <https://www.empakando.com/products/llenadora-manual-de-piston-lp-act>. [Acceso: 12- Ago- 2019].

- [8] "Cómo funciona una célula de carga de galgas extensométricas", *HBM*. [En línea]. Disponible: <https://www.hbm.com/es/6768/funcionamiento-de-una-celula-de-carga-de-galgas-extensometricas/>. [Acceso: 12- Ago-2019].
- [9] "Sistemas con boquillas Flowback | Spraying Systems Co.", *Spray.com.mx*. [En línea]. Disponible: <https://www.spray.com.mx/popup/flowback.aspx>. [Acceso: 12- Ago-2019].
- [10] "Policloruro de aluminio – Cinética Química", *Policlorurodealuminio.com*. [En Línea]. Disponible: <http://www.policlorurodealuminio.com/>. [Acceso: 12- May- 2019].
- [11] PULSAFEEDER, "CHEMICAL RESISTANCE GUIDE INDUSTRIAL CHEMICALS.", E.E.U.U, Guía. [En Línea]. Disponible: [https://www.pulsatron.com/sites/pulsafeeder.com/files/files/0518%20Chemical\\_Resistance\\_Guide.pdf](https://www.pulsatron.com/sites/pulsafeeder.com/files/files/0518%20Chemical_Resistance_Guide.pdf)
- [12] "Tipos de acero inoxidable", *Cedinox.es*. [En Línea]. Disponible: <http://www.cedinox.es/es/acero-inoxidable/tipos/index.html>. [Acceso: 20-Jun- 2019].
- [13] "Inox 304 VS Inox 316: las diferencias entre gamas de acero inoxidable", *ferrosplanes*. [En Línea]. Disponible: <https://ferrosplanes.com/inox-304-vs-inox-316-diferencias/>. [Acceso: 20-Jun- 2019].
- [14] Irestal Group, "Tabla técnica del acero inoxidable.", Tabla técnica. [En Línea]. Disponible: <http://data.irestal.com/files/files/2012030204152933979.pdf>
- [15] V. Faires., *Diseño de elementos de máquina*, 4a ed. Barcelona: Montaner y Simon S.A, 1965, pp. 23-25.

- [16] R. Mott, *Resistencia de materiales*, 5a. ed. Naucalpan de Juárez: Pearson Educación, 2009, pp.459.
- [17] R. Budynas and J. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (8a. ed.)*. Distrito Federal: McGraw-Hill Interamericana, 2008, pp. 469-472.
- [18] "PE 1000- TMP, PE 1000- TMP, Polietileno AST antiestatico, Polietileno HD, Polietileno UHMW PE-1000", *Plasticos-mecanizables.com*. [En Línea]. Disponible: [http://www.plasticos-mecanizables.com/plasticos\\_polietileno.html](http://www.plasticos-mecanizables.com/plasticos_polietileno.html). [Acceso: 26- May- 2019].
- [19] C. Mataix, *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. México: Alfaomega Grupo Editor, 1982.
- [20] Ingersoll Rand, "ARO Bombas de Diafragma de la Serie EXPERT.", Guía. [En Línea]. Disponible: <https://www.aronzone.com/content/dam/aro/aro-marketing-literature/diaphragm/exp/irits-1215-200-spc-exp-catalog.pdf>
- [21] I. mall, "CPU 1212C - Industry Mall - Siemens WW", *Mall.industry.siemens.com*, 2020. [En línea]. Disponible: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10045651?activeTab=productinformation&regionUrl=WW#>. [Acceso: 16- ene- 2020].
- [22] "Siemens Industry mall", *Mall.industry.siemens.com*. [En línea]. Disponible: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7234-4HE32-0XB0>. [Acceso: 29- ene- 2020].
- [23] "Mall Industry Siemens", *Mall.industry.siemens.com*. [En línea]. Disponible: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6AV6647-0AD11-3AX0>. [Acceso: 05- Feb- 2020].

- [24] "2260 Ultrasonic Level Transmitter - GF Piping Systems", *Gfps.com*. [En línea]. Disponible:  
[https://www.gfps.com/country\\_US/en\\_US/products/sensors/level-instruments/2260.html](https://www.gfps.com/country_US/en_US/products/sensors/level-instruments/2260.html). [Acceso: 05- Feb- 2020].
- [25] "L6N Datasheet", *Zemiceurope.com*. [En línea]. Disponible:  
[https://www.zemiceurope.com/media/Documentation/L6N\\_Datasheet.pdf](https://www.zemiceurope.com/media/Documentation/L6N_Datasheet.pdf). [Acceso: 05- Feb- 2020].
- [26] "Sensing Honeywell", *Sensing.honeywell.com*. [En línea]. Disponible:  
<https://sensing.honeywell.com/micro-switch-ngc-limit-switch-datasheet-002409-9-en.pdf>. [Acceso: 05- Feb- 2020].
- [27] "Catalog Series EBVF / TEBVF", *Plastomatic.com*. [En línea]. Disponible: <https://plastomatic.com/wp-content/products/ball-valves/files/ebvfcatalog.pdf>. [Acceso: 09- Feb- 2020].
- [28] "Solenoid valve", *Plastomatic.com*. [En línea]. Disponible:  
<https://plastomatic.com/wp-content/products/solenoid-valves/files/pscatalog.pdf>. [Acceso: 09- Feb- 2020].
- [29] "Instrumentación electrónica de presión", *Wika.es*. [En línea]. Disponible:  
[https://www.wika.es/upload/DS\\_PE8160\\_es\\_es\\_40571.pdf?\\_ga=2.221128670.718480845.1584831359-1052876162.1584831359](https://www.wika.es/upload/DS_PE8160_es_es_40571.pdf?_ga=2.221128670.718480845.1584831359-1052876162.1584831359). [Acceso: 09- Feb- 2020].
- [30] "Solenoid Valve Specifications and Dimensions: 2P025 Series", *Stcvalve.com*. [En línea]. Disponible:  
<https://www.stcvalve.com/Solenoid-Valve-Specifications-2P025-Series.htm>. [Acceso: 15- Feb- 2020].
- [31] M. Urbieta, "Metodología dirigida por modelos para el diseño de Funcionalidad Volátil en aplicaciones Web", Doctorado, Universidad Nacional de La Plata, 2012.