



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



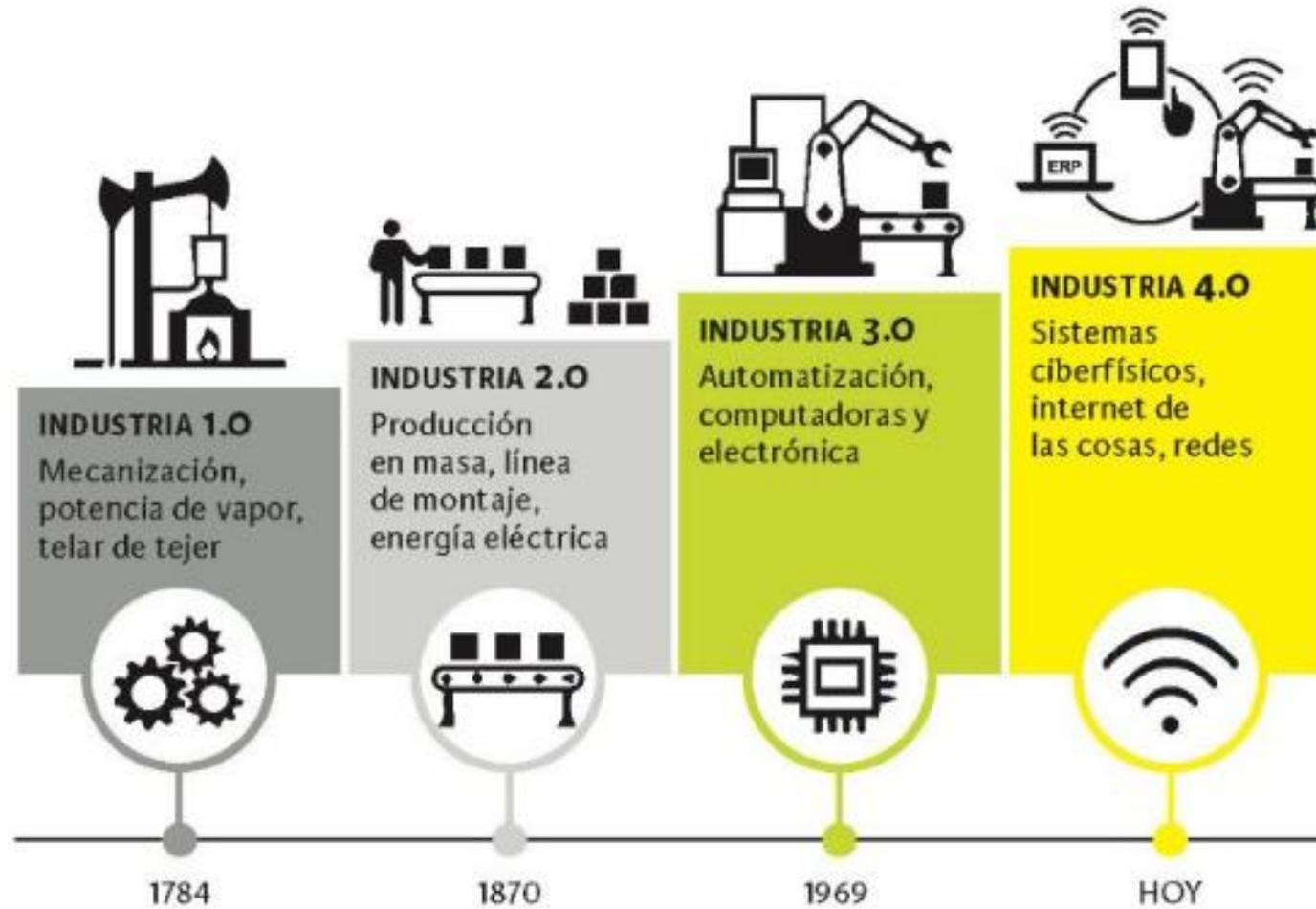
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE MECATRÓNICA
TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO

Diseño e implementación de un módulo tipo marmita, que se encargue del mezclado, temperatura y nivel de sustancia a tratar, para luego ser dirigido al siguiente módulo dosificador para el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga

AUTOR: Hasskel Herdoiza, Martín José
DIRECTOR: ING. Gordón Garcés, Andrés Marcelo

LATACUNGA, 2023

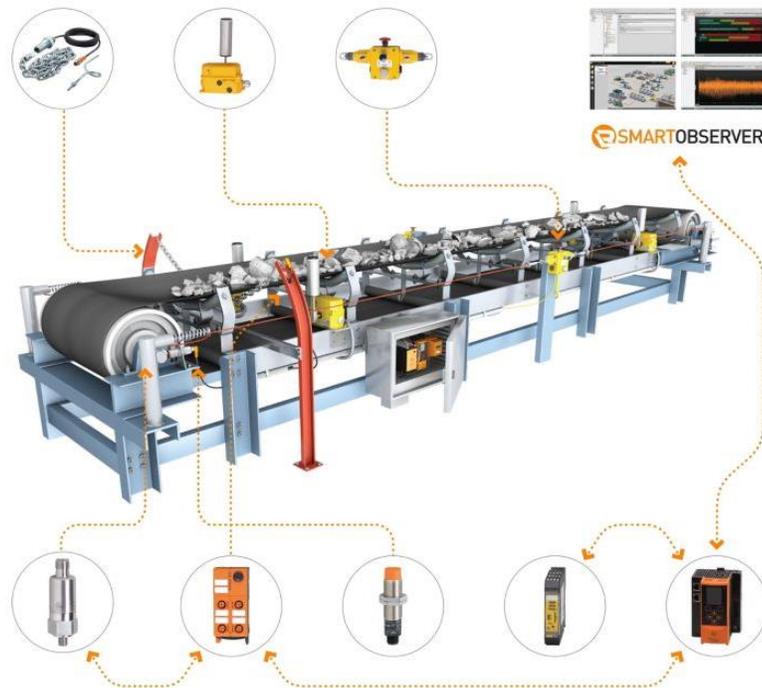




Fuente: La cuarta revolución industrial, Klaus Schwab, 2016. World Economic Forum.



Según datos recopilados por la SUPERCIAS, actualmente existe una tendencia al aumento en la evolución tecnológica del país, en la actualidad el país se encuentra en el inicio de la digitalización industrial con la llegada de sensores



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La necesidad de poder vincular tanto la parte física de un ambiente industrial real, como la virtual para simular un entorno industrial



Diseñar e implementar de un módulo tipo marmita, que se encargue del mezclado, temperatura y nivel de sustancia a tratar, para luego ser dirigido al siguiente módulo dosificador para el laboratorio de mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar los pasos necesarios para un diseño exitoso
- Verificar que componentes se necesitan para el diseño del módulo tipo marmita
- Identificar las variables de control del sistema
- Diseñar la estructura mecánica y sistema eléctrico del módulo tipo marmita
- Escoger los sensores necesarios para el módulo tipo marmita
- Programar el PLC para que ejecute de manera adecuada sus tareas
- Controlar las diferentes variables por medio de actuadores y el PLC
- Construir el módulo tipo marmita con sus diferentes accesorios
- Implementar la interfaz IoT para el módulo tipo marmita
- Probar el correcto funcionamiento del módulo tipo marmita

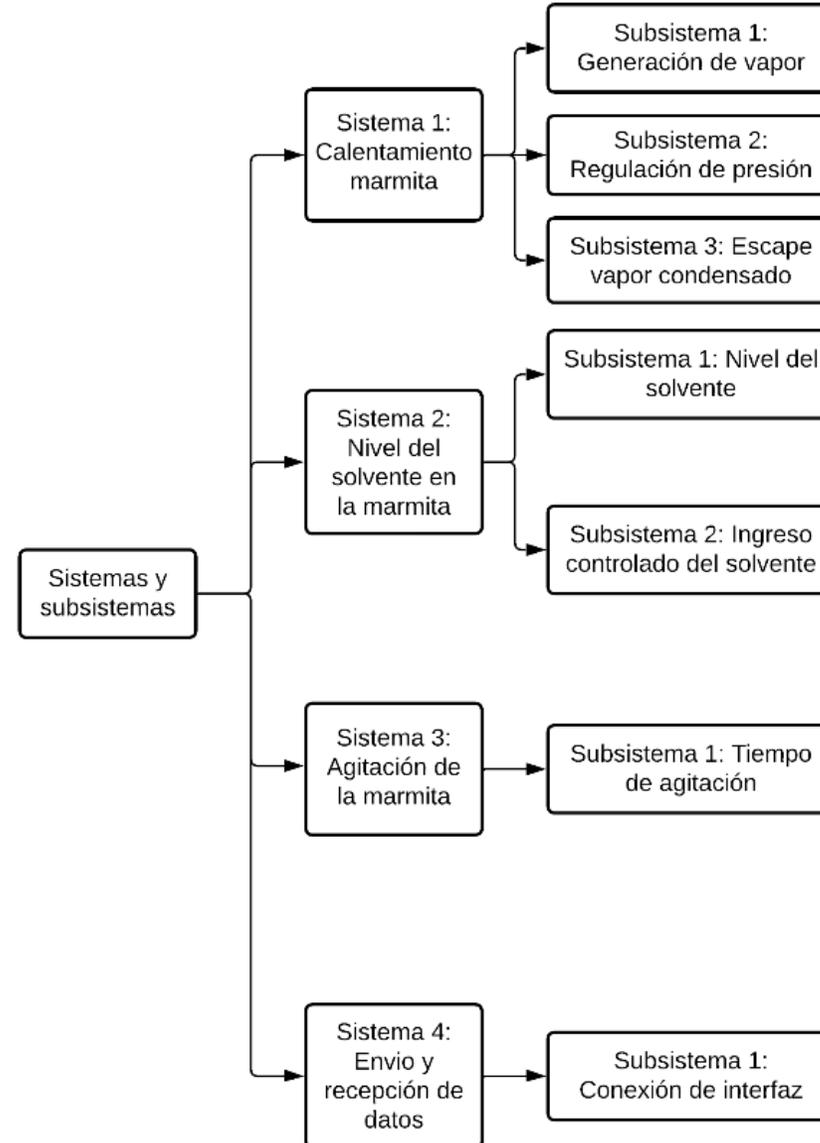


OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar los pasos necesarios para un diseño exitoso
- Verificar que componentes se necesitan para el diseño del módulo tipo marmita
- Identificar las variables de control del sistema
- Diseñar la estructura mecánica y sistema eléctrico del módulo tipo marmita
- Escoger los sensores necesarios para el módulo tipo marmita
- Programar el PLC para que ejecute de manera adecuada sus tareas
- Controlar las diferentes variables por medio de actuadores y el PLC
- Construir el módulo tipo marmita con sus diferentes accesorios
- Implementar la interfaz IoT para el módulo tipo marmita
- Probar el correcto funcionamiento del módulo tipo marmita



SISTEMAS Y SUBSISTEMAS



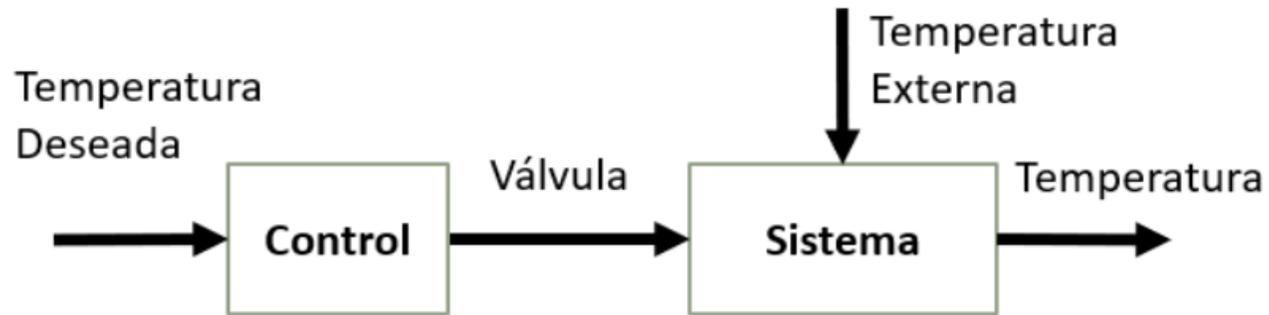
Normativa

| Normativa nacional | |
|--------------------|-------------------------|
| INEN 003 | Dibujo técnico |
| INEN RTE-008-3R | Sistemas Presurizados |
| INEN 438 | Señalización industrial |

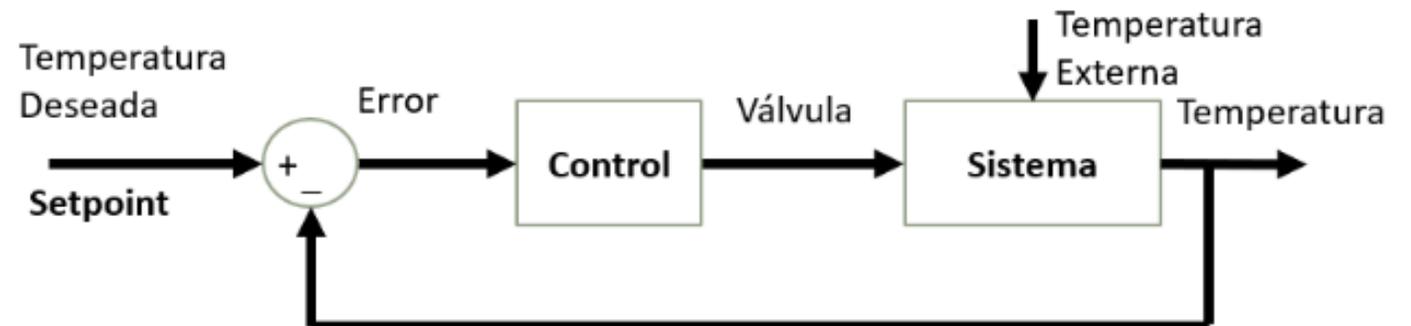
| Normativa internacional | |
|-------------------------|---------------------------------------|
| ISO 22000 | Alimentos |
| AISI 304 | Elementos de acero |
| ISO 1004 | Diseño y gestión de la calidad |
| API 650 | Tanques presurizados y sin presurizar |



Lazo abierto



Lazo cerrado



SELECCIÓN DE MATERIALES

| Row # | Max Relationship Value in Row | Relative Weight | Weight / Importance | Quality Characteristics (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats") | Column # | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-------------------------------|-----------------|---------------------|--|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| | | | | | Direction of Improvement: Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (x) | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | ▲ | ▼ | x | x | ▲ | ▲ | ▲ | x | ▲ | ▲ | x | x | x | x | x |
| | | | | | Demedanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats") | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 9 | 12,5 | 5,0 | Fácil Uso | ▲ | ○ | ○ | | ▲ | ▲ | ▲ | ○ | ▲ | | ○ | ▲ | | ○ | |
| 2 | 9 | 12,5 | 5,0 | Reprogramable | | | ○ | | ▲ | ○ | ○ | ○ | | ○ | | ○ | | ○ | |
| 3 | 9 | 10,0 | 4,0 | Portatil | ○ | ○ | ○ | ○ | ▲ | ▲ | ▲ | | ○ | ○ | | | ○ | | |
| 4 | 9 | 10,0 | 4,0 | Educativo | | | ○ | | ▲ | ▲ | ▲ | ○ | | ○ | | ○ | ▲ | ○ | |
| 5 | 9 | 12,5 | 5,0 | Interfaz de control | | | ○ | ▲ | ○ | ○ | ○ | ○ | ▲ | ○ | ○ | ○ | ▲ | ○ | |
| 6 | 9 | 10,0 | 4,0 | Seguro | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ▲ | | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 7 | 9 | 10,0 | 4,0 | Robusto | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ▲ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 8 | 9 | 7,5 | 3,0 | Automático | | | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 9 | 9 | 7,5 | 3,0 | Desarmable | ○ | ○ | ▲ | ○ | ○ | ▲ | ▲ | | ▲ | | | | ▲ | | |
| 10 | 9 | 7,5 | 3,0 | Económico | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ▲ | | ○ | | ○ | ○ | |
| | | | | | Target or Limit Value | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | Difficulty (0=Easy to Accomplish, 9=Extremely Difficult) | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 9 | 9 | 9 | 3 | 3 | 9 | 9 | 9 | 3 | 9 | 9 | 9 | 9 | 3 | 9 |
| | | | | | Max Relationship Value in Column | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 252,5 | 262,5 | 585,0 | 147,5 | 210,0 | 280,0 | 280,0 | 502,5 | 112,5 | 292,5 | 277,5 | 510,0 | 297,5 | 120,0 | 397,5 |
| | | | | | Weight / Importance | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 5,6 | 5,8 | 12,9 | 3,3 | 4,6 | 6,2 | 6,2 | 11,1 | 2,5 | 6,5 | 6,1 | 11,3 | 6,6 | 2,7 | 8,8 |
| | | | | | Relative Weight | | | | | | | | | | | | | | |

Resultados matriz QFD

| Núm. | Métricas | Puntaje | Porcentaje |
|------|--------------------------|---------|------------|
| 1 | Tipo de calefacción | 585 | 12,9 |
| 2 | Tipo de interfaz | 510 | 11,3 |
| 3 | Control | 502,5 | 11,1 |
| 4 | Sensorisación | 397,5 | 8,8 |
| 5 | Tipo de válvulas | 297,5 | 6,6 |
| 6 | Tiempo de funcionamiento | 292,5 | 6,5 |
| 7 | Salida solución | 280 | 6,2 |
| 8 | Ingreso solvente | 280 | 6,2 |
| 9 | Material del sistema | 277,5 | 6,1 |
| 10 | Tamaño (Altura) | 262,5 | 5,8 |
| 11 | Volumen | 252,5 | 5,6 |
| 12 | Ingreso soluto | 210 | 4,6 |
| 13 | Tipo de agitador | 147,5 | 3,3 |
| 14 | Recipiente soluto | 120 | 2,7 |
| 15 | Almacenamiento solvente | 112,5 | 2,5 |

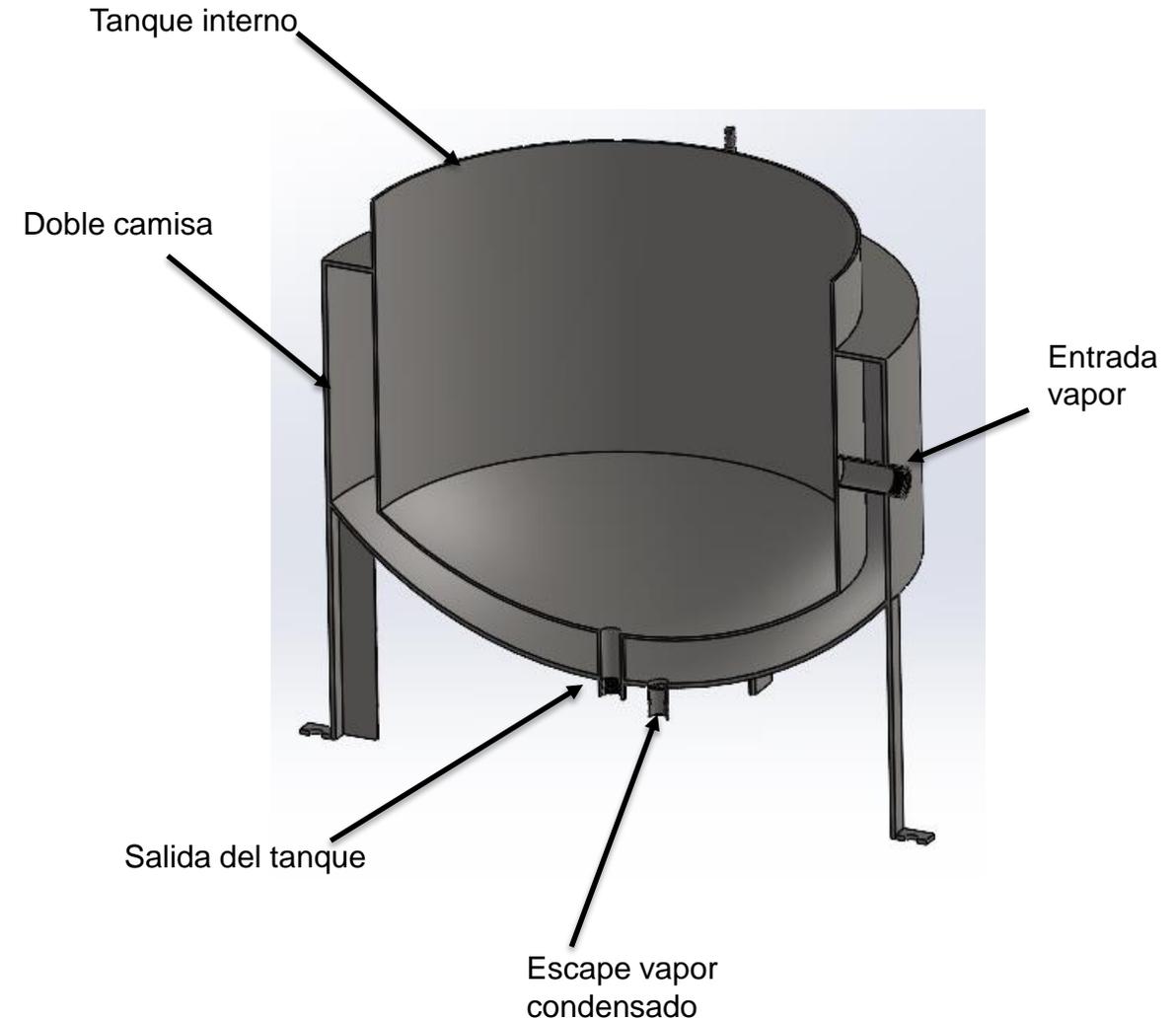


SELECCIÓN DE MATERIALES

Tipo de marmita

Parámetros de selección

| Parámetros | Opción 1 | Opción 2 |
|---------------------------------|----------|----------|
| Tipo de calentamiento | 3 | 4 |
| Independencia de funcionamiento | 2 | 3 |
| Tamaño | 2 | 4 |
| Costo | 4 | 3 |
| Facilidad de control | 3 | 4 |
| Disponibilidad de construcción | 3 | 4 |
| Total | 17 | 22 |
| Elegida para desarrollo | No | Si |



Para la selección de material se utilizo la norma AISI 304



**American
Iron and Steel
Institute**



Para el diseño y calculo del tanque de la marmita y la doble camisa de la mismo se utilizo la normativa API 650



Parámetros Acero AISI 304

| | |
|---------------------------|-----------------------|
| Resistencia a la fluencia | 310 MPa |
| Resistencia a la cedencia | 620 MPa |
| Elongación | 30% |
| Reducción de área | 40% |
| Módulo de elasticidad | 200 GPa |
| Densidad | 7,8 g/cm ³ |



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Condiciones para el diseño del tanque

| Ítem | Especificación |
|--------------------|----------------|
| Presión | 40 PSI |
| Capacidad | 15 Lts |
| Tipo de soldadura | TIG |
| Acabado | Mate |
| Temperatura máxima | 80 °C |

Fórmulas para diseño API 650

$$V_t = V_{cilindro} + V_{semiesfera}$$

$$V_t = \frac{\pi}{4} \phi_i^2 h_{tanque} + \frac{\pi}{12} \phi_i^3$$

Se sabe que por factor de forma

$$h_{tanque} = 0.9(\phi_i)$$

Reemplazando

$$\phi_i = \left[\frac{12(V_{tanque})}{(3\pi * 0,9) + 1} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$\phi_i = 29,81cm \approx 30cm$$



Altura del tanque

$$h_t = 0.9(\phi_i)$$

$$h_t = 27\text{cm}$$

Altura de la chaqueta

$$h_{chaqueta} = \frac{h_t}{1 + f}$$

$$h_{chaqueta} = \frac{0,27}{1 + 0,1}$$

$$h_{chaqueta} = 0,24 \approx 24\text{cm}$$

Espesor plancha



Selección de espesores API 650

| Diámetro nominal (m) | Espesor mínimo (mm) |
|----------------------|---------------------|
| <15.24 | 3 |
| 15.24-36.576 | 6.35 |
| 36.576-60.96 | 7.93 |
| >60.96 | 9.52 |



Cálculo balance de energías

$$\Delta E_{sistema} = E_{entra} - E_{sale}$$

La energía del sistema es toda la que es producida por los componentes

$$\Delta E_{sistema} = \Delta E_{agua} + \Delta E_{tanque} + \Delta E_{vapor} + \Delta E_{chaqueta} + \Delta E_{tapa}$$

$$\Delta E_{sistema} = (mc_p \Delta T)_{agua} + (mc_p \Delta T)_{tanque} + (mc_p \Delta T)_{vapor} + (mc_p \Delta T)_{chaqueta} + (mc_p \Delta T)_{tapa}$$

La energía que sale, es toda la que se pierde en el proceso

$$\Delta E_{sale} = E_{convección} + E_{radiación}$$

Reemplazando

$$Q_{sale} = hA_s(T_s - T_{\infty}) + \varepsilon\sigma A_s(T_s^4 - T_{\infty}^4)$$

Donde

- ΔT : Variación de temperaturas
- c_p : Calor específico
- m : masa



Se realiza el cálculo y se obtiene

$$\Delta E_{sistema} = \left[\left(15kg \times 4,18477 \frac{kJ}{kg^{\circ}K} \right) + \left(7.272kg \times 0.477 \frac{kJ}{kg^{\circ}K} \right) + \left(0.0117kg \times 1.8723 \frac{kJ}{kg^{\circ}K} \right) + \left(3.424kg \times 0.477 \frac{kJ}{kg^{\circ}K} \right) + \left(4.572kg \times 0.477 \frac{kJ}{kg^{\circ}K} \right) \right] [(80 + 273) - (15 + 273)]^{\circ}K$$

$$\Delta E_{sistema} = \underline{4555.60 \text{ kJ}}$$

Para transformar a kW/h se utiliza la relación

$$\Delta E_{sistema} = 4555.60 \text{ kJ} \times \left| \frac{1kW - h}{3.6 \times 10^3 kJ} \right| = \underline{1.265 \text{ kW} - h}$$

Para obtener la energía perdida

$$Q_{convección} = 3.956(4\pi 0.15^2)(80 - 20)$$

$$Q_{rad} = 0.17 \times 5.67 \times 10^{-8} \times 0.283(80^4 - 20^4)$$

$$Q_{convección} = \underline{67,11 \text{ W}}$$

$$Q_{rad} = \underline{8.80 \text{ W}}$$



Longitud del brazo

$$L_b = \frac{5}{8} \phi_{in}$$

$$L_b = 18,75 \text{ cm}$$

Espesor del agitador

$$E_r = \frac{1}{10} L_b$$

$$E_r = 1.875 \approx 2 \text{ cm}$$

Espesor del agitador

$$\phi_r = \frac{3}{4} \phi_{in}$$

$$\phi_r = 22.5 \text{ cm}$$

Espesor del agitador

$$A_p = \frac{1}{5} L_b$$

$$A_p = 3.75 \text{ cm}$$



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

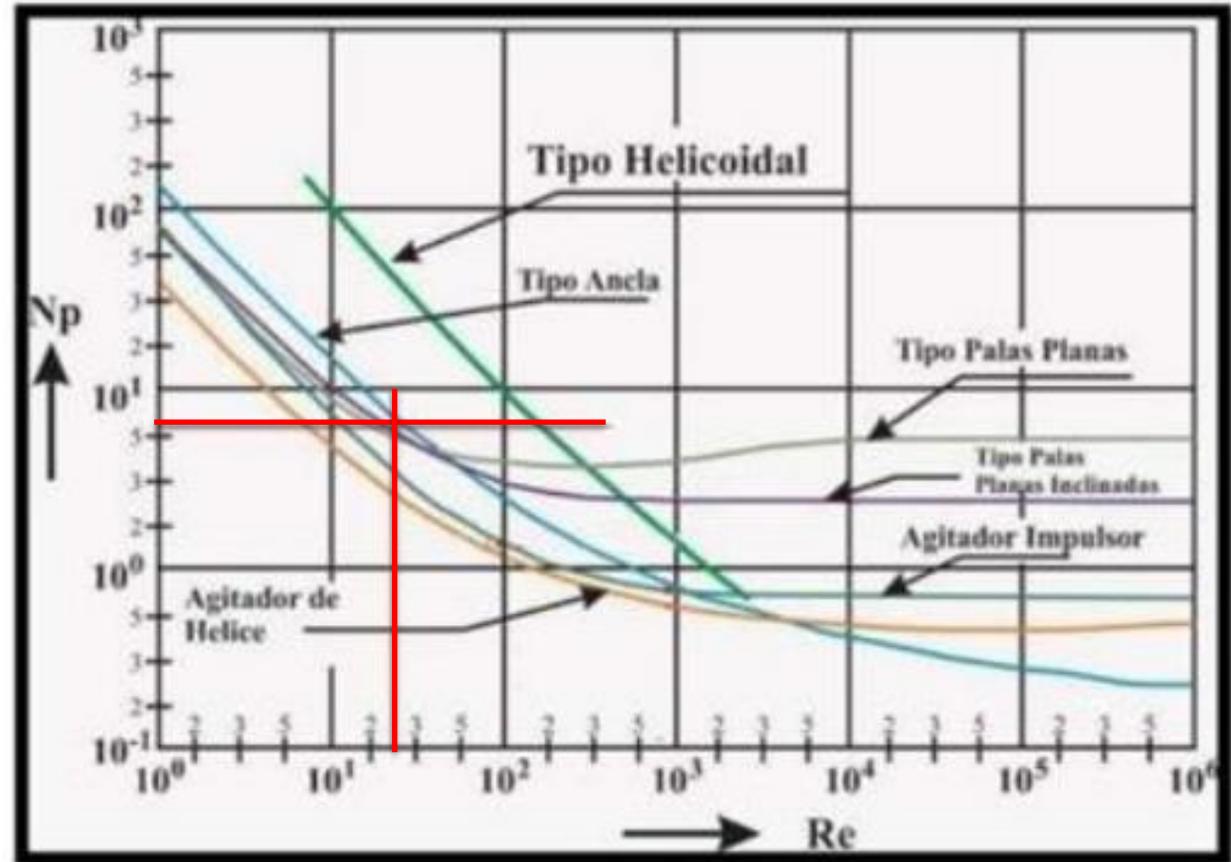
Potencia del agitador

$$N_r = \frac{\phi_{in}^2 \times N \times \rho}{\mu}$$

$$N_r = 44.33$$

$$P = \frac{N_p}{gc} (\rho \times N^3 \times \phi_{in}^5)$$

$$P = 2.4057 \text{ W}$$



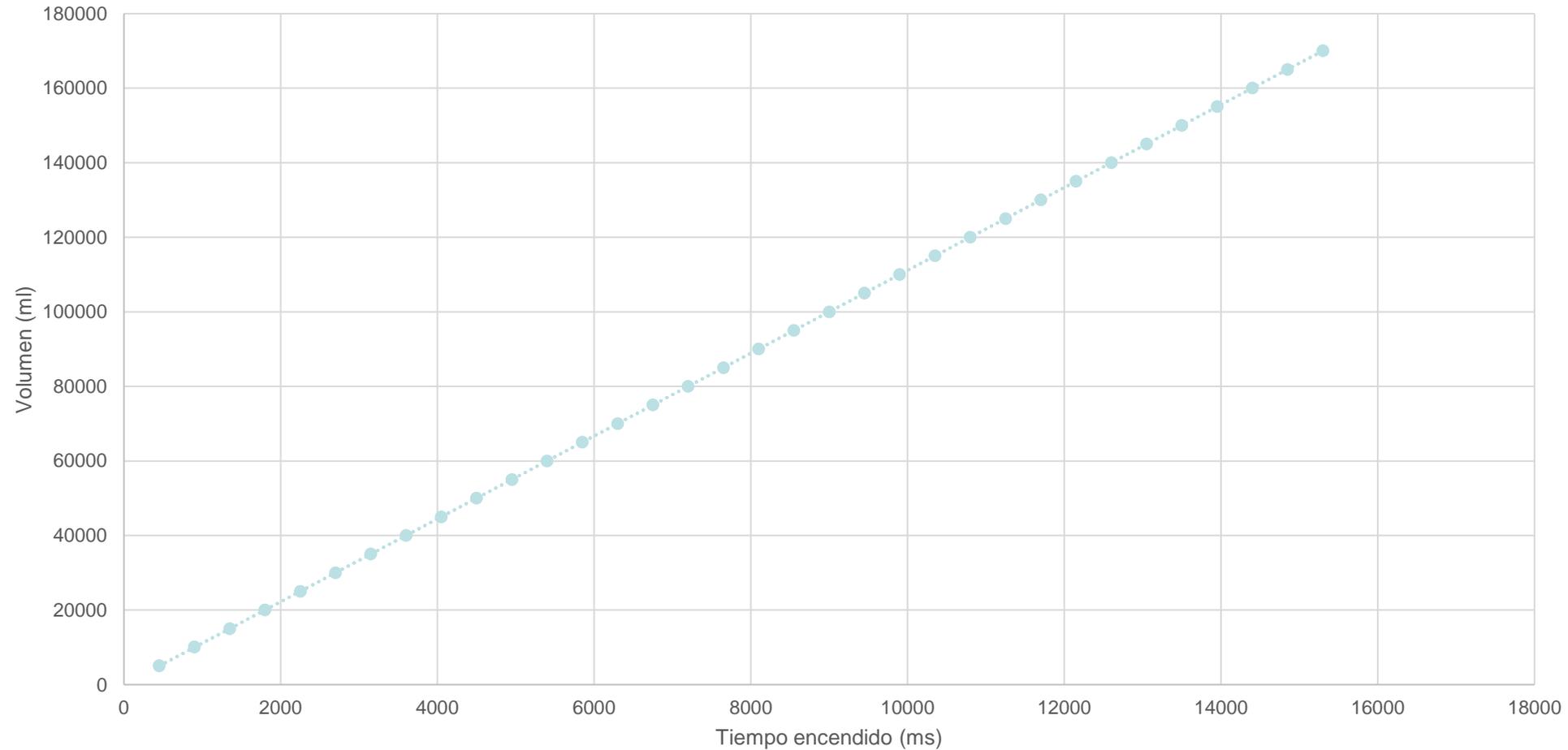
$$N_p = 6$$



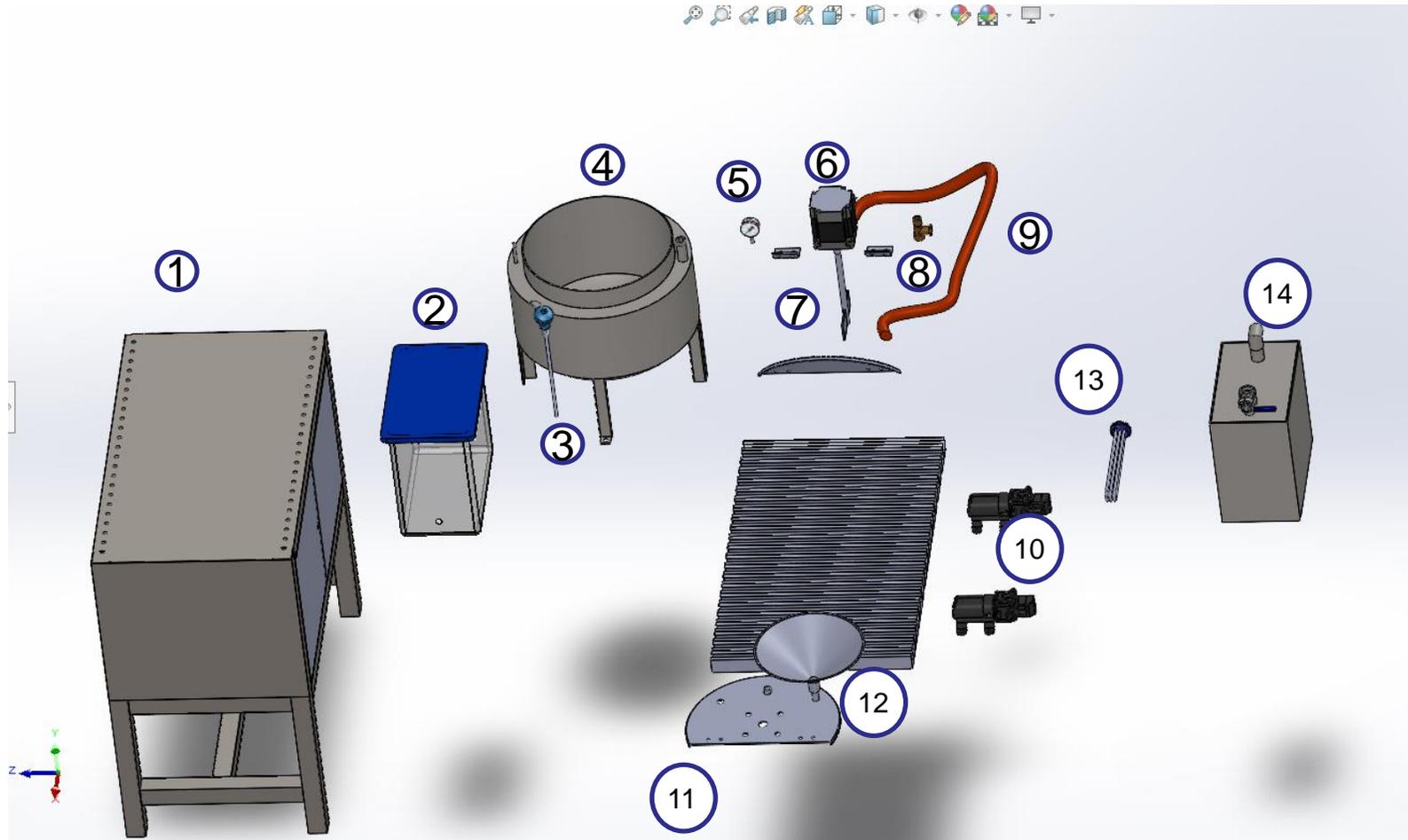
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

$$y = 11,11x + 2,182$$

Interpolación de la bomba

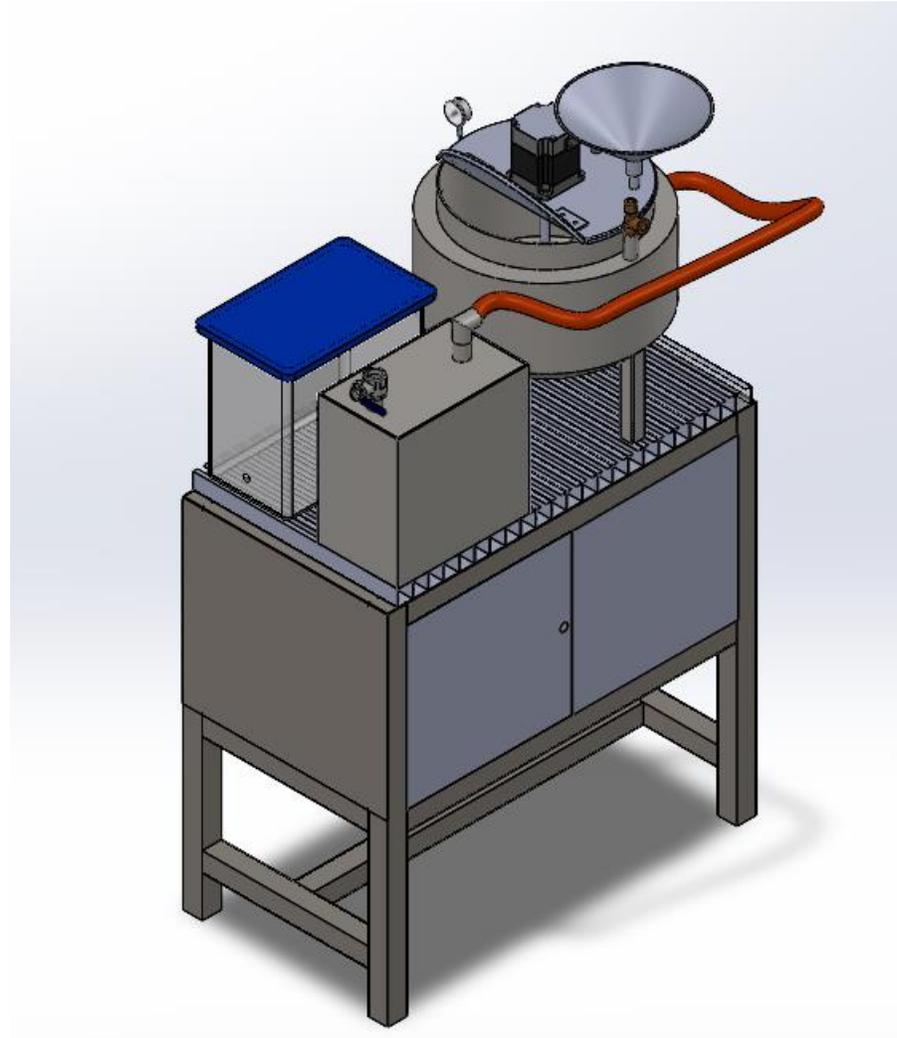


Vista explosionada

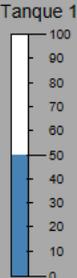
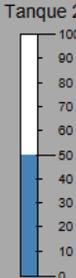
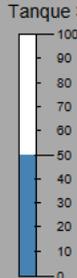


| Elementos | |
|-----------|--------------------------|
| 1 | Mesa de apoyo |
| 2 | Tanque de almacenamiento |
| 3 | PT 100 |
| 4 | Marmita |
| 5 | Manómetro |
| 6 | Motor |
| 7 | Agitador |
| 8 | Válvula de alivio |
| 9 | Manguera de vapor |
| 10 | Bombas |
| 11 | Tapa |
| 12 | Tolva |
| 13 | Elemento calefactor |
| 14 | Generador de vapor |

Vista isométrica

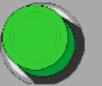
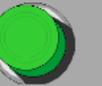


Módulo Pesaje

Tanque 1  Tanque 2  Tanque 3 

Peso Sensado (gr) 

Sistema de extracción

Programa 1  Programa 2  Programa 3 

Módulo Marmita

Nivel de solvente requerido (ml) 

Temperatura requerida °C 

Tiempo de agitación (seg) 

Temperatura actual de la solución 

Indicadores

Llenado Marmita  Nivel Solvente Alto 

Vaciado Marmita  Generador de vapor 

Agitador

Pre calentamiento  Proceso agitación 

Modo solitario  Modo solitario ON-OFF 

Funcionamiento en solitario

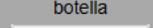
Llenado Marmita  Vaciado Marmita  Señal fin del proceso 

Módulo Dosificación

Selección del nivel tanque de almacenamiento

11 litros  8 litros 

5 litros  2.5 litros 

Volumen dispensado por botella 

Cantidad de botellas 

Indicadores

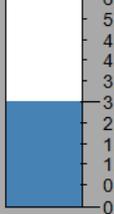
Electro válvula 

Bomba Dosificadora 

Botella en posición 

Módulo Clasificación

Paletizado

Botellas paquete actual 

Cantidad de paquetes 

Posicionamiento del módulo

Habilitado (verde) 

Deshabilitado (rojo) 

Robot

Operativo (verde) 

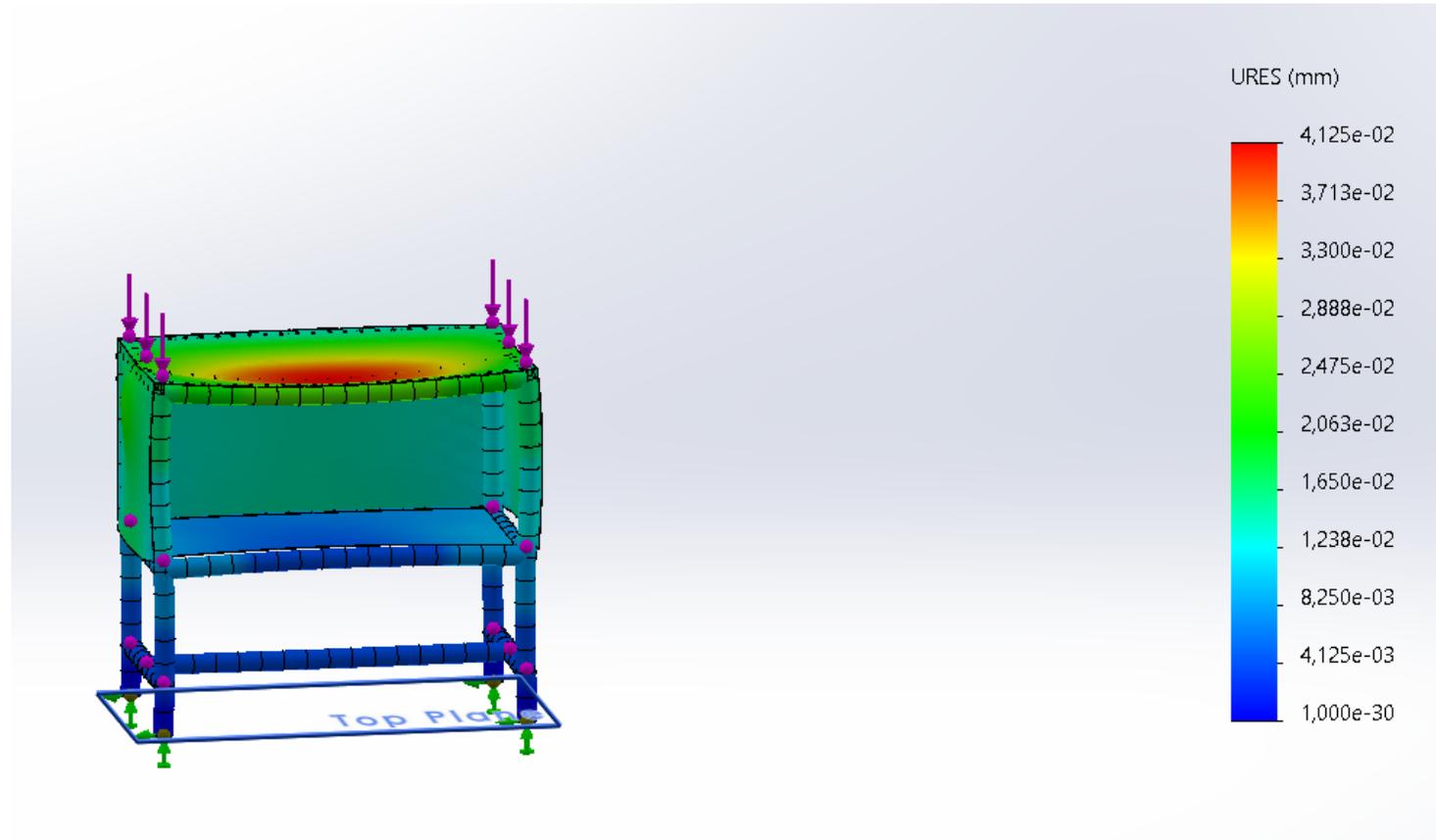
Detenido (rojo) 

Botellas

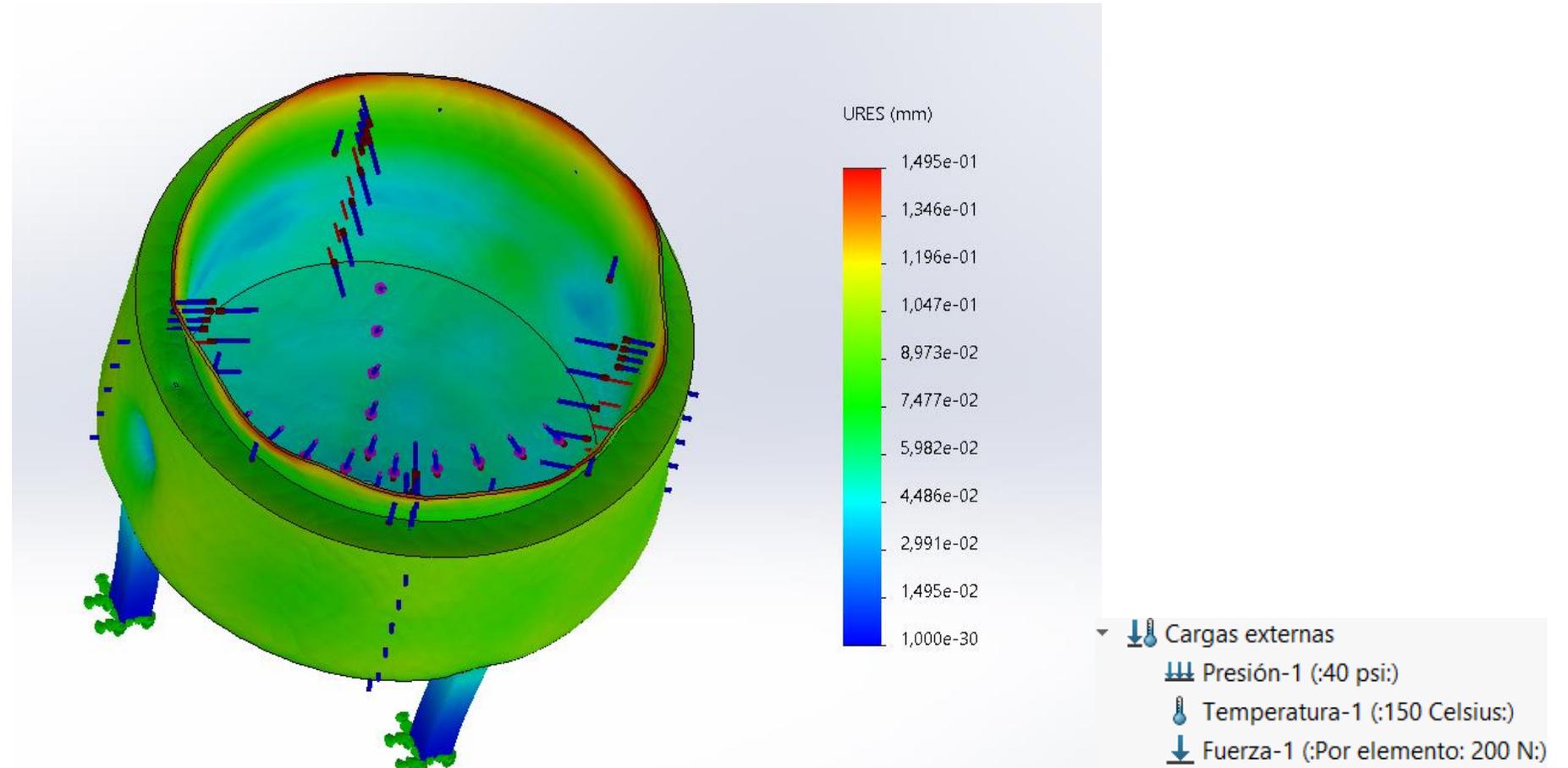
Botellas pequeñas  Cantidad de botellas pequeñas 

Botellas grandes  Cantidad de botellas grandes 

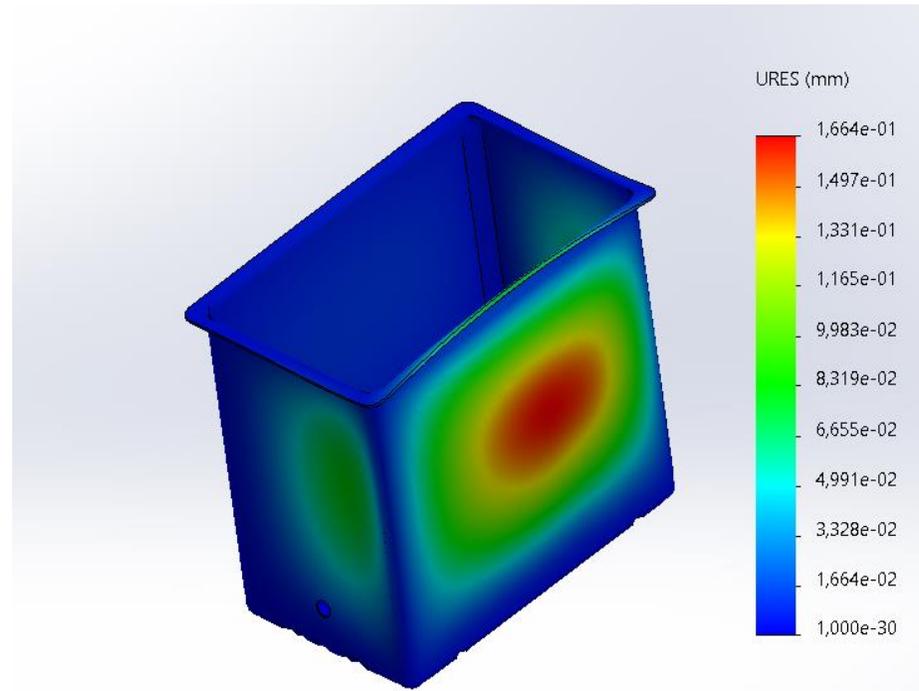
Análisis CAE mesa



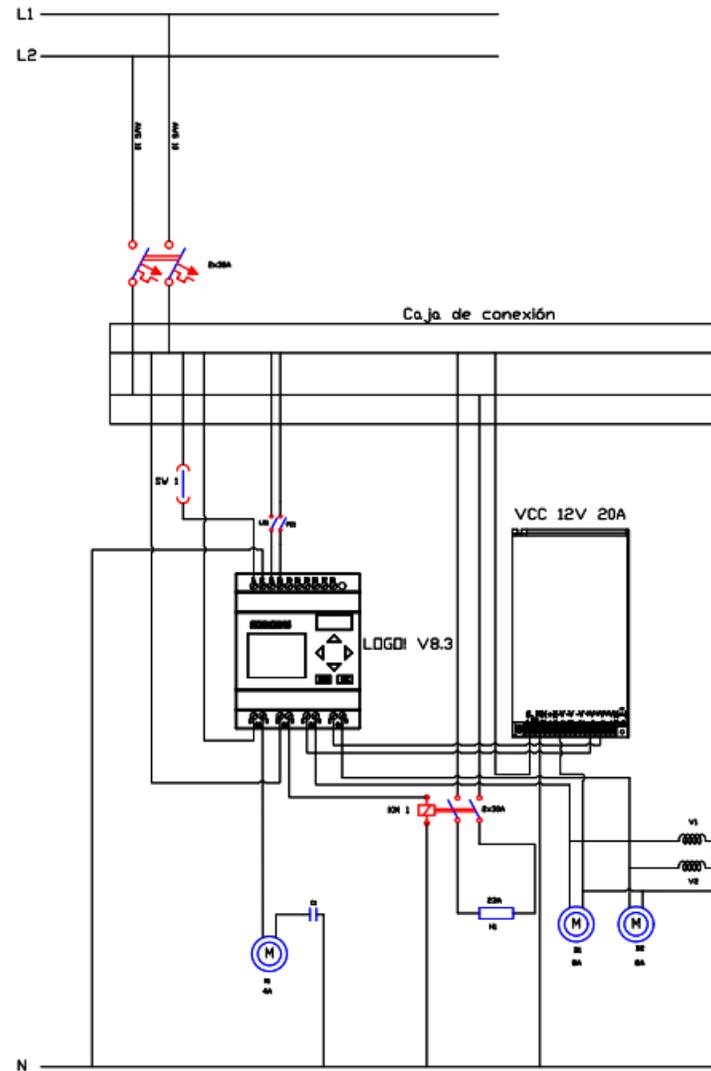
Análisis CAE marmita



Análisis CAE tanque almacenamiento



Planos eléctricos



PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas de funcionamiento de nivel

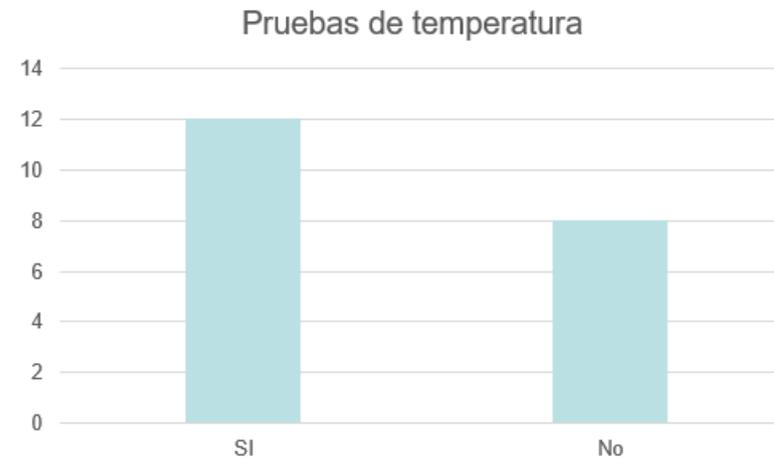
| Prueba | Nivel HMI (ml) | Nivel Real (ml) | Tiempo (s) | Aceptación |
|--------|----------------|-----------------|------------|------------|
| 1 | 4000 | 3900 | 52 | Si |
| 2 | 5000 | 4900 | 65 | Si |
| 3 | 6000 | 6100 | 78 | Si |
| 4 | 7000 | 7050 | 91 | Si |
| 5 | 8000 | 8050 | 104 | Si |
| 6 | 9000 | 9100 | 117 | Si |
| 7 | 10000 | 10100 | 130 | Si |
| 8 | 11000 | 11100 | 143 | No |
| 9 | 12000 | 11500 | 156 | No |
| 10 | 10000 | 10100 | 130 | Si |
| 11 | 10000 | 10000 | 130 | Si |
| 12 | 10000 | 9900 | 130 | Si |
| 13 | 10000 | 10050 | 130 | Si |
| 14 | 10000 | 10000 | 130 | Si |
| 15 | 10000 | 10100 | 130 | Si |
| 16 | 10000 | 9900 | 130 | Si |
| 17 | 10000 | 9950 | 130 | Si |
| 18 | 10000 | 10000 | 130 | Si |
| 19 | 10000 | 10100 | 130 | Si |
| 20 | 10000 | 10000 | 130 | Si |



PRUEBAS Y RESULTADOS

Resultados prueba de funcionamiento control de temperatura

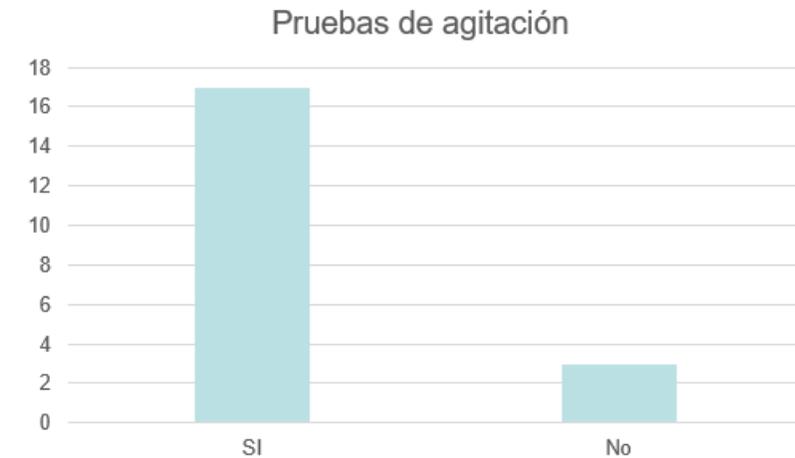
| Prueba | Temperatura HMI (°C) | Temperatura PT 100 (°C) | Temperatura Termómetro (°C) | Observación | Aceptación |
|--------|----------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------|
| 1 | 20 | 25 | 24.2 | Menor a temp ambiente | No |
| 2 | 20 | 24.3 | 24 | Menor a temp ambiente | No |
| 3 | 25 | 25.5 | 24,8 | - | Si |
| 4 | 30 | 32.1 | 33 | - | Si |
| 5 | 30 | 33,4 | 34.5 | - | No |
| 6 | 35 | 37.5 | 38 | - | Si |
| 7 | 40 | 42,3 | 43 | - | Si |
| 8 | 40 | 43,5 | 44 | - | No |
| 9 | 45 | 48,3 | 48 | - | No |
| 10 | 50 | 53.2 | 53.9 | - | Si |
| 11 | 50 | 52,1 | 53 | - | Si |
| 12 | 55 | 57,3 | 57 | - | Si |
| 13 | 60 | 63,5 | 64 | - | Si |
| 14 | 60 | 64,2 | 64,9 | - | No |
| 15 | 65 | 68,1 | 69 | - | Si |
| 16 | 70 | 73,4 | 74 | - | Si |
| 17 | 70 | 74 | 74 | - | No |
| 18 | 75 | 77,5 | 77 | - | Si |
| 19 | 80 | 82,4 | 83 | - | Si |
| 20 | 80 | 83,5 | 84 | - | No |



PRUEBAS Y RESULTADOS

Resultados prueba de agitación

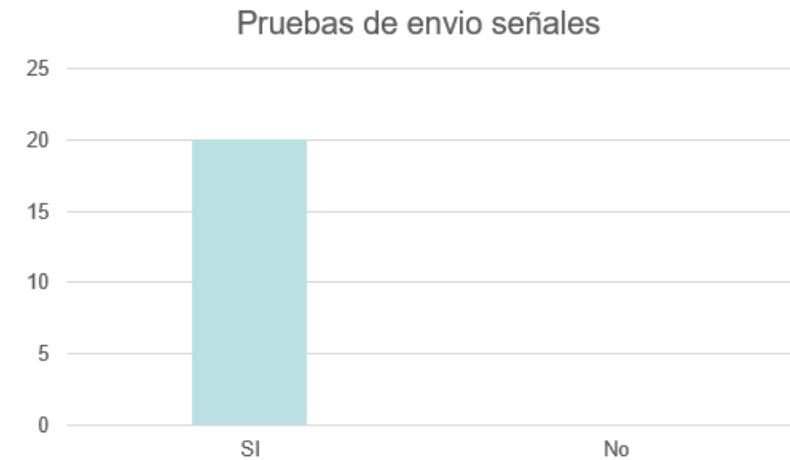
| Prueba | Tiempo Agitación HMI (seg) | Tiempo Agitación Real (seg) | Aceptación |
|--------|----------------------------|-----------------------------|------------|
| 1 | 30 | 30 | Si |
| 2 | 60 | 60 | Si |
| 3 | 90 | 90 | Si |
| 4 | 120 | 120 | Si |
| 5 | 150 | 150 | Si |
| 6 | 180 | 180 | Si |
| 7 | 210 | 210 | Si |
| 8 | 240 | 240 | Si |
| 9 | 270 | 270 | Si |
| 10 | 300 | 300 | Si |
| 11 | 30 | 30 | Si |
| 12 | 60 | 60 | Si |
| 13 | 90 | 90 | Si |
| 14 | 120 | 120 | Si |
| 15 | 150 | 150 | Si |
| 16 | 180 | 180 | Si |
| 17 | 210 | 210 | Si |
| 18 | 240 | 230 | No |
| 19 | 270 | 260 | No |
| 20 | 300 | 290 | No |



PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas envió recepción de señales

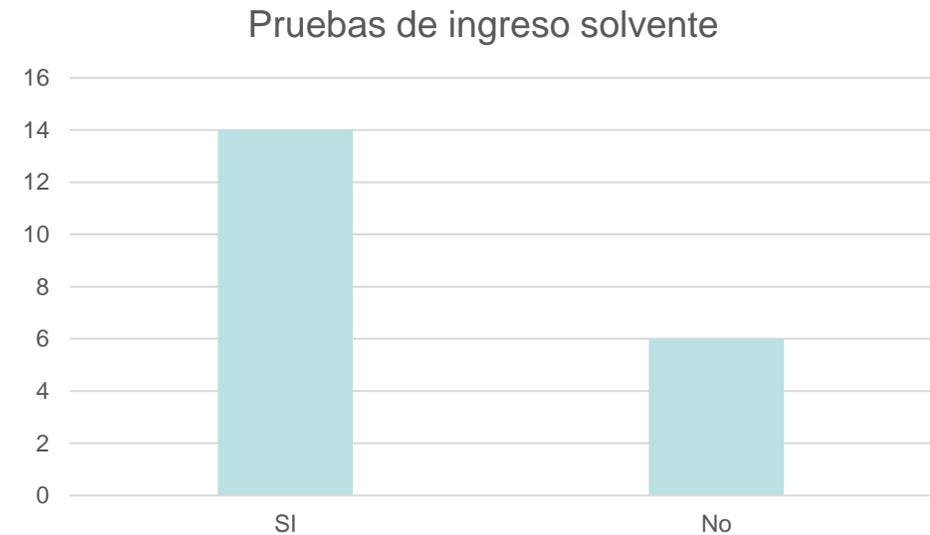
| Prueba | Señal de inicio (módulo 1) | Señal de salida (módulo 2) | Aceptación |
|--------|----------------------------|----------------------------|------------|
| 1 | Si | Si | Si |
| 2 | Si | Si | Si |
| 3 | Si | Si | Si |
| 4 | Si | Si | Si |
| 5 | Si | Si | Si |
| 6 | Si | Si | Si |
| 7 | Si | Si | Si |
| 8 | Si | Si | Si |
| 9 | Si | Si | Si |
| 10 | Si | Si | Si |
| 11 | Si | Si | Si |
| 12 | Si | Si | Si |
| 13 | Si | Si | Si |
| 14 | Si | Si | Si |
| 15 | Si | Si | Si |
| 16 | Si | Si | Si |
| 17 | Si | Si | Si |
| 18 | Si | Si | Si |
| 19 | Si | Si | Si |
| 20 | Si | Si | Si |



PRUEBAS Y RESULTADOS

Resultados de pruebas ingreso de solvente

| Prueba | Peso inicial | Peso que ingresa | Peso trazas | Aceptación |
|--------|--------------|------------------|-------------|------------|
| 1 | 140 | 138 | 2 | SI |
| 2 | 140 | 133 | 7 | NO |
| 3 | 140 | 134 | 6 | SI |
| 4 | 140 | 136 | 4 | SI |
| 5 | 140 | 139 | 1 | SI |
| 6 | 140 | 130 | 10 | NO |
| 7 | 140 | 132 | 8 | NO |
| 8 | 140 | 135 | 5 | SI |
| 9 | 140 | 134 | 6 | SI |
| 10 | 140 | 133 | 7 | NO |
| 11 | 140 | 136 | 4 | SI |
| 12 | 140 | 137 | 3 | SI |
| 13 | 140 | 134 | 6 | SI |
| 14 | 140 | 138 | 2 | SI |
| 15 | 140 | 136 | 4 | SI |
| 16 | 140 | 139 | 1 | SI |
| 17 | 140 | 132 | 8 | NO |
| 18 | 140 | 133 | 7 | NO |
| 19 | 140 | 137 | 3 | SI |
| 20 | 140 | 138 | 2 | SI |



Validación de la hipótesis

Hipótesis:

¿Diseñar e implementar un módulo tipo marmita que permita el control de nivel, temperatura y tiempo de agitación para elaborar una disolución, permitirá el correcto funcionamiento del sistema ensamblado con los diferentes módulos de la línea y la correcta visualización de datos por medio de un sistema ciberfísico?

Hipótesis nula (H0)

El módulo marmita que permite el control de nivel, temperatura y tiempo de agitación no permite el correcto funcionamiento del sistema ensamblado y la visualización de datos

Hipótesis alternativa (H1)

El módulo marmita que permite el control de nivel, temperatura y tiempo de agitación permite el correcto funcionamiento del sistema ensamblado y la visualización de datos



Validación de la hipótesis

Frecuencias observadas

| Resultado aceptable | Control de nivel | Control de temperatura | Control tiempo de agitación | Envío y recepción | Ingreso de soluto | Total |
|---------------------|------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------|
| Si | 18 | 12 | 17 | 20 | 14 | 82 |
| No | 2 | 8 | 3 | 0 | 6 | 18 |
| Total | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 100 |

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

Frecuencias esperadas

| Resultado aceptable | Control de nivel | Control de temperatura | Control tiempo de agitación | Envío y recepción | Ingreso de soluto | Total |
|---------------------|------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------|
| Si | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 80 |
| No | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 20 |

Chi-cuadrado

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

$$\chi^2 = 27,2916$$

$$\chi_{\text{Tabla}}^2 = 11,0705$$

$$11,0705 < 27,2916$$

Se acepta H1



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Para el diseño del módulo marmita se identificaron las variables que se necesitan controlar en cada sistema y subsistema, esto para poder verificar que tipo de sistema de control se puede implementar y los actuadores necesarios para poder realizarlo, en la parte del nivel se optó por realizar un control por medio de una regresión lineal a partir de los datos obtenidos de la bomba seleccionada, por este motivo fue necesario adquirir una bomba que tenga un caudal constante, sin embargo esta bomba presenta un error de 100ml +/- 5% al momento de la salida del líquido, ya que dentro de las mangueras quedaba un restante, este error fue compensado al momento de obtener la regresión lineal
- Se comprobó que al calentar el módulo marmita con el generador de vapor, este fue capaz de conservar el calor por un tiempo de 30 minutos, debido al diseño del sistema de doble camisa que retiene el calor al ser un sistema cerrado, y según la norma AISI 304, el acero inoxidable no permite que el calor escape fácilmente
- Se realizaron varias pruebas con diferentes valores de temperatura para la validación de hipótesis del sistema, se pudo apreciar que el error al momento de llevar la disolución al valor del setpoint es de 3°C +/- 10%, ya que existe un sobre impulso en el sistema en el control que fue seleccionado para el trabajo (ON/OFF)



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Recomendaciones

- Se debe implementar bombas que permitan un control analógico dentro del sistema, además de ello, para compensar los errores con mayor eficiencia, se podría llegar a cerrar el lazo de control con la implementación de sensores de caudal que puedan verificar en tiempo real el caudal entregado por la bomba
- Para disminuir el error existente entre el valor real del proceso y el valor deseado (Setpoint) se puede implementar un control PID o un control borroso en base a los datos adquiridos del módulo marmita, esto reduciría considerablemente el sobre impulso generado en el sistema
- Separar la alimentación de todos los dispositivos que forman parte del sistema de control, de los actuadores que consumen corriente, que son los responsables de generar transientes en la red eléctrica



GRACIAS POR SU ATENCIÓN



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE MECATRÓNICA
TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO

Diseño e implementación de un módulo tipo marmita, que se encargue del mezclado, temperatura y nivel de sustancia a tratar, para luego ser dirigido al siguiente módulo dosificador para el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga

AUTOR: Hasskel Herdoiza, Martín José
DIRECTOR: ING. Gordón Garcés, Andrés Marcelo

LATACUNGA, 2023

