

AT02

Casos complejos

*A : Tuberías abiertas y
cerradas*

B : Modelo caja negra

Open and closed pipes

1. Tuberías abiertas y cerradas

- a) Ecuaciones generales

2. Casos

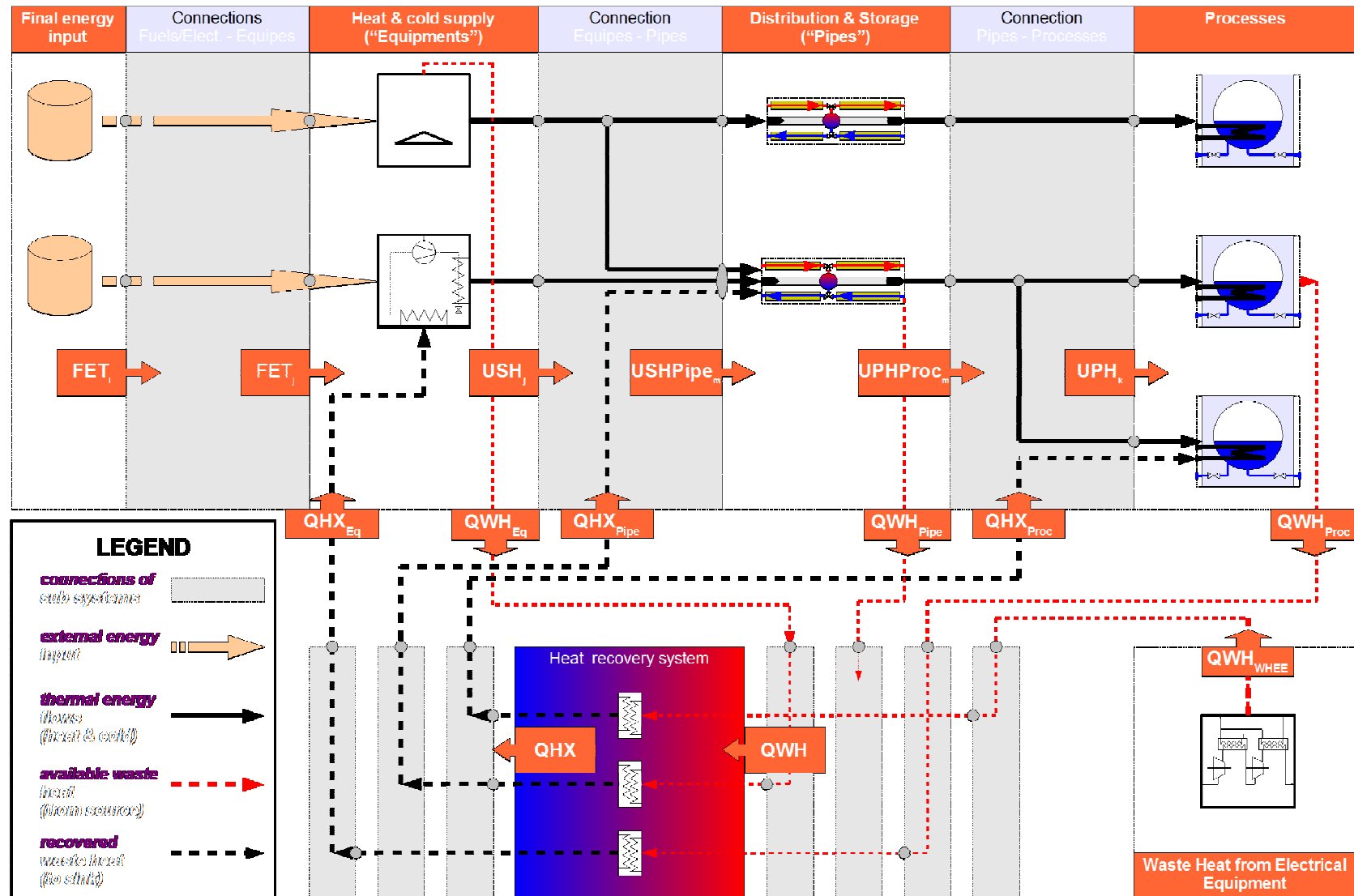
- a) Recuperación de condensado total
- b) Sin recuperación de condensado
- c) Recuperación de condensado parcial
- d) Ejercicio
- e) Caso especial: inyección directa de vapor
 - Calor residual pertenece a la tubería
 - Calor residual pertenece al proceso

3. Modelo de caja negra

- a) Modelización del proceso
- b) Casos
 - Pérdida del condensado
 - Condensado recuperable

Tuberías abiertas y cerradas

EINSTEIN
thermal energy
industry audit



Tuberías abiertas y cerradas

El calor total $\dot{Q}_{USH, pipe, m}$ que entra en las líneas de distribución es:

$$\dot{Q}_{USH, pipe, m} = \dot{Q}_{USH, m} + \dot{Q}_{QHX, m}$$

$\dot{Q}_{USH, m}$ Suministro de calor útil desde el equipo a la tubería m

$\dot{Q}_{QHX, m}$ Calor residual recuperado e introducido a la tubería m (ej: precalentamiento de la línea de retorno)

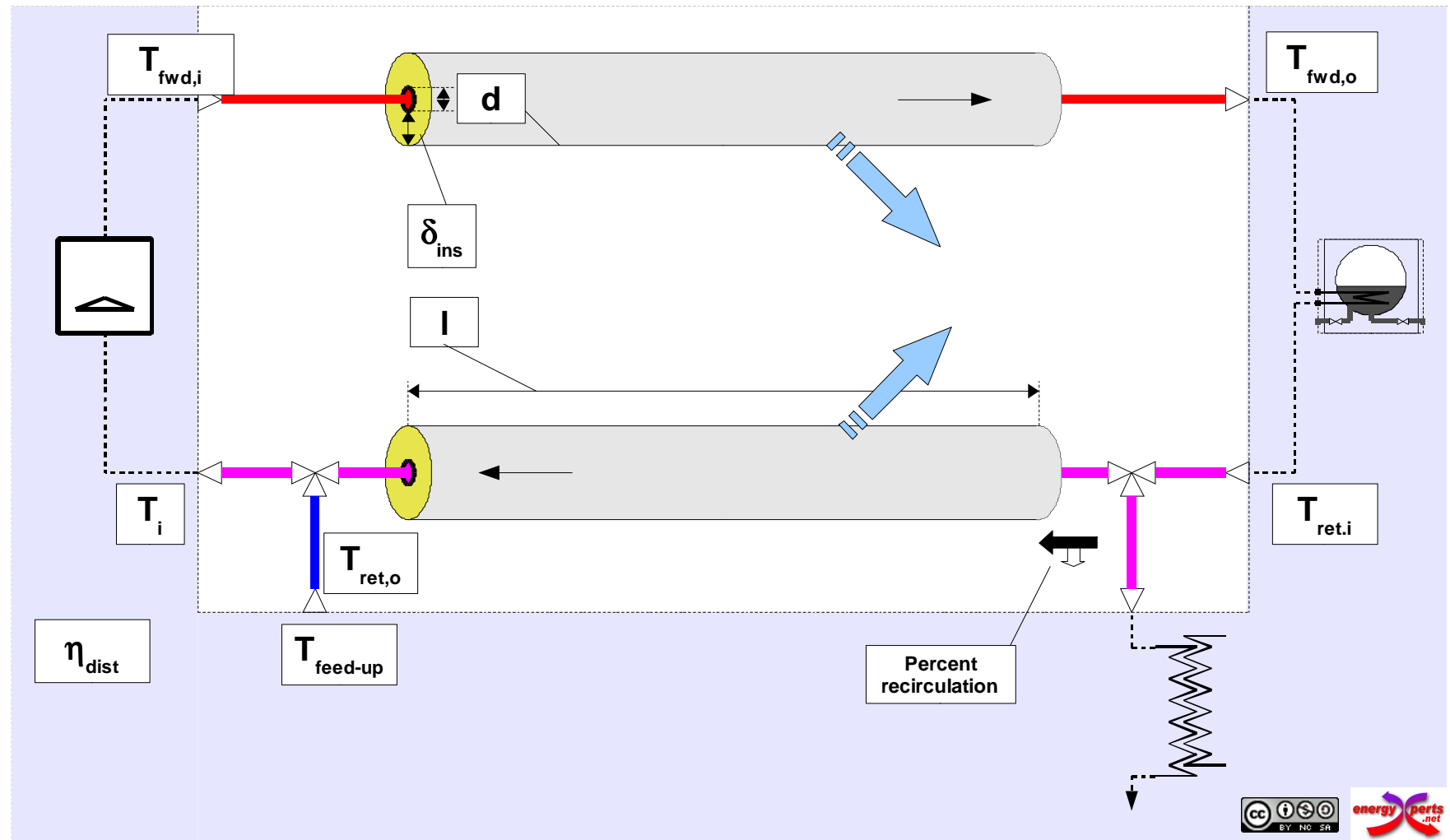
Ecuación general del balance energético:

$$\dot{Q}_{USH, pipe, m} = \dot{Q}_{UPH, proc, m} + \dot{Q}_{WH, pipe, m} + \dot{Q}_{losses, pipe, m}$$

Eficiencia de distribución:

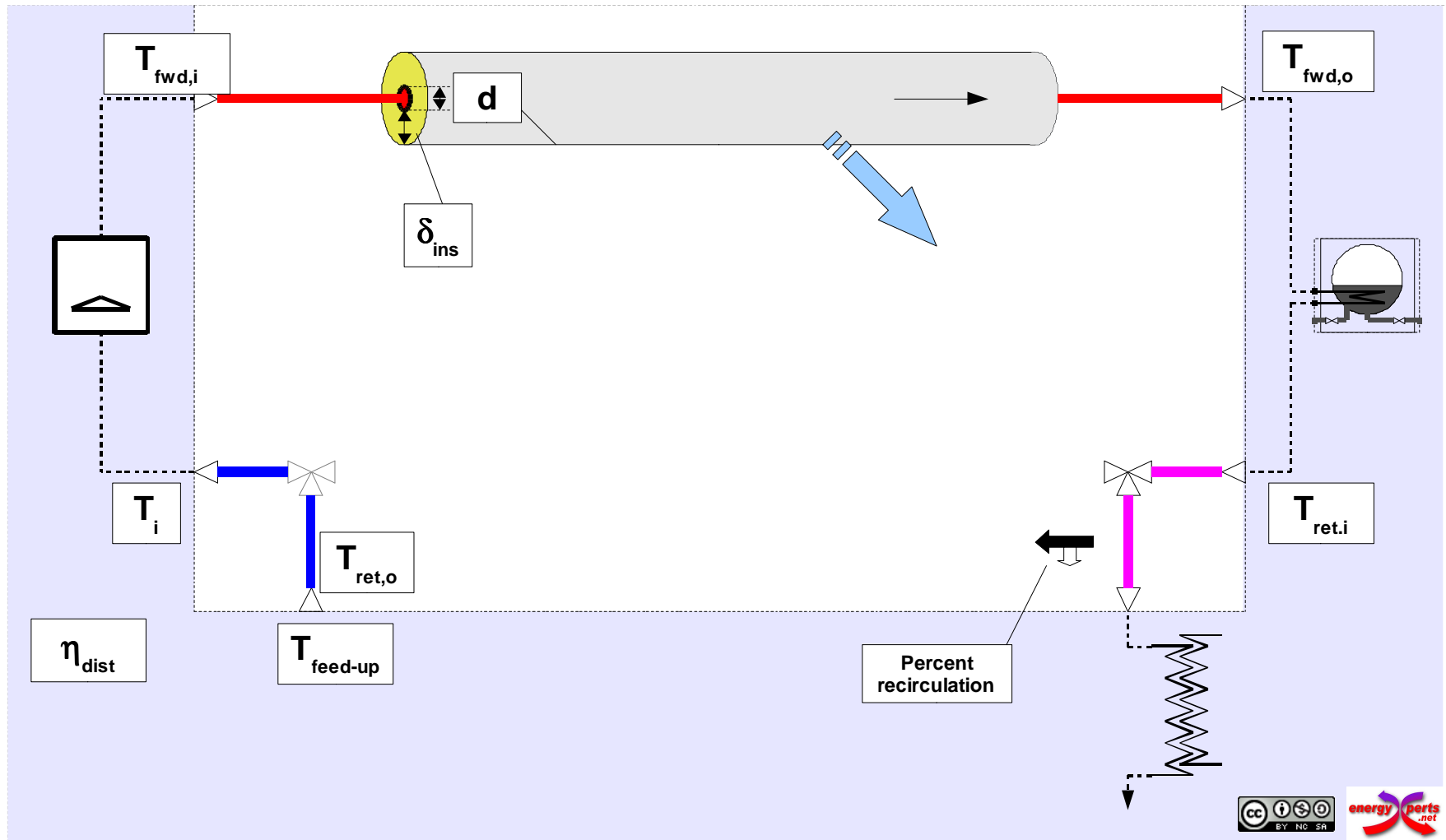
$$\eta_{dist} = UPH_{proc, m} / USH_{pipe, m}$$

Tubería cerrada



Tuberías abiertas y cerradas

Tubería abierta



Tuberías abiertas y cerradas

Ecuación general del balance energético:

$$\dot{Q}_{USH, pipe, m} = \dot{Q}_{UPH, proc, m} + \dot{Q}_{WH, pipe, m} + \dot{Q}_{losses, pipe, m}$$

GENERAL:

$$\dot{Q}_{USH, pipe, m} = q_{m, fwd} h_{fwd} - q_{m, ret} h_{ret} - q_{m, feedup} h_{feedup}$$

CERRADA:

$$\dot{Q}_{USH, pipe, m} = q_{m, fwd} h_{fwd} - q_{m, ret} h_{ret}$$

ABIERTA:

$$\dot{Q}_{USH, pipe, m} = q_{m, fwd} h_{fwd} - q_{m, feedup} h_{feedup}$$

fwd: forward (to process) = a proceso

ret: return (condensate) = retorno (condensado)

feed up: (to boiler) = temperatura de entrada en circuito abierto

Tuberías abiertas y cerradas

Caso general:

- medio de proceso: agua
- medio de distribución: vapor

Proceso

Agua caliente

$T_p = 50^\circ\text{C}$

Mantenimiento: 100 kW

10 h/día, 260 días/año

UPH=260 MWh

Generación

Caldera de vapor

Rendimiento: 80%

Potencia nominal: 500 kW

10 h, 260 días/año

Distribución

Vapor 2 bares ($T_{\text{evap}}=120,23^\circ\text{C}$, $h_{\text{vap}}=2203 \text{ kJ/kg}$, $cp_l=4,21 \text{ kJ/kgK}$, $cp_v=2,05 \text{ kJ/kgK}$)

$T_{\text{distribución}}: 125^\circ\text{C}$

$T_{\text{retorno}}: 60^\circ\text{C}$

$T_{\text{feedin}}: 10^\circ\text{C}$

Longitud: 100m

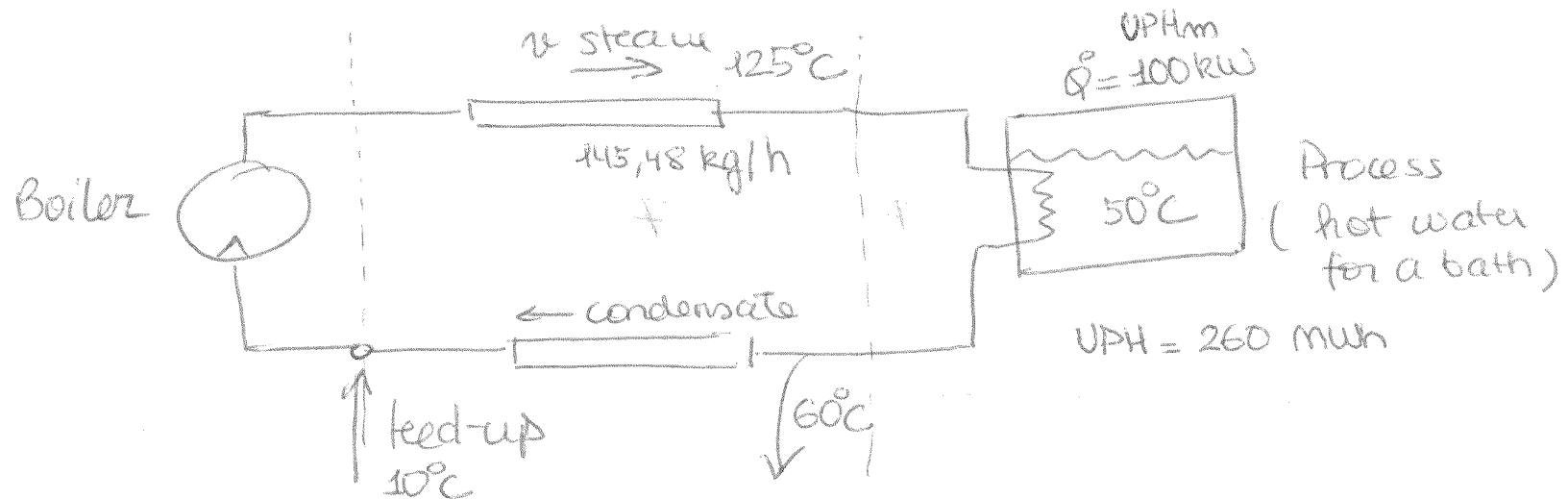
Coefficiente de pérdidas térmicas: $0 \text{ kW/K} \rightarrow Q_{\text{loss}}=0$

Con los datos anteriores: flujo resultante = 145,48 kg/h

→ Estudio de la variación de la tasa de recirculación (r)

Tuberías abiertas y cerradas

Resultados caso general:

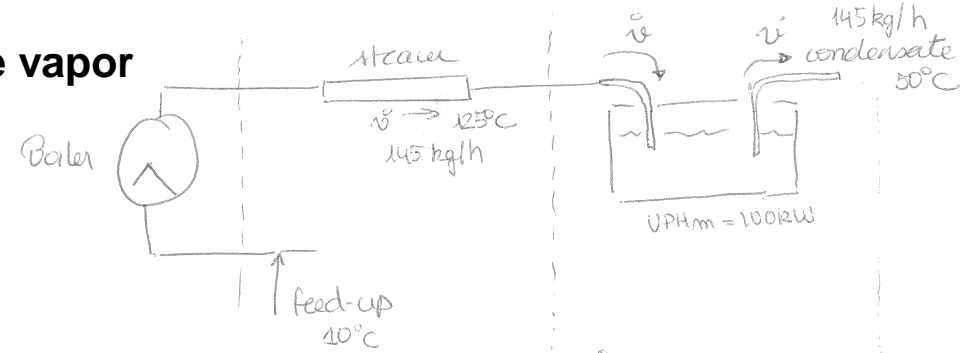


	r=1	r=0,5	r=0
UPH	260	260	260
QWH	0	11	22
USH	260	271	282
Eficiencia de la distribución	1	0,96	0,92

Tuberías abiertas y cerradas

Caso especial: inyección directa de vapor

- medio de proceso: agua
- medio de distribución: vapor



		Calor residual pertenece a la tubería	Calor residual pertenece al proceso
Proceso	Mantenimiento [kW]	100	100
	V_inflow [kg/h]	-	= V_vapor_dist = 143,22
	T_inflow [°C]	-	= T_feed_up=10
	V_outflow [kg/h]	-	= V_vapor_dist = 143,22
	T_outflow [°C]	-	50
	QWH_process [MWh]	0	17
	UPH [MWh]	260	277
Tubería	Tasa de recirculación	0-1 (en ejemplo= 0)	0
	T_return [°C]	50	=T_feed_up=10
	T_feedup [°C]	10	10
	QWHPipe [MWh]	17 (r=0)	0
	USH	277	277

QWHProc: UPH alto, si calor residual se recupera → se considera medida de eficiencia energética

QWHPipe: UPH bajo, si calor residual no se recupera → se considera ineficiencia en la distribución

Modelo de caja negra

Inyección directa de vapor:

- medio de proceso: vapor
- medio de distribución: vapor

Proceso

Vapor 2bar

$T_p = 120.23^\circ\text{C}$

Mantenimiento: 89.7 kW (cálculo manual de la evaporation)

10 h/día, 260 días/year

Flujo entrada: 145.48 kg/h vapor 2 bares

$T_{entrada} =$ (depende de la tubería)

Generación

Caldera vapor

Eficiencia: 80%

Potencia nominal: 500 kW

10 h, 260 días/año

Distribución

Vapor 2 bares ($T_{evap} = 120.23^\circ\text{C}$, $h_{vap} = 2203$ kJ/kg, $cp_l = 4.21$ kJ/kgK, $cp_v = 2.05$ kJ/kgK)

$T_{distribución} = 125^\circ\text{C}$

$T_{retorno}$: (depende del tipo de modelización)

$T_{feedin} = 10^\circ\text{C}$

Longitud: 100m

Coeficiencia de pérdidas térmicas: 0 kW/K $\rightarrow Q_{loss} = 0$

Modelo de caja negra

Tipos de modelización (según cómo se modeliza el calor residual):

Pertenece a distribución:

Proceso

Flujo entrada: 145 kg/h

$T_{\text{entrada}} = T_{\text{retorno}} = 60^{\circ}\text{C}$

Distribución

$T_{\text{retorno}} = 60^{\circ}\text{C}$

$r=0$

Pertenece al proceso:

Proceso

Flujo entrada: 145 kg/h

$T_{\text{entrada}} = T_{\text{feedup}} = 10^{\circ}\text{C}$

Flujo salida: 145 kg/h

$T_{\text{salida}} = T_{\text{retorno}} = 60^{\circ}\text{C}$

Distribución

$T_{\text{retorno}} = T_{\text{feedup}} = 10^{\circ}\text{C}$

$r=0$

Modelo de caja negra

Comparación de los resultados de la modelización de caja negra:

		Recoverable condensate (waste heat to pipe)	Lost condensate (waste heat to process)
Proceso	V_inflow [kg/h]	= V_vapor_dist = 145,48	= V_vapor_dist = 145,48
	T_inflow [°C]	= T_return=60	= T_feed_up=10
	V_outflow [kg/h]	-	= V_vapor_dist = 145,45
	T_outflow [°C]	-	60
	QWH_process [MWh]	0	22
	UPH [MWh]	260	282
Tubería	Tasa de recirculación	0-1 (en ejemplo = 0)	0
	T_return [°C]	60	=T_feed_up=10
	T_feedup [°C]	10	10
	QWHPipe [MWh]	22 (r=0)	0
	USH	282	282