



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

Ensamble de un módulo que permita la dosificación adecuada de sustancias y mediante un panel seleccionar variables y set points, vincular todos los módulos desarrollados con la finalidad de que puedan gestionar mediante un controlador y junto con una interfaz emplear sistemas ciberfísicos

AUTOR: Saltos Salazar, Adrian Esteban

DIRECTOR: Ing. Gordon Garces, Andrés Marcelo

LATACUNGA, 2024



A veces las personas
que todos piensan
que no haran nada,
son las que hacen cosas
que nadie había imaginado

Alan Turing

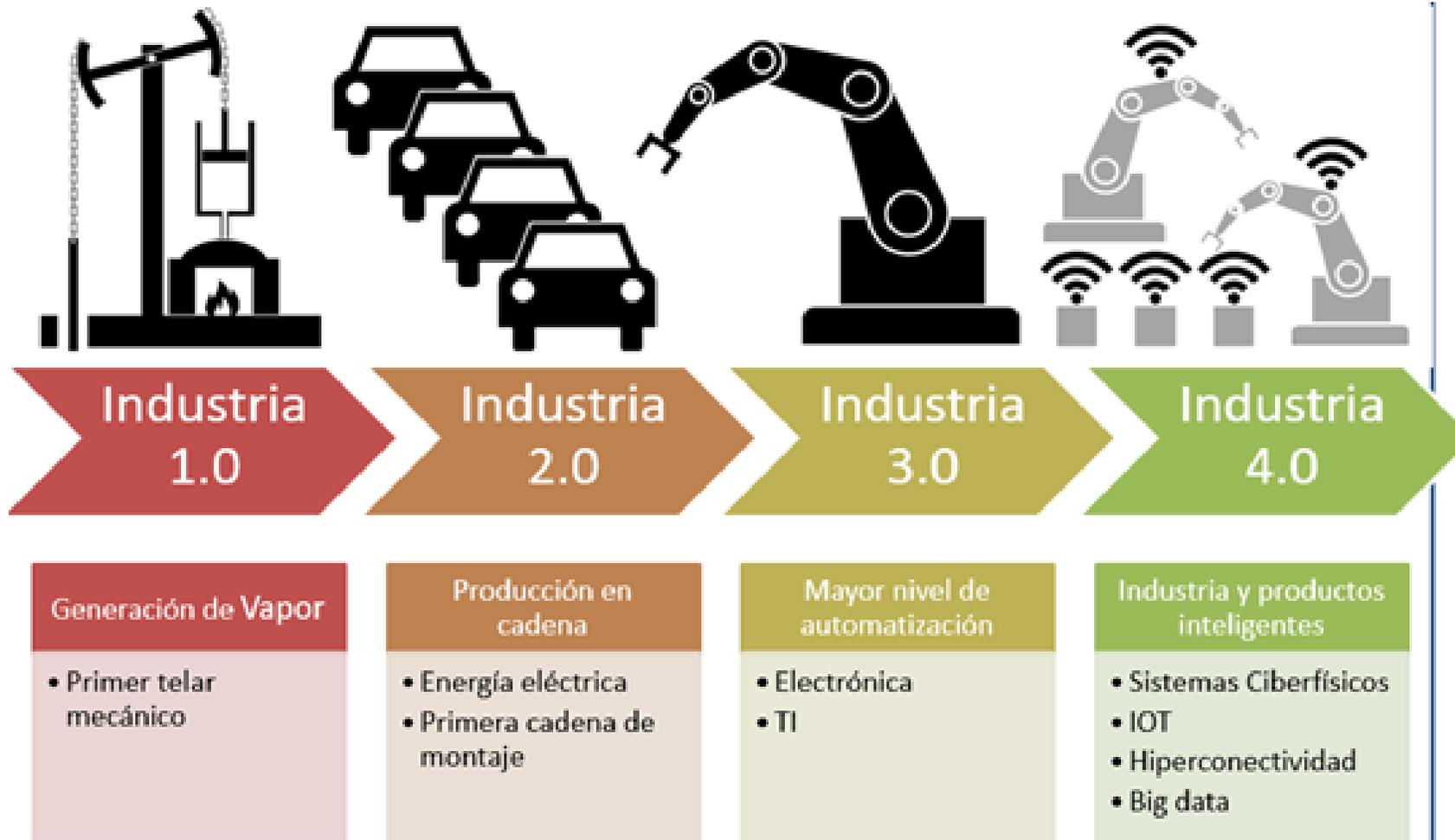


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Contenido General



Antecedentes



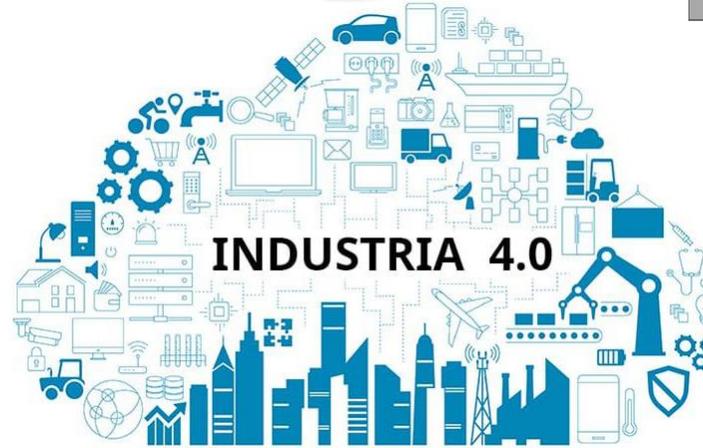
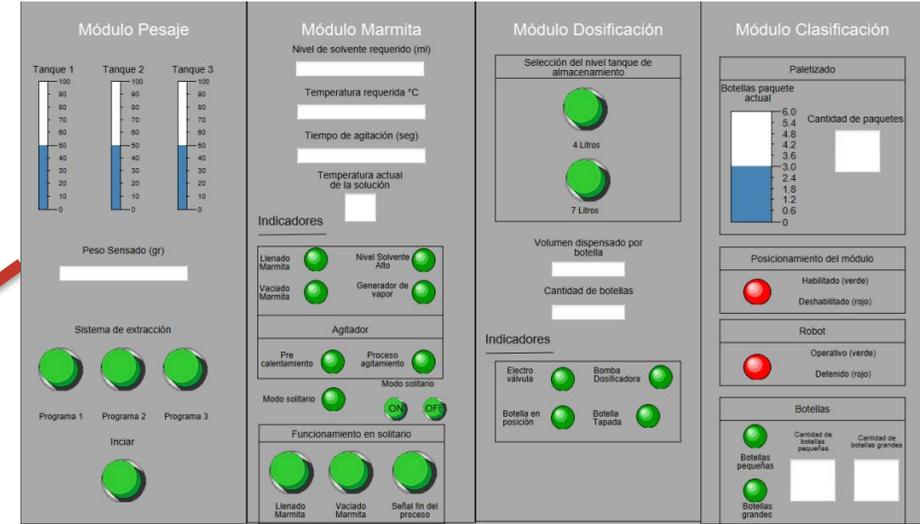
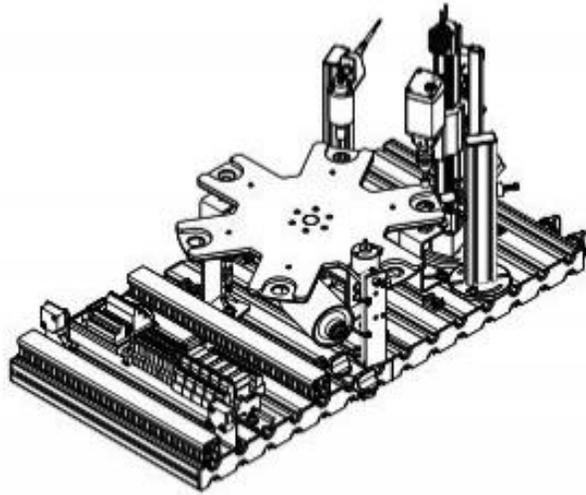
Antecedentes

De acuerdo con la información recopilada por la SUPERCIAS, en el presente hay un patrón de crecimiento en la progresión tecnológica del país. En el momento actual, el país está al inicio de un proceso de digitalización industrial, marcado por la introducción de sensores.



Planteamiento del Problema

Se presenta la necesidad de vincular los elementos físicos del entorno industrial con un entorno virtual industrial,



Objetivos

Objetivo General

Ensamble de un módulo que permita la dosificación adecuada de sustancias y mediante un panel seleccionar variables y set points, vincular todos los módulos desarrollados con la finalidad de que puedan gestionar mediante un controlador y junto con una interfaz emplear sistemas ciberfísicos.

Objetivo Específicos

- Identificar los componentes necesarios para el ensamble del módulo de dosificación.
- Diseñar el circuito eléctrico y electrónico del módulo de dosificación.
- Seleccionar y programar el controlador lógico programable para la gestión y control de las variables del sistema de dosificación.

Objetivos

Objetivo Específicos

- Diseñar y desarrollar la interfaz de usuario para el control y visualización del sistema de dosificación.
- Ensamblar y probar el funcionamiento del módulo de dosificación con el controlador y la interfaz desarrollados.
- Vincular el módulo de dosificación con otros módulos previamente desarrollados para la integración ciberfísica.
- Validar el correcto funcionamiento del sistema de dosificación con la integración ciberfísica.

Justificación e importancia

- La justificación plantea la necesidad de integrar un controlador lógico programable (PLC) para alcanzar un mayor nivel de automatización y control integrando conocimientos utilizados en la Industria.
- El módulo propuesto busca integrar estos conocimientos con la incorporación de IoT, lo que permitirá la visualización y manipulación de variables por parte del operador, tomando en cuenta parámetros adecuados para la dosificación.

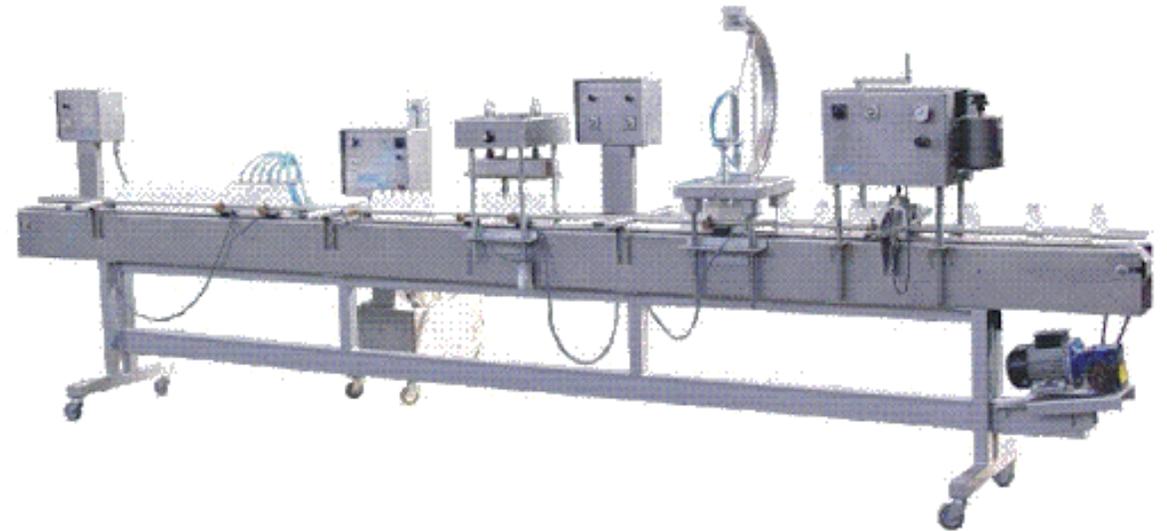
Automatización y controles de procesos



Procesos automatizados por lotes



Procesos automatizados continuos

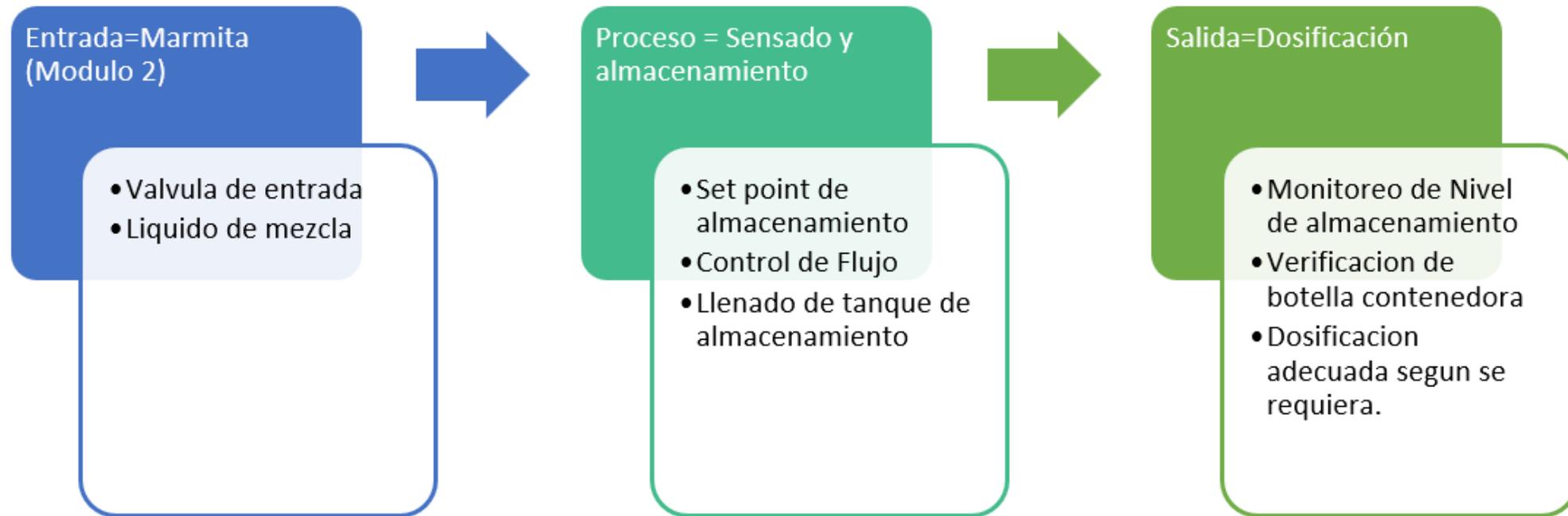


Necesidades

NECESIDADES		METRICAS										
		Porcentaje de error en la dosificación	Número de variables seleccionables	Rango de valores ajustables para los set points	Tiempo de respuesta en la vinculación de módulos	Capacidad de controlar múltiples módulos	Índice de facilidad de uso de interfaz	Capacidad de conexión y comunicación con sistemas ciberfísicos	Nivel de seguridad implementado en el sistema	Tiempo medio entre fallos (MTBF)	Tiempo promedio de reparación (MTTR)	Capacidad de expansión del sistema
1	Dosificación Precisa	x										
2	Selección de variables		x									
3	Selección de Set points			x	x							
4	Vinculación de modulos				x							
5	Gestión mediante controlador					x						
6	Interfaz intuitiva		x				x					
7	Integración con sistemas ciberfísicos							x				
8	Seguridad y protección								x			
9	Fiabilidad y robustez	x								x		x
10	Mantenibilidad										x	
11	Escalabilidad											x



Cuadro de diseño de concepto.



Pasos para cumplir el proceso

- Se verifica la conexión entre el módulo Marmita con el de dosificación
- Verificación de espacio suficiente para transferencia al contenedor, mediante set point
- Habilitación de la válvula senoidal para el paso del líquido al contenedor.
- Verificación de dispositivo de almacenamiento para ser llenado
- Activación de válvula de dosificación
- Transporte y tapado

Sistemas y subsistemas

N°	Sistema	Subsistema	Elementos
1	Estructura del módulo	Mesa	Mesa de colocación de elementos (Aluminio, Acero, Acero Inoxidable)
2	Sistema de Dosificación	Alimentación	Tanque de almacenamiento Tuberías y conductos para el transporte de sustancias Válvula de dosificación
		Dosificación	Válvula de control de Flujo Tuberías
3	Sistema de Control	Control de Proceso	Controlador Programable Sensores de nivel Sensor de Presencia de botella
		Control de Interfaz	Controladores lógicos para la selección de variables y set points Indicadores visuales Software de configuración de monitoreo

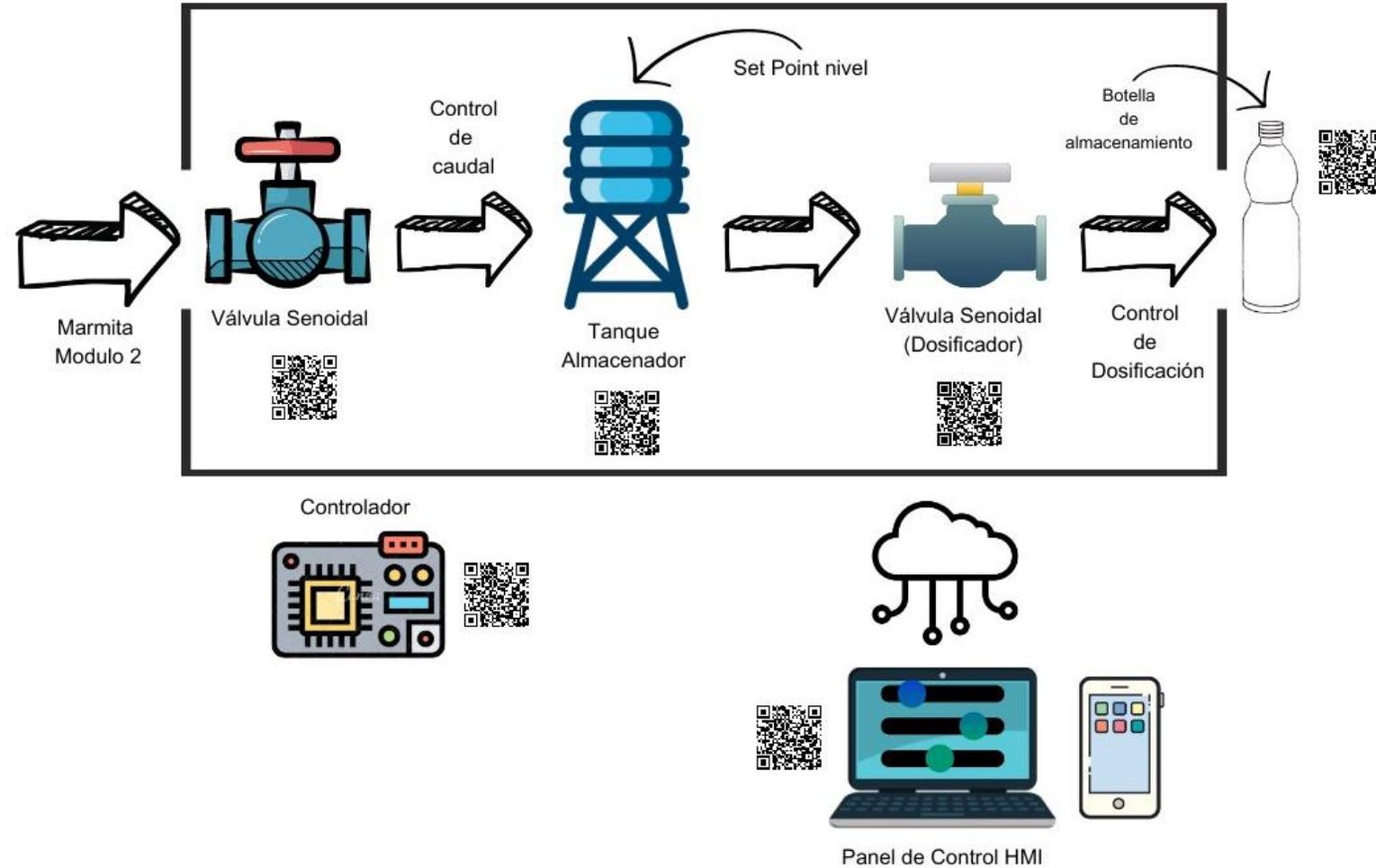


Sistemas y subsistemas

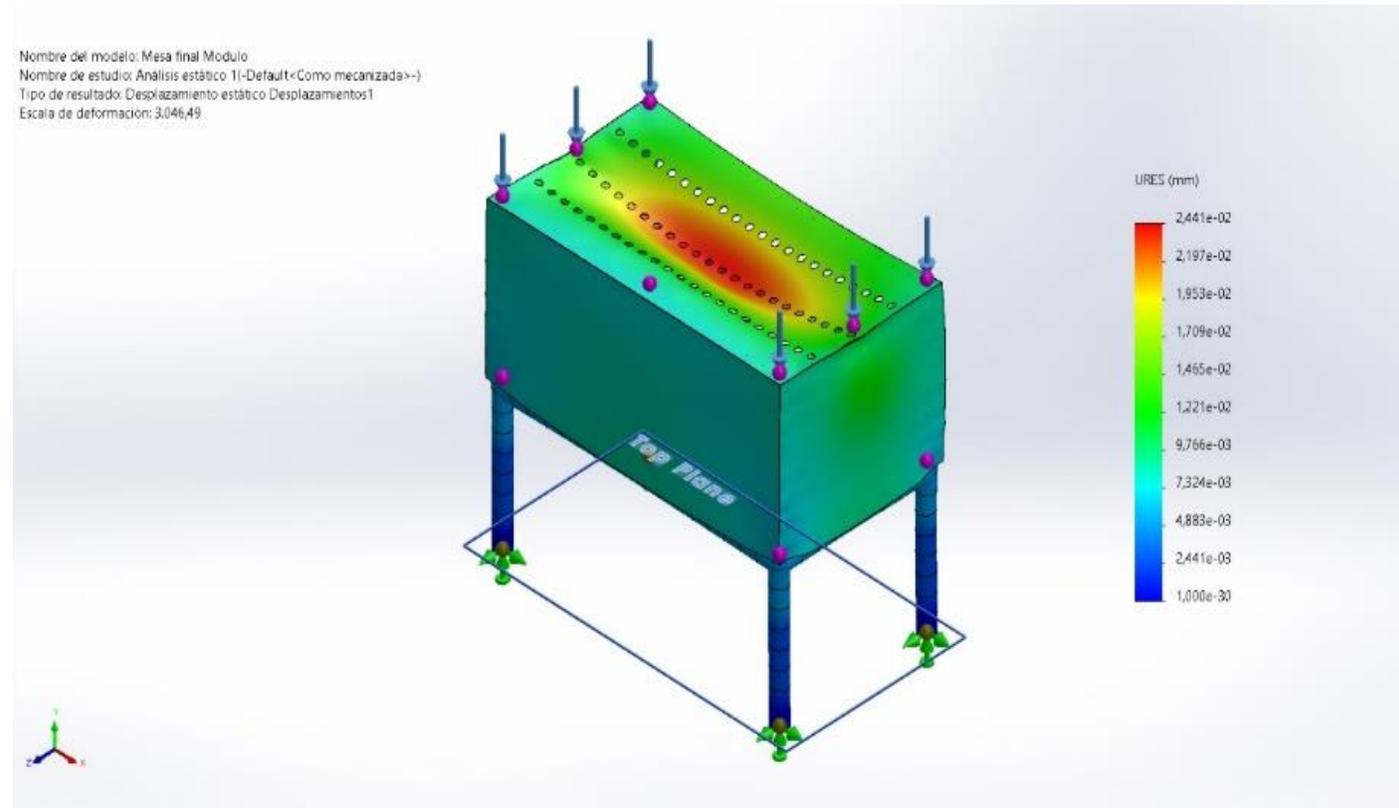
N°	Sistema	Subsistema	Elementos
4	Sistema de comunicación	Comunicación local	Protocolos de comunicación (Modbus, Ethernet/IP, OPC, etc.). Cables y conexiones para la comunicación entre los componentes. Interfaces de conexión (puertos RS-232, RS-485, Ethernet, etc.).
		Comunicación Externa	Protocolos de comunicación estándar para la integración con otros sistemas. Interfaces de comunicación (Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth, etc.). Software de integración o middleware.
5	Sistema de Registro y Seguimiento	Registro de Datos	Registro de variables y parámetros de dosificación en una base de datos.
		Seguimiento	Software de supervisión remota. Interfaces de visualización en tiempo real. Alarmas y notificaciones en caso de desviaciones o fallas.
6	Seguridad	Seguridad Física	Cubiertas de protección para prevenir el acceso no autorizado Interruptores de paro de emergencia. Sensores de seguridad (optoelectrónicos, de proximidad, etc.).



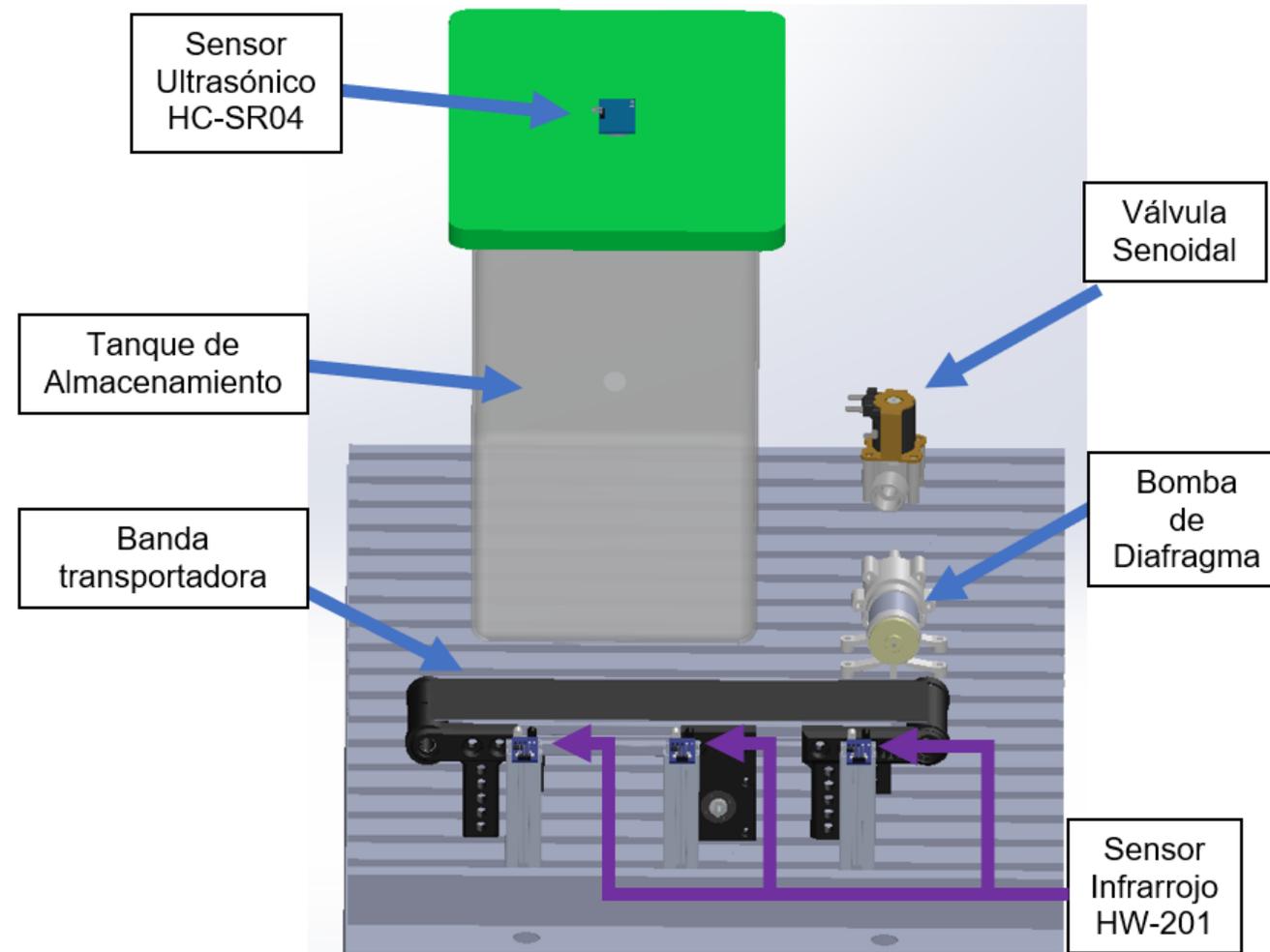
Bosquejo Inicial



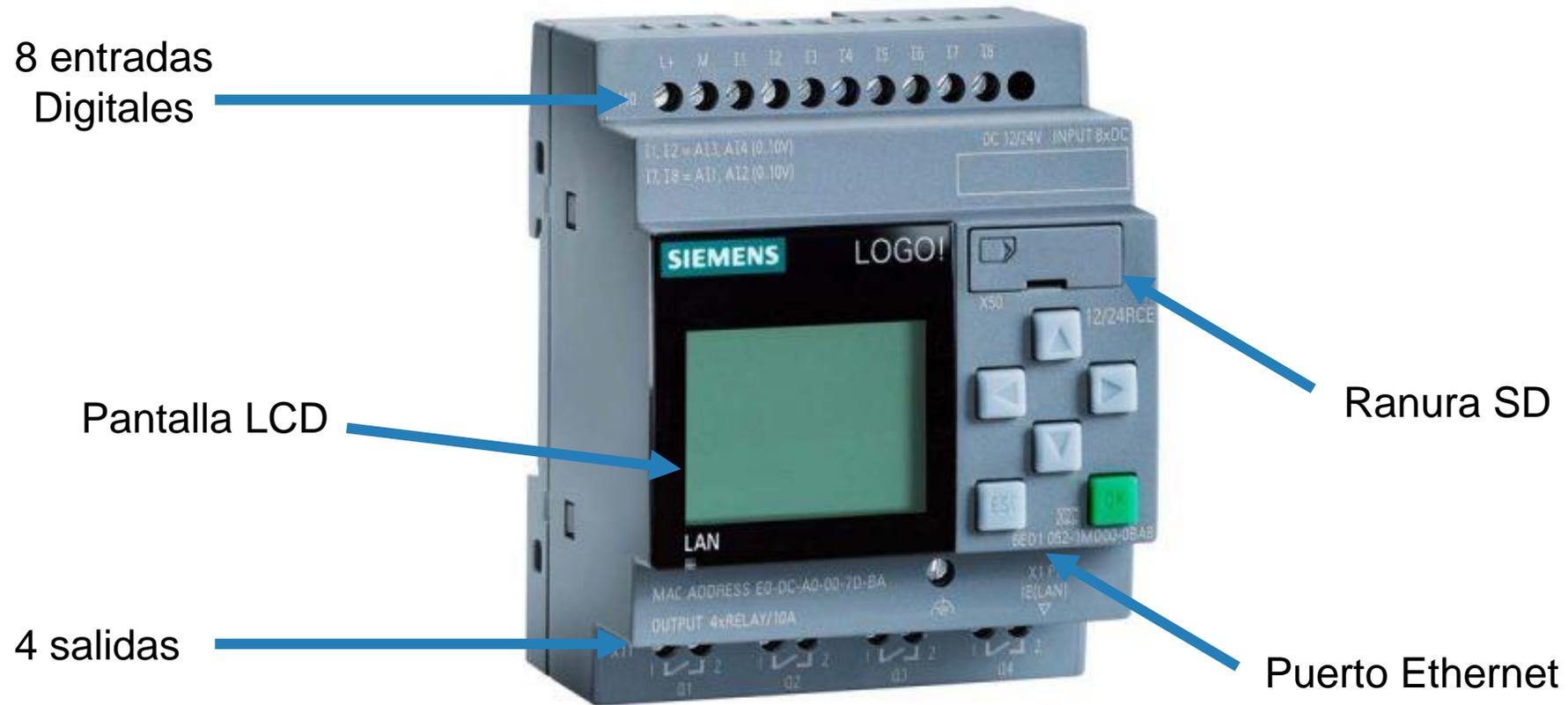
Análisis Cae de la Mesa



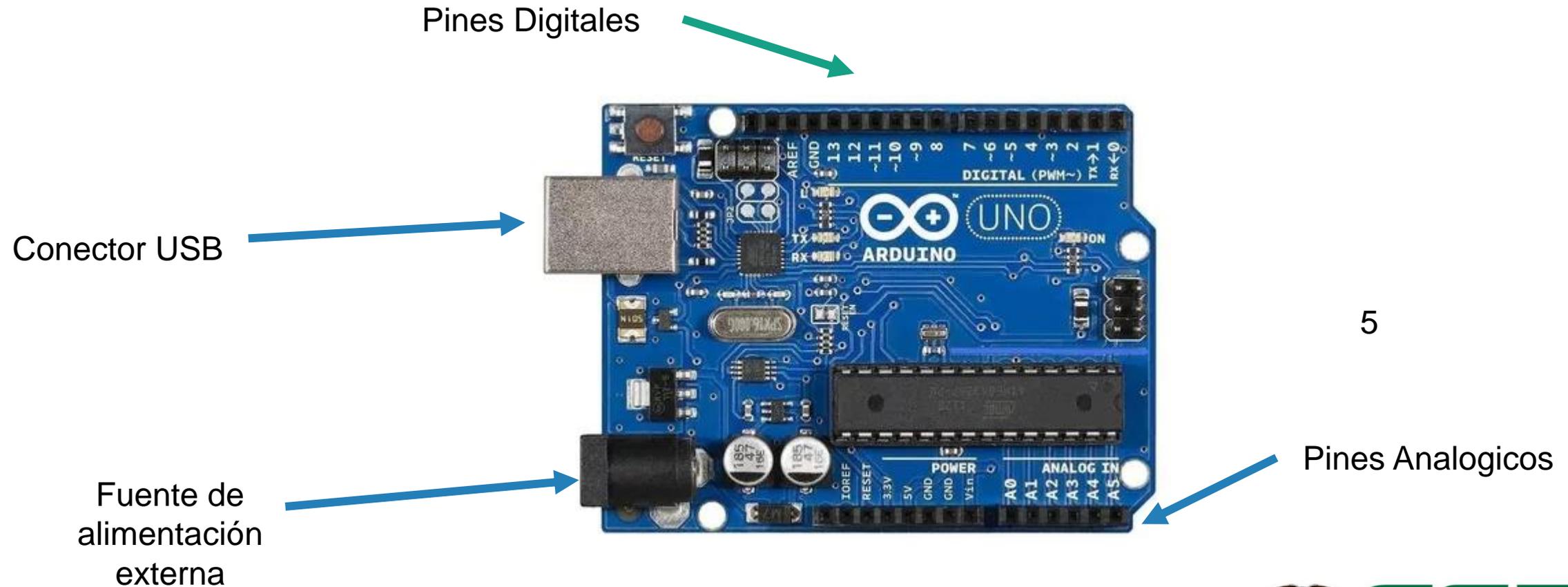
Diseño y selección del sistema



Controlador Programable: PLC LOGO 12/24 RCE Siemens

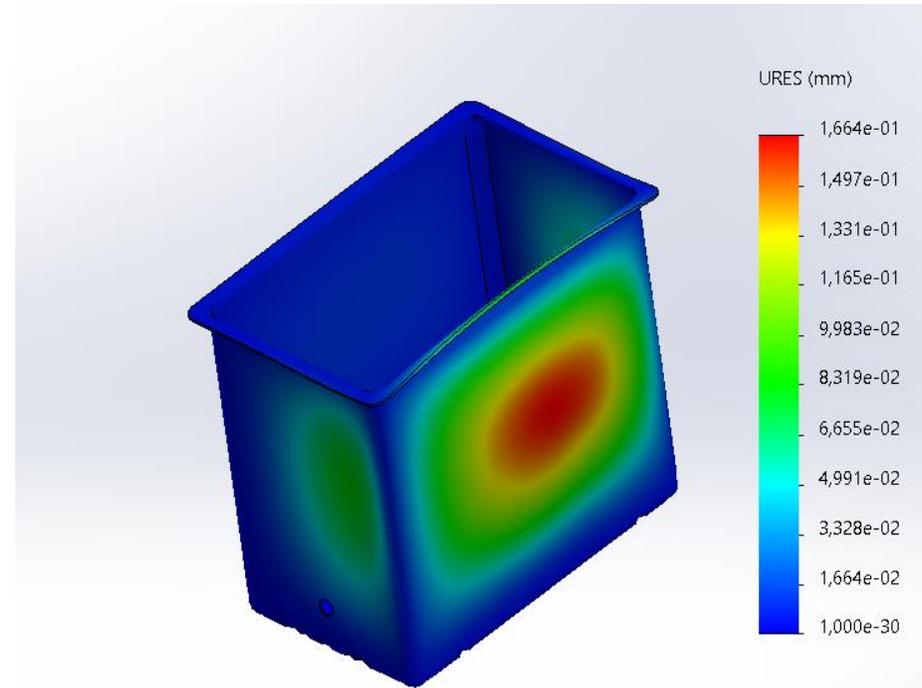


Controlador Programable: PLC LOGO 12/24 RCE Siemens

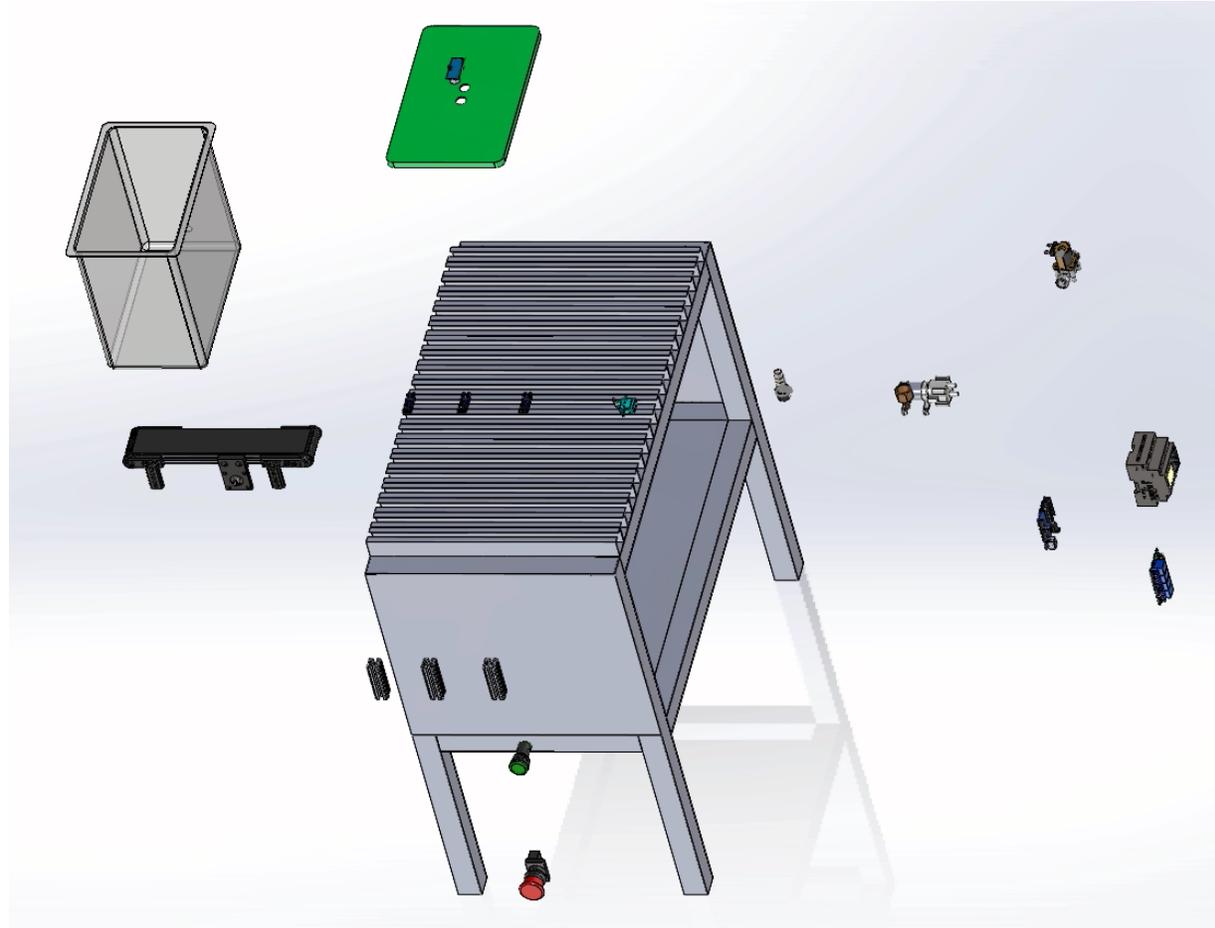


5

Análisis Cae Tanque de Almacenamiento



Ensamble CAD



Ensamble real del Módulo de dosificación



HMI



Interfaz de control de los módulos



Módulo Pesaje

Tanque 1, Tanque 2, Tanque 3 (0-100 scale)

Peso Sensado (gr)

Sistema de extracción (Programa 1, Programa 2, Programa 3)

Inciar

Módulo Marmita

Nivel de solvente requerido (ml)

Temperatura requerida °C

Tiempo de agitación (seg)

Temperatura actual de la solución

Indicadores

Llenado Marmita, Vaciado Marmita, Nivel Solvente Alto, Generador de vapor

Agitador

Pre calentamiento, Proceso agitación, Modo solitario (ON/OFF)

Funcionamiento en solitario

Llenado Marmita, Vaciado Marmita, Señal fin del proceso

Módulo Dosificación

Selección del nivel tanque de almacenamiento (6 Litros, 10 Litros)

No dispensar mas de 7 seg, si son botellas pequeñas

Tiempo espera Banda (seg), Tiempo Dispensado (seg)

Cantidad de botellas

Indicadores

Boya de Seguridad, Paro de emergencia, Electro válvula, Botella en posición, Bomba Dosificadora, Botella Tapada

Módulo Clasificación

Paletizado

Botellas paquete actual (0-6.0 scale), Cantidad de paquetes

Posicionamiento del módulo (Habilitado (verde), Deshabilitado (rojo))

Robot (Operativo (verde), Detenido (rojo))

Botellas (Cantidad de botellas pequeñas, Cantidad de botellas grandes)

Pruebas de tanque de almacenamiento

Prueba	Distancia (cm)	Litros (lt)	Aceptación
1	25	0	Si
2	22	1	No
3	21	1,5	Si
4	20	2	Si
5	19	2,5	Si
6	18	3	No
7	17	3,5	Si
8	16	4	Si
9	15	4,5	Si
10	14	5	Si
11	13	5,5	No
12	12	6	Si
13	11	6,5	Si
14	10	7	Si
15	9	7,5	No
16	8	8	Si
17	7	8,5	Si
18	6	9	Si
19	5	9,5	Si
20	4	10	No



Prueba de boya de seguridad

Prueba	Litros Suministrados (lt)	Lectura Arduino Litros (lt)	Observación	Aceptación
1	0,2	0,3	Desfase de 0,1 lt	Si
2	0,4	0,4		Si
3	0,6	0,7	Desfase de 0,1 lt	Si
4	0,8	0,8		Si
5	1	1		Si
6	1,2	1,2		Si
8	1,6	1,7	Desfase de 0,1 lt	Si
9	1,8	1,8		Si
10	2	2,1	Desfase de 0,1 lt	Si
11	2,2	2,2		Si
12	2,4	2,4		Si
13	2,6	2,7		Si
14	2,8	2,8		Si
15	3	3		Si
16	2,8	2,8		Si
17	2,6	2,6		Si
18	2,4	2,4		Si
19	2,2	2,2		Si
20	2	2		Si



Prueba de detección de botella

Prueba	Activación en (HMI)	Activación Real	Aceptación
1	Si	Si	Si
2	Si	Si	Si
3	Si	Si	Si
4	Si	Si	Si
5	Si	Si	Si
6	Si	Si	Si
7	No	No	No
8	Si	Si	Si
9	Si	Si	Si
10	No	No	No
11	Si	Si	Si
12	Si	Si	Si
13	Si	Si	Si
14	Si	Si	Si
15	Si	Si	Si
16	No	No	No
17	Si	Si	Si
18	Si	Si	Si
19	Si	Si	Si
20	Si	Si	Si



Prueba de dosificado

Prueba	Activación en (HMI)	Activación Real	Cantidad Dispensada (ml)	Tiempo (Seg)	Aceptación
1	Si	Si	15	7	Si
2	Si	Si	15	7	Si
3	Si	Si	13,5	7	No
4	Si	Si	15	7	Si
5	Si	Si	15	7	Si
6	Si	Si	15	7	Si
7	Si	Si	14	7	No
8	Si	Si	15	7	Si
9	Si	Si	15	7	Si
10	Si	Si	15	7	Si
11	Si	Si	13	7	No
12	Si	Si	15	7	Si
13	Si	Si	15	7	Si
14	Si	Si	15	7	Si
15	Si	Si	14	7	No
16	Si	Si	15	7	Si
17	Si	Si	15	7	Si
18	Si	Si	15	7	Si
19	Si	Si	15	7	Si
20	Si	Si	15	7	Si



Prueba de Tapado

Prueba	Activación en (HMI)	Activación Real	Aceptación
1	Si	Si	Si
2	Si	Si	Si
3	No	No	No
4	Si	Si	Si
5	Si	Si	Si
6	Si	Si	Si
7	Si	Si	Si
8	No	No	No
9	Si	Si	Si
10	Si	Si	Si
11	No	No	No
12	Si	Si	Si
13	Si	Si	Si
14	Si	Si	Si
15	No	No	No
16	Si	Si	Si
17	Si	Si	Si
18	Si	Si	Si
19	Si	Si	Si
20	Si	Si	Si



Prueba de envío y recepción de señales entre módulos

Prueba	Señal de inicio (módulo 1)	Señal de inicio (módulo 2)	Señal de inicio (módulo 3)	Señal de inicio (módulo 4)	Aceptación
1	No	Si	Si	No	No
2	No	Si	Si	No	No
3	No	Si	Si	No	No
4	No	Si	Si	No	No
5	No	Si	Si	No	No
6	No	Si	Si	No	No
7	No	Si	Si	No	No
8	No	Si	Si	No	No
9	No	Si	Si	No	No
10	No	Si	Si	No	No
11	No	Si	Si	No	No
12	No	Si	Si	No	No
13	No	Si	Si	No	No
14	No	Si	Si	No	No
15	No	Si	Si	No	No
16	No	Si	Si	No	No
17	No	Si	Si	No	No
18	No	Si	Si	No	No
19	No	Si	Si	No	No
20	No	Si	Si	No	No



Hipótesis

¿Armar un módulo que permita la dosificación adecuada de sustancias y mediante un panel seleccionar variables y set points, permitirá vincular todos los módulos desarrollados con la finalidad de que puedan gestionar mediante un controlador y junto con una interfaz emplear sistemas ciberfísicos?

Hipótesis nula (H0)

El módulo de dosificación de sustancias no es capaz de dispensar líquidos de forma adecuada.

Hipótesis alternativa (H1)

El módulo de dosificación de sustancias es capaz de dispensar líquidos de forma adecuada.

Tabla de Frecuencia Observada

Resultado aceptable	Prueba de control de llenado	Prueba Boya de seguridad	Prueba detección de botella	Prueba de Dosificación	Prueba de Tapado	Envió y recepción	Total
Si	15	20	17	16	16	0	84
No	5	0	3	4	4	20	36
Total	20	20	20	20	20	20	120

$$E_{ij} = \frac{O_i \times O_j}{O}$$

Frecuencias esperadas

Resultado aceptable	Prueba de control de llenado	Prueba Boya de seguridad	Prueba detección de botella	Prueba de Dosificación	Prueba de Tapado	Envió y recepción	Total
Si	16	16	16	16	16	16	96
No	5	0	3	4	4	20	24

Chi-Cuadrado

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

$$\chi^2 = 23.625$$

$$\chi_{\text{Tabla}}^2 = 11.0705$$

$$11.0705 < 23.625$$

Se acepta H1

Conclusiones

- Para el diseño del módulo de dosificación se identificaron las variables que se necesitan para controlar cada sistema y subsistema, esto con el fin de verificar que tipo de sistema de control se debe implementar y los actuadores necesarios para realizar la implantación, respecto al nivel del tanque se utilizó un sensor ultrasónico, el cual permitió determinar que a 25 centímetros se realiza el rebote del sonido indicando un nivel cero, 14 centímetros indica un nivel de 5.5 litros, por medio de pruebas e interpolación se determinó que por cada centímetro que aumenta el nivel de agua representa un aproximado de 0.5 litros
- La etapa de dosificación comprende varias etapas, la primera se determinó entre la válvula de paso de líquido y la bomba de dosificación, se acordó utilizar una válvula senoidal de paso debido a la necesidad de control al momento de la salida del líquido, esto también como una medida adicional de protección para evitar derrames dentro del sistema, y la bomba que dispensaría el líquido se controla mediante un control On/Off determinado a 20 milisegundos, proporcionando una medida de 5 mililitros para cada botella.
- El proceso de dispensado es semiautomático, ya que las botellas serían dispensadas en un ambiente industrial de forma manual, si se requiere automatizar el dispensado de botellas se adaptaría un sistema adicional capaz de realizar esta acción sobre la banda transportadora.

Conclusiones

- La banda transportadora comprende tres secciones o etapas, verificación de presencia de botella, esto se realiza mediante control ON/OFF, obteniendo la salida digital del Arduino, y por medio de un Relevador entregar una salida para el controlador PLC, esto debido a que el mismo lee medidas superiores a los 3.3 voltios, hasta un valor máximo de 24 voltios, en modelo específico utilizado para este sistema.
- La etapa de dosificado sobre la banda proporciona control al momento de llevar a cabo la acción, permitiendo que la botella se detenga en el lugar adecuado para ser dosificado, esto mediante control on/off el motor, y detección de presencia mediante sensor infrarrojo, posterior a los 22 segundos de haberse detenido la banda, la misma se volvería a activar para dar paso al siguiente proceso. Se determinó el tiempo considerando el tiempo de dosificado y colocación de este en el lugar de dosificación.
- La etapa de tapado sucede por medio de sobreposición de corchos, indicado sobre la misma banda transportadora, para que se pongan sobre la botella, y posterior a ello mediante un servomotor ser presionadas, asegurando el contenido de la botella, esto realizado mediante detección de objetos, por medio de control ON/OFF, y accionamiento de Arduino como esclavo.

Recomendaciones

- Se debe implementar un sensor de nivel de tipo boya para precisar el ingreso correcto de la sustancia suministrada en el tanque de almacenamiento, esto con el fin de tener un control de variables, analógicas que tienen un mayor rango de precisión.
- Se debe verificar la conexión de los elementos dentro del tablero de control, ya que al ser un módulo es capaz de desplazarse y desmontarse.
- No se debe suministrar sustancias superiores a los 40 grados centígrados, ya que estos tienen a deteriorar con mayor facilidad el sensor de nivel ubicado en la tapa del contenedor de almacenamiento.
- Se pueden implementar una bomba de tipo analógica para mejorar la precisión de dispensado de líquidos en el sistema de dosificación.
- Los motores no deben ser alimentados a una fuente superior a los 12 voltios ya que estos podrían fallar y posterior a ellos dejar de funcionar.
- Se debe verificar que siempre el sistema este alimentado por 110 voltios ya que está adaptado para trabajar con ese rango de voltaje.

¡Muchas Gracias!



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA