

**ECUACIONES PARA EL DISEÑO DEL PROCESO DE EVAPORACIÓN
INSTANTÁNEA MULTITAPA (M.S.F.)**

Ecoagua Ingenieros Avda. Manoteras, 38, C-314 28050-Madrid (Spain) Tel.: +(34) 913 923 562	HER-001	Edition: 01
		Date: 21/04/09
		Page: 1 de 8

Ecuaciones para el Diseño del Proceso de Evaporación Instantánea Multietapa (M.S.F.)
1. ECUACIONES PARA EL DISEÑO DE M.S.F

En la Figura 1 está representado el esquema del Proceso de Evaporación Instantánea Multietapa (MSF).



Figura 1. Esquema general del proceso de MSF

1.1. NOMENCLATURA

La nomenclatura del proceso es la siguiente:

Q: calor al recalentador

AM: caudal de agua de mar

T_{am}: temperatura del agua de mar de entrada

C_{am}: concentración de sales del agua de mar

PR: caudal de agua producto

T_{pr}: temperatura de salida del agua producto

C_p: concentración de sales del agua producto

PU: caudal de purga de salmuera

T_{pu}: temperatura de purga de salmuera

C_{pu}: concentración de sales de la purga de salmuera

RZ: rechazo de agua de mar

Ecuaciones para el Diseño del Proceso de Evaporación Instantánea Multietapa (M.S.F.)

Trz: temperatura de salida del rechazo de agua de mar

Crz: concentración de sales del rechazo de agua de mar: $Crz = Cam$

AP: caudal de agua de mar aportado al ciclo

S: caudal de salmuera recirculado

R: reciclado, suma del aporte de agua de mar más el caudal de salmuera recirculado

Cr: concentración del reciclado

Ter: temperatura de entrada del reciclado a la sección de recuperación

Tsr: temperatura de salida del reciclado de la sección de recuperación

Tmax: temperatura máxima del ciclo

Nr: número de etapas de recuperación

Nz: numero de etapas de rechazo

Hv: entalpía del vapor

H_L: entalpía del agua pura

HI: calor latente de evaporación

P_{REC}: caudal de producto en la sección de recuperación

P_{REZ}: caudal de producto en la sección de rechazo

FC: factor de concentración

ER: relación de economías

TNE: temperatura de no equilibrio

EPE: elevación del punto de ebullición sobre el agua pura

Ecuaciones para el Diseño del Proceso de Evaporación Instantánea Multietapa (M.S.F.)
1.2. ECUACIONES
Balance de masas:

Hipótesis: la concentración de sales en el agua producto es igual a cero. $C_p=0$.

Si se realiza un balance de masas según la Figura 1:

$$AM = PR + PU + RZ \quad [1]$$

El caudal de aportación es igual:

$$AP = PR + PU \quad [2]$$

El caudal de rechazo con [1] y [2]:

$$RZ = AM - AP \quad [3]$$

El caudal de reciclado es igual:

$$R = AP + S \quad [4]$$

Balance de sales:

Si se realiza un balance de sales según la Figura 1:

$$AM \times Cam = RZ \times Cam + PR \times 0 + PU \times Cpu \quad [5]$$

Con [3] y [5]:

$$AP \times Cam = PU \times Cpu \quad [6]$$

Despejando AP de [6]:

$$AP = \frac{PU \times Cpu}{Cam} \quad [7]$$

Con [2] y [7]:

$$AP = \frac{Cpu}{(Cpu - Cam)} \times PR \quad [8]$$

Ecuaciones para el Diseño del Proceso de Evaporación Instantánea Multietapa (M.S.F.)

Con [2] y [8]:

$$PU = \frac{Cam}{Cpu - Cam} \times PR \quad [9]$$

Si utilizamos el concepto de **factor de concentración** como la relación entre la concentración del Reciclado partido por la concentración del agua de mar:

$$FC = \frac{Cr}{Cam} \quad [10]$$

Realizando un balance de sales con [4]:

$$R \times Cr = AP \times Cam + S \times Cpu \quad [11]$$

Con [2] y [4]:

$$S = R - PR - PU \quad [12]$$

Con [11] y [12]:

$$Cr \times R = AP \times Cam + (R - PR - PU) \times Cpu \quad [13]$$

Con [8], [9] y [13]:

$$R \times Cr = (R - PR) \times Cpu \quad [14]$$

Con [10] y [14]:

$$Cpu = \frac{FC}{1 - \frac{PR}{R}} \times Cam \quad [15]$$

Con [8] y [15]:

$$AP = \frac{FC}{FC - 1 + \frac{PR}{R}} \times PR \quad [16]$$

Con [9] y [15]:

Ecuaciones para el Diseño del Proceso de Evaporación Instantánea Multietapa (M.S.F.)

$$PU = \frac{1 - \frac{PR}{R}}{FC - 1 + \frac{PR}{R}} \times PR \quad [17]$$

Cálculo del caudal de Reciclado:

Fijándonos en la Figura 2 realizamos un balance de energía:

$$R \times H_L[T_{max}] - (R - PR) \times H_L[T_{pu}] = PR \times H_V[(T_{max} + T_{pu})/2] \quad [18]$$

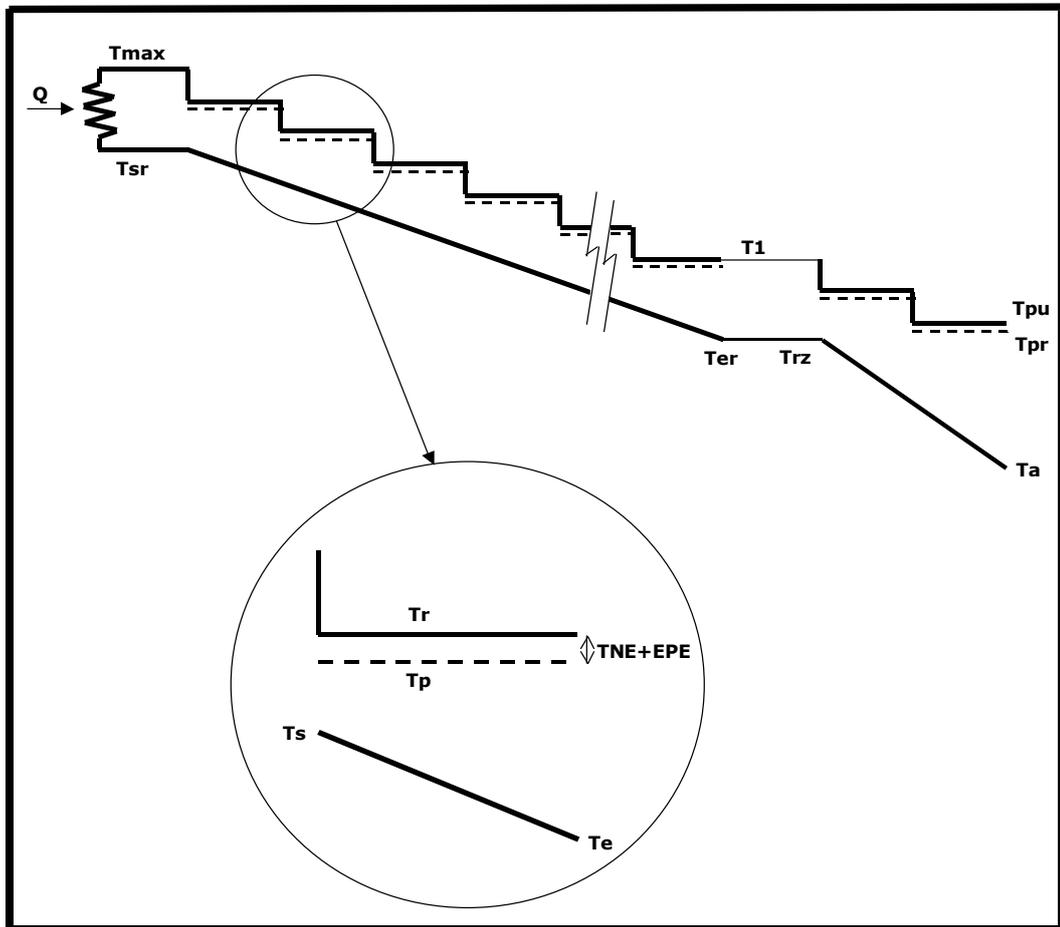


Figura 2. Diagrama de temperaturas del ciclo de M.S.F.

Si sumamos y restamos $PR \times H_L[(T_{max} + T_{pu})/2]$ a [18]:

Ecuaciones para el Diseño del Proceso de Evaporación Instantánea Multietapa (M.S.F.)

$$R \times Ce \times (T_{max} - T_{pu}) = PR \times H_v[(T_{max} + T_{pu})/2] - PR \times H_l[T_{pu}] + \dots$$

$$\dots + PR \times H_l[(T_{max} + T_{pu})/2] - PR \times H_l[(T_{max} + T_{pu})/2] \quad [19]$$

$$R \times Ce \times (T_{max} - T_{pu}) = PR \times H_l + PR \times Ce \times \frac{1}{2} \times (T_{max} - T_{pu}) \quad [20]$$

Despejando R de [20]:

$$R = \left[\frac{H_l}{Ce \times (T_{max} - T_{pu})} + 0,5 \right] \times PR \quad [21]$$

Cálculo de la temperatura de purga:

Hipótesis: $T_{pu} = T_{pr} = T_{rz}$ en cuyo caso:

$$Q = AM \times Ce \times (T_{pu} - T_{am}) \quad [22]$$

Teniendo en cuenta la definición de la **relación de economía**:

$$Q = \frac{PR \times 1000}{ER} \quad [23]$$

Con [21], [22] y [23]:

$$\frac{1000}{ER} \times R \times \frac{Ce \times (T_{max} - T_{pu})}{H_l + 0,5 \times Ce \times (T_{max} - T_{pu})} = AM \times Ce \times (T_{pu} - T_{am}) \quad [24]$$

ER es un valor dimensional que tiene sentido en unidades Anglosajonas, en este sistema podemos suponer:

$$1000 \approx H_l + 0,5 \times Ce \times (T_{max} - T_{pu}) \quad [25]$$

Con [24] y [25]:

$$T_{pu} = T_{am} + \frac{T_{max} - T_{am}}{\frac{AM}{R} \times ER + 1} \quad [26]$$

Ecuaciones para el Diseño del Proceso de Evaporación Instantánea Multietapa (M.S.F.)

Otras ecuaciones:

$$\Delta T_{ER} = \frac{T_{\max} - T_1}{N_r} \quad [27]$$

$$\Delta T_{EZ} = \frac{T_{rz} - T_{am}}{N_z} \quad [28]$$

$$T_{\max} - T_{sr} = T_1 - T_{er} \quad [29]$$

$$Q = R \times C_e \times (T_{\max} - T_{sr}) = AM \times C_e \times (T_{rz} - T_{am}) \quad [30]$$

$$R \times C_e \times (T_{\max} - T_1) = P_{REC} \times H_I \quad [31]$$

$$AM \times C_e \times (T_{rz} - T_{am}) = P_{REZ} \times H_I \quad [32]$$

Con [27] y [31]:

$$R \times C_e \times \Delta T_{ER} \times N_r = P_{REC} \times H_I \quad [33]$$

Con [28] y [32]:

$$AM \times C_e \times \Delta T_{EZ} \times N_z = P_{REZ} \times H_I \quad [34]$$

$$Q = AM \times C_e \times \Delta T_{EZ} \times N_z \quad [35]$$

Sumando [33] y [34] y dividiendo entre [35]:

$$\frac{AM \times C_e \times \Delta T_{EZ} \times N_z + R \times C_e \times \Delta T_{ER} \times N_r}{AM \times C_e \times \Delta T_{EZ} \times N_z} = \frac{(P_{REC} + P_{REZ}) \times H_L}{Q} \quad [36]$$

Suponiendo:

$$AM \times C_e \times \Delta T_{EZ} = R \times C_e \times \Delta T_{ER} \quad [37]$$

Con [36] y [37]:

$$\frac{N_z + N_r}{N_z} = \frac{PR \times H_L}{Q} = ER \quad [38]$$