

---

Proba para a obtención da habilitación profesional

# Operador/ora industrial de caldeiras

---

OCL

Parte 2. Proba práctica



# 1. Formato da proba

---

## Formato

- A proba constará de tres problemas.

## Puntuación

- 10 puntos.

## Materiais e instrumentos que se poden empregar durante a proba

- Bolígrafo con tinta negra ou azul.
- Calculadora científica, excepto as que sexan programables, gráficas ou con capacidade para almacenar e transmitir datos.

## Duración

- Tempo estimado para responder: 60 minutos.

## Advertencias para as persoas participantes

- Cumprirá que se desenvolva o conxunto ou a secuencia de operacións ordenadas que dan lugar ao resultado final, ou a xustificación razoada da resposta, se se require na cuestión algún argumento de reflexión. En caso contrario, non se puntuará o exercicio.
- Os exames non deben levar ningún tipo de marca nin texto que poidan identificar a persoa candidata, agás nos espazos reservados para a súa identificación.



## 2. Exercicio

---

### Problema 1 [3,5 puntos]

Responder ás cuestións que se indican relativas a unha caldeira de produción de vapor de tipo pirotubular instalada nunha fábrica, que ten as seguintes características:

- O combustible utilizado é gas natural (GN) cun poder calorífico inferior ( $H_i$ ) de  $9314 \text{ kcal/m}^3(\text{n})$ .
- O consumo nominal ( $Q_{\text{nom}}$ ) de gas natural é de  $379 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$ .
- O rendemento da caldeira, en condicións nominais, é do 92%.
- A presión de traballo é de 8 bar manométrico.

Nota: empregar cando sexa necesario os datos da táboa de propiedades de auga saturada que se achega.

*Responder a las cuestiones que se indican relativas a una caldera de producción de vapor de tipo pirotubular instalada en una fábrica, que tiene las siguientes características:*

- *El combustible usado es gas natural (GN) con un poder calorífico inferior ( $H_i$ ) de  $9314 \text{ kcal/m}^3(\text{n})$ .*
- *El consumo nominal ( $Q_{\text{nom}}$ ) de gas natural es de  $379 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$ .*
- *El rendimiento de la caldera, en condiciones nominales, es del 92%.*
- *La presión de trabajo es de 8 bar manométrico.*

*Nota: Emplear cuando sea necesario los datos de la tabla de propiedades que se adjunta.*

#### 1. Cal será a produción de vapor da caldeira, en kg/h? [1,75 puntos]

---

*¿Cuál será la producción de vapor de la caldera, en kg/h? [1,75 puntos]*

#### 2. Cal será a potencia nominal da caldeira, en kW? [1,25 puntos]

---

*¿Cuál será la potencia nominal de la caldera, en kW? [1,25 puntos]*

#### 3. Cal será a potencia útil da caldeira, en kW? [0,5 puntos]

---

*¿Cuál será la potencia útil de la caldera, en kW? [0,5 puntos]*



**Propiedades da auga saturada (líquida – vapor): táboa de presións**

*Propiedades del agua saturada (líquido – vapor): tabla de presiones*

Presión bar	Temp, °C	Entalpía kJ / kg		
		Líquido sat, h <sub>f</sub>	Vapor vaporiz, h <sub>fg</sub>	Vapor sat, h <sub>g</sub>
		0,04	28,96	121,46
0,06	36,16	151,53	2415,9	2567,4
0,08	41,51	173,88	2403,1	2577,0
0,10	45,81	191,83	2392,8	2584,7
0,20	60,06	251,40	2358,3	2609,7
0,30	69,10	289,23	2336,1	2625,3
0,40	75,87	317,58	2319,2	2636,8
0,50	81,33	340,49	2305,4	2645,9
0,60	85,94	359,86	2293,6	2653,5
0,70	89,95	376,70	2283,3	2660,0
0,80	93,50	391,66	2274,1	2665,8
0,90	96,71	405,15	2265,7	2670,9
1,00	99,63	417,46	2258,0	2675,5
1,50	111,4	467,11	2226,5	2693,6
2,00	120,2	504,70	2201,9	2706,7
2,50	127,4	535,37	2181,5	2716,9
3,00	133,6	561,47	2163,8	2725,3
3,50	138,9	584,33	2148,1	2732,4
4,00	143,6	604,74	2133,8	2738,6
4,50	147,9	623,25	2120,7	2743,9
5,00	151,9	640,23	2108,5	2748,7
6,00	158,9	670,56	2086,3	2756,8
7,00	165,0	697,22	2066,3	2763,5
8,00	170,4	721,11	2048,0	2769,1
9,00	175,4	742,83	2031,1	2773,9
10,0	179,9	762,81	2015,3	2778,1
15,0	198,3	844,84	1947,3	2792,2
20,0	212,4	908,79	1890,7	2799,5
25,0	224,0	962,11	1841,0	2803,1
30,0	233,9	1008,4	1795,7	2804,2
35,0	242,6	1049,8	1753,7	2803,4
40,0	250,4	1087,3	1714,1	2801,4
45,0	257,5	1121,9	1676,4	2798,3
50,0	264,0	1154,2	1640,1	2794,3

Nota: as presións indicadas na táboa son presións absolutas

*Nota: las presiones indicadas en la tabla son presiones absolutas*



## Problema 2 [4 puntos]

Temos unha caldeira de vapor piro-tubular de 4 500 kW de potencia útil que realizará o arranque en frío dende unha temperatura de 15°C, ao 10 % da potencia do queimador.

Responder ás cuestións que se indican tendo en conta os seguintes datos:

- A calor específica do aceiro ( $C_{e_{aceiro}}$ ): 0,50 kJ/kg K
- A calor específica da auga ( $C_{e_{auga}}$ ): 4,18 kJ/kg K
- A masa da caldeira en baleiro ( $m_0$ ): 12 143 kg
- O volume de auga na caldeira ( $V_{Auga}$ ): 11,77 m<sup>3</sup>
- A presión de traballo é de 7 bar absoluto.
- As perdas de calor por radiación son desprezables.

*Tenemos una caldera de vapor piro-tubular de 4 500 kW de potencia útil que realizará el arranque en frío desde una temperatura de 15°C, al 10 % de la potencia del quemador.*

*Responder a las cuestiones que se indican teniendo en cuenta los siguientes datos:*

- *El calor específico del acero ( $C_{e_{acero}}$ ): 0,50 kJ/kg K*
- *El calor específico del agua ( $C_{e_{agua}}$ ): 4,18 kJ/kg K*
- *La masa de la caldera en vacío ( $m_0$ ): 12 143 kg*
- *El volumen del agua en la caldera ( $V_{Agua}$ ): 11,77 m<sup>3</sup>*
- *La presión de trabajo es de 7 bar absoluto.*
- *Las pérdidas de calor por radiación son despreciables.*

### 1. De que clase sería a caldeira? Razoe a resposta. [1 puntos]

*¿De qué clase sería la caldera? Razone la respuesta. [1 puntos]*

### 2. Cumpriría o carné de operadora/or de caldeiras para a súa conducción? Razoe a resposta. [1 puntos]

*¿Sería necesario el carnet de operadora/or de calderas para su conducción? Razone la respuesta. [1 puntos]*

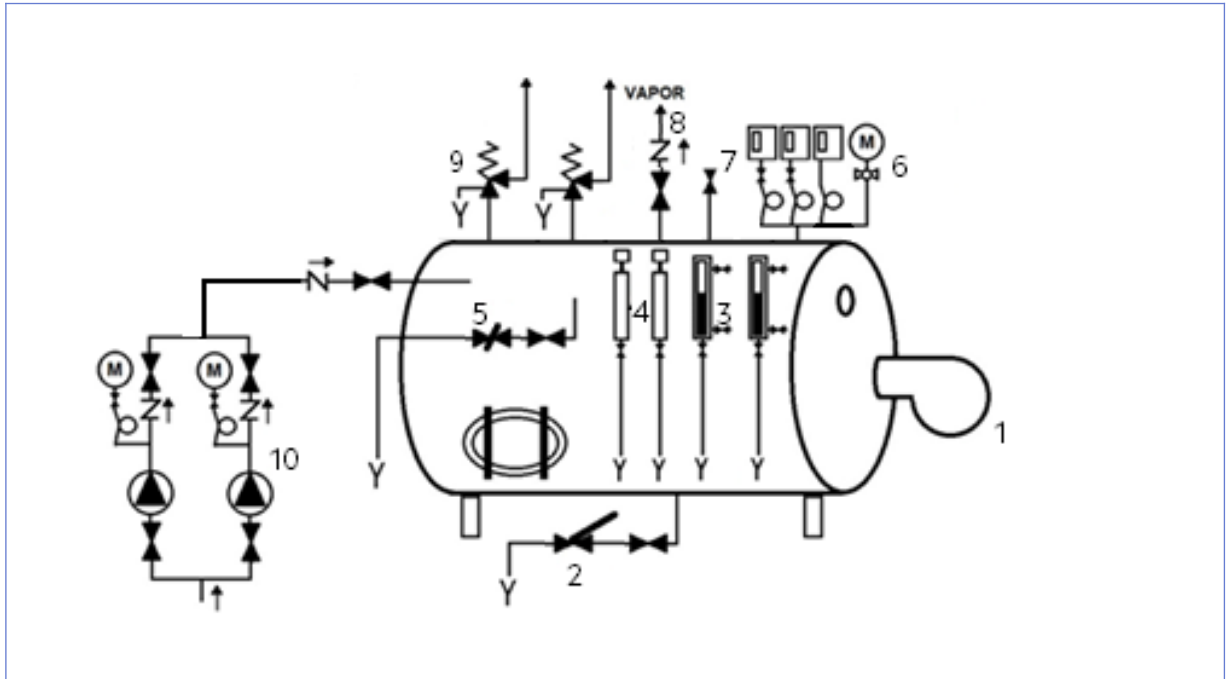
### 3. Canto tempo transcorrerá desde o arranque ata que o eliminador termostático de aire deixe de purgar aire (100°C)? [2 puntos]

*¿Cuánto tiempo transcurrirá desde el arranque hasta que el eliminador termostático de aire deje de purgar aire (100 °C)? [2 puntos]*

**Problema 3** [2,5 puntos]

Identifique os 10 elementos seguintes dunha caldeira industrial de produción de vapor, indicando o número correspondente a cada elemento:

*Identifique los 10 elementos siguientes de una caldera industrial de producción de vapor, indicando el número correspondiente a cada elemento:*



Núm.	Elementos	
	▪ Sondas de nivel	▪ Sondas de nivel
	▪ Válvula de aireación	▪ Válvula de aireación
	▪ Manómetro	▪ Manómetro
	▪ Purga de sales	▪ Purga de sales
	▪ Queimador	▪ Quemador
	▪ Sistema de alimentación de auga	▪ Sistema alimentación de agua
	▪ Válvula de seguridade	▪ Válvula de seguridad
	▪ Válvula de saída de vapor	▪ Válvula de salida de vapor
	▪ Niveis de cristal	▪ Niveles de cristal
	▪ Purga de lodos	▪ Purga de lodos



### 3. Solucións

#### Problema 1

##### Cuestión 1

A entalpía de vaporización ( $H_v$ ) a unha presión de 8 bar manométricos (9 bar absolutos), segundo a táboa que se achega será:

$$H_v = 2\,031,1 \text{ kJ/kg}$$

Tendo en conta que  $1 \text{ kcal} = 4,1868 \text{ kJ}$  obtemos o valor da entalpía de vaporización ( $H_v$ ) en Kcal/kg:

$$H_v = 485,9 \text{ kcal/kg}$$

A potencia  $P$  será:

$$P = \eta \cdot Q_{nom} \cdot H_i$$

onde:

$$\eta = \text{rendemento} = 92\% = 0,92$$

$$Q_{nom} = \text{consumo nominal} = 379 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$$

$$H_i = \text{poder calorífico inferior} = 9\,314 \text{ kcal/m}^3(\text{n})$$

Xa que logo:

$$P = \eta \cdot Q_{nom} \cdot H_i = 0,92 \cdot 379 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h} \cdot 9\,314 \text{ kcal/m}^3(\text{n}) = 3\,247\,605 \text{ kcal/h}$$

A produción de vapor  $Pr_v$  ha ser:

$$Pr_v = P / H_v = (3\,247\,605 \text{ kcal/h}) / (485,9 \text{ kcal/kg}) = 6\,683,69 \text{ kg/h de vapor}$$

*La entalpía de vaporización ( $H_v$ ) a una presión de 8 bar manométricos (9 bar absolutos), según la tabla adjunta será:*

$$H_v = 2\,031,1 \text{ kJ/kg}$$

*Teniendo en cuenta que  $1 \text{ kcal} = 4,1868 \text{ kJ}$  obtenemos el valor de la entalpía de vaporización ( $H_v$ ) en Kcal/kg:*

$$H_v = 485,9 \text{ kcal/kg}$$

*La potencia  $P$  será:*

$$P = \eta \cdot Q_{nom} \cdot H_i$$

*donde:*

$$\eta = \text{rendimiento} = 92\% = 0,92$$

$$Q_{nom} = \text{consumo nominal} = 379 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$$

$$H_i = \text{poder calorífico inferior} = 9\,314 \text{ kcal/m}^3(\text{n})$$

*Por tanto:*

$$P = \eta \cdot Q_{nom} \cdot H_i = 0,92 \cdot 379 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h} \cdot 9\,314 \text{ kcal/m}^3(\text{n}) = 3\,247\,605 \text{ kcal/h}$$

*La producción de vapor  $Pr_v$  será:*

$$Pr_v = P / H_v = (3\,247\,605 \text{ kcal/h}) / (485,9 \text{ kcal/kg}) = 6\,683,69 \text{ kg/h de vapor}$$



Presión bar	Temp. °C	Entalpía kJ / kg		
		Líquido sat,	Vapor vaporiz,	Vapor sat,
		$h_f$	$h_{fg}$	$h_g$
0,04	28,96	121,46	2432,9	2554,4
0,06	36,16	151,53	2415,9	2567,4
0,08	41,51	173,88	2403,1	2577,0
0,10	45,81	191,83	2392,8	2584,7
0,20	60,06	251,40	2358,3	2609,7
0,30	69,10	289,23	2336,1	2625,3
0,40	75,87	317,58	2319,2	2636,8
0,50	81,33	340,49	2305,4	2645,9
0,60	85,94	359,86	2293,6	2653,5
0,70	89,95	376,70	2283,3	2660,0
0,80	93,50	391,66	2274,1	2665,8
0,90	96,71	405,15	2265,7	2670,9
1,00	99,63	417,46	2258,0	2675,5
1,50	111,4	467,11	2226,5	2693,6
2,00	120,2	504,70	2201,9	2706,7
2,50	127,4	535,37	2181,5	2716,9
3,00	133,6	561,47	2163,8	2725,3
3,50	138,9	584,33	2148,1	2732,4
4,00	143,6	604,74	2133,8	2738,6
4,50	147,9	623,25	2120,7	2743,9
5,00	151,9	640,23	2108,5	2748,7
6,00	158,9	670,56	2086,3	2756,8
7,00	165,0	697,22	2066,3	2763,5
8,00	170,4	721,11	2048,0	2769,1
9,00	175,4	742,83	2031,1	2773,9
10,0	179,9	762,81	2015,3	2778,1
15,0	198,3	844,84	1947,3	2792,2
20,0	212,4	908,79	1890,7	2799,5
25,0	224,0	962,11	1841,0	2803,1
30,0	233,9	1008,4	1795,7	2804,2
35,0	242,6	1049,8	1753,7	2803,4
40,0	250,4	1087,3	1714,1	2801,4
45,0	257,5	1121,9	1676,4	2798,3
50,0	264,0	1154,2	1640,1	2794,3

## Cuestión 2

A potencia nominal do queimador será:

$$P_n = Q_{nom} \cdot H_i$$

onde:

$$Q_{nom} = 379 \text{ m}^3(n)/h$$

$$H_i = 9 \text{ 314 kcal/m}^3(n) = 10,83 \text{ kWh/m}^3(n)$$

Xa que logo:

$$P_n = Q_{nom} \cdot H_i = 379 \text{ m}^3(n)/h \cdot 10,83 \text{ kWh/m}^3(n) = 4 \text{ 104,57 kW}$$

Nota: para convertir kcal/m<sup>3</sup>(n) a kWh/m<sup>3</sup>(n) é necesario ter en conta que 1 kcal equivale a 1,163 w/h.

*La potencia nominal del quemador será:*

$$P_n = Q_{nom} \cdot H_i$$

*donde:*

$$Q_{nom} = 379 \text{ m}^3(n)/h$$

$$H_i = 9 \text{ 314 kcal/m}^3(n) = 10,83 \text{ kWh/m}^3(n)$$

*Por tanto:*

$$P_n = Q_{nom} \cdot H_i = 379 \text{ m}^3(n)/h \cdot 10,83 \text{ kWh/m}^3(n) = 4 \text{ 104,57 kW}$$

*Nota: para convertir kcal/m<sup>3</sup>(n) a kWh/m<sup>3</sup>(n) es necesario ter en cuenta que 1 kcal equivale a 1,163 w/h.*





### Cuestión 3

Podemos calcular o valor da potencia útil ( $P_u$ ) a partir dos valores coñecidos da potencia nominal  $P_n = 4\,104,57\text{ kW}$  e do rendimento  $\eta = 92\%$ :

$$\eta = \frac{P_u}{P_n}$$

Xa que logo:

$$P_u = P_n \cdot \eta = 4\,104,57\text{ kW} \cdot 0,92 = 3\,776,20\text{ kW}$$

*Podemos calcular el valor de la potencia útil ( $P_u$ ) a partir de los valores conocidos de la potencia nominal  $P_n = 4\,104,57\text{ kW}$  y del rendimiento  $\eta = 92\%$ :*

$$\eta = \frac{P_u}{P_n}$$

*Por tanto:*

$$P_u = P_n \cdot \eta = 4\,104,57\text{ kW} \cdot 0,92 = 3\,776,20\text{ kW}$$

## Problema 2

### Cuestión 1

Segundo o regulamento, unha caldeira piro-tubular será de clase segunda cando o produto da presión máxima de servizo ( $P_{ms}$ ) polo volume total ( $V_T$ ) sexa superior a 15 000.

$$P_{ms} \cdot V_T > 15\,000$$

Para obter a clase da caldeira, neste caso, o enunciado non indica o dato da  $P_{ms}$  pero, sabendo que a presión de traballo ( $P_T$ ) ten que ser inferior á de servizo, podemos comprobar con esta presión o cálculo do valor límite para definir a clase.

Polo tanto:

$$P_T = 6\text{ bar}$$

$$V_T = 11,77\text{ m}^3 = 11\,770\text{ litros}$$

Para este caso:

$$P_T \cdot V_T = 6 \cdot 11\,770 = 70\,620 > 15\,000 \Rightarrow \text{A caldeira será de clase segunda, xa que si cumpre con este valor, tamén cumprirá coa } P_{ms}.$$

*Según el reglamento, una caldera piro-tubular será de clase segunda cuando el producto de la presión máxima de servizo ( $P_{ms}$ ) por el volumen total ( $V_T$ ) sea superior a 15 000.*

$$P_{ms} \cdot V_T > 15\,000$$

*Para obtener la clase de la caldera, en este caso, el enunciado no indica el dato de la  $P_{ms}$  pero, sabiendo que la presión de traballo ( $P_T$ ) tiene que ser inferior que la de servizo, podemos comprobar con esta presión el cálculo del valor límite para definir la clase.*

*Por tanto:*

$$P_T = 6\text{ bar}$$

$$V_T = 11,77\text{ m}^3 = 11\,770\text{ litros}$$

*Para este caso:*

$$P_T \cdot V_T = 6 \cdot 11\,770 = 70\,620 > 15\,000 \Rightarrow \text{La caldera será de clase segunda, ya que si cumple con este valor, también cumplirá con la } P_{ms}.$$



## Cuestión 2

Si, sería necesario, xa que as caldeiras da clase segunda, tal e como recolle a normativa, deberán ser conducidas por persoal con carné de operador/a industrial de caldeiras.

*Sí, sería necesario, ya que las calderas de clase segunda, tal y como recoge la normativa, deberán ser conducidas por personal con carné de operador/a industrial de calderas.*

## Cuestión 3

Tendo en conta que se realiza o arranque en frío desde unha temperatura de 15°C, ao 10% da potencia útil do queimador ( $P_U=4\ 500\text{ kW}$ ), a potencia de acendido  $P$  será:

$$P = 0,1 \cdot P_U = 0,1 \cdot 4\ 500\text{ kW} = 450\text{ kW} = 450\text{ kJ/s}$$

A enerxía absorbida pola masa de aceiro ( $E_{\text{aceiro}}$ ) será:

$$E_{\text{aceiro}} = m_{\text{aceiro}} \cdot C_{e_{\text{aceiro}}} \cdot \Delta T$$

onde:

$$m_{\text{aceiro}} = 12\ 143\text{ kg}$$

$$C_{e_{\text{aceiro}}} = 0,5\text{ kJ/kg K}$$

$$\Delta T = (373-288)\text{ K}$$

Xa que logo:

$$E_{\text{aceiro}} = 12\ 143\text{ kg} \cdot [0,5\text{ kJ / (kg K)}] \cdot (373 - 288)\text{ K} = 516\ 077,5\text{ kJ}$$

A enerxía absorbida pola auga da caldeira ( $E_{\text{auga}}$ ) será

$$E_{\text{auga}} = m_{\text{auga}} \cdot C_{e_{\text{auga}}} \cdot \Delta T$$

onde:

$$m_{\text{auga}} = 11\ 770\text{ kg}$$

$$C_{e_{\text{auga}}} = 4,183\text{ kJ/(kg K)}$$

$$\Delta T = (373-288)\text{ K}$$

Xa que logo:

$$E_{\text{auga}} = 11\ 770\text{ kg} \cdot [4,183\text{ kJ/(kg K)}] \cdot (373-288)\text{ K} = 4\ 184\ 882,3\text{ kJ}$$

A enerxía total ( $E_t$ ) será:

$$E_t = E_{\text{aceiro}} + E_{\text{auga}} = 516\ 077,5\text{ kJ} + 4\ 184\ 882,3\text{ kJ} = 4\ 700\ 959,8\text{ kJ}$$

Como o queimador produce  $P = 450\text{ kW} = 450\text{ kJ/s}$ , e a enerxía total  $E_t$  é a indicada anteriormente, teremos que o quecemento se realiza en:

$$t = E_t / P = (4\ 700\ 959,8\text{ kJ}) / (450\text{ kJ/s}) = 10\ 446,57\text{ s}$$

Tendo en conta que 1 hora son 3 600 s => 10 446,57 s = 2,9 horas para realizar o quecemento.



Teniendo en cuenta que se realiza el arranque en frío desde una temperatura de 15°C, al 10% de la potencia útil del quemador ( $P_u=4\ 500\text{ kW}$ ), la potencia de encendido  $P$  será:

$$P = 0,1 \cdot P_u = 0,1 \cdot 4\ 500\text{ kW} = 450\text{ kW} = 450\text{ kJ/s}$$

la energía absorbida por la masa de acero ( $E_{\text{acero}}$ ) será:

$$E_{\text{acero}} = m_{\text{acero}} \cdot C_{e_{\text{acero}}} \cdot \Delta T$$

donde:

$$m_{\text{acero}} = 12\ 143\text{ kg}$$

$$C_{e_{\text{acero}}} = 0,5\text{ kJ/kg K}$$

$$\Delta T = (373-288)\text{ K}$$

Por tanto:

$$E_{\text{acero}} = 12\ 143\text{ kg} \cdot [0,5\text{ kJ} / (\text{kg K})] \cdot (373-288)\text{ K} = 516\ 077,5\text{ kJ}$$

La energía absorbida por el agua de la caldera ( $E_{\text{agua}}$ ) será:

$$E_{\text{agua}} = m_{\text{agua}} \cdot C_{e_{\text{agua}}} \cdot \Delta T$$

donde:

$$m_{\text{agua}} = 11\ 770\text{ kg}$$

$$C_{e_{\text{agua}}} = 4,183\text{ kJ}/(\text{kg K})$$

$$\Delta T = (373-288)\text{ K}$$

Por tanto:

$$E_{\text{agua}} = 11\ 770\text{ kg} \cdot [4,183\text{ kJ} / (\text{kg K})] \cdot (373-288)\text{ K} = 4\ 184\ 882,3\text{ kJ}$$

La energía total ( $E_t$ ) será:

$$E_t = E_{\text{acero}} + E_{\text{agua}} = 516\ 077,5\text{ kJ} + 4\ 184\ 882,3\text{ kJ} = 4\ 700\ 959,8\text{ kJ}$$

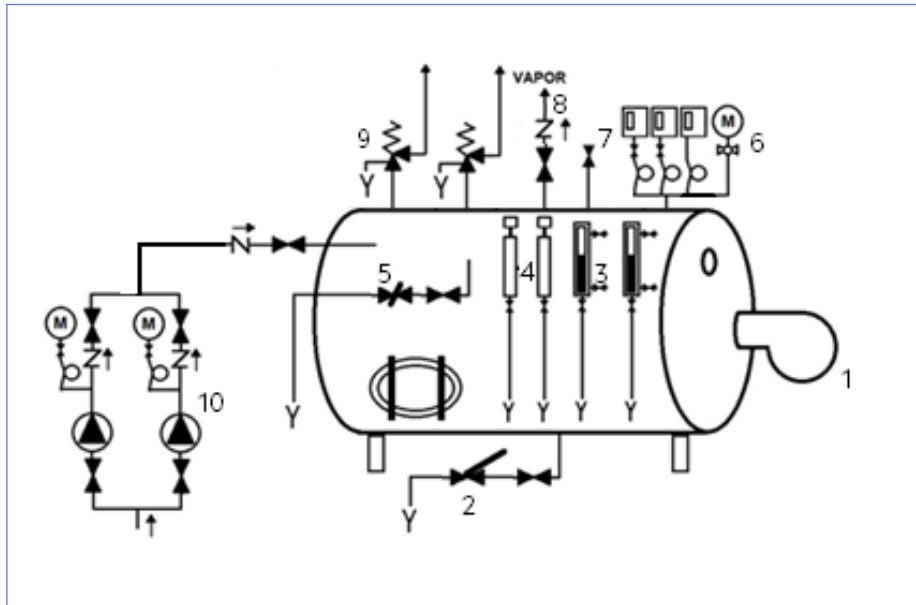
Como el quemador produce  $P = 450\text{ kW} = 450\text{ kJ/s}$ , y la energía total  $E_t$  es la indicada anteriormente, tendremos que el calentamiento se realiza en:

$$t = E_t / P = (4\ 700\ 959,8\text{ kJ}) / (450\text{ kJ/s}) = 10\ 446,57\text{ s}$$

Teniendo en cuenta que 1 hora son 3 600 s  $\Rightarrow 10\ 446,57\text{ s} = 2,9$  horas para realizar el calentamiento.

### Problema 3

#### Cuestión 1



Núm.	Elementos	
4	▪ Sondas de nivel	▪ Sondas de nivel
7	▪ Válvula de aireación	▪ Válvula de aireación
6	▪ Manómetro	▪ Manómetro
5	▪ Purga de sales	▪ Purga de sales
1	▪ Quemador	▪ Quemador
10	▪ Sistema de alimentación de auga	▪ Sistema alimentación de agua
9	▪ Válvula de seguridade	▪ Válvula de seguridad
8	▪ Válvula de saída de vapor	▪ Válvula de salida de vapor
3	▪ Niveis de cristal	▪ Niveles de cristal
2	▪ Purga de lodos	▪ Purga de lodos