



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERIA EN MECATRÓNICA**

“Diseño e implementación de una estación central térmica de vapor para el análisis del efecto de evaporación ulterior controlado por HMI para el laboratorio de refrigeración y aire acondicionado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga”

**AUTORES:** CUESTA BUSTAMANTE, CARLOS MIGUEL  
MEJIA LUNA, JUAN PABLO

**DIRECTOR:** ING. TERÁN HERRERA, HÉCTOR COCHISE

**Latacunga, 2023**



# CONTENIDO

---



- 1.- Descripción del proyecto
- 2.- Necesidades del sistema
- 3.- Diseño mecánico, eléctrico y de programación
- 4.- Construcción
- 5.- Pruebas y Resultados
- 6.- Conclusiones y Recomendaciones





# Planteamiento del problema

---

La educación superior actualmente se encuentra en una transición del método tradicional basada en transmisión de conocimientos al método de aprendizaje por competencias basada en formación integral establecido en problemas aplicados a equipos industriales, sin embargo, no todos los estudiantes tienen acceso a las empresas para la manipulación y consolidar los conocimientos adquiridos en el aula por lo que es necesario el equipamiento y actualización de los laboratorios técnicos.

Según (UNESCO, 2000) las prácticas para una ingeniería técnica debe tener espacio de trabajo concebido para la colaboración y la experimentación a distancia con objeto de investigar o realizar otras actividades creativas, y elaborar y difundir resultados mediante tecnologías difundidas de información y comunicación así los estudiantes de la carrera de ingeniería mecatrónica se encuentran limitados por el número de estaciones donde se pueda realizar adquisición, control y supervisión de un proceso industrial real a escala.

Gikandi, J.W. (2020), menciona que los ambientes de aprendizaje adecuados dan origen a un aprendizaje por CSCL (Computer Supported Collaborative Learning) Aprendizaje Colaborativo con Soporte del Computador y al aplicar nuevas metodologías de trabajos para el aprendizaje retrospectivo metodológico invitan al usos de técnicas como la de “estudios de casos” que al modificar las variables de la estación de vapor, permite que el estudiante obtenga criterios de cada componente y cómo resultado controlarlo de forma adecuada.



# Objetivo general

---



Diseñar e implementar una estación central térmica de vapor para el análisis del efecto de evaporación ulterior controlado por HMI.



# Objetivos específicos

---

- Investigar estaciones centrales térmicas con máquina de vapor.
- Diseñar una central térmica de vapor que permita realizar el análisis del efecto de evaporación ulterior.
- Diseñar un sistema de control y supervisión HMI aplicado a una central térmica de vapor.
- Realizar análisis térmico y pruebas de funcionamiento del sistema que validen el diseño.
- Establecer prácticas con sus respectivas guías para la estación central térmica de vapor para el laboratorio de refrigeración y aire acondicionado.



# Justificación

---

Con la implementación de la estación central térmica de vapor se incentivará el aprendizaje de competencias del ingeniero mecatrónico, desarrollando cambios sustanciales en los planteamientos de la educación con estrategias didácticas para la formación integral basada en problemas aplicados al control de un proceso industrial.

Se plantea una estación térmica de vapor que permitirá analizar el efecto de evaporación ulterior controlado por HMI, además de supervisar los datos de temperatura en los distintos puntos del proceso en tiempo real y como resultado la supervisión de los puntos críticos del sistema.

Para la estación propuesta se desarrollarán prácticas de laboratorio asistidas, los estudiantes interactúan de forma real con los componentes del ciclo logrando el reconocimiento de las partes de la estación central térmica de vapor y controlarlo de forma adecuada.

Se propone un equipo que puede mostrar en tiempo real los valores de temperatura que se está controlando en sus distintas etapas del proceso, impidiendo de esta manera el contacto directo del estudiante, evitando a la exposición de vapores de altas temperaturas y radiación térmica, lo que provoca el deterioro de la salud de las personas. A la vez mejorando el desarrollo del alumno en la parte práctica y así contar con la experticia necesaria para el ámbito de la industria existente.



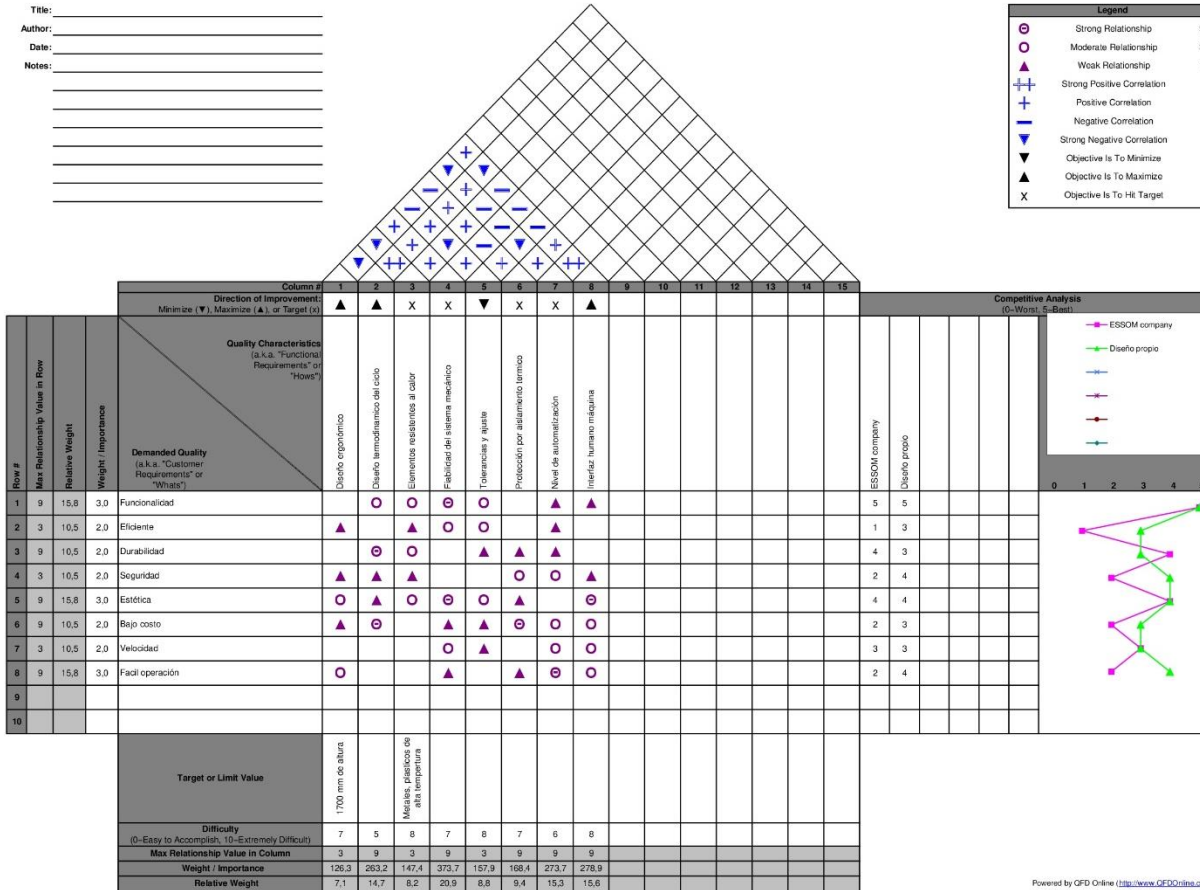
# Matriz QFD



Title: \_\_\_\_\_  
 Author: \_\_\_\_\_  
 Date: \_\_\_\_\_  
 Notes: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

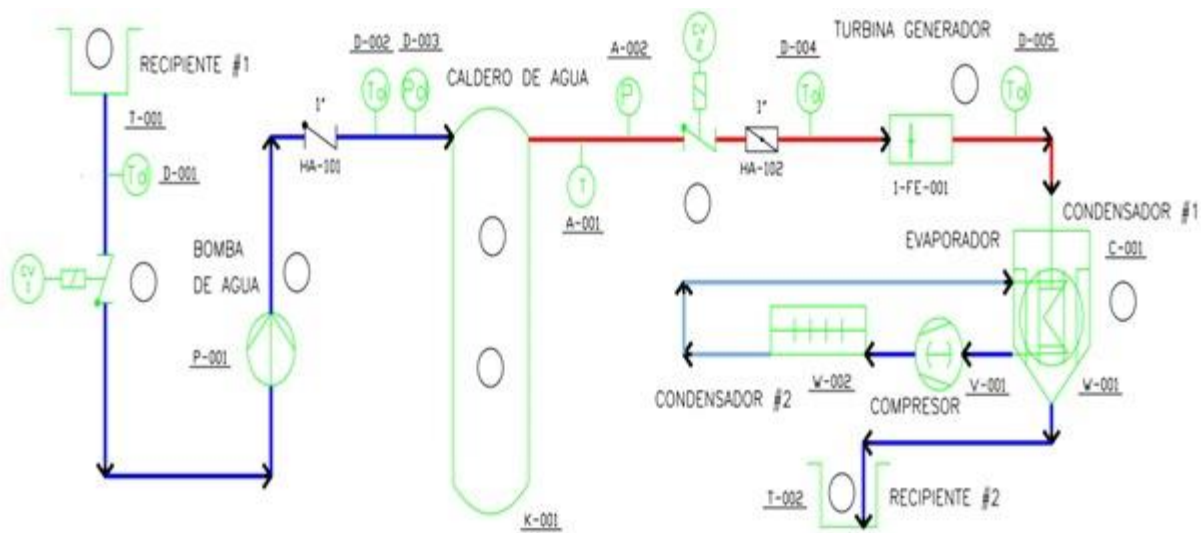
**Legend**

- ⊗ Strong Relationship 9
- Moderate Relationship 3
- △ Weak Relationship 1
- ⊕ Strong Positive Correlation
- + Positive Correlation
- Negative Correlation
- ⊖ Strong Negative Correlation
- ▼ Objective Is To Minimize
- ▲ Objective Is To Maximize
- X Objective Is To Hit Target



Powered by QFD Online (<http://www.QFDOnline.com>)

# Diagrama P&ID





# Diseño de la caldera

---

Casco Cilindro

## *Datos de diseño*

$P$ : presión interna de diseño: 116,03 psi = 8 bar

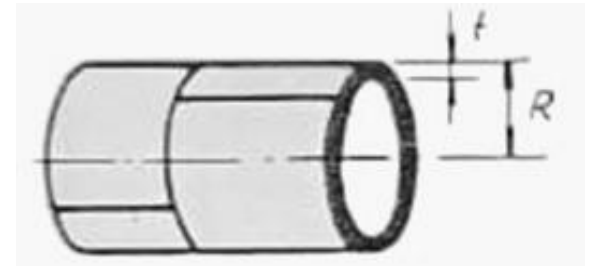
$S$ : esfuerzo máximo admisible: 74694,4 psi

$E$ : eficiencia de la junta: 1

$R$ : radio interno de diseño: 4 pulg

$D$ : diámetro interno de diseño: 8 pulg

$C$ : tolerancia por corrosión: 0,07 pulg



# Diseño de la caldera

## Casco Cilindro

### Cálculos

$$t = \frac{PR}{(SE+0,4P)}$$

$$t = \frac{116,03 \text{ lb/pulg}^2 * 4 \text{ pulg}}{(74694,4 \text{ lb/pulg}^2 * 1 + 0,4 * 116,03 \text{ lb/pulg}^2)} = 0,0062 \text{ pulg}$$

$$tm = t + c$$

$$tm = 0,0062 \text{ pulg} + 0,07 \text{ pulg} = 0,0762 \text{ pulg} = 1,94 \text{ mm}$$

Usar: placa comercial de 2mm

$$P = \frac{SEt}{R - 0,4t}$$

$$P = \frac{74694,4 \text{ lb/pulg}^2 * 1 * 0,0787 \text{ pulg}}{4 \text{ pulg} - 0,4 * 0,0787 \text{ pulg}} = 1481,269 \text{ lb/pulg}^2$$

# Diseño de la caldera

---

Esfera y cabeza hemisférica

## *Datos de diseño*

$P$ : presión interna de diseño: 116,03 psi = 8 bar

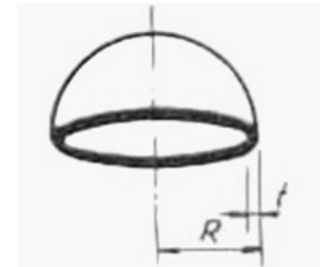
$S$ : esfuerzo máximo admisible: 74694,4 psi

$E$ : eficiencia de la junta: 0,85

$R$ : radio interno de diseño: 4 pulg

$D$ : diámetro interno de diseño: 8 pulg

$C$ : tolerancia por corrosión: 0,07 pulg



# Diseño de la caldera

Esfera y cabeza hemisférica

## Cálculos

$$t = \frac{P * R}{2S * E + 0,8P}$$

$$t = \frac{116,03 \text{ lb/pulg}^2 * 4 \text{ pulg}}{2 * 74694,4 \text{ lb/pulg}^2 * 0,85 + 0,8 * 116,03 \text{ lb/pulg}^2} = 0,0037 \text{ pulg}$$

$$tm = t + c$$

$$tm = 0,0037 \text{ pulg} + 0,07 \text{ pulg} = 0,0737 \text{ pulg} = 1,86 \text{ mm}$$

Usar: placa comercial de 2mm

$$P = \frac{2SEt}{R - 0,8t}$$

$$P = \frac{2 * 74694,4 \text{ lb/pulg}^2 * 0,85 * 0,0787 \text{ pulg}}{4 \text{ pulg} - 0,8 * 0,0787 \text{ pulg}} = 2538,294 \text{ lb/pulg}^2$$

# Diseño de la caldera

---

Cabeza elipsoidal

## *Datos de diseño*

$P$ : presión interna de diseño: 116,03 psi = 8 bar

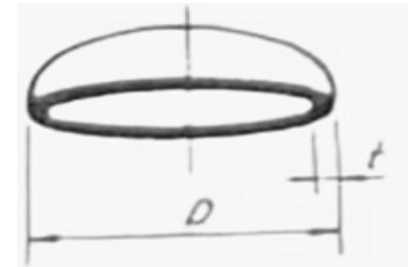
$S$ : esfuerzo máximo admisible: 74694,4 psi

$E$ : eficiencia de la junta: 1

$R$ : radio interno de diseño: 4 pulg

$D$ : diámetro interno de diseño: 8 pulg

$C$ : tolerancia por corrosión: 0,07 pulg



# Diseño de la caldera

Cabeza elipsoidal

## Cálculos

$$t = \frac{P * D}{2SE + 1,8P}$$

$$t = \frac{116,03 \text{ lb/pulg}^2 * 8 \text{ pulg}}{2 * 74694,4 \text{ lb/pulg}^2 * 1 + 1,8 * 116,03 \text{ lb/pulg}^2} = 0,0062 \text{ pulg}$$

$$tm = t + c$$

$$tm = 0,0062 \text{ pulg} + 0,07 \text{ pulg} = 0,0762 \text{ pulg} = 1,94 \text{ mm}$$

Usar: placa comercial de  $2\text{mm} = 0.0787\text{pulg}$

$$P = \frac{2SEt}{D - 1,8t}$$

$$P = \frac{2 * 74694,4 \text{ lb/pulg}^2 * 1 * 0.0787\text{pulg}}{8 \text{ pulg} - 1,8 * 0.0787\text{pulg}} = 1496,105 \text{ lb/pulg}^2$$

# Diseño de condensador

---

## ***Datos de diseño***

$t_e$ : Temperatura de entrada:  $= -10^{\circ} C$

$t_c$ : Temperatura de condensación:  $-2,5^{\circ} C$

$t_s$ : Temperatura de saturación:  $-3^{\circ} C$

$Q$ : Potencia del condensador: 432 w

$U$  : Transmitancia Térmica (C. Evaporativo de tubos lisos):  $290 \frac{w}{m^2^{\circ}C}$

$R$ : Radio externo:  $8cm = 0,08m$

$R_c$ : Radio externo de los tubos:  $0,935cm = 0.00935m$

$r_c$ : Radio interno de los tubos:  $0,635cm = 0,00635m$

$p$ : Paso de los tubos lisos:  $3,5cm = 0,035m$

# Diseño de condensador

## Cálculos

$$\Delta t = \frac{(tc - te) - (tc - ts)}{\ln\left(\frac{tc - te}{tc - ts}\right)} = \frac{(-2,5 - (-10)) - (-2,5 - (-3))}{\ln\left(\frac{-2,5 - (-10)}{-2,5 - (-3)}\right)}$$

$$\Delta t = 2,5^{\circ}\text{C}$$

$$S = \frac{Q}{U * \Delta t} = \frac{432,17 \text{ w}}{290 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}} * 2,5^{\circ}\text{C}}$$

$$S = 0,5961 \text{ m}^2$$

$$L = \frac{S - 2\pi * (Rc^2 - rc^2)}{2\pi * (R + r)} = \frac{0,5961 \text{ m}^2 - 2\pi((0,00935\text{m})^2 - (0,00635\text{m})^2)}{2 * \pi * (0,00935\text{m} + 0,00635\text{m})}$$

$$L = 6,04 \text{ m}$$

$$n = \frac{L}{\sqrt{(2 * \pi * R)^2 + p^2}} = \frac{6,04 \text{ m}}{\sqrt{(2 * \pi * 0,08\text{m})^2 + (0,0035\text{m})^2}}$$

$$n = 12$$



# Diseño de sistema de enfriamiento

---

## *Datos de diseño*

Se desea diseñar un compresor de 149,12 vatios que funcione con el gas refrigerante r134a

Temperatura de vapor saturado  $-10^{\circ}\text{C}$

Temperatura del compresor  $54,4^{\circ}\text{C}$

Recalentado 7 K

Subenfriamiento 20 K

$P_e = 2\text{ bar}$

$P_s = 16,04\text{ bar}$

$m = 0,00286\text{ kg/s}$

# Diseño de sistema de enfriamiento

## Cálculos

$$w = m * (|hs - he|) = 0,00286 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * (|449 - 398|) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 0,145 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 145\text{w}$$

$$Q_{\text{con}} = m(|hs - he|) = 0,00286 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * (|242 - 449|) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 0,592 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 592\text{w}$$

$$Q_{\text{evap}} = m(hs - he) = 0,00286 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * (398 - 242) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 0,446 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 446\text{w}$$

$$T_{\text{tubo capilar}} = 58 - 10$$

$$T_{\text{tubo capilar}} = 48^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Diferencia de presión} = 16,04\text{bar} - 2\text{bar} = 14,04\text{bar}$$

$$COP = \frac{w}{Q_{\text{evap}}} = \frac{\left(0,145 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}\right)}{\left(0,446 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}\right)} = 0,325$$

$$0,2 \text{ hp} * \frac{(745,7 \text{ w})}{(1 \text{ hp})} = 149,14\text{w} = 0,149 \text{ kw}$$

# Diseño de sistema de enfriamiento

---

Condensador

## ***Datos de diseño***

$$t_e = -10^\circ C$$

$$t_c = -2,5^\circ C$$

$$t_s = -3^\circ C$$

$$Q = 592 \text{ w}$$

$$U \text{ (C. Evaporativo de tubos lisos)} = 290 \frac{\text{w}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$R = 8\text{cm} = 0,08\text{m}$$

$$R_c = 0,935\text{cm} = 0.00935\text{m}$$

$$r_c = 0,635\text{cm} = 0,00635\text{m}$$

$$p = 3,5\text{cm} = 0,035\text{m}$$

# Diseño de sistema de enfriamiento

Condensador

## Cálculos

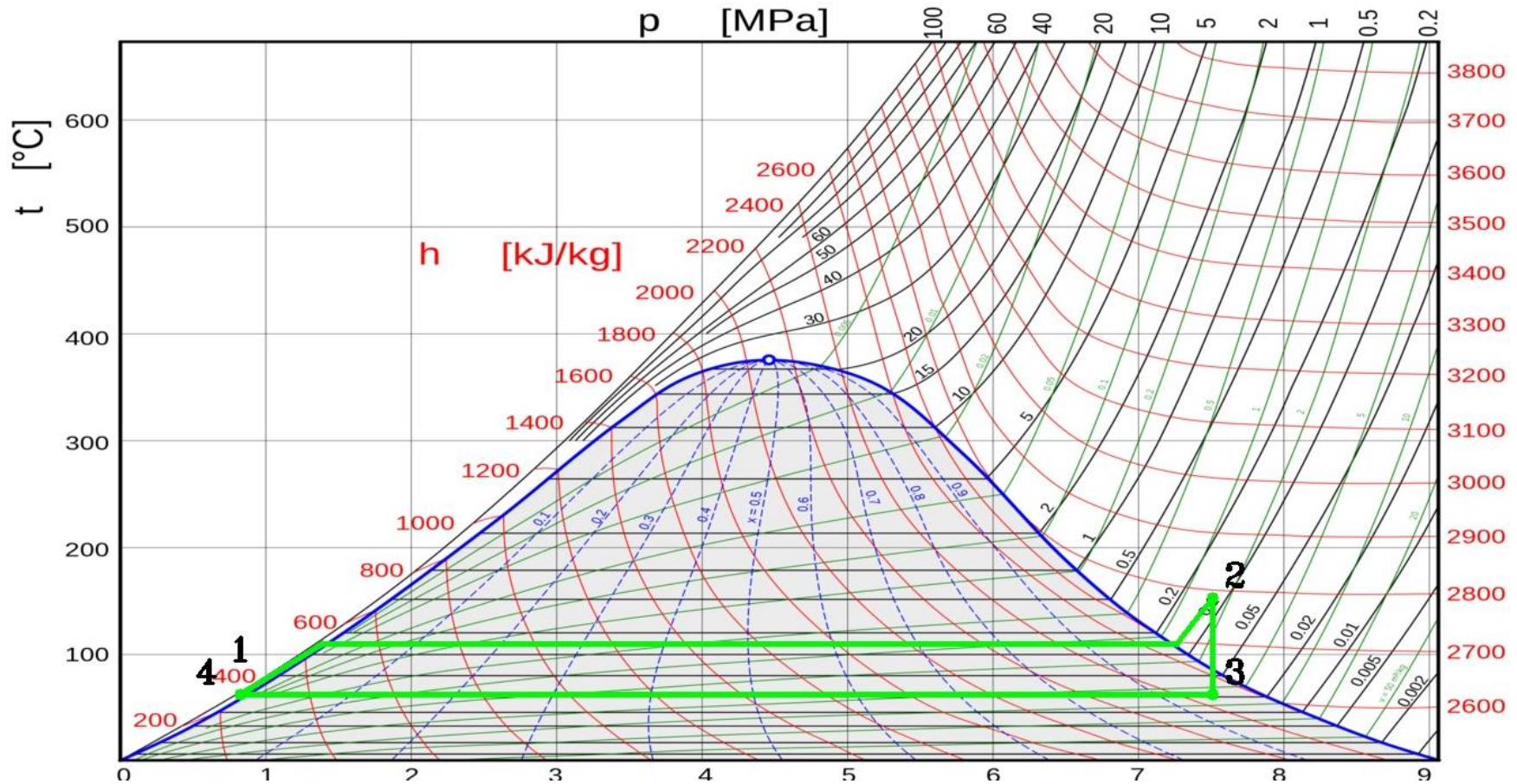
$$\Delta t = \frac{(t_c - t_e) - (t_c - t_s)}{\ln\left(\frac{t_c - t_e}{t_c - t_s}\right)} = \frac{(-2,5 - (-10)) - (-2,5 - (-3))}{\ln\left(\frac{-2,5 - (-10)}{-2,5 - (-3)}\right)} = 2,5^\circ\text{C}$$

$$S = \frac{Q}{U * \Delta t} = \frac{432,17 \text{ w}}{290 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}} * 2,5^\circ\text{C}} = 0,5961 \text{ m}^2$$

$$L = \frac{S - 2\pi * (Rc^2 - rc^2)}{2\pi * (R + r)} = \frac{0,5961 \text{ m}^2 - 2\pi((0,00935\text{m})^2 - (0,00635\text{m})^2)}{2 * \pi * (0,00935\text{m} + 0,00635\text{m})} = 3,02 \text{ m}$$

$$n = \frac{L}{\sqrt{(2 * \pi * R)^2 + p^2}} = \frac{6,04 \text{ m}}{\sqrt{(2 * \pi * 0,08\text{m})^2 + (0,0035\text{m})^2}} = 8$$

# Diagrama Ciclo Rankine Ideal



# Selección del generador

## ***Potencia Requerida***

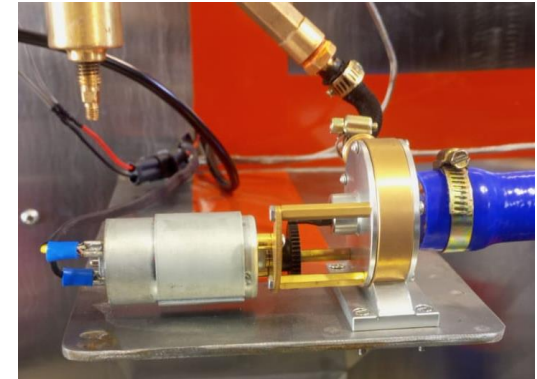
$\varepsilon$ : Fuerza electromotriz: 4 V dc

$I$ : Corriente generada: 1 A dc

$P$ : Presión de operación: 3 bar

$S$ : potencia aparente

$$S = (4 \text{ v})(1 \text{ A}) = 4 \text{ vA}$$



## ***Características Técnicas***

Velocidad: 2150 rpm

Voltaje: 10V-36V

Voltaje sin carga: 12 V dc

Corriente Máxima: 2.4 A dc

Potencia Máxima Nominal: 65 w

Dimensiones: longitud 70mm, ancho 48mm y  
alto 48mm.

# Selección de la Bomba de Agua

## Altura Neta Positiva de Aspiración Requerida

*NPSH*: altura neta positiva de aspiración

*H<sub>s</sub>*: presión estática del fluido

*H<sub>a</sub>*: altura de aspiración = 640 mm = 0,640 m

*L*: longitud de la tubería de cobre en aspiración = 165 + 135 + 805 = 1105 mm = 1,105 m

*D*: diámetro de tubería = 3/4 pulgada = 0,019 m

*H<sub>vp</sub>*: presión de vapor

Altura sobre el nivel del mar [m]	Presión atmosférica [m]
2750	7,28
2860	<i>H<sub>s</sub></i>
3000	7,05
<i>H<sub>s</sub></i> = 7,1788 m	
Temperatura [°C]	Carga de presión de vapor [m]
10	0,1253
11,2	<i>H<sub>vp</sub></i>
20	0,2388

$$H_{vp} = 0,13892 \text{ m}$$

Valor de tabla de perdidas = 3,1458 m --- cada 100 m

$$X = 0,03303 \text{ m}$$

Valor de tabla perdidas en cobre = 0,685

$$H_{f \text{ longitud}} = 0,685 * 0,03303 \text{ m} = 0,0226 \text{ m}$$

$$\text{perdida por codo } \frac{3}{4} \text{ pulgada} \text{ --- } -0,45 \text{ m}$$

Valor de tabla de perdidas por uniones = 5 m --- cada 100 m

$$Y = \frac{0,45 * 5}{100 \text{ m}} = 0,0225 \text{ m}$$

Al ser dos codos

$$H_{f \text{ uniones}} = 0,0225 \text{ m} + 0,0225 \text{ m} = 0,045 \text{ m}$$

$$H_f = H_{f \text{ longitud}} + H_{f \text{ uniones}}$$

$$H_f = 0,0226 \text{ m} + 0,045 \text{ m} = 0,0676 \text{ m}$$

$$NPSH_{\text{disponible}} = H_s + H_a - H_{vp} - H_f = 7,1788 \text{ m} + 0,640 \text{ m} - 0,13892 \text{ m} - 0,0676 \text{ m} = 7,6123 \text{ m}$$

$$NPSH_{\text{requerido}} < \frac{NPSH_{\text{disponible}}}{1,1}$$

$$NPSH_{\text{requerido}} < \frac{7,6123 \text{ m}}{1,1}$$

$$NPSH_{\text{requerido}} < 6,92 \text{ m}$$



## Características Técnicas

Potencia: 120 W

Voltaje: 127 V

Corriente Nominal: 1,1 A

Factor de Potencia: 0,99

RPM: 3450 r/min

Flujo Máximo: 47 l/min

Altura Máxima: 9 m

Protección: IP44

Presión mínima a la entrada: 0,01 MPa

Presión máxima a la entrada: 0,58 MPa

# Selección de las resistencias calentadoras

## Potencia Requerida

$V$ : Volumen: 5 lt

$t_o$ : Temperatura inicial:  $11,2^{\circ}C = 284,35 K$

$t_f$ : Temperatura final:  $150^{\circ}C = 373,15 K$

$v$ : Voltaje alterno: 110 v

$t$ : Tiempo: 11 minutos = 660s

$$m = V * \rho = 5lt * 1 \frac{kg}{lt} = 5 kg$$

$$Q = m * Ce * \Delta t = 5kg * 4180 \frac{J}{kg * K} * (373,15 K - 284,35 K) = 1855920J$$

$$I = \frac{Q}{V * t} = \frac{1855920J}{110v * 660s} = 25,56A$$

$$P = V * I = 110v * 25,56A = 2812 w$$



## Características Técnicas

Potencia: 1500 W

Voltaje Nominal: 120 V

Longitud de resistencia1: 9 pulg

Longitud de resistencia2: 10 pulg



# Válvula de seguridad

$$P1 * AN + P2 * (AD - AN) = FS$$

FS: Fuerza del resorte: 56,7 N

P1: Presión interna del lado del equipo protegido:  $4,5 * 10^5 \text{ pas}$

P2: Contrapresión en el lado de descarga

AN: Área de la boquilla:  $1,26 \text{ cm}^2 = 1,26 * 10^{-4} \text{ m}^2$

AD: Área del disco:  $1,26 \text{ cm}^2 = 1,26 * 10^{-4} \text{ m}^2$

AP: Área de la sección del pistón en contacto con el disco

La contrapresión hace disminuir la presión de disparo por debajo de la presión de tarado

prevista  $\frac{FS}{AN}$  en la magnitud  $\frac{P2(AD-AN)}{AN}$  con riesgo de disparo prematuro.

$$P1 = \frac{FS}{AN} - (AD - AN) * \frac{P2}{AN}$$

$$P1 = \frac{57,204N}{1,26 * 10^{-4} \text{ m}^2} - (1,26 * 10^{-4} \text{ m}^2 - 1,26 * 10^{-4} \text{ m}^2) * \frac{4,5454 * 10^5 \text{ pas}}{1,26 * 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$P1 = 4,5454 * 10^5 \text{ pas}$$

$$PD = P1 + 0,1 * P1$$

$$PD = 4,5454 * 10^5 \text{ pas} + 0,1 * 4,5454 * 10^5$$

$$PD = 4,99 * 10^5 \text{ pas} = 5 \text{ bar}$$

## Características Técnicas

Diámetro de 1 pulgada

5 bar de presión



# Raspberry Pi modelo 4 b



<b>Procesador</b>	<b>Broadcom BCM2711, Quad core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.8GHz</b>
RAM	4 GB
Pines	GPIO extendido de 40 pines
Puertos	Gigabit Ethernet 2 USB 3.0 ports; 2 USB 2.0 ports. Raspberry Pi standard 40 pin GPIO header (fully backwards compatible with previous boards) 2 × micro-HDMI® ports (up to 4kp60 supported)
Voltaje de operación	5.1 V
Consumo	3 A



# Selección de Pantalla HMI

---



## *Características Técnicas*

Modelo: NX8048P070-011C-Y

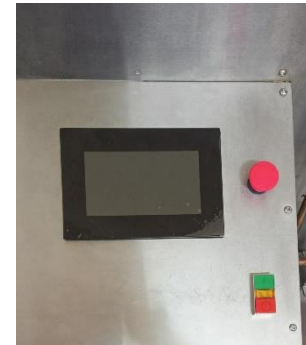
Dimensiones: 218,1 mm (largo) × 150 mm  
(ancho) × 22,5 mm (alto)

Resolución: 800×480 pixels

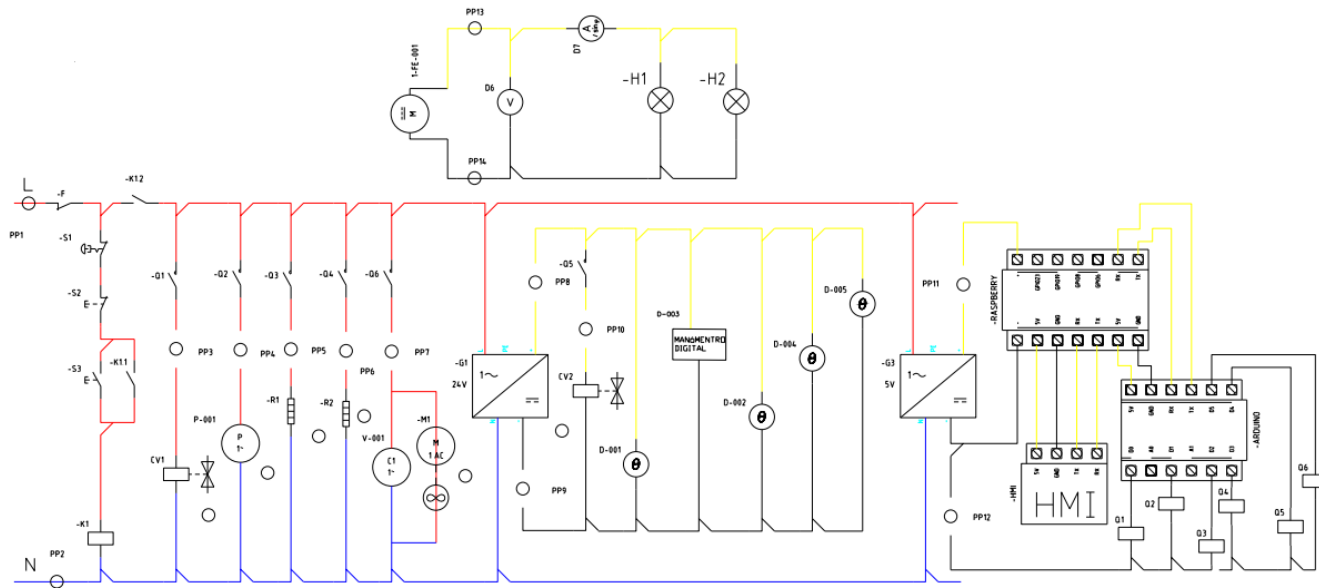
Voltaje de operación: 5 V

Amperaje de operación: 1 A

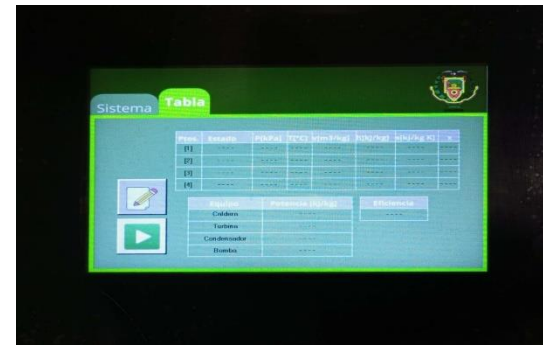
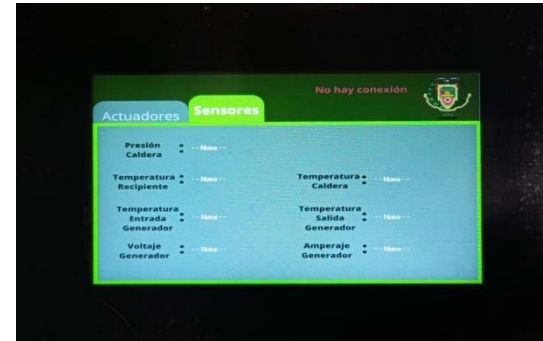
Socket: Tarjeta SD



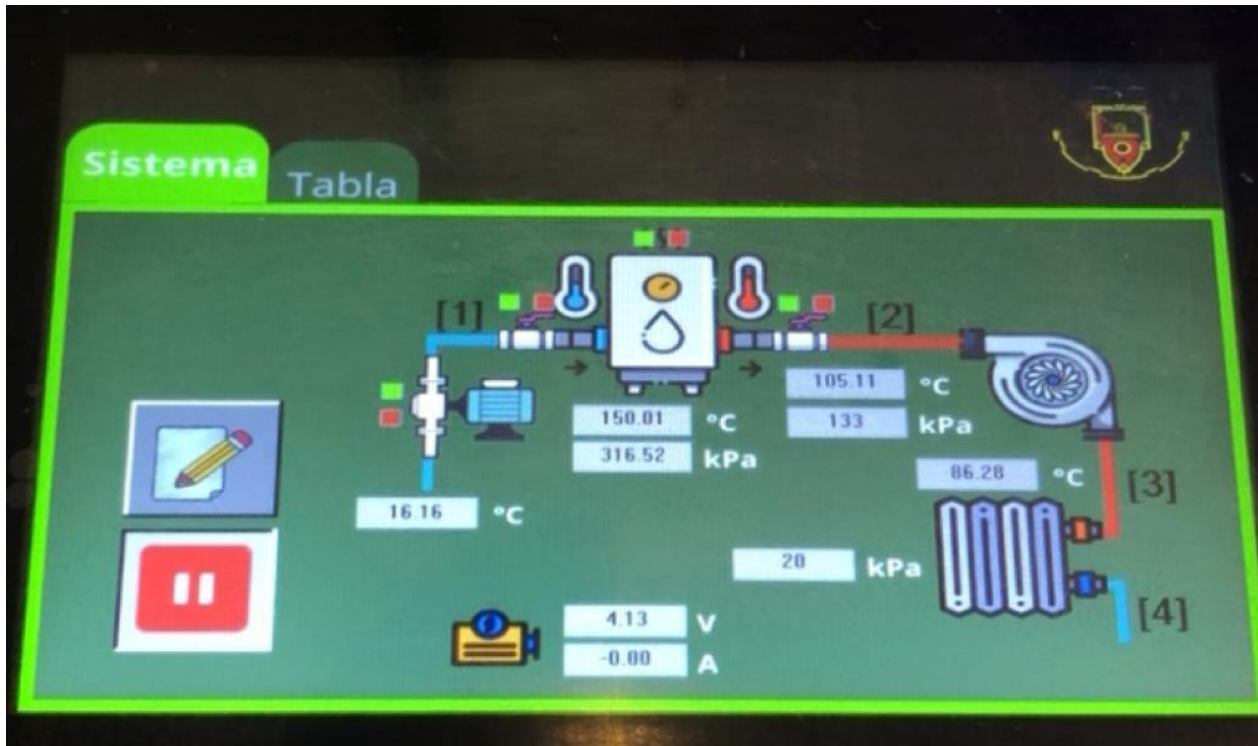
# Diagrama Eléctrico



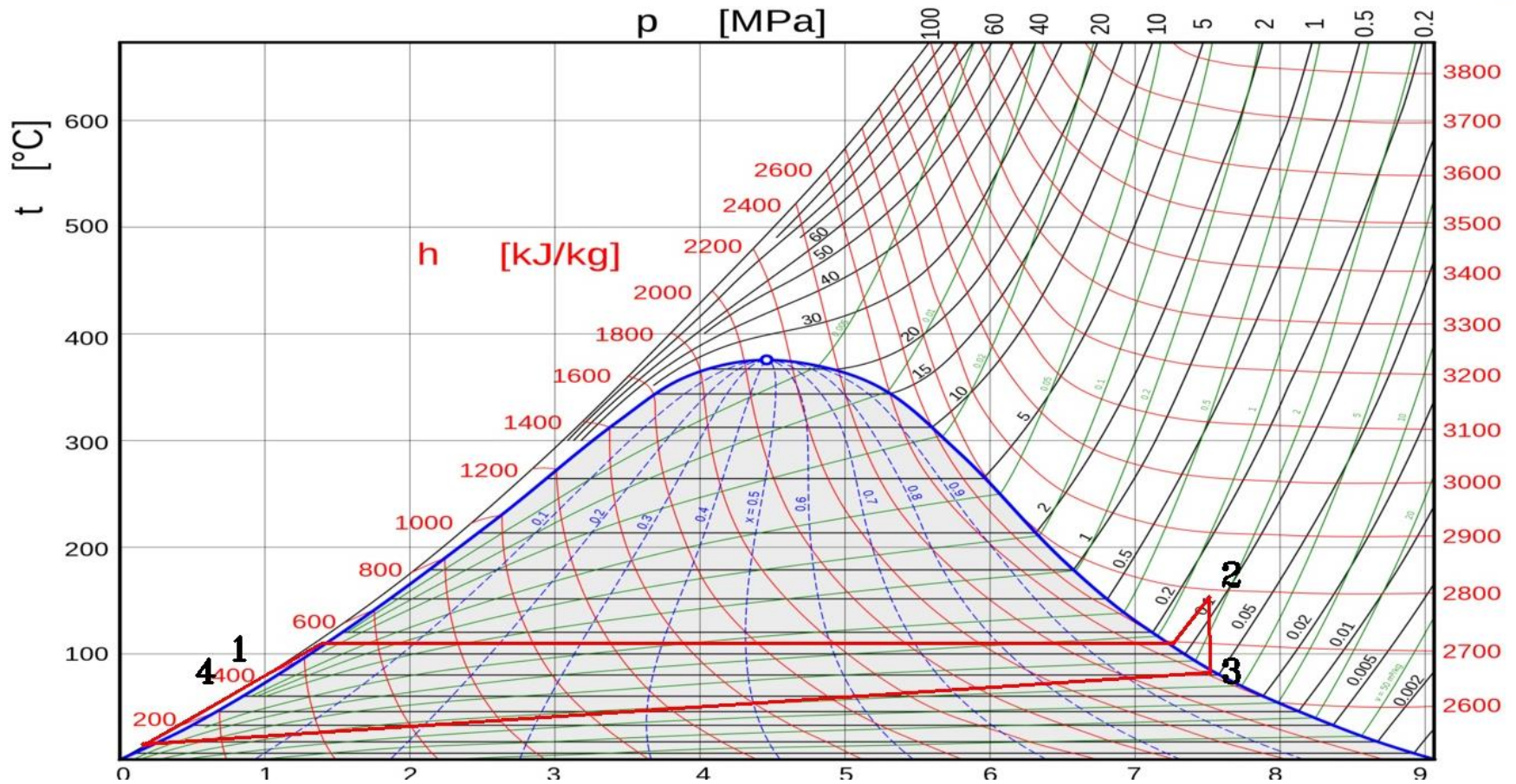
# Páginas HMI



# Lecturas Datos



# Diagrama Ciclo Rankine Ideal



# Funcionamiento

## *Etapa bomba*

Tiempo (s)	Volumen (lt)
20	0
24	1,05
28	1,95
32	2,90
36	3,80
40	4,75
42	4,75

## *Etapa de caldero*

Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)	Presión (kPa)
2	21	-20
4	27	-10
6	35	0
8	50	50
10	85	100
11	112	250
12	140	350
13	151	290
14	148	347

## *Etapa de generador*

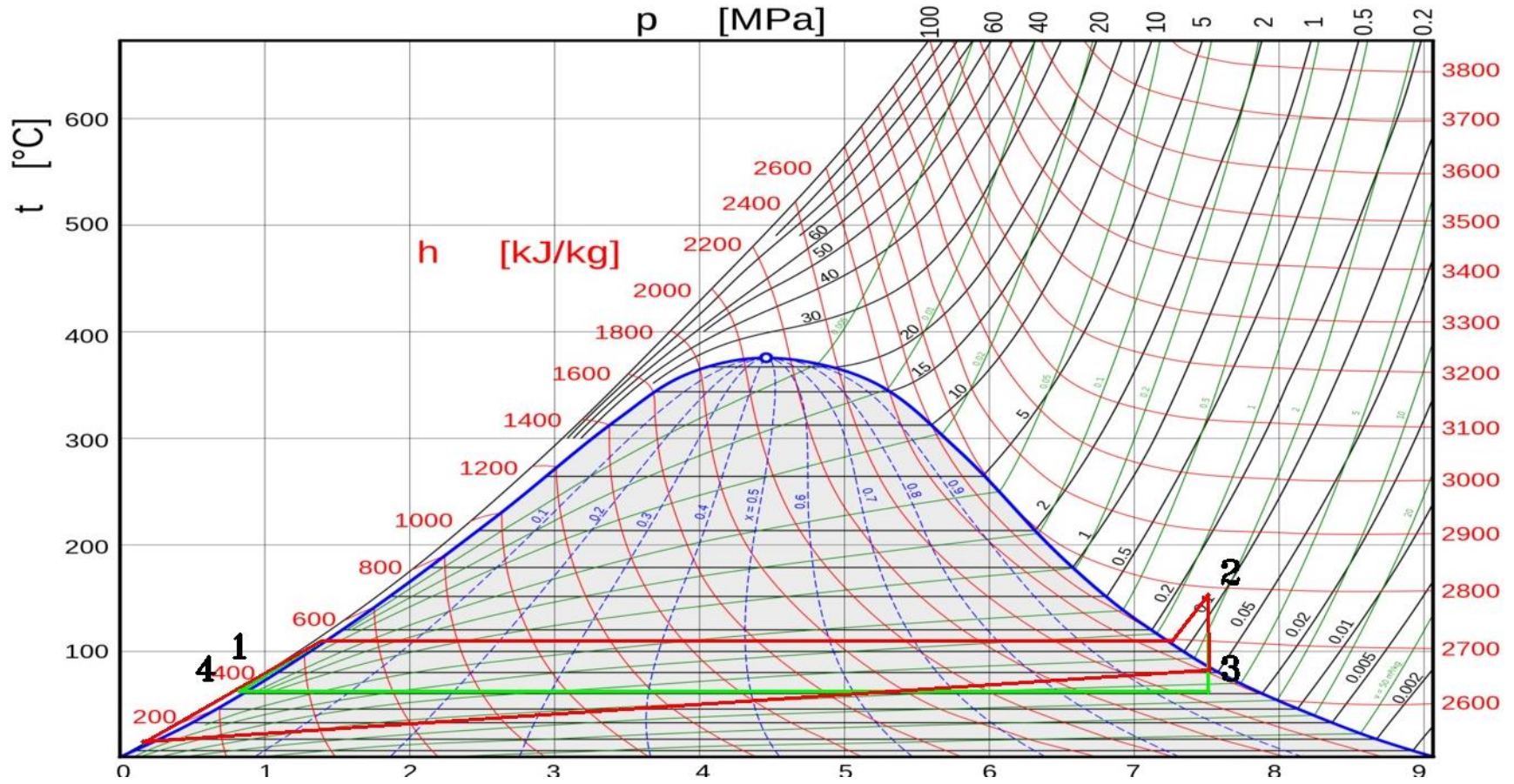
Tiempo (minuto)	Voltaje C.D. (v)
12	2,52
15	3,70
18	4,35
21	3,63
24	3,79
27	4,20

## *Etapa de condensador*

Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)
2	14,7
6	5
10	0
14	79,8
18	58,7
22	55,4
27	75,3



# Diagrama Ciclo Rankine Ideal vs Real



# Validación de Hipótesis

---



Para la comprobación de esta hipótesis se trabaja con un nivel de confianza del 99%, cuyo nivel de significancia es de 0,01.

- Hipótesis Nula  $H_0$ : La obtención de mezcla en vapor saturado no permite la generación de energía eléctrica en la estación térmica con mayor eficiencia.
- Hipótesis de trabajo  $H_1$ : La obtención de mezcla en vapor saturado permite la generación de energía eléctrica en la estación térmica con mayor eficiencia.



# Validación de Hipótesis

Tabla variables de Chi cuadrado

Valores generados	Ciclo Rankine		Total
	Voltaje < 3 [v]	Voltaje >= 3 [v]	
Eficiencia < 15 %	11	15	26
15 % < Eficiencia	1	13	14
<b>Total</b>	12	28	40

$$n = (\#f - 1) * (\#c - 1)$$

$$n = 1$$

Tabla de la distribución Chi-cuadrado 1 grado de libertad, confianza 99 %

df	$\chi^2_{.995}$	$\chi^2_{.990}$	$\chi^2_{.975}$	$\chi^2_{.950}$	$\chi^2_{.900}$	$\chi^2_{.100}$	$\chi^2_{.050}$	$\chi^2_{.025}$	$\chi^2_{.010}$	$\chi^2_{.005}$
1	0.000	0.000	0.001	0.004	0.016	2.706	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.010	0.020	0.051	0.103	0.211	4.605	5.991	7.378	9.210	10.597
3	0.072	0.115	0.216	0.352	0.584	6.251	7.815	9.348	11.345	12.838
4	0.207	0.297	0.484	0.711	1.064	7.779	9.488	11.143	13.277	14.860
5	0.412	0.554	0.831	1.145	1.610	9.236	11.070	12.833	15.086	16.750
6	0.676	0.872	1.237	1.635	2.204	10.645	12.592	14.449	16.812	18.548
7	0.989	1.239	1.690	2.167	2.833	12.017	14.067	16.013	18.475	20.278

$$x^2_{crítico} = 6,635$$

# Validación de Hipótesis

Chi cuadrado calculado

$$x^2_{calculado} = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

Alternativas	$f_o$	$f_e =$ <u>v. fila * v. columna</u> <u>total</u>	$f_e$	$\frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$
Se exhibe una eficiencia que se sitúa por debajo del 15%, presentando un voltaje que no supera los 3 voltios	11	$\frac{12 * 26}{40}$	7,8	1,31282051
Se exhibe una eficiencia que se sitúa por debajo del 15%, presentando un voltaje es igual o mayor a 3 voltios	15	$\frac{28 * 26}{40}$	9,8	2,75918367
Se exhibe una eficiencia superior al 15%, presentando un voltaje que no supera los 3 voltios	1	$\frac{12 * 14}{40}$	4,2	2,43809524
Se exhibe una eficiencia superior al 15%, al mismo tiempo que su voltaje es igual o mayor a 3 voltios.	13	$\frac{28 * 14}{40}$	9,8	1,04489796
<b>Total</b>			<b>7,5549</b>	

# Validación de Hipótesis

---



$$x^2_{calculado} = 7,5549$$

Parámetros no Independientes

$$x^2_{calculado} > x^2_{crítico}$$

$$7,5549 > 6,635$$

Se procede a la comprobación de Chi-cuadrada con el valor calculado, siendo mayor el valor calculado, lo que significa que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, representa que mediante la obtención de mezcla en vapor saturado permite la generación de energía eléctrica en la estación térmica con mayor eficiencia.



# Conclusiones

- En un lapso de 12 minutos, la presión en el interior de la caldera se incrementa a 325 kPa, mientras que la temperatura interna alcanza los 150 °C. Estas condiciones son cruciales para la generación de vapor de agua sobrecalentado que posteriormente ingresa al generador.
- Al llevar a cabo la regulación de la presión interna de la caldera dentro del intervalo comprendido entre 300 kPa y 350 kPa, junto con el mantenimiento de una temperatura de 150 °C, se logra asegurar una presión de salida constante de 133 kPa.
- Manteniendo la temperatura interna de la caldera a 150 °C y estableciendo una presión de entrada de 133 kPa al generador, se logra alcanzar una calidad de la mezcla del vapor del 94.31%. Esta condición permite la generación de 4 voltios de energía de manera eficiente y efectiva.
- En el punto de salida del generador, el vapor de agua exhibe una temperatura de 85 °C y una presión de 20 kPa. Para llevar a cabo el proceso de condensación de manera efectiva, se requiere que el condensador mantenga una temperatura de -15 °C. Este enfriamiento es esencial para que la fase de condensación se logre la transformación del vapor en líquido.
- Un lapso de 12 minutos resulta ampliamente adecuado para que el condensador alcance su temperatura mínima requerida de -15 °C, la cual es crucial para iniciar el proceso de condensación de manera efectiva.
- La introducción de 5 litros de agua en la caldera marca el inicio del proceso. A través de este abastecimiento, se establece la posibilidad de generar energía eléctrica de manera continua durante un periodo de 2 horas.
- La central térmica de vapor, bajo la especificación de una presión interna en la caldera de 325 kPa, una temperatura interna de la caldera de 150 °C, una presión de entrada al generador de 133 kPa y una presión de salida del generador de 20 kPa, logra operar con una eficiencia térmica medida en un 11.864%. Esta medida de eficiencia refleja la relación entre la energía térmica convertida de manera óptima y la energía en el generador de 4 watt resultante dentro del sistema.
- La supervisión del HMI se lleva a cabo mediante el acceso a la página "Central Térmica: Sistema". En esta página, es posible visualizar los datos recopilados por los sensores, proporcionando una visión detallada de las mediciones realizadas.
- La validación del control a través del HMI se efectúa mediante la observación en el monitor de la representación gráfica del Ciclo Rankine Ideal vs Real. Esta gráfica se genera instantáneamente al presionar el botón "graficar", ofreciendo una representación visual del estado y el rendimiento del ciclo en ese momento.

# Recomendaciones

- En el proceso de encendido de la central térmica de vapor, es fundamental que la bomba de agua se encuentre en modo de paro hasta que la unidad Raspberry esté completamente encendida. Durante este período, los relés detectarán señales digitales falsas, lo cual podría ocasionar la activación inadvertida de la bomba de agua y provocar la entrada de aire no deseado en el sistema, lo que a su vez requeriría llevar a cabo el procedimiento de cebado para restablecer las condiciones adecuadas de operación.
- Cuando se proceda a ejecutar el programa, es esencial que la bomba de agua se mantenga en estado de inactividad. Esto debe hacerse hasta que se establezca una comunicación serial confiable entre la Raspberry y el Arduino. De lo contrario, los relés podrían interpretar señales digitales erróneas, lo que podría dar lugar a la activación involuntaria de la bomba de agua. En consecuencia, podría ingresar aire no deseado en el sistema, lo que requeriría la implementación del proceso de cebado para restablecer las condiciones operativas óptimas.
- Previo al inicio del ciclo de operación de la central térmica de vapor, es esencial llevar a cabo una verificación del funcionamiento de los actuadores y sensores. Esta verificación se realiza en el modo de "Test" del HMI, con el propósito de asegurar que todos los componentes estén funcionando de manera correcta. Este paso es fundamental para garantizar un arranque y para prevenir posibles problemas durante el ciclo operativo completo.
- Realice una verificación para determinar si la bomba de agua requiere ser cebada. Este proceso involucra retirar el resorte y la cámara de la válvula check, seguido de la activación de la electroválvula que suministra agua a la bomba. Debido a la diferencia de altura, se observará el flujo de agua hacia la caldera. Si no se detecta flujo de caudal, es un indicativo de que puede haber aire acumulado en la bomba de agua. En tal caso, sería necesario llevar a cabo el proceso de cebado para restablecer un flujo de agua adecuado en la bomba.
- Antes de dar inicio al ciclo operativo de la central térmica de vapor, es imperativo llevar a cabo una serie de verificaciones cruciales. En primer lugar, asegurarse de que el recipiente de entrada contenga al menos 5.5 litros de agua. Además, verificar que el nivel de temperatura en el sistema de refrigeración se ajuste a 7. En última instancia, es importante desconectar el termómetro análogo para facilitar un llenado de agua en la caldera que sea adecuado. Estas precauciones combinadas garantizan un arranque y funcionamiento óptimos del sistema, manteniendo tanto la eficacia como la seguridad en el proceso.
- Al concluir el proceso de llenado de agua en la caldera, es fundamental recordar volver a acoplar el termómetro análogo. Este paso es esencial para asegurar que se acumule gradualmente la presión adecuada dentro de la caldera. El acoplamiento del termómetro análogo contribuye a un control más estable del sistema y a un funcionamiento seguro.

---

# GRACIAS