

FOTOVOLTAICA, BIOMASA Y COGENERACIÓN

BLOQUE II: Principios de generación y diseño de instalaciones de
biomasa. Clase XI

1.5 Prevención de heladas



1.5.1 Agua fluyente (I/III)

$$\dot{Q} = L \cdot U_L \cdot \frac{T_1 - T_2}{\ln \frac{T_1 - T_{ex}}{T_2 - T_{ex}}}$$

donde

- \dot{Q} calor cedido por el agua al ambiente en W
- L longitud de la tubería en m
- $U_L = 1/R_L$ conductancia por unidad de longitud en W/(m·K),
- R_L resistencia térmica por unidad de longitud en (m·K)/W
- T_1 temperatura de entrada del agua en K o °C
- T_2 temperatura de salida del agua en K o °C y
- T_{ex} temperatura del aire ambiente en K o °C

1.5.1 Agua fluyente (II/III)

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_w \cdot (T_2 - T_1)$$

donde

- \dot{m} caudal másico en kg/s
- c_w calor específico del agua en J/(kg·K)
- T_2 temperatura de salida del agua en K o °C
- T_1 temperatura de entrada del agua en K o °C y

$$T_2 = T_{ex} + (T_1 - T_{ex}) \cdot e^{-n} \tag{12}$$

- T_{ex} temperatura del aire ambiente en K o °C
- e espesor necesario de aislante en mm
- n exponente de la expresión (12) para el cálculo de la temperatura

Donde

$$n = L \cdot U_L / (\dot{m} \cdot c_w)$$

- L longitud de la tubería en m
- U_L conductancia por unidad de longitud en W/(m·K)

1.5.1 Agua fluyente (III/III)

$$\bullet U_L = \frac{\dot{m} \cdot c_w}{L} \cdot \ln \frac{T_1 - T_{ex}}{T_2 - T_{ex}} \quad (13)$$

donde

- U_L conductancia por unidad de longitud en W/(m·K)
- \dot{m} caudal másico en kg/s
- c_w calor específico del agua en J/(kg·K)
- L longitud de la tubería en m
- T_1 temperatura de entrada del agua en K o °C
- T_{ex} temperatura del aire ambiente en K o °C

1.5.1 Agua fluyente (Ejemplo de cálculo)

Calcular el coeficiente lineal mínimo necesario para prever el riesgo de congelación en una tubería de 54 mm de diámetro interior, 2 mm de espesor y 10 m de longitud, por la que circula agua a una velocidad de 2 m/s. El coeficiente superficial exterior de calor es $12 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, la conductividad del aislante es $0.04 \text{ W}/\text{m K}$, el agua llega a la temperatura de $4 \text{ }^\circ\text{C}$ y la temperatura exterior es de $-10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Datos: densidad del agua a $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ y calor específico de $4.186 \text{ kJ}/\text{kg K}$.

1.5.1 Agua fluyente (Pistas, pasos I/II)

Paso 1: Cálculo del caudal másico $\dot{m} = \pi \cdot r_i^2 \cdot v_a \cdot \rho_a$

Paso 2: Cálculo del coeficiente lineal de transmisión de calor para la tubería desnuda $U_L = 2\pi \cdot r_e \cdot h_{ex}$

Paso 3: Cálculo de n $n = L \cdot \frac{U_L}{(\dot{m} \cdot c_w)}$

donde

- \dot{m} caudal másico en kg/s
- r_i radio interior de la tubería en mm
- v_a velocidad del agua en m/s
- ρ_a densidad del agua en kg/m³
- U_L conductancia por unidad de longitud en W/(m·K)
- r_e radio exterior de la tubería en mm
- h_{ex} coeficiente superficial exterior de calor en W/(m² K)
- L longitud de la tubería en m
- \dot{m} caudal másico en kg/s
- c_w calor específico del agua en kJ/(kg·K)

1.5.1 Agua fluyente (Pistas, pasos II/II)

Paso 4: Cálculo de la temperatura de salida $T_2 = t_s = T_{ex} + (T_1 - T_{ex}) \cdot e^{-n}$ (12)

Paso 5: Cálculo del coeficiente lineal mínimo necesario $U_L = \frac{\dot{m} \cdot c_w}{L} \cdot \ln \frac{T_1 - T_{ex}}{T_2 - T_{ex}}$ (13)

donde

- $T_2 = t_s =$ temperatura de salida del agua = 0°C o la temperatura que se desee al final del tramo estudiado
- T_{ex} temperatura del aire ambiente en K o $^\circ\text{C}$
- T_1 temperatura de entrada del agua en K o $^\circ\text{C}$
- e espesor necesario de aislante en mm
- n exponente de la expresión (12) para el cálculo de la temperatura
- U_L conductancia por unidad de longitud en $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
- \dot{m} caudal másico en kg/s
- c_w calor específico del agua en $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
- L longitud de la tubería en m

1.5.1 Agua fluyente (Pistas, pasos I/II)

Paso 1: Cálculo del caudal másico $\dot{m} = \pi \cdot r_i^2 \cdot v_a \cdot \rho_a$

Paso 2: Cálculo del coeficiente lineal de transmisión de calor para la tubería desnuda $U_L = 2\pi \cdot r_e \cdot h_{ex}$

Paso 3: Cálculo de n $n = L \cdot \frac{U_L}{(\dot{m} \cdot c_w)}$

donde

- \dot{m} caudal másico en kg/s
- r_i radio interior de la tubería en mm
- v_a velocidad del agua en m/s
- ρ_a densidad del agua en kg/m³
- U_L conductancia por unidad de longitud en W/(m·K)
- r_e radio exterior de la tubería en mm
- h_{ex} coeficiente superficial exterior de calor en W/(m² K)
- L longitud de la tubería en m
- \dot{m} caudal másico en kg/s
- c_w calor específico del agua en kJ/(kg·K)

1.5.1 Agua fluyente (Solución I/V)

Cálculo del caudal másico

$$\dot{m} = \pi \cdot r_i^2 \cdot v_a \cdot \rho_a = \pi \cdot 0.027^2 \cdot 2 \cdot 1000 = 4.58 \text{ kg/s}$$

donde

- \dot{m} caudal másico en kg/s
- r_i radio interior de la tubería en mm
- v_a velocidad del agua en m/s
- ρ_a densidad del agua en kg/m³

1.5.1 Agua fluyente (Pistas, pasos I/II)

Paso 1: Cálculo del caudal másico $\dot{m} = \pi \cdot r_i^2 \cdot v_a \cdot \rho_a$

Paso 2: Cálculo del coeficiente lineal de transmisión de calor para la tubería desnuda $U_L = 2\pi \cdot r_e \cdot h_{ex}$

Paso 3: Cálculo de n $n = L \cdot \frac{U_L}{(\dot{m} \cdot c_w)}$

donde

- \dot{m} caudal másico en kg/s
- r_i radio interior de la tubería en mm
- v_a velocidad del agua en m/s
- ρ_a densidad del agua en kg/m³
- U_L conductancia por unidad de longitud en W/(m·K)
- r_e radio exterior de la tubería en mm
- h_{ex} coeficiente superficial exterior de calor en W/(m² K)
- L longitud de la tubería en m
- \dot{m} caudal másico en kg/s
- c_w calor específico del agua en kJ/(kg·K)

1.5.1 Agua fluyente (Solución II/V)

Cálculo del coeficiente lineal de transmisión de calor para la tubería desnuda

$$U_L = 2\pi \cdot r_e \cdot h_{ex} = 2\pi \cdot 0.029 \cdot 12 = 2.19 \text{ W/m K}$$

donde

- U_L conductancia por unidad de longitud en W/(m·K)
- r_e radio exterior de la tubería en mm
- h_{ex} coeficiente superficial exterior de calor en W/(m² K)

1.5.1 Agua fluyente (Pistas, pasos I/II)

Paso 1: Cálculo del caudal másico $\dot{m} = \pi \cdot r_i^2 \cdot v_a \cdot \rho_a$

Paso 2: Cálculo del coeficiente lineal de transmisión de calor para la tubería desnuda $U_L = 2\pi \cdot r_e \cdot h_{ex}$

Paso 3: Cálculo de n $n = L \cdot \frac{U_L}{(\dot{m} \cdot c_w)}$

donde

- \dot{m} caudal másico en kg/s
- r_i radio interior de la tubería en mm
- v_a velocidad del agua en m/s
- ρ_a densidad del agua en kg/m³
- U_L conductancia por unidad de longitud en W/(m·K)
- r_e radio exterior de la tubería en mm
- h_{ex} coeficiente superficial exterior de calor en W/(m² K)
- L longitud de la tubería en m
- \dot{m} caudal másico en kg/s
- c_w calor específico del agua en kJ/(kg·K)

1.5.1 Agua fluyente (Solución III/V)

$$n = L \cdot \frac{U_L}{(\dot{m} \cdot c_w)} = 10 \cdot \frac{2.19}{(4.58 \cdot 4186)} = 1.141 \cdot 10^{-3}$$

donde

- L longitud de la tubería en m
- U_L conductancia por unidad de longitud en W/(m·K)
- \dot{m} caudal másico en kg/s
- c_w calor específico del agua en J/(kg·K)

1.5.1 Agua fluyente (Pistas, pasos II/II)

Paso 4: Cálculo de la temperatura de salida $T_2 = t_s = T_{ex} + (T_1 - T_{ex}) \cdot e^{-n}$ (12)

Paso 5: Cálculo del coeficiente lineal mínimo necesario $U_L = \frac{\dot{m} \cdot c_w}{L} \cdot \ln \frac{T_1 - T_{ex}}{T_2 - T_{ex}}$ (13)

donde

- $T_2 = t_s$ = temperatura de salida del agua = 0°C o la temperatura que se desee al final del tramo estudiado
- T_{ex} temperatura del aire ambiente en K o °C
- T_1 temperatura de entrada del agua en K o °C
- e espesor necesario de aislante en mm
- n exponente de la expresión (12) para el cálculo de la temperatura
- U_L conductancia por unidad de longitud en W/(m·K)
- \dot{m} caudal másico en kg/s
- c_w calor específico del agua en kJ/(kg·K)
- L longitud de la tubería en m

1.5.1 Agua fluyente (Solución IV/V)

Cálculo de la temperatura de salida

$$T_2 = t_s = T_{ex} + (T_1 - T_{ex}) \cdot e^{-n} = -10 + [4 - (-10)] \cdot e^{-1.141 \cdot 10^{-3}} = 3.98 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (12)$$

donde

- $T_2 = t_s =$ *temperatura de salida del agua* = 0°C o la temperatura que se desee al final del tramo estudiado
- T_{ex} temperatura del aire ambiente en K o $^\circ\text{C}$
- T_1 temperatura de entrada del agua en K o $^\circ\text{C}$
- e espesor necesario de aislante en mm
- n exponente de la expresión (12) para el cálculo de la temperatura

1.5.1 Agua fluyente (Pistas, pasos II/II)

Paso 4: Cálculo de la temperatura de salida $T_2 = t_s = T_{ex} + (T_1 - T_{ex}) \cdot e^{-n}$ (12)

Paso 5: Cálculo del coeficiente lineal mínimo necesario $U_L = \frac{\dot{m} \cdot c_w}{L} \cdot \ln \frac{T_1 - T_{ex}}{T_2 - T_{ex}}$ (13)

donde

- $T_2 = t_s$ = temperatura de salida del agua = 0°C o la temperatura que se desee al final del tramo estudiado
- T_{ex} temperatura del aire ambiente en K o °C
- T_1 temperatura de entrada del agua en K o °C
- e espesor necesario de aislante en mm
- n exponente de la expresión (12) para el cálculo de la temperatura
- U_L conductancia por unidad de longitud en W/(m·K)
- \dot{m} caudal másico en kg/s
- c_w calor específico del agua en kJ/(kg·K)
- L longitud de la tubería en m

1.6 Agua estancada (I/III)

$$dQ = U_L \cdot (T - T_{ex})dt$$

donde

- dQ calor elemental cedido en W·s/m (o en J/m)
- $U_L = 1/R_L$ conductancia por unidad de longitud en W/(m·K)
- T temperatura en el fluido en K o °C
- T_{ex} temperatura del aire ambiente en K o °C
- dt diferencial de tiempo en s

$$dQ = m_w \cdot c_w \cdot dT$$

donde

- m_w masa de agua por metro lineal de tubería en kg/m
- c_w calor específico en J/(kg·K)
- dT diferencial de temperatura en K o en °C

$$t = \frac{m_w \cdot c_w}{U_L} \cdot \ln \left(\frac{T_i - T_{ex}}{T_f - T_{ex}} \right)$$

Donde

- t intervalo de tiempo considerado en s
- T_i temperatura inicial en K o en °C
- T_f temperatura final en K o en °C

1.6 Agua estancada (II/III)

$$t = \frac{m_w}{U_L} \cdot \left[c_w \ln \left(\frac{T_i - T_{ex}}{-T_{ex}} \right) + \frac{y \cdot H}{-T_{ex}} \right] \quad (14)$$

Donde

- t tiempo de congelación en s
- m_w masa de agua por metro lineal de tubería en kg/m
- U_L conductancia por unidad de longitud en W/(m·K)
- c_w calor específico en J/(kg·K) o en W·s/(kg·K)
- T_i temperatura inicial en K (o en °C)
- T_{ex} temperatura del aire ambiente en K o °C
- y fracción de agua que congela en kg·K/W y
- H calor latente de congelación del agua en J/kg o en W·s/kg

1.6 Agua estancada (III/III)

- dejar circular el caudal de agua suficiente para que la temperatura a la salida del tramo peligroso no alcance la de congelación
- aislar térmicamente la tubería a fin de reducir las pérdidas de calor hacia el exterior
- enterrar la tubería, si es posible. La temperatura del suelo a un metro de profundidad, es aproximadamente la media atmosférica mensual y a unos 5 metros, la media anual

1.6 Espesor mínimo de aislante

- RITE y CTE
- tubería de diámetro exterior mayor que 140 mm

1.6 Variación de la temperatura con el tiempo

- Para depósitos acumuladores, tanto si el fluido almacenado es caliente como frío, interesa conocer la variación de la temperatura a lo largo del tiempo

1.6.1 Depósito sin circulación de fluido (I/IV)

$$dQ = U \cdot A \cdot (T_d - T_{ex}) \cdot dt$$

donde

- dQ calor elemental cedido en W·s/m (o en J/m)
- U coeficiente global de transmisión de calor en W/(m² K)
- A superficie del depósito en m²
- T_d temperatura del depósito, supuesta uniforme, en K o °C
- T_{ex} temperatura del aire ambiente en K o °C
- dt diferencial de tiempo en s

1.6.1 Depósito sin circulación de fluido (II/IV)

$$dQ = y \cdot V \cdot \rho_w \cdot c_w \cdot dT_d$$

donde

- y tanto por uno de depósito lleno,
- V volumen del depósito en m^3
- ρ_w densidad del fluido en kg/m^3
- c_w calor específico en $J/(kg \cdot K)$ o en $W \cdot s/(kg \cdot K)$
- dT_d variación de la temperatura del depósito durante el intervalo de tiempo dt en K o $^{\circ}C$

1.6.1 Depósito sin circulación de fluido (III/IV)

$$T_f = T_{ex} + (T_i - T_{ex}) \cdot e^{-nt} \quad (15)$$

donde

- T_f temperatura del depósito, supuesta uniforme, en K o °C
- T_{ex} temperatura del aire ambiente en K o °C
- T_i temperatura inicial en K (o en °C)
- t tiempo transcurrido en s
- $n = \frac{F \cdot U}{\rho_w \cdot c_w}$
- $F = A/V$ factor de forma del depósito en m^{-1}
- A superficie del depósito en m^2
- V volumen del depósito en m^3
- U coeficiente global de transmisión de calor en $W/(m^2 \cdot K)$
- ρ_w densidad del fluido en kg/m^3
- c_w calor específico en $J/(kg \cdot K)$ o en $W \cdot s/(kg \cdot K)$

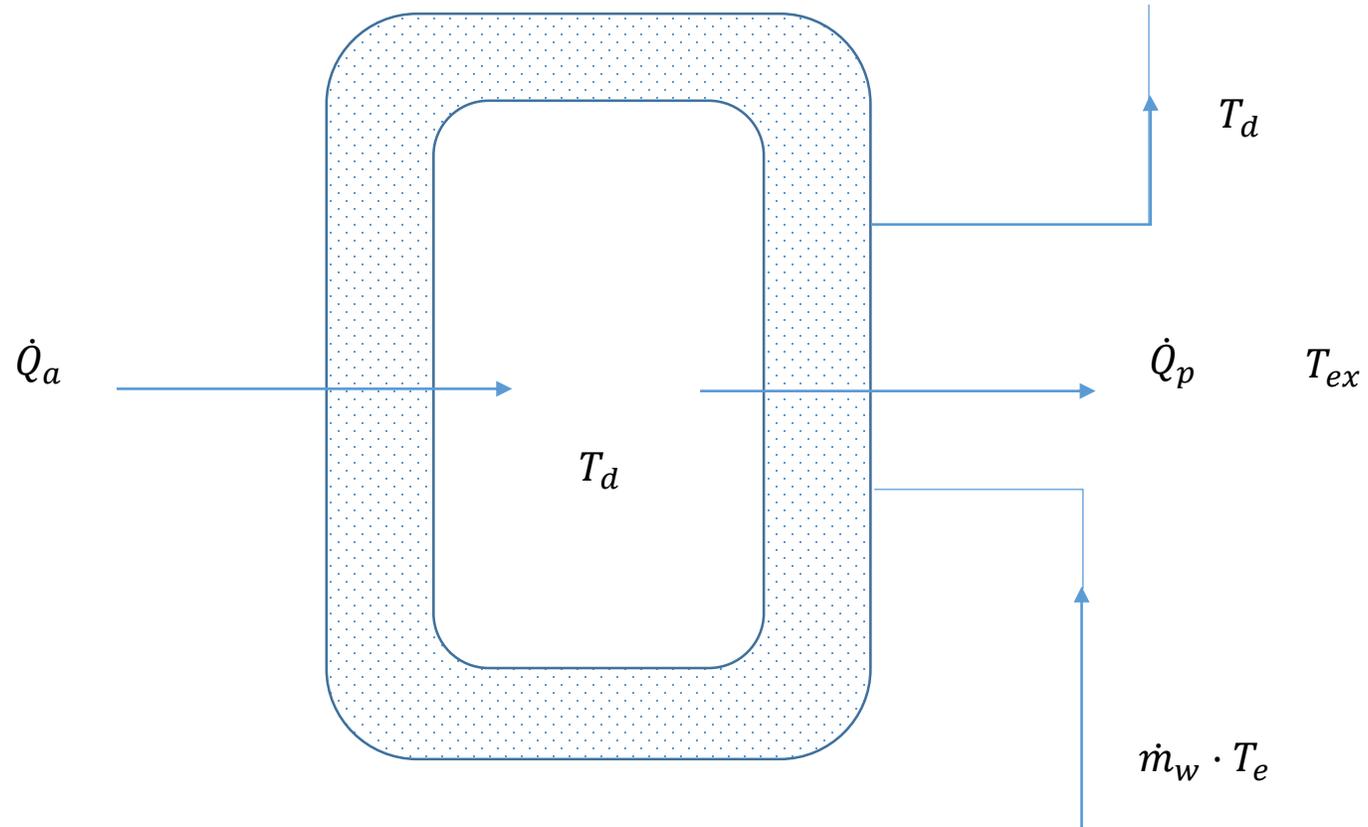
1.6.1 Depósito sin circulación de fluido (IV/IV)

$$U = \frac{\rho_w \cdot c_w}{F \cdot t} \cdot \ln \left(\frac{T_i - T_{ex}}{T_f - T_{ex}} \right) \quad (16)$$

donde

- U coeficiente global de transmisión de calor en $W/(m^2 \cdot K)$
- ρ_w densidad del fluido en kg/m^3
- c_w calor específico en $J/(kg \cdot K)$ o en $W \cdot s/(kg \cdot K)$
- $F = A/V$ factor de forma del depósito
- t tiempo transcurrido en s
- T_i temperatura inicial en K (o en $^{\circ}C$)
- T_{ex} temperatura del aire ambiente en K o $^{\circ}C$
- T_f temperatura del depósito, supuesta uniforme, en K o $^{\circ}C$

1.6.2 Depósito con circulación de fluido y aporte de calor



1.6.2 Depósito con circulación de fluido y aporte de calor (I/II)

$$\dot{Q}_a = \dot{m}_w \cdot c_w \cdot (T_d - T_e) + \dot{Q}_p + m_d \cdot c_w \cdot \frac{dT_d}{dt}$$

donde

- \dot{Q}_a calor aportado por unidad de tiempo en W
- \dot{m}_w caudal másico de fluido circulante en kg/s
- c_w calor específico en J/(kg·K) o en W·s/(kg·K)
- T_d temperatura del depósito en K (o en °C)
- T_e temperatura del fluido entrante en K (o en °C)
- \dot{Q}_p pérdida de calor por unidad de tiempo en W
- m_d masa de fluido contenido en el depósito en kg
- dT_d incremento diferencial de temperatura del depósito en K (o en °C)
- dt diferencial de tiempo considerado en s

1.6.2 Depósito con circulación de fluido y aporte de calor (II/II)

$$\Delta T_f = a - (a - \Delta T_i) \cdot e^{-t/b} \quad (17)$$

donde

- $\Delta T_f = T_d - T_e$ variación de temperatura al final del tiempo t en K (o en °C)
- T_d temperatura del depósito en K (o en °C)
- T_e temperatura del fluido entrante en K (o en °C)
- $a = (\dot{Q}_a - \dot{Q}_p) / (\dot{m}_w \cdot c_w)$ constante en K
- \dot{Q}_a calor aportado por unidad de tiempo en W
- \dot{Q}_p pérdida de calor por unidad de tiempo en W
- \dot{m}_w caudal másico de fluido circulante en kg/s
- c_w calor específico en J/(kg·K) o en W·s/(kg·K)
- $\Delta T_i = T_d - T_e$ variación de temperatura en el instante inicial en K (o en °C)
- $b = m_d / \dot{m}_w$ constante en s
- m_d masa de fluido contenido en el depósito en kg

1.6.2 Depósito con circulación de fluido y aporte de calor (Demostración ecuación 17; I/X)

$$\dot{Q}_a = \dot{m}_w \cdot c_w \cdot (T_d - T_e) + \dot{Q}_p + m_d \cdot c_w \cdot \frac{dT_d}{dt}$$

$$\Delta T_f = a - (a - \Delta T_i) \cdot e^{-t/b} \quad (17)$$

donde

- \dot{Q}_a calor aportado por unidad de tiempo en W
- \dot{m}_w caudal másico de fluido circulante en kg/s
- c_w calor específico en J/(kg·K) o en W·s/(kg·K)
- T_d temperatura del depósito en K (o en °C)
- T_e temperatura del fluido entrante en K (o en °C)
- \dot{Q}_p pérdida de calor por unidad de tiempo en W
- m_d masa de fluido contenido en el depósito en kg
- dT_d incremento diferencial de temperatura del depósito en K (o en °C)
- dt diferencial de tiempo considerado en s
- $\Delta T_f = T_d - T_e$ variación de temperatura al final del tiempo t en K (o en °C)

1.6.2 Depósito con circulación de fluido y aporte de calor (Demostración ecuación 17; II/X)

$$\dot{Q}_a - \dot{Q}_p = \dot{m}_w \cdot c_w \cdot (T_d - T_e) + m_d \cdot c_w \cdot \frac{dT_d}{dt}$$

donde

- \dot{Q}_a calor aportado por unidad de tiempo en W
- \dot{Q}_p pérdida de calor por unidad de tiempo en W
- \dot{m}_w caudal másico de fluido circulante en kg/s
- c_w calor específico en J/(kg·K) o en W·s/(kg·K)
- T_d temperatura del depósito en K (o en °C)
- T_e temperatura del fluido entrante en K (o en °C)
- m_d masa de fluido contenido en el depósito en kg
- dT_d incremento diferencial de temperatura del depósito en K (o en °C)
- dt diferencial de tiempo considerado en s

PASAMOS \dot{Q}_p AL PRIMER MIEMBRO

1.6.2 Depósito con circulación de fluido y aporte de calor (Demostración ecuación 17; III/X)

$$\frac{\dot{Q}_a - \dot{Q}_p}{\dot{m}_w \cdot c_w} = \frac{\dot{m}_w \cdot c_w}{\dot{m}_w \cdot c_w} \cdot (T_d - T_e) + \frac{m_d \cdot c_w}{\dot{m}_w \cdot c_w} \cdot \frac{dT_d}{dt}$$

donde

- \dot{Q}_a calor aportado por unidad de tiempo en W
- \dot{Q}_p pérdida de calor por unidad de tiempo en W
- \dot{m}_w caudal másico de fluido circulante en kg/s
- c_w calor específico en J/(kg·K) o en W·s/(kg·K)
- T_d temperatura del depósito en K (o en °C)
- T_e temperatura del fluido entrante en K (o en °C)
- m_d masa de fluido contenido en el depósito en kg
- dT_d incremento diferencial de temperatura del depósito en K (o en °C)
- dt diferencial de tiempo considerado en s

DIVIDIMOS MIEMBRO A MIEMBRO ENTRE $\dot{m}_w \cdot c_w$

1.6.2 Depósito con circulación de fluido y aporte de calor (Demostración ecuación 17; IV/X)

$$\frac{\dot{Q}_a - \dot{Q}_p}{\dot{m}_w \cdot c_w} = (T_d - T_e) + \frac{m_d}{\dot{m}_w} \cdot \frac{dT_d}{dt}$$

donde

- \dot{Q}_a calor aportado por unidad de tiempo en W
- \dot{Q}_p pérdida de calor por unidad de tiempo en W
- \dot{m}_w caudal másico de fluido circulante en kg/s
- c_w calor específico en J/(kg·K) o en W·s/(kg·K)
- T_d temperatura del depósito en K (o en °C)
- T_e temperatura del fluido entrante en K (o en °C)
- m_d masa de fluido contenido en el depósito en kg
- dT_d incremento diferencial de temperatura del depósito en K (o en °C)
- dt diferencial de tiempo considerado en s

LLAMAMOS $a = \frac{\dot{Q}_a - \dot{Q}_p}{\dot{m}_w \cdot c_w}$ **Y** $b = \frac{m_d}{\dot{m}_w} \rightarrow$ **QUEDARÍA** $a = (T_d - T_e) + b \cdot \frac{dT_d}{dt}$

1.6.2 Depósito con circulación de fluido y aporte de calor (Demostración ecuación 17; V/X)

ECUACIÓN DIFERENCIAL DE PRIMER ORDEN CON DOS VARIABLES " T_d " Y " t "

$$a = (T_d - T_e) + b \cdot \frac{dT_d}{dt}$$

LO RESOLVEMOS POR SEPARACIÓN DE VARIABLES

$$a - (T_d - T_e) = b \cdot \frac{dT_d}{dt}$$

donde

- $a = \frac{\dot{Q}_a - \dot{Q}_p}{\dot{m}_w \cdot c_w}$
- \dot{Q}_a calor aportado por unidad de tiempo en W
- \dot{Q}_p pérdida de calor por unidad de tiempo en W
- \dot{m}_w caudal másico de fluido circulante en kg/s
- c_w calor específico en J/(kg·K) o en W·s/(kg·K)
- T_d temperatura del depósito en K (o en °C)
- T_e temperatura del fluido entrante en K (o en °C)
- $b = \frac{m_d}{\dot{m}_w}$
- m_d masa de fluido contenido en el depósito en kg
- dT_d incremento diferencial de temperatura del depósito en K (o en °C)
- dt diferencial de tiempo considerado en s

1.6.2 Depósito con circulación de fluido y aporte de calor (Demostración ecuación 17; VI/X)

$$a - (T_d - T_e) = b \cdot \frac{dT_d}{dt}$$

PASAMOS "b" y "dt" AL PRIMER MIEMBRO y "a - (T_d - T_e)" AL SEGUNDO:

$$\frac{dt}{b} = \frac{dT_d}{a - (T_d - T_e)}$$

donde

- $a = \frac{\dot{Q}_a - \dot{Q}_p}{\dot{m}_w \cdot c_w}$
- \dot{Q}_a calor aportado por unidad de tiempo en W
- \dot{Q}_p pérdida de calor por unidad de tiempo en W
- \dot{m}_w caudal másico de fluido circulante en kg/s
- c_w calor específico en J/(kg·K) o en W·s/(kg·K)
- T_d temperatura del depósito en K (o en °C)
- T_e temperatura del fluido entrante en K (o en °C)
- $b = \frac{m_d}{\dot{m}_w}$
- m_d masa de fluido contenido en el depósito en kg
- dT_d incremento diferencial de temperatura del depósito en K (o en °C)
- dt diferencial de tiempo considerado en s

1.6.2 Depósito con circulación de fluido y aporte de calor (Demostración ecuación 17; VII/X)

$$\frac{dt}{b} = \frac{dT_d}{a - (T_d - T_e)}$$

INTEGRANDO, LOS LÍMITES DE INTEGRACIÓN PARA dt SERÍAN ENTRE $t = 0$ a $t = t$; POR SU PARTE, PARA T_d SERÍAN ENTRE LOS VALORES INICIALES "i" Y FINALES "f")

$$\int_0^t \frac{dt}{b} = \int_i^f \frac{dT_d}{a - (T_d - T_e)}$$

donde

- $a = \frac{\dot{Q}_a - \dot{Q}_p}{\dot{m}_w \cdot c_w}$
- \dot{Q}_a calor aportado por unidad de tiempo en W
- \dot{Q}_p pérdida de calor por unidad de tiempo en W
- \dot{m}_w caudal másico de fluido circulante en kg/s
- c_w calor específico en J/(kg·K) o en W·s/(kg·K)
- T_d temperatura del depósito en K (o en °C)
- T_e temperatura del fluido entrante en K (o en °C)
- $b = \frac{m_d}{\dot{m}_w}$
- m_d masa de fluido contenido en el depósito en kg
- dT_d incremento diferencial de temperatura del depósito en K (o en °C)
- dt diferencial de tiempo considerado en s

1.6.2 Depósito con circulación de fluido y aporte de calor (Demostración ecuación 17; VIII/X)

$$\int_0^t \frac{dt}{b} = \int_i^f \frac{dT_d}{a - (T_d - T_e)}$$

RECORDANDO QUE LA INTEGRAL

$$\int \frac{dx}{-x} = -\ln(-x)$$

Y TENIENDO EN CUENTA QUE LA “SEGUNDA” INCÓGNITA, T_d , ES NEGATIVA, TENDRÍAMOS QUE

$$\left[\frac{t}{b} \right]_0^t = \{-\ln[a - (T_d - T_e)]\}_i^f$$

CON EL OBJETO DE NO TENER UN \ln NEGATIVO, CAMBIAMOS DE SIGNO LOS DOS MIEMBROS

$$\left[\frac{-t}{b} \right]_0^t = \{\ln[a - (T_d - T_e)]\}_i^f$$

LLAMANDO $T_d - T_e = \Delta T$, QUEDARÍA

$$\frac{-t}{b} - (0/b) = \ln(a - \Delta T_f) - \ln(a - \Delta T_i)$$

1.6.2 Depósito con circulación de fluido y aporte de calor (Demostración ecuación 17; IX/X)

CONVERTIMOS UNA DIFERENCIA DE LOGARITMOS EN UN COCIENTE

$$\frac{-t}{b} = \ln \frac{a - \Delta T_f}{a - \Delta T_i}$$

RECORDANDO QUE $\ln x = y$, esto implica que

$$x = e^y$$

POR TANTO, QUEDARÍA

$$\frac{a - \Delta T_f}{a - \Delta T_i} = e^{-t/b} \rightarrow a - \Delta T_f = (a - \Delta T_i) \cdot e^{-t/b}$$

1.6.2 Depósito con circulación de fluido y aporte de calor (Demostración ecuación 17; X/X)

DESPEJANDO FINALMENTE ΔT_f QUEDARÍA

$$\Delta T_f = a - (a - \Delta T_i) \cdot e^{-t/b}$$

C.Q.D

donde

- $\Delta T_f = T_d - T_e$ variación de temperatura al final del tiempo t en K (o en °C)
- $a = \frac{\dot{Q}_a - \dot{Q}_p}{\dot{m}_w \cdot c_w}$
- \dot{Q}_a calor aportado por unidad de tiempo en W
- \dot{Q}_p pérdida de calor por unidad de tiempo en W
- \dot{m}_w caudal másico de fluido circulante en kg/s
- c_w calor específico en J/(kg·K) o en W·s/(kg·K)
- $\Delta T_i = T_d - T_e$ variación de temperatura en el instante inicial en K (o en °C)
- $b = \frac{m_d}{\dot{m}_w}$
- m_d masa de fluido contenido en el depósito en kg

A PARTIR DE LA ECUACIÓN DEL CALOR APORTADO POR UNIDAD DE TIEMPO SE HA PODIDO OBTENER LA ECUACIÓN DE LA VARIACIÓN DE TEMPERATURA AL FINAL DEL TIEMPO t (ECUACIÓN 17)

1.6.2 Depósito con circulación de fluido y aporte de calor (Ejemplo de cálculo)

Por un depósito de agua de 1000 kg de capacidad circula un caudal de 1 kg/s, la temperatura del agua a la entrada es 15 °C, el calor aportado desde el exterior es 100 kW, las pérdidas de calor se estiman en 0.5 kW.

Si la temperatura inicial del depósito es 30 °C, calcular la temperatura del depósito al final de: 15 minutos, 30 minutos, 1 hora y 2 horas.

1.6.2 Depósito con circulación de fluido y aporte de calor (Pistas, pasos I/II)

Paso 1: Cálculo de la constante a de la ecuación (17) $a = \frac{\dot{Q}_a - \dot{Q}_p}{\dot{m}_w \cdot c_w}$

Paso 2: Cálculo de la constante b de la ecuación (17) $b = \frac{m_d}{\dot{m}_w}$

Paso 3: Cálculo de la diferencia de temperatura en el instante inicial $\Delta T_i = T_d - T_e$

donde

- \dot{Q}_a calor aportado por unidad de tiempo en W
- \dot{Q}_p pérdida de calor por unidad de tiempo en W
- \dot{m}_w caudal másico de fluido circulante en kg/s
- c_w calor específico del agua [4186 J/(kg·K)] ó 4186 [W·s/(kg·K)]
- m_d masa de fluido contenido en el depósito en kg
- T_d temperatura del depósito en K (o en °C)
- T_e temperatura del fluido entrante en K (o en °C)

1.6.2 Depósito con circulación de fluido y aporte de calor (Pistas, pasos II/II)

Paso 4: Cálculo de la temperatura del depósito al final de cada intervalo de tiempo

$$\Delta T_f = a - (a - \Delta T_i) \cdot e^{-\frac{t}{b}} = T_d - T_e \quad (17)$$

donde

- ΔT_f variación de temperatura al final del tiempo t en K (o en °C)
- a constante en K
- ΔT_i variación de temperatura en el instante inicial en K (o en °C)
- b constante en s
- T_d temperatura del depósito en K (o en °C)
- T_e temperatura del fluido entrante en K (o en °C)

1.6.2 Depósito con circulación de fluido y aporte de calor (Pistas, pasos I/II)

Paso 1: Cálculo de la constante a de la ecuación (17) $a = \frac{\dot{Q}_a - \dot{Q}_p}{\dot{m}_w \cdot c_w}$

Paso 2: Cálculo de la constante b de la ecuación (17) $b = \frac{m_d}{\dot{m}_w}$

Paso 3: Cálculo de la diferencia de temperatura en el instante inicial $\Delta T_i = T_d - T_e$

donde

- \dot{Q}_a calor aportado por unidad de tiempo en W
- \dot{Q}_p pérdida de calor por unidad de tiempo en W
- \dot{m}_w caudal másico de fluido circulante en kg/s
- c_w calor específico del agua [4186 J/(kg·K)] ó 4186 [W·s/(kg·K)]
- m_d masa de fluido contenido en el depósito en kg
- T_d temperatura del depósito en K (o en °C)
- T_e temperatura del fluido entrante en K (o en °C)

1.6.2 Depósito con circulación de fluido y aporte de calor (Solución I/IV)

Cálculo de la constante a de la ecuación (17)

$$a = \frac{\dot{Q}_a - \dot{Q}_p}{\dot{m}_w \cdot c_w} = \frac{100\,000 - 500}{1 \cdot 4186} = 23.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- \dot{Q}_a calor aportado por unidad de tiempo en W
- \dot{Q}_p pérdida de calor por unidad de tiempo en W
- \dot{m}_w caudal másico de fluido circulante en kg/s
- c_w calor específico del agua [4186 J/(kg·K)] ó 4186 [W·s/(kg·K)]

1.6.2 Depósito con circulación de fluido y aporte de calor (Pistas, pasos I/II)

Paso 1: Cálculo de la constante a de la ecuación (17) $a = \frac{\dot{Q}_a - \dot{Q}_p}{\dot{m}_w \cdot c_w}$

Paso 2: Cálculo de la constante b de la ecuación (17) $b = \frac{m_d}{\dot{m}_w}$

Paso 3: Cálculo de la diferencia de temperatura en el instante inicial $\Delta T_i = T_d - T_e$

donde

- \dot{Q}_a calor aportado por unidad de tiempo en W
- \dot{Q}_p pérdida de calor por unidad de tiempo en W
- \dot{m}_w caudal másico de fluido circulante en kg/s
- c_w calor específico del agua [4186 J/(kg·K)] ó 4186 [W·s/(kg·K)]
- m_d masa de fluido contenido en el depósito en kg
- T_d temperatura del depósito en K (o en °C)
- T_e temperatura del fluido entrante en K (o en °C)

1.6.2 Depósito con circulación de fluido y aporte de calor (Solución II/IV)

Cálculo de la constante b de la ecuación (17)

$$b = \frac{m_d}{\dot{m}_w} = \frac{1000}{1} = 1000 \text{ s}$$

- m_d masa de fluido contenido en el depósito en kg
- \dot{m}_w caudal másico de fluido circulante en kg/s

1.6.2 Depósito con circulación de fluido y aporte de calor (Pistas, pasos I/II)

Paso 1: Cálculo de la constante a de la ecuación (17) $a = \frac{\dot{Q}_a - \dot{Q}_p}{\dot{m}_w \cdot c_w}$

Paso 2: Cálculo de la constante b de la ecuación (17) $b = \frac{m_d}{\dot{m}_w}$

Paso 3: Cálculo de la diferencia de temperatura en el instante inicial $\Delta T_i = T_d - T_e$

donde

- \dot{Q}_a calor aportado por unidad de tiempo en W
- \dot{Q}_p pérdida de calor por unidad de tiempo en W
- \dot{m}_w caudal másico de fluido circulante en kg/s
- c_w calor específico del agua [4186 J/(kg·K)] ó 4186 [W·s/(kg·K)]
- m_d masa de fluido contenido en el depósito en kg
- T_d temperatura del depósito en K (o en °C)
- T_e temperatura del fluido entrante en K (o en °C)

1.6.2 Depósito con circulación de fluido y aporte de calor (Solución III/IV)

Cálculo de la diferencia de temperatura en el instante inicial

$$\Delta T_i = T_d - T_e = 30 - 15 = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- T_d temperatura del depósito en K (o en $^\circ\text{C}$)
- T_e temperatura del fluido entrante en K (o en $^\circ\text{C}$)

1.6.2 Depósito con circulación de fluido y aporte de calor (Pistas, pasos II/II)

Paso 4: Cálculo de la temperatura del depósito al final de cada intervalo de tiempo

$$\Delta T_f = a - (a - \Delta T_i) \cdot e^{-\frac{t}{b}} = T_d - T_e \quad (17)$$

donde

- ΔT_f variación de temperatura al final del tiempo t en K (o en °C)
- a constante en K
- ΔT_i variación de temperatura en el instante inicial en K (o en °C)
- b constante en s
- T_d temperatura del depósito en K (o en °C)
- T_e temperatura del fluido entrante en K (o en °C)

1.6.2 Depósito con circulación de fluido y aporte de calor (Solución IV/IV)

Cálculo de la temperatura del depósito al final de cada intervalo de tiempo

$$\Delta T_f = a - (a - \Delta T_i) \cdot e^{-\frac{t}{b}} = T_d - T_e \quad (17)$$

donde

- ΔT_f variación de temperatura al final del tiempo t en K (o en °C)
- a constante en K
- ΔT_i variación de temperatura en el instante inicial en K (o en °C)
- b constante en s
- T_d temperatura del depósito en K (o en °C)
- T_e temperatura del fluido entrante en K (o en °C)

15 min = 900 s $\Delta T_f = a - (a - \Delta T_i) \cdot e^{-\frac{t}{b}} = 23.80 - (23.80 - 15) \cdot e^{-\frac{900}{1000}} = 23.80 - (8.8) \cdot e^{-0.9} = 20.2 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$\Delta T_f = T_d - T_e \rightarrow T_d = \Delta T_f + T_e = 20.2 + 15 = 35.2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

30 min = 1800 s $\Delta T_f = 23.80 - (8.8) \cdot e^{-1.8} = 22.3 \text{ } ^\circ\text{C}; T_d = \Delta T_f + T_e = 22.3 + 15 = 37.3 \text{ } ^\circ\text{C}$

1 h = 3600 s $\Delta T_f = 23.80 - (8.8) \cdot e^{-3.6} = 23.5 \text{ } ^\circ\text{C}; T_d = \Delta T_f + T_e = 23.5 + 15 = 38.5 \text{ } ^\circ\text{C}$

2 h = 7200 s $\Delta T_f = 23.80 - (8.8) \cdot e^{-7.2} = 23.8 \text{ } ^\circ\text{C}; T_d = \Delta T_f + T_e = 23.8 + 15 = 38.8 \text{ } ^\circ\text{C}$

1.6.3 Prevención de heladas

Para el cálculo de la prevención de heladas en depósitos, pueden utilizarse las ecuaciones establecidas con agua estancada, pero teniendo en cuenta que deberá utilizarse en este caso el coeficiente global de transmisión de calor, U ; y el factor de forma del depósito, F .

Es interesante hacer notar que el factor de forma afecta notablemente a la variación de la temperatura interior; en igualdad de condiciones, cuanto menor sea F , mayor puede ser el coeficiente global U y menor el espesor de aislante.

Donde

- $F = A/V$ factor de forma del depósito en m^{-1}
- U coeficiente global de transmisión de calor en $W/(m^2 K)$

1.6.3 Prevención de heladas (Ejemplo de cálculo)

Un depósito acumulador de agua, cilíndrico y de fondo plano, tiene un diámetro de 0.80 m y una altura de 1.5 m, y está situado en un recinto cuya temperatura ambiente es de 5 °C. Su temperatura inicial es 50 °C, el espesor del aislamiento es 50 mm y su conductividad 0.04 W/(m K).

Calcular la temperatura final del agua al cabo de 8 horas.

1.6.3 Prevención de heladas (Pistas, pasos I/II)

Paso 1: Cálculo de la superficie del depósito $A = 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_d}{2}\right)^2 + d_d \cdot \pi \cdot h_d$

Paso 2: Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor, suponiendo que la única resistencia térmica significativa es la debida al aislamiento $U = \frac{\lambda}{e}$

Paso 3: Cálculo del volumen del depósito $V = \pi \cdot \left(\frac{d_d}{2}\right)^2 \cdot h_d$

donde

- A superficie del depósito en m^2
- d_d diámetro del depósito en m
- h_d altura del depósito en m
- U coeficiente global de transmisión de calor en $W/(m^2 K)$,
- λ conductividad del aislante en $W/(m \cdot K)$, y
- e espesor del aislante en m
- V volumen del depósito en m^3
- d_d diámetro del depósito en m
- h_d altura del depósito en m

1.6.3 Prevención de heladas (Pistas, pasos II/II)

Paso 4: Cálculo del factor de forma $F = \frac{A}{V}$

Paso 5: Cálculo del exponente n

Paso 6: Cálculo de la temperatura transcurrido un tiempo determinado $T_f = T_{ex} + (T_i - T_{ex}) \cdot e^{-nt}$ (15)

donde

- F factor de forma en m^{-1}
- A superficie del depósito en m^2
- V volumen del depósito en m^3
- $n = \frac{F \cdot U}{\rho_w \cdot c_w}$
- U coeficiente global de transmisión de calor en $W/(m^2 \cdot K)$
- ρ_w densidad del fluido en kg/m^3
- c_w calor específico en $J/(kg \cdot K)$ o en $W \cdot s/(kg \cdot K)$
- T_f temperatura del depósito, supuesta uniforme, en K o $^{\circ}C$
- T_{ex} temperatura del aire ambiente en K o $^{\circ}C$
- T_i temperatura inicial en K (o en $^{\circ}C$)
- t tiempo transcurrido en s

1.6.3 Prevención de heladas (Pistas, pasos I/II)

Paso 1: Cálculo de la superficie del depósito $A = 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_d}{2}\right)^2 + d_d \cdot \pi \cdot h_d$

Paso 2: Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor, suponiendo que la única resistencia térmica significativa es la debida al aislamiento $U = \frac{\lambda}{e}$

Paso 3: Cálculo del volumen del depósito $V = \pi \cdot \left(\frac{d_d}{2}\right)^2 \cdot h_d$

donde

- A superficie del depósito en m^2
- d_d diámetro del depósito en m
- h_d altura del depósito en m
- U coeficiente global de transmisión de calor en $W/(m^2 K)$,
- λ conductividad del aislante en $W/(m \cdot K)$, y
- e espesor del aislante en m
- V volumen del depósito en m^3
- d_d diámetro del depósito en m
- h_d altura del depósito en m

1.6.3 Prevención de heladas (Solución I/VI)

Cálculo de la superficie del depósito

$$A = 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_d}{2}\right)^2 + d_d \cdot \pi \cdot h_d = 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{0.8}{2}\right)^2 + 0.8 \cdot \pi \cdot 1.5 = 4.775 \text{ m}^2$$

donde

- A superficie del depósito en m^2
- d_d diámetro del depósito en m
- h_d altura del depósito en m

1.6.3 Prevención de heladas (Pistas, pasos I/II)

Paso 1: Cálculo de la superficie del depósito $A = 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_d}{2}\right)^2 + d_d \cdot \pi \cdot h_d$

Paso 2: Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor, suponiendo que la única resistencia térmica significativa es la debida al aislamiento $U = \frac{\lambda}{e}$

Paso 3: Cálculo del volumen del depósito $V = \pi \cdot \left(\frac{d_d}{2}\right)^2 \cdot h_d$

donde

- A superficie del depósito en m^2
- d_d diámetro del depósito en m
- h_d altura del depósito en m
- U coeficiente global de transmisión de calor en $W/(m^2 \cdot K)$,
- λ conductividad del aislante en $W/(m \cdot K)$, y
- e espesor del aislante en m
- V volumen del depósito en m^3
- d_d diámetro del depósito en m
- h_d altura del depósito en m

1.6.3 Prevención de heladas (Solución II/VI)

Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor, suponiendo que la única resistencia térmica significativa es la debida al aislamiento

$$U = \frac{\lambda}{e} = \frac{0.040}{0.050} = 0.80 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$$

donde

- U coeficiente global de transmisión de calor en $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$,
- λ conductividad del aislante en $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, y
- e espesor del aislante en m

1.6.3 Prevención de heladas (Pistas, pasos I/II)

Paso 1: Cálculo de la superficie del depósito $A = 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_d}{2}\right)^2 + d_d \cdot \pi \cdot h_d$

Paso 2: Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor, suponiendo que la única resistencia térmica significativa es la debida al aislamiento $U = \frac{\lambda}{e}$

Paso 3: Cálculo del volumen del depósito $V = \pi \cdot \left(\frac{d_d}{2}\right)^2 \cdot h_d$

donde

- A superficie del depósito en m^2
- d_d diámetro del depósito en m
- h_d altura del depósito en m
- U coeficiente global de transmisión de calor en $W/(m^2 K)$,
- λ conductividad del aislante en $W/(m \cdot K)$, y
- e espesor del aislante en m
- V volumen del depósito en m^3
- d_d diámetro del depósito en m
- h_d altura del depósito en m

1.6.3 Prevención de heladas (Solución III/VI)

Cálculo del volumen del depósito

$$V = \pi \cdot \left(\frac{d_d}{2}\right)^2 \cdot h_d = \pi \cdot \left(\frac{0,8}{2}\right)^2 \cdot 1.5 = 0.754 \text{ m}^3$$

donde

- V volumen del depósito en m^3
- d_d diámetro del depósito en m
- h_d altura del depósito en m

1.6.3 Prevención de heladas (Pistas, pasos II/II)

Paso 4: Cálculo del factor de forma $F = \frac{A}{V}$

Paso 5: Cálculo del exponente n

Paso 6: Cálculo de la temperatura transcurrido un tiempo determinado $T_f = T_{ex} + (T_i - T_{ex}) \cdot e^{-nt}$ (15)

donde

- F factor de forma en m^{-1}
- A superficie del depósito en m^2
- V volumen del depósito en m^3
- $n = \frac{F \cdot U}{\rho_w \cdot c_w}$
- U coeficiente global de transmisión de calor en $W/(m^2 \cdot K)$
- ρ_w densidad del fluido en kg/m^3
- c_w calor específico en $J/(kg \cdot K)$ o en $W \cdot s/(kg \cdot K)$
- T_f temperatura del depósito, supuesta uniforme, en K o $^{\circ}C$
- T_{ex} temperatura del aire ambiente en K o $^{\circ}C$
- T_i temperatura inicial en K (o en $^{\circ}C$)
- t tiempo transcurrido en s

1.6.3 Prevención de heladas (Solución IV/VI)

Cálculo del factor de forma

$$F = \frac{A}{V} = \frac{4.775}{0.745} = 6.333 \text{ m}^{-1}$$

donde

- F factor de forma en m^{-1}
- A superficie del depósito en m^2
- V volumen del depósito en m^3

1.6.3 Prevención de heladas (Pistas, pasos II/II)

Paso 4: Cálculo del factor de forma $F = \frac{A}{V}$

Paso 5: Cálculo del exponente n

Paso 6: Cálculo de la temperatura transcurrido un tiempo determinado $T_f = T_{ex} + (T_i - T_{ex}) \cdot e^{-nt}$ (15)

donde

- F factor de forma en m^{-1}
- A superficie del depósito en m^2
- V volumen del depósito en m^3
- $n = \frac{F \cdot U}{\rho_w \cdot c_w}$
- U coeficiente global de transmisión de calor en $W/(m^2 \cdot K)$
- ρ_w densidad del fluido en kg/m^3
- c_w calor específico en $J/(kg \cdot K)$ o en $W \cdot s/(kg \cdot K)$
- T_f temperatura del depósito, supuesta uniforme, en K o $^{\circ}C$
- T_{ex} temperatura del aire ambiente en K o $^{\circ}C$
- T_i temperatura inicial en K (o en $^{\circ}C$)
- t tiempo transcurrido en s

1.6.3 Prevención de heladas (Solución V/VI)

Cálculo del exponente n

$$n = \frac{F \cdot U}{\rho_w \cdot c_w} = \frac{6.333 \cdot 0.8}{1000 \cdot 4186} = 1.21 \cdot 10^{-6}$$

donde

- $n = \frac{F \cdot U}{\rho_w \cdot c_w}$
- F factor de forma del depósito en m^{-1}
- U coeficiente global de transmisión de calor en $W/(m^2 K)$
- ρ_w densidad del fluido en kg/m^3
- c_w calor específico en $J/(kg \cdot K)$ o en $W \cdot s/(kg \cdot K)$

1.6.3 Prevención de heladas (Pistas, pasos II/II)

Paso 4: Cálculo del factor de forma $F = \frac{A}{V}$

Paso 5: Cálculo del exponente n

Paso 6: Cálculo de la temperatura transcurrido un tiempo determinado $T_f = T_{ex} + (T_i - T_{ex}) \cdot e^{-nt}$ (15)

donde

- F factor de forma en m^{-1}
- A superficie del depósito en m^2
- V volumen del depósito en m^3
- $n = \frac{F \cdot U}{\rho_w \cdot c_w}$
- U coeficiente global de transmisión de calor en $W/(m^2 \cdot K)$
- ρ_w densidad del fluido en kg/m^3
- c_w calor específico en $J/(kg \cdot K)$ o en $W \cdot s/(kg \cdot K)$
- T_f temperatura del depósito, supuesta uniforme, en K o $^{\circ}C$
- T_{ex} temperatura del aire ambiente en K o $^{\circ}C$
- T_i temperatura inicial en K (o en $^{\circ}C$)
- t tiempo transcurrido en s

1.6.3 Prevención de heladas (Solución VI/VI)

Cálculo de la temperatura transcurridas 8 horas (28 800 segundos)

$$T_f = T_{ex} + (T_i - T_{ex}) \cdot e^{-nt} \quad (15)$$

donde

- T_f temperatura del depósito, supuesta uniforme, en K o °C
- T_{ex} temperatura del aire ambiente en K o °C
- T_i temperatura inicial en K (o en °C)
- t tiempo transcurrido en s
- $n = \frac{F \cdot U}{\rho_w \cdot c_w}$

$$T_f = T_{ex} + (T_i - T_{ex}) \cdot e^{-nt} = 5 + (50 - 5) \cdot e^{-1.21 \cdot 10^{-6} \cdot 28\,800} = 48.5 \text{ °C}$$

FOTOVOLTAICA, BIOMASA Y COGENERACIÓN

FIN

¿¿¿¿PREGUNTAS????

GRACIAS POR SU ATENCIÓN

