

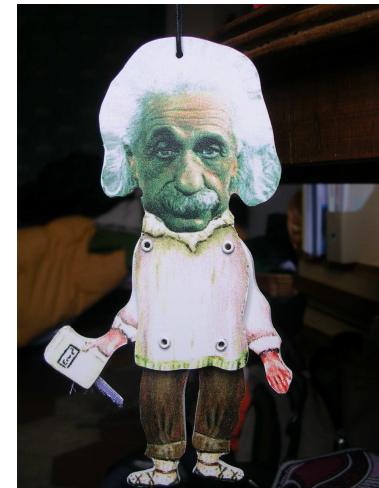
MÓDULO M 1.4

$$E = mc^2$$

**Fundamentos de energía y
conceptos teóricos EINSTEIN**

Contenidos

- 1. Conceptos generales**
- 2. Einstein: conceptos teóricos**
 - ✓ **Flujos de energía**
 - ✓ **Niveles de temperatura**
 - ✓ **Modelo de proceso**
 - ✓ **Perfil de demanda**



Consumo energía

El consumo de energía se puede expresar como:

- 1) **Energía Final** = cantidad de energía almacenada en diferentes fuentes de energía que entran en la industria.
 - Convención EINSTEIN: contenido de energía de combustibles en términos de p.c.i. (LCV)
- 2) **Energía primaria** = cantidad total de energía necesaria para generar el suministro de energía requerido.
 - Teniendo en cuenta las pérdidas en todos los diferentes pasos del transformación y transporte

Tipos de usos de energía

1) Usos térmicos:

- ✓ Calentamiento y enfriamiento de procesos
- ✓ Calentamiento y enfriamiento de espacios (naves de producción, oficinas...)
- ✓ Agua caliente sanitaria

2) Usos no-térmicos:

- ✓ *Consumo eléctrico (y otros)* para iluminación, maquinaria y otros equipos eléctricos
 - excluyendo aire-acondicionado, refrigeración y calderas

Usos finales no considerados en EINSTEIN:

- ✓ Usos no-energéticos de combustibles
- ✓ Consumo energético de transporte
- ✓ Energía contenida en materias primas (pero potenciales flujos residuales)

Tipos de usos de energía

EINSTEIN
thermal energy
industry audit

Contribución de los usos de la energía térmica a la demanda final total de energía en Europa:

- ✓ Energía térmica en la industria: 28 %
- ✓ Calefacción y refrigeración de locales en los edificios: 27 %

Consumo de energía para usos térmicos en la industria europea :

- ✓ Cerca del 70 % del total de energía consumida
- ✓ Más del 50 % en términos de energía primaria

Energías renovables

Fuentes de energías renovable para suministro de calefacción y refrigeración:

- ✓ Energía Solar Térmica (incluye solar termo-eléctrica en cogeneración)
- ✓ Biomasa y biogas
- ✓ Geotérmica...

Impacto ambiental

Principales indicadores para la evaluación del impacto ambiental en EINSTEIN:

- ✓ **Consumo de energía primaria**
(= principal indicador)
- ✓ Generación de **CO₂**
- ✓ Generación de **residuos nucleares altamente radioactivos** (asociados con consumo eléctrico)
- ✓ Consumo de **agua**

Estrategias orientadas hacia el suministro y la demanda

Para ahorrar energía:

- ✓ Evaluar primero el potencial de **reducción de la demanda**
- ✓ Sólo después, cubrir la **demanda restante de calor y frío** con un sistema de suministro optimizado a nivel ambiental y energético.

EJEMPLO

- ✓ Proceso: Calentar agua hasta 90 °C
- ✓ Procesos de limpieza alternativos :
 - Limpieza a más baja temperatura con detergentes y presión
 - Evitar la necesidad de limpieza colocando el proceso que genera el polvo en lugar cerrado
 - etc.

Flujos de energía

Definiciones 1

✓ **Consumo de Energía Final (FEC)**

Energía que entra en la planta como combustible (expresado en p.c.i.), electricidad y calefacción/refrigeración central

✓ **Consumo de Energía Final para usos Térmicos (FET)**

Energía final consumida para usos de calentamiento o enfriamiento incluso la electricidad usada para el aire acondicionado y calefacción eléctrica.

✓ **Consumo de Energía Final para Otros usos (no-térmicos) (FEO)**

Energía final consumida para usos no térmicos

$$E_{FEC} = E_{FET} + E_{FEO}$$

Flujos de energía

Definiciones 2

✓ Consumo de Energía Final (**FEC, FET**)

$$E_{FEC} = E_{FEC,el} + \sum_{i=1}^{N_{fuels}} E_{FEC, fuel(i)} + E_{FEC, heat}$$

$$E_{FEC} = E_{FET} + E_{FEO}$$

$$E_{FET} = \sum_{j=1}^{N_{eq}} E_{FET, j}$$

Leyenda:

$i = 1, \dots, N_{fuels}$

N_{fuel} = numero de combustibles usados en la industria

$j = 1, \dots, N_{eq}$

N_{eq} = numero de unidades de equipos térmicos

Flujos de energía

Definiciones 3

✓ Consumo de Energía Final (**FEC, FET**)

CHP consumo de energía =
Consumo de combustible - electricidad autogenerada

$$E_{FET, j} = E_{FET, fuel(j)} - E_{FET, elgen, j}$$

Flujos de energía

Definiciones 4

- ✓ Consumo de Energía Primaria (PEC)
- ✓ Energía Primaria para usos Térmicos (PET)
- ✓ Energía Primaria para Otros usos (no-térmicos) (PEO)



se obtiene a través de **FEC, FET, FEO** aplicando diferentes factores de conversión.

$$E_{PEC} = f_{PE,el} E_{FEC,el} + \sum_{i=1}^{N_{fuels}} f_{PE,i} E_{FEC,fuel(i)} + f_{PE,heat} E_{FEC,heat}$$

Leyenda:

$i = 1, \dots, N_{fuels}$

N_{fuel} = número de combustibles usados en la industria

$f_{PE,el}$ = factor de conversión de energía primaria para electricidad.

$f_{PE,i}$ = factor de conversión para combustibles

Flujos de energía

Definiciones 5

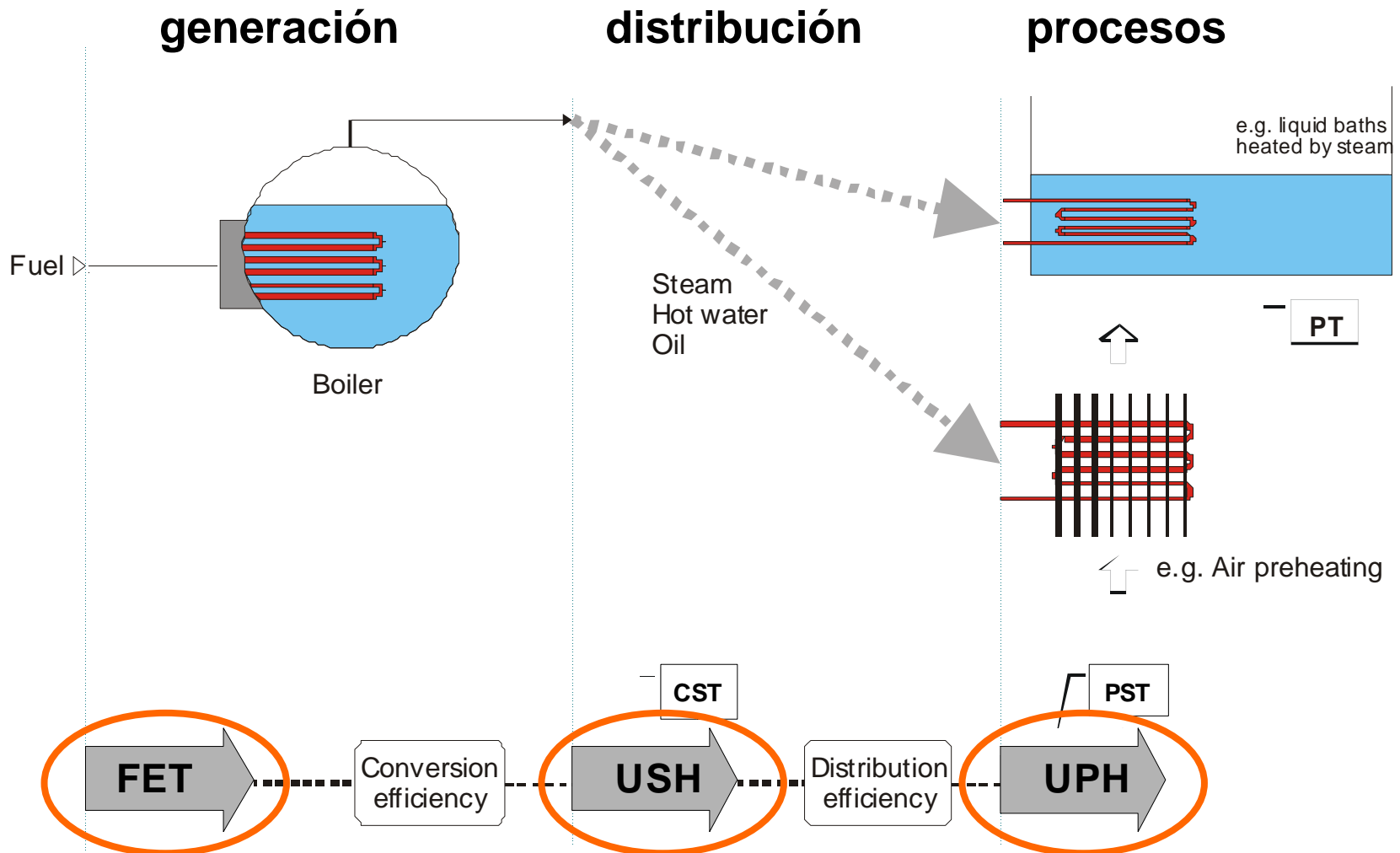
✓ **Useful Supply Heat (USH) – Calor Útil de Suministro**

Calefacción (refrigeración) generada por el sistema de suministro de calefacción (refrigeración) (calderas, quemadores, enfriadores, etc) y entregada a diferentes procesos de consumo de calor en forma de vapor, aire caliente, agua caliente, agua refrigerada etc.

✓ **Useful Process Heat (UPH) – Calor Útil de Proceso**

Calor introducido en un proceso (medido a la entrada del proceso intercambiador de calor)

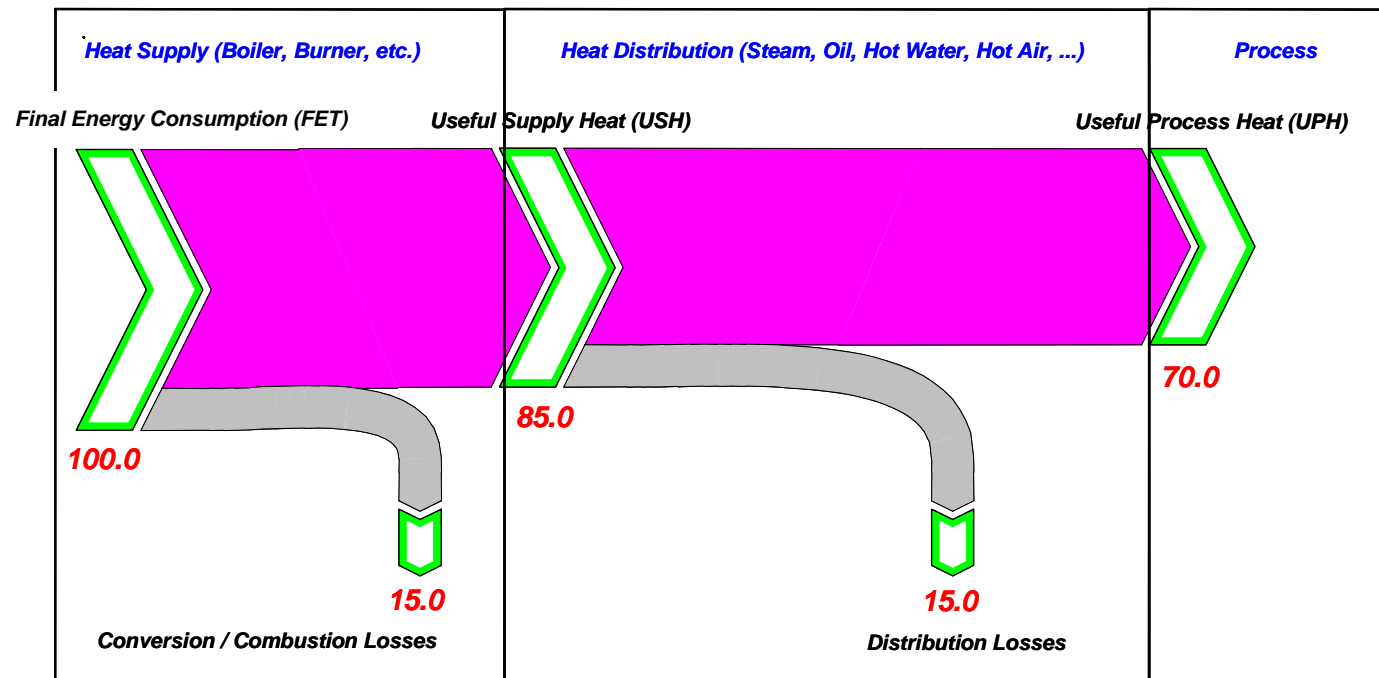
Flujos de energía



Flujos de energía

Definiciones 6

- ✓ USH_j / FET_j = eficiencia de conversión del equipo “j”
- ✓ UPH_m / USH_m = eficiencia de distribución del tubo “m”



Flujos de energía

Definiciones 7

✓ **Available Waste Heat – Calor residual disponible (QWH)**

Un flujo de energía que no es la principal salida del subsistema :

- Gas de escape de una caldera
- Condensación de una cañería de vapor.
- Agua residual caliente de un proceso de lavado
- Aire de escape frío de una cámara de refrigeración

Ejemplo aplicable de calor residual de procesos

$$Q_{QWH, Proc} = q_{m,o} (h_{po} - h_{min}) t_{op}$$

$$Q_{QWH, Proc} = m c_p (T_p - T_{min}) N$$

Leyenda:

q_m = flujo masa

m = masa en el recipiente

N_s = numero de puestas en marcha

T_{OpProc} = duración del proceso

Flujos de energía *Definitions 8*

✓ **Recovered Waste Heat – Calor residual recuperado (QHX)**

Un flujo de energía que no es la principal entrada de un sistema:

- Precalentamiento de aire de combustión y/o suministro de agua para caldera
- Precalentamiento de agua para la entrada de un proceso de lavado
- Precalentamiento del retorno de un circuito de distribución de agua caliente.

✓ **Es posible el intercambio directo entre demandas de calefacción y refrigeración (QDH/QDC)**

- Demandas de refrigeración a alta temperatura como fuente de recuperación de calor
- Demandas de calefacción a baja temperatura como fuente de recuperación de frío

=> **Doble ahorro de suministro externo de calefacción y refrigeración**

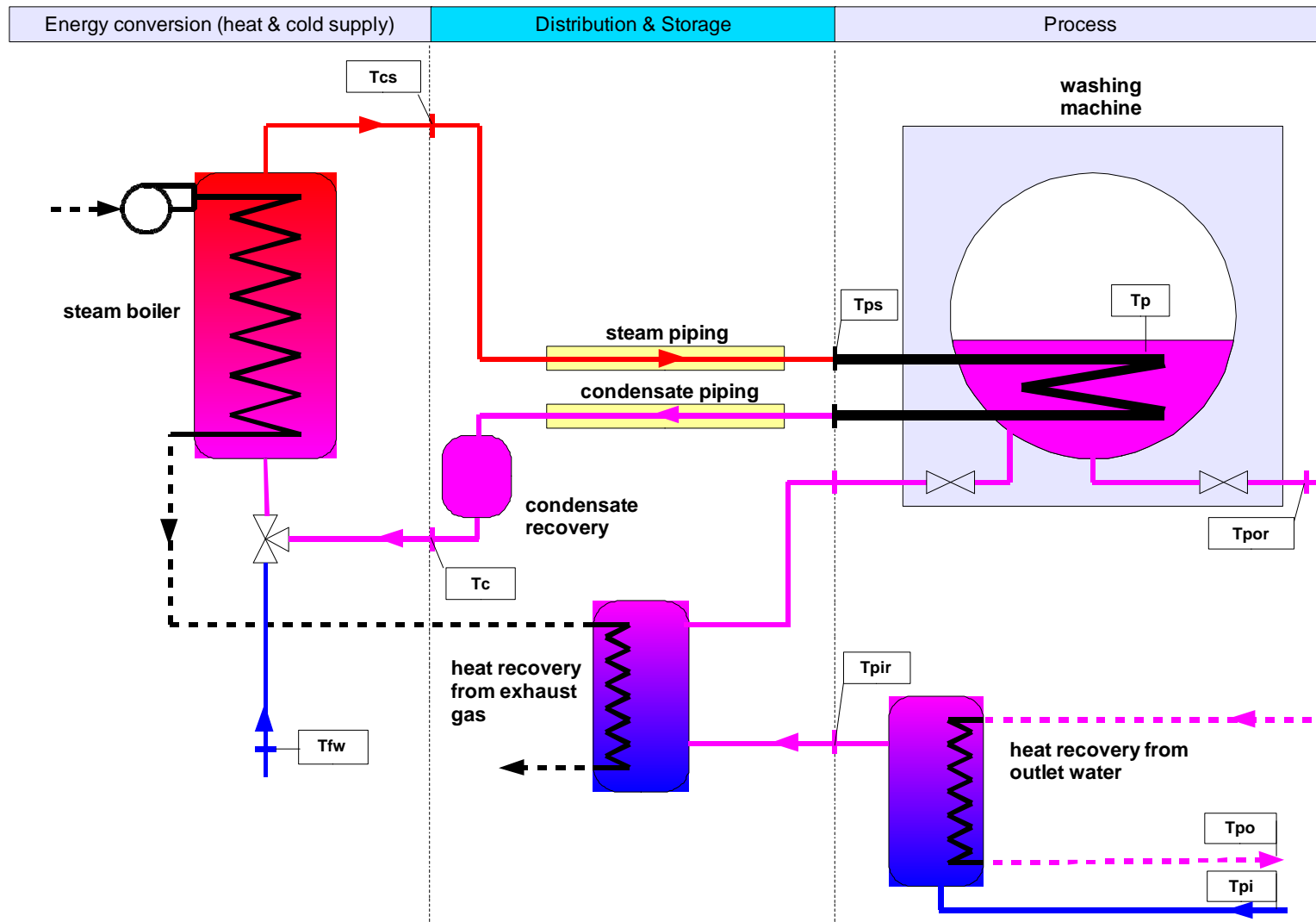
$$\sum_{h=1}^{N_{HX}} Q_{hx,h} \leq \sum_{source} Q_{QWH,source} + \sum Q_{D,cooling}$$

Leyenda:

N_{HX} = número de intercambiadores de calor

Flujos de energía

EINSTEIN
thermal energy
industry audit



Proceso industrial de lavado con diferentes tipos de recuperación de calor según modelo Einstein

Flujos de energía

Definiciones 9

✓ **Calor Útil de Suministro – (USH)**

$$\dot{Q}_{USH, j} = \dot{Q}_{USH, Eq, j} + \dot{Q}_{QHX, j}$$

$\dot{Q}_{USH, Eq, j}$ = calor generado en el equipo “j”

$\dot{Q}_{QHX, j}$ = calor residual recuperado usado en el equipo “j”

Leyenda:

$j = 1, \dots, N_{eq}$

N_{eq} = numero de unidades de equipo
térmico

Flujos de energía

Definiciones 10

✓ **Calor Útil Suministrado (USH) al tubo de distribución**

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

Para circuitos abiertos:

$$\dot{Q}_{USH, pipe, m} = q_{m, o} h_o - q_{m, ret} h_{ret} - q_{m, i} h_i$$

$\dot{Q}_{USH, pipe, m}$ = calor de entrada de los diferentes tubos de distribución

Leyenda:

$m = 1, \dots, N_{pipe}$

N_{pipe} = numero de circuitos de distribución

q_m = flujo de masa

salida (o), retorno (ret) and entrada (i)

Flujos de energía

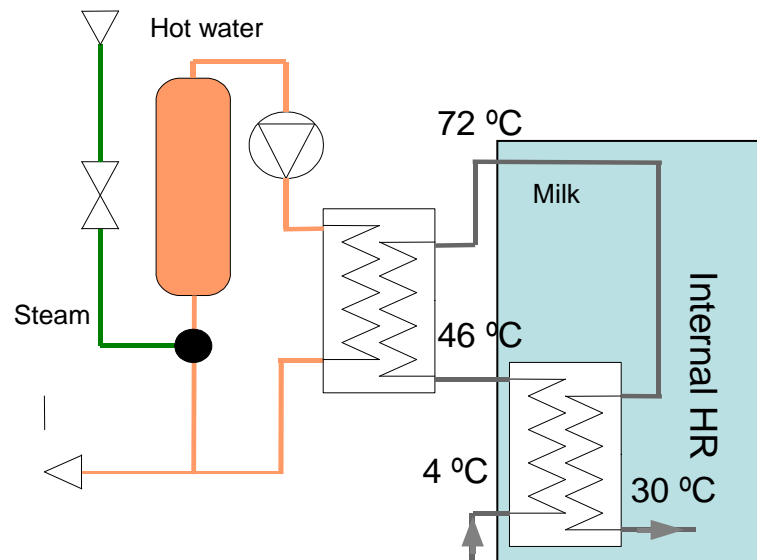
✓ Calor Útil de Proceso (UPH):

Definiciones 11

neto y bruto

$$Q_{UPH, gross} = Q_{UPH} + Q_{HX, internal, Proc}$$

$Q_{HX, internal, Proc}$ = recuperación de calor interno



Ejemplo: Proceso de pasteurización con recuperación de calor

Flujos de energía

Definiciones 12

✓ **Calor Útil de Proceso (neto) (UPH)**

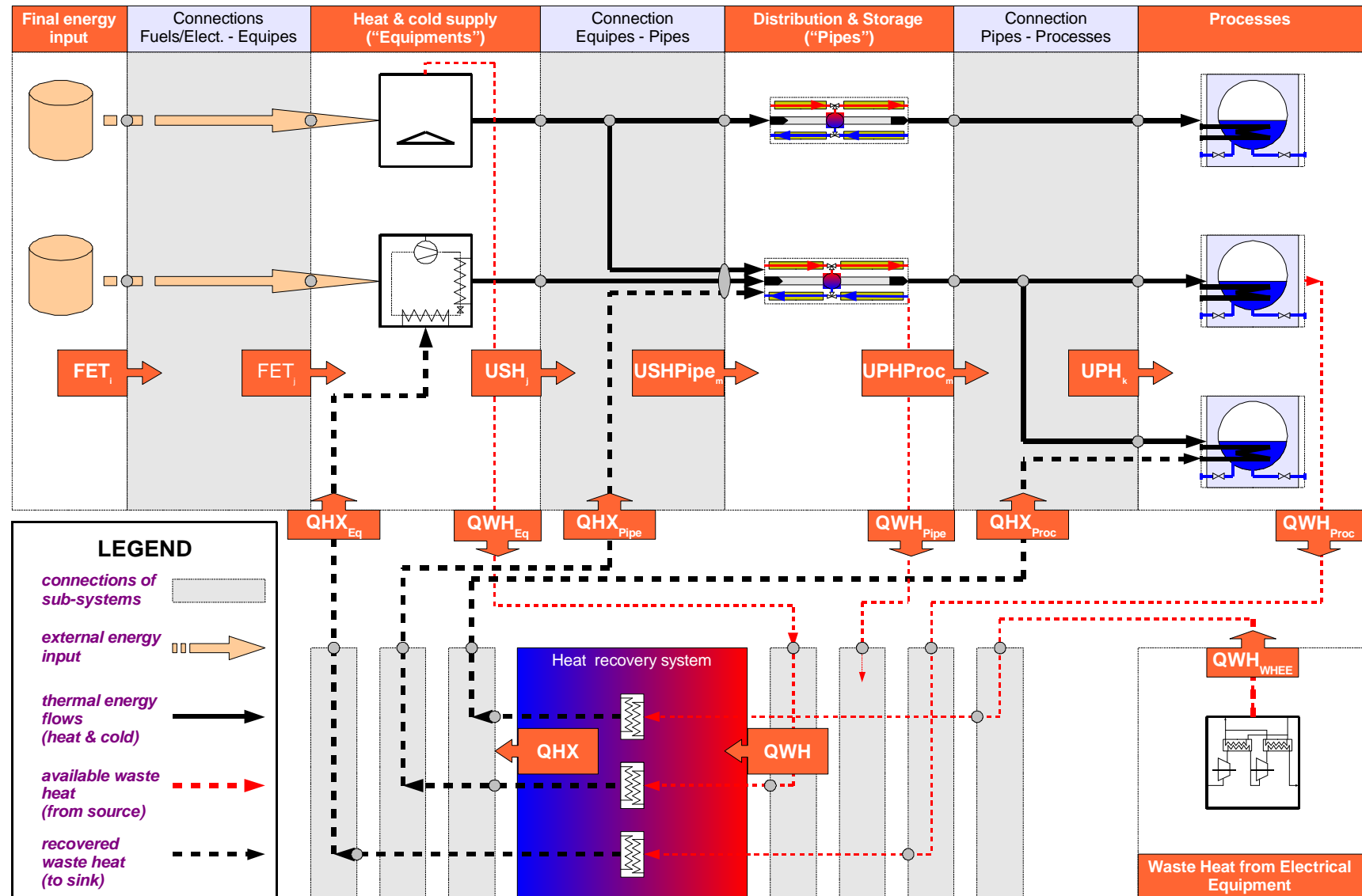
$$Q_{UPH} = Q_{UPH, Proc} + Q_{HX, Proc}$$

$Q_{UPH, Proc}$ = calor externo cedido al proceso
por el sistema de suministro de calor

$Q_{HX, Proc}$ = calor externo cedido al proceso
por la recuperación de calor externa

Flujos de energía

EINSTEIN thermal energy
industry audit



Niveles de temperatura en el suministro de calor

- Recuperación e integración de calor
- Aplicación de tecnologías más eficientes a más baja temperatura
- Eficiencia de conversión más alta y pérdidas de calor más bajas

depende de...

- ✓ **CALIDAD** de la energía
- ➔ **TEMPERATURA** de la energía requerida

Niveles de temperatura en el suministro de calor y frío

Clasificación de las tecnologías de suministro por nivel de temperatura

Temperatura intervalo (° C)	Nivel de temperatura del calor	Tecnología aplicable para suministro de calor
< 60	Bajo	<ul style="list-style-type: none">• Bombas de calor de baja temperatura• Solar térmica baja temperatura
< 90	Medio-bajo	<ul style="list-style-type: none">• Calor residual de CHP (agua refrigeración)• Solar térmica: límite para placas planas• Bombas de calor de alta temperatura
< 150	Medio	<ul style="list-style-type: none">• Vapor de baja presión
< 250	Medio-Alto	<ul style="list-style-type: none">• Límite para solar térmica de temp media.
< 400	Alto	<ul style="list-style-type: none">• Límite para calor residual de turbinas de gas, biomasa, etc.

Niveles de temperatura en el suministro de calor y frío

Definiciones 13

✓ **Temperatura de Proceso (PT)**

Temperatura del fluido de trabajo en el proceso

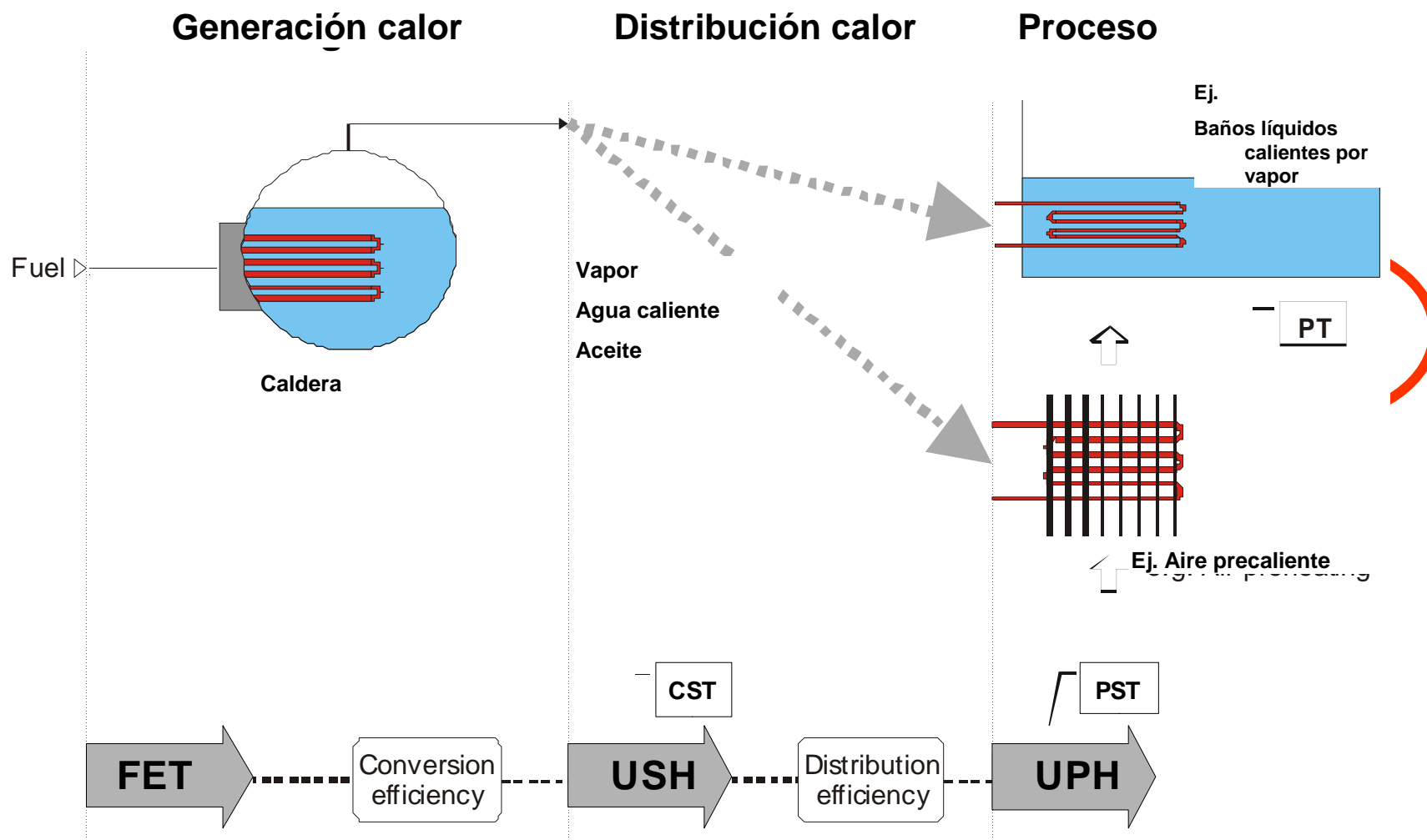
✓ **Temperatura de Suministro al Proceso (PST)**

Temperatura de entrada del medio calorportador usado para el suministro de calor/frío al proceso

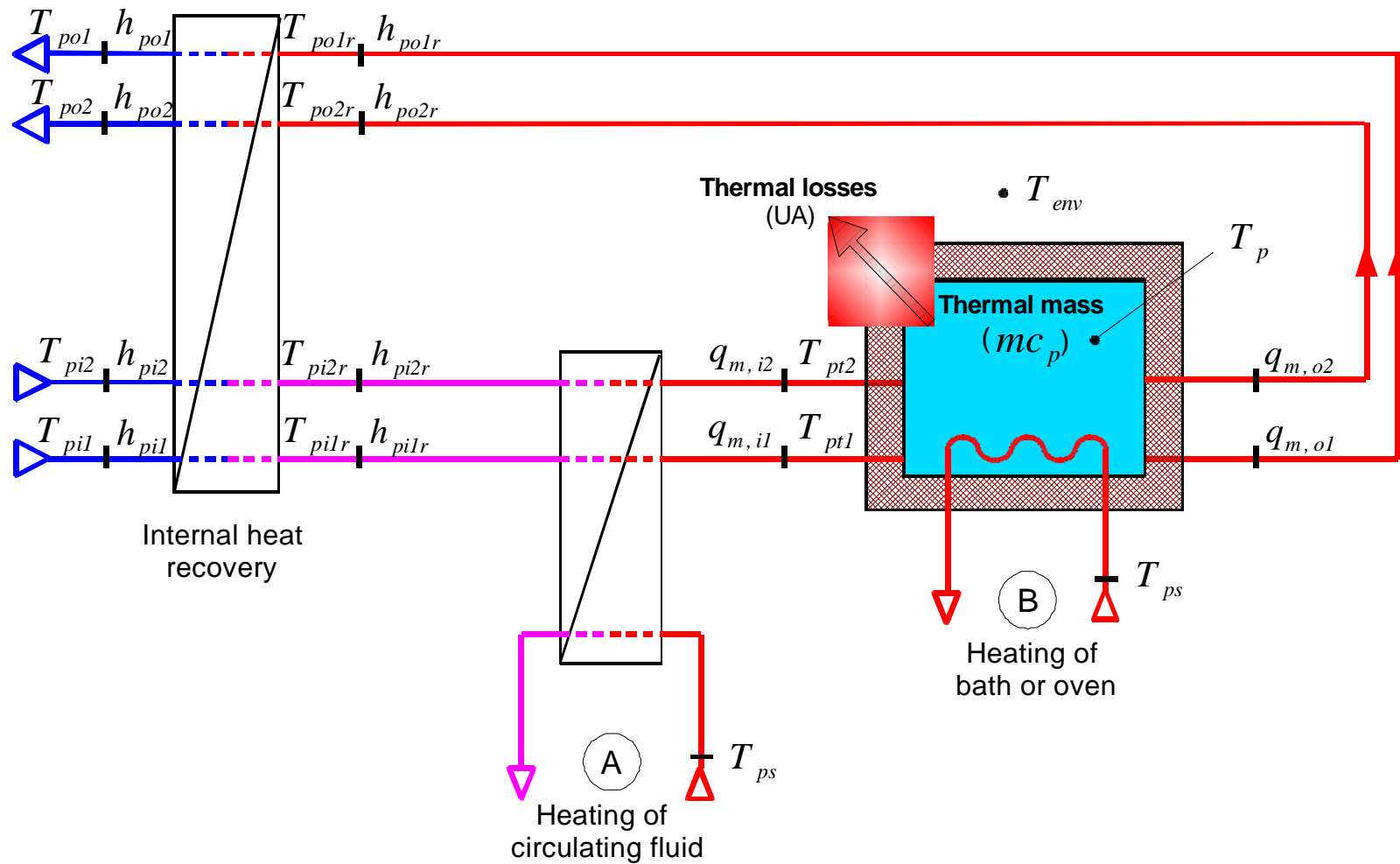
✓ **Temperatura Central de Suministro (CST)**

Temperatura del medio calorportador a la salida del suministro central de calor o frío (caldera o sala de máquinas)

Niveles de temperatura en el suministro de calor



Modelo del proceso



Modelo del proceso

Componentes de la demanda total de calor para el proceso :

1. Calor de circulación (Q_{UPHc})
2. Calor inicial de puesta en marcha (start-up) (Q_{UPHs})
3. Calor de mantenimiento (Q_{UPHm})

$$Q_{UPH} = Q_{UPHc} + Q_{UPHs} + Q_{UPHm}$$

Modelo del proceso

Definiciones 14

1. Calor de circulación (Q_{UPHc})

$$Q_{UPH,c}^{gross} = Q_{UPH,c} + Q_{HX,internal} = m_c c_p (T_p - T_{pi})$$

$$Q_{UPH,c} = m_c c_p (T_p - T_{pir})$$

Modelo del proceso

Definiciones 15

2. Calor inicial de puesta en marcha (Q_{UPHs})

$$Q_{UPH,s} = N_s (m c_p)_e (T_p - T_s)$$

$(mc_p)_e$ = Masa térmica equivalente
(inercia térmica del medio + equipo)

3. Calor de mantenimiento (Q_{UPHm})

$$Q_{UPH,m} = [(UA)(T_p - T_{env}) + \dot{Q}_L] t_{op}$$

UA = Coeficiente de pérdidas térmicas

\dot{Q}_L = Potencia requerida para cambio de fase
(calor latente) o reacciones químicas

Modelo del proceso

Ejemplo 1: coagulación de leche

Descripción del proceso:

- ✓ La leche viene de un proceso anterior con temperatura 32 °C y tiene que ser calentada hasta 40 °C.
- ✓ Durante 4h la leche se mantiene a 40 °C
- ✓ Al final del proceso, los productos se extraen del recipiente a aprox. 40 °C

Representación en el modelo de proceso EINSTEIN :

- ✓ Calor de circulación -> precalentamiento de la leche de entrada desde 32 a 40 °C
- ✓ Calor inicial -> no hay, ya que el recipiente está vacío al principio del proceso
- ✓ Calor de mantenimiento : -> demanda de calor para mantener el recipiente a 40 °C
- ✓ Calor residual: -> calor contenido en los productos

Modelo del proceso

Ejemplo 1: coagulación de leche

Processes description			
Process short name	Milk coagulation		
Description			
Process type	batch	▼	
Unit operation type	Cooking and boiling	▼	
Product or process medium	Milk	▼	
Typical (final) temperature of the process medium during operation	40.0	°C	▼
Inlet temperature of the process medium (before heat recovery)	32.0	°C	▼
Start-up temperature of process medium (after breaks)		°C	▼
Daily inflow of process medium	100.0	m3	▼
Volume of the process medium within the equipment or storage	0.0	m3	▼
Power requirement of the process in operation	5.0	kW	▼
Schedule			
Hours of process operation per day	12.0	h	▼
Number of batches per day	3.0		
Duration of 1 batch	4.0	h	▼
Days of process operation per year	260.0		

Modelo del proceso

Ejemplo 2: Lavado de botellas.

Descripción del proceso:

- ✓ Las lavadoras de botellas utilizan un circuito cerrado de agua /baño de agua a temperatura entre 75 – 85 °C

Representación en el modelo de proceso EINSTEIN:

- ✓ Calor de circulación: -> precalentamiento de las botellas de entrada a la T de baño; precalentamiento de pequeña fracción de agua corriente (=> primero estimar rápidamente: ambos ignorados...)
- ✓ Calor inicial: -> Calentamiento del agua del baño después de la noche o de paros de fin de semana
- ✓ Calor mantenimiento: -> demanda de calor requerida para mantener el proceso de lavado a T alrededor de 80 °C
- ✓ Calor residual : -> calor contenido en las botellas calientes

Modelo del proceso

Ejemplo 2: lavado de botellas

Processes description			
Process short name	Bottle washer		
Description			
Process type	continuous	▼	
Unit operation type	Cleaning of bottles and cases	▼	
Product or process medium	Water	▼	
Typical (final) temperature of the process medium during operation	85.0	°C	▼
Inlet temperature of the process medium (before heat recovery)		°C	▼
Start-up temperature of process medium (after breaks)	55.0	°C	▼
Daily inflow of process medium	0.0	m3	▼
Volume of the process medium within the equipment or storage	20.0	m3	▼
Power requirement of the process in operation	10.0	kW	▼

Schedule			
Hours of process operation per day	14.0	h	▼
Number of batches per day	1.0		
Duration of 1 batch	14.0	h	▼
Days of process operation per year	260.0		

Modelo del proceso

Ejemplo 3: secado de malta

Descripción del proceso:

- ✓ La malta se seca con un flujo de aire caliente a 60 °C aprox.

Representación en el modelo de proceso EINSTEIN:

- ✓ Calor de circulación : -> precalentamiento del flujo de aire externo de 15°C a 60 °C
- ✓ Calor inicial: -> No hay entrada de calor externa adicional.
- ✓ Calor de mantenimiento: -> no hay entrada de calor adicional, T se mantiene por el flujo de calor caliente.
- ✓ Calor residual: -> calor contenido en el aire húmedo.

Modelo del proceso

Ejemplo 3: secado de malta

Processes description			
Process short name	Malt drying		
Description			
Process type	continuous	▼	
Unit operation type	Drying	▼	
Product or process medium	Air	▼	
Typical (final) temperature of the process medium during operation	60.0	°C	▼
Inlet temperature of the process medium (before heat recovery)	15.0	°C	▼
Start-up temperature of process medium (after breaks)		°C	▼
Daily inflow of process medium	10 000.0	m ³	▼
Volume of the process medium within the equipment or storage	0.0	m ³	▼
Power requirement of the process in operation	0.0	kW	▼
Schedule			
Hours of process operation per day	24.0	h	▼
Number of batches per day	1.0		
Duration of 1 batch	24.0	h	▼
Days of process operation per year	350.0		

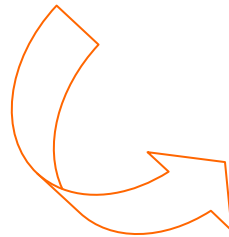
Suposiciones en el modelo

- ✓ Niveles de temperatura constante
- Entrada, proceso (conjunto) y temperatura calor residual
- ✓ Dependencia del tiempo:
 - Mismo programa para todos los flujos
 - Mismo programa para todo los flujos de salida (corrientes residuales)
 - Todos los componentes de demanda de calor del proceso varían proporcionalmente

Perfil de demanda

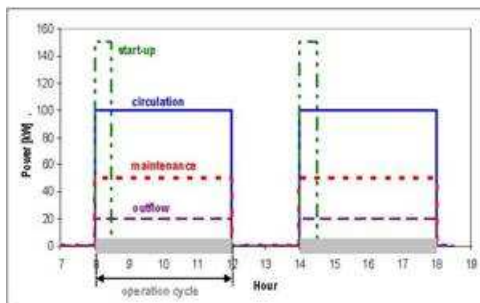
Los procesos pueden ser:

- ✓ **Continuos**
- ✓ **Por lotes**



Dependencia del tiempo de la demanda de calor y del calor residual disponible :

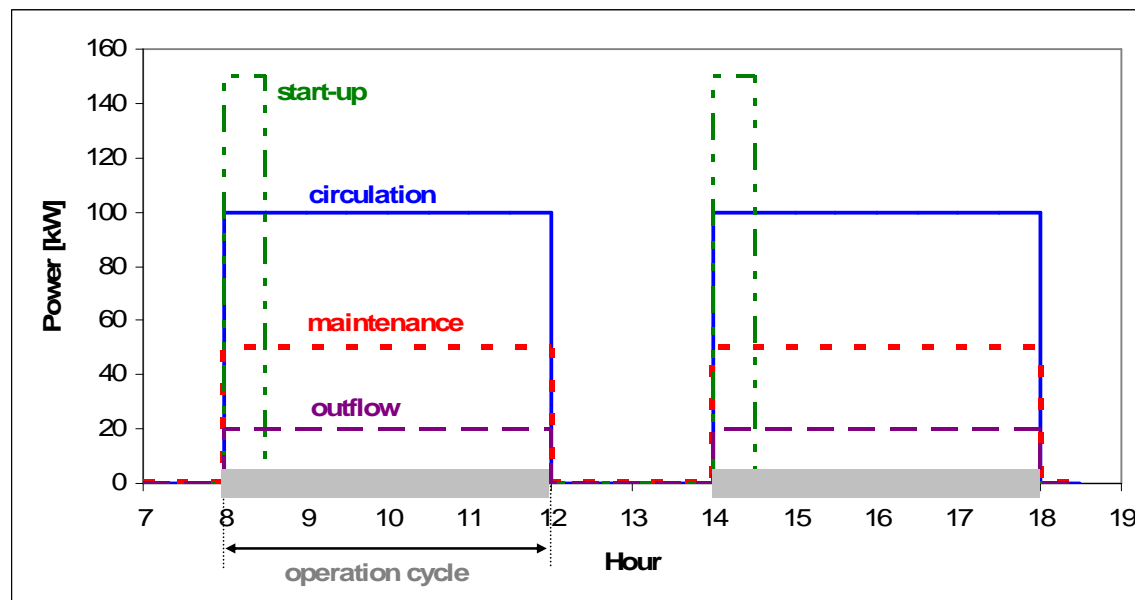
- ✓ Programa para flujos entrantes
- ✓ Programa para calor inicial (start-up)
- ✓ Programa para operación del proceso
- ✓ Programa para flujos de salientes



Perfil de demanda

Programa de operación por defecto: **proceso continuo**

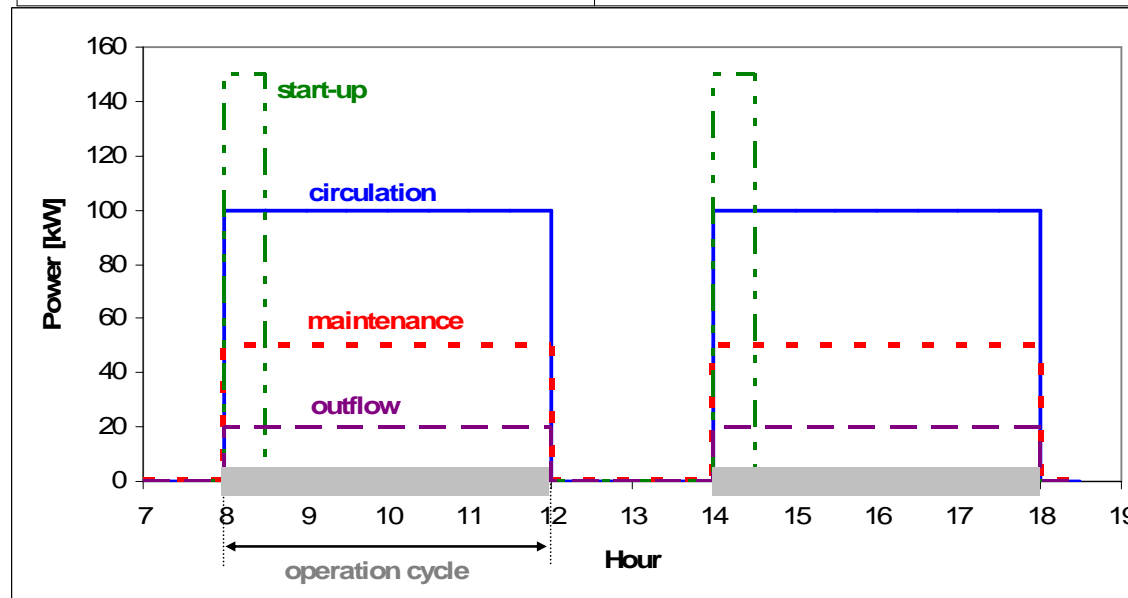
	Proceso continuo
Circulación (entrada)	Continuo durante t_{op}
Puesta en marcha (start-up)	Los primeros 20 % del total <u>entre</u> t_{op}
Mantenimiento	Continuo durante t_{op}
Evacuación del fluido residual (Salida)	Continuo durante t_{op}



Perfil de demanda

Programa de operación por defecto : **proceso por lotes**

	Proceso por lotes
Puesta en marcha (start-up)	Los primeros 20 % del total <u>entre</u> t_{op}
Mantenimiento	Los primeros 20 % del total <u>entre</u> t_{op}
Evacuación del fluido residual (Salida)	Continuo durante t_{op}
Circulación (entrada)	Los primeros 20 % del total <u>después</u> t_{op}



Buildings in EINSTEIN

Demandas energéticas de edificios: representación en EINSTEIN como procesos

EINSTEIN
thermal energy
industry audit

Componente demanda del proceso	space heating	space cooling	sanitary hot water
Circulación (Flujo entrada)	Calentamiento de aire de renovación	Enfriamiento de aire de renovación Dehumidificación del aire de renovación	Calentamiento de agua fria
Calentamiento / enfriamiento inicial	Calentamiento / enfriamiento inicial al inicio de periodos de uso -		-
Mantenimiento	Demanda energética para calefacción / aire acondicionado (sin calentamiento / enfriamiento aire de renovación)		-
Flujo de salida	expulsión de aire (util para recuperación de calor solo en sistemas de ventilación controlada)		Agua residual
Temperatura del proceso	Temperatura interior deseada		Temperatura agua caliente (puntos de consumo)
Temperatura de suministro al proceso	Temperatura de entrada del medio de transporte en el sistema de calefacción / aire acondicionado (p.ej. Agua, aire caliente o frio)		Temperatura de agua caliente (distribución)