

ANEXO IV



ANEXO IV

ÍNDICE

IV.1. A-101.....	5
IV 1.1. Tampón de lavado:.....	5
IV 1.2. Tampón de sonicación.....	8
IV.2. Enfriamiento A-102	9
IV.3. Agitación A-102 y A-103.....	11
IV.4. D-101 y D-201	13
IV.5. A-202.....	14



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Datos de partida fluido caliente	5
Tabla 1.2. Datos de partida fluido frío	5
Tabla 1.3. Datos del tanque A-101	7
Tabla 1.4. Resultados	7
Tabla 1.5. Datos de partida fluido caliente	8
Tabla 1.6. Datos de partida fluido frío	8
Tabla 1.7. Datos necesarios para el cálculo de los coeficientes de transmisión de calor y el valor de dichos coeficientes	8
Tabla 1.8. Resultados	9
Tabla 2.1. Datos de partida fluido caliente	9
Tabla 2.2. Datos de partida fluido frío	10
Tabla 2.3. Datos necesarios para el cálculo de los coeficientes de transmisión de calor y el valor de dichos coeficientes	10
Tabla 2.4. Resultados	10
Tabla 3.1. Coeficiente global de transmisión de calor.....	12
Tabla 3.2. Datos necesarios para el cálculo de cantidad de masa de agua y valor de dicha masa.	12
Tabla 4.1. Datos de partida fluido caliente	13
Tabla 4.2. Datos de partida fluido frío	13
Tabla 4.3. Datos necesarios para el cálculo de los coeficientes de transmisión de calor y el valor de dichos coeficientes	13
Tabla 4.4. Resultados para llegar a 4°C	14
Tabla 4.5. Datos necesarios para el cálculo de cantidad de masa de agua y del calor para la agitación.....	14
Tabla 4.6. Resultados de la agitación.....	14
Tabla 5.1. Datos de partida fluido caliente	15
Tabla 5.2. Datos de partida fluido frío	15
Tabla 5.3. Datos necesarios para el cálculo de los coeficientes de transmisión de calor y el valor de dichos coeficientes	15
Tabla 5.4. Resultados	16
Tabla 5.5. Datos necesarios para el cálculo de cantidad de masa de agua y del calor para la agitación.....	16
Tabla 5.6. Resultados para la agitación	16



ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1.....	5
Ecuación 1-2.....	5
Ecuación 1-3.....	6
Ecuación 1-4.....	6
Ecuación 1-5.....	6
Ecuación 1-6.....	7
Ecuación 1-7.....	7
Ecuación 3-1.....	11
Ecuación 3-2.....	11
Ecuación 3-3.....	11
Ecuación 3-4.....	12



IV.1. A-101

IV 1.1. Tampón de lavado:

Datos de partida:

Tabla 1.1. Datos de partida fluido caliente

Fluido caliente: caldo fermentado		
M ₁	99,485	kg
T _{in1}	10,000	°C
T _{out2}	4,000	°C
C _p	4,170	kJ/kg°C
K	0,00058	kW/m°C
densidad	994,850	kg/m ³
Pr	5,740	
viscosidad	0,000797	kg/ms

Tabla 1.2. Datos de partida fluido frío

Fluido frío: agua refrigeración		
T _{in2}	1,000	°C
C _p	4,216	kJ/kg°C
K	0,00056	kW/m°C
densidad	1000,000	kg/m ³
Pr	13,024	
viscosidad	0,00173	kg/ms

Las necesidades de calor para llegar a los requerimientos del fluido caliente vienen determinadas por la siguiente ecuación:

$$Q = M_1 \cdot c_p \cdot \Delta T \quad \text{Ecuación 1-1}$$

Convección dentro del tanque:

$$q = h_b \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot (T_{out1} - T_W) \quad \text{Ecuación 1-2}$$

Siendo:

h_b : coeficiente de película para tanque agitado, kW/m²°C



T_{out1} : Temperatura de salida del caldo fermentado, °C

T_w : Temperatura de pared, °C

Convección fuera del tanque:

$$q = h_i \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot (T_{out2} - T_w) \quad \text{Ecuación 1-3}$$

Siendo:

h_i : coeficiente de transmisión de calor por la camisa, kW/m²°C

T_{out2} : Temperatura de salida del agua de refrigeración, °C

Calor adquirido por el agua:

$$q = m_2 \cdot c_p \cdot \Delta T \quad \text{Ecuación 1-4}$$

Siendo:

m_2 : flujo de agua de refrigeración, kg/s

Suponiendo que no hay pérdidas y que todo el calor se transfiere, el calor necesario es igual al calor transmitido y el calor que necesita evacuar el fluido caliente es igual al calor que se le aporta al fluido frío.

Con todo esto se tienen 4 ecuaciones con 4 incógnitas. (T_{out2} , m_2 , T_w , q)

h_b y h_i se calculan mediante correlaciones.

Correlación para el cálculo del coeficiente de transmisión de calor dentro del tanque agitado.

$$\frac{h_b \cdot D}{k} \left(\frac{\mu_s}{\mu} \right)^{0,14} = 0,55 \cdot \left(\frac{C_p \cdot \mu}{k} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{d_a^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu} \right)^{0,67} \quad \text{Ecuación 1-5}$$

Siendo:

D : diámetro del tanque

μ_s : viscosidad del agua de saturación

N : velocidad de giro del agitador, rps



d_a : diámetro del agitador

$$d_a = \frac{D}{3}$$

Ecuación 1-6

Correlación para el cálculo del coeficiente de transmisión de calor exterior, el producido por el líquido que circula por la camisa.

$$\frac{h_i \cdot D_e}{k} = 0,027 \cdot \left(\frac{C_p \cdot \mu}{k}\right)^{0,33} \cdot \left(\frac{D \cdot u \cdot \rho}{\mu}\right)^{0,8} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{0,14} \cdot \left(1 + 3,5 \frac{D_e}{D}\right) \quad \text{Ecuación 1-7}$$

Siendo:

D_e : diámetro equivalente. Cuatro veces el ancho de la camisa.

Datos necesarios del tanque para calcular los parámetros necesarios.

Tabla 1.3. Datos del tanque A-101

V_{tanque}	112	L
D	0,473	m
N	29	rps
μ_s	0,00028	kg/ms
d_a	0,158	m
D_e	0,2	m
u	3	m/s
hb	10,177	kW/m ² °C
hi	23,732	kW/m ² °C

Se supone un tiempo de enfriamiento y así el calor de la Ecuación 1-1 se puede poner como flujo de calor. Resolviendo las cuatro ecuaciones se tiene:

Tabla 1.4. Resultados

tiempo	7200	s
T_w	3,968	°C
$T_{\text{out}2}$	3,950	°C
m_2	0,028	kg/s
q	0,346	kW



ANEXO IV

M_2	199,871	kg
-------	---------	----

IV 1.2. Tampón de sonicación

Datos de partida:

Tabla 1.5. Datos de partida fluido caliente

Fluido caliente: caldo fermentado		
M_1	9,749530	Kg
T_{in1}	20,00	°C
T_{out2}	4,00	°C
C_p	4,17	kJ/kg°C
K	0,00058	kW/m°C
densidad	994,85	kg/m ³
Pr	5,74	
viscosidad	0,0007977	kg/ms
Q	647,139	kJ
Q	0,179	kW

Tabla 1.6. Datos de partida fluido frío

Fluido frío: agua refrigeración		
T_{in2}	1,000	°C
C_p	4,216	kJ/kg°C
K	0,00056	kW/m°C
densidad	1000,000	kg/m ³
Pr	13,024	
viscosidad	0,00173	kg/ms

Siguiendo el mismo procedimiento que en el apartado anterior y usando la Ecuación 1-5, Ecuación 1-6 y Ecuación 1-7 se llega a los siguientes resultados.

Tabla 1.7. Datos necesarios para el cálculo de los coeficientes de transmisión de calor y el valor de dichos coeficientes

V_{tanque}	112	L
d_t	0,473	m
N	29	rps

ANEXO IV

μ_s	0,00028	kg/ms
d_a	0,158	m
D_e	0,2	m
u	3	m/s
h_b	10,177	kW/m ² °C
h_i	23,732	kW/m ² °C

Aunque solo se tienen 9,74L de mezcla para enfriar, el volumen del tanque es 112L debido a que se usa el mismo agitador que para el tampón de lavado, A-101.

Resolviendo las ecuaciones del calor se obtiene el valor de las incógnitas planteadas.

Tabla 1.8. Resultados

tiempo	3600	s
T_w	3,983	°C
T_{out2}	3,980	°C
m_2	0,014	kg/s
q	0,180	kW
M_2	51,577	kg

IV.2. Enfriamiento A-102

En el caso de purificación de HRGD6 hay una etapa más que para la purificación de VKVx24 que es la de calentamiento durante 1h y 30 minutos con posterior enfriamiento. Dicho enfriamiento se cuantifica a continuación.

NOTA: La cantidad de caldo fermentado no se sabe con exactitud porque no es posible saber la cantidad que se va perdiendo en las centrifugaciones. Para los cálculos de energía en la etapa de purificación se ha utilizado una masa de 10kg de caldo fermentado, valor máximo que podría tener.

Tabla 2.1. Datos de partida fluido caliente

Fluido caliente: caldo fermentado		
M_1	10	kg
T_{in1}	42,000	°C
T_{out2}	4,000	°C
C_p	4,180	kJ/Kg°C



ANEXO IV

K	0,0006	kW/m°C
densidad	997,54	kg/m ³
Pr	6,48	
viscosidad	0,00093	kg/ms

Tabla 2.2. Datos de partida fluido frío

Fluido frío: agua refrigeración		
T _{in2}	1,000	°C
C _p	4,216	kJ/Kg°C
K	0,00056	kW/m°C
densidad	1000,000	kg/m ³
Pr	13,024	
viscosidad	0,00173	kg/ms

Con la Ecuación 1-5, Ecuación 1-6 y Ecuación 1-7 se obtiene:

Tabla 2.3. Datos necesarios para el cálculo de los coeficientes de transmisión de calor y el valor de dichos coeficientes

V _{tanque}	12	L
d _t	0,218	m
N	29	rps
μ _s	0,00028	kg/ms
d _a	0,073	m
D _e	0,2	m
u	3	m/s
h _b	7,545	kW/m ² °C
h _i	21,687	kW/m ² °C

Se impone un tiempo de enfriamiento de una hora. Los resultados son los siguientes:

Tabla 2.4. Resultados

tiempo	3600	s
T _w	3,741	°C
T _{out2}	3,651	°C
m ₂	0,039	kg/s



ANEXO IV

q	0,440	kW
M ₂	141,791	kg

IV.3. Agitación A-102 y A-103

La cantidad de agua necesaria para mantener a 4°C el agua durante 16 horas se calcula a continuación.

Ecuación general de calor:

$$Q = U \cdot S \cdot \Delta T$$

Ecuación 3-1

Siendo:

U: coeficiente global de transmisión de calor, W/m²°C

S: superficie de intercambio, m²

ΔT: diferencia de temperaturas, °C

Como se trata de un tanque agitado la diferencia de temperaturas es T_{out1}-T_{out2}.

La superficie del tanque en este caso se calcula de la siguiente manera:

$$S = \pi \cdot D \cdot L$$

Ecuación 3-2

Siendo:

D=diámetro del tanque, m

L=longitud del tanque, m

Ecuación para el cálculo del coeficiente global de transmisión de calor:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_b}$$

Ecuación 3-3

Siendo:

e: espesor de pared, m



λ : conductividad térmica de la pared, kW/m°C

El tanque va a estar aislado con lana de roca cuyo coeficiente de conductividad es 0,038 W/m°C y un espesor de 0,01m.

Con estos datos y los coeficientes individuales de transmisión de calor calculados anteriormente se tiene que:

Tabla 3.1. Coeficiente global de transmisión de calor

U	3,797	W/m ² °C
-----	-------	---------------------

Suponiendo que no hay pérdidas, todo el calor transferido es el calor necesario que hay que eliminar del interior del reactor para que se mantenga a 4°C. Por lo tanto, el calor de la Ecuación 3-1 es igual al calor de la ecuación siguiente:

$$q = m_2 \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Ecuación 3-4

Tabla 3.2. Datos necesarios para el cálculo de cantidad de masa de agua y valor de dicha masa.

Fluido frío: agua refrigeración		
T_{in2}	1,000	°C
T_{out2}	3,651	°C
C_p	4,216	kJ/Kg°C
K	0,00056	kW/m°C
densidad	1000,000	kg/m ³
Pr	13,024	
viscosidad	0,00173	kg/ms
Q	0,00029	kW
m_2	0,00003	kg/s
M_2	1,541	kg

La masa de agua necesaria se ha calculado teniendo en cuenta que la agitación se lleva a cabo durante 16 horas.

Los datos de partida utilizados son los de A-102 después del enfriamiento, para el cálculo de las necesidades de calor de A-103 después de resuspensión y otros casos en los que no haya un previo enfriamiento los datos de partida van a ser los mismos luego los requerimientos de volumen de agua también.



IV.4. D-101 y D-201

Datos de partida:

Tabla 4.1. Datos de partida fluido caliente

Fluido caliente: agua diálisis		
M_1	100	kg
T_{in1}	20,000	°C
T_{out2}	4,000	°C
C_p	4,184	kJ/Kg°C
K	0,00059	kW/m°C
densidad	1000	kg/m ³
Pr	7,092	
viscosidad	0,0010	kg/ms

Tabla 4.2. Datos de partida fluido frío

Fluido frío: agua refrigeración		
T_{in2}	1,000	°C
C_p	4,216	kJ/kg°C
K	0,00056	kW/m°C
densidad	1000,000	kg/m ³
Pr	13,024	
viscosidad	0,00173	kg/ms

A continuación, se calculan los coeficientes de transmisión de calor.

Tabla 4.3. Datos necesarios para el cálculo de los coeficientes de transmisión de calor y el valor de dichos coeficientes

V_{tanque}	112	L
D	0,473	m
N	29	rps
μ_s	0,00028	kg/ms
d_a	0,158	m
D_e	0,2	m
u	3	m/s
h_b	9,394	kW/m ² °C
h_i	23,519	kW/m ² °C



ANEXO IV

Con estos datos ya se pueden resolver las 4 ecuaciones de calor, Ecuación 1-1, Ecuación 1-2, Ecuación 1-3 y Ecuación 1-4 imponiendo que tarda en llegar a 4°C una hora.

Tabla 4.4. Resultados para llegar a 4°C

tiempo	3600	s
T_w	3,811	°C
T_{out2}	3,651	°C
m_2	0,161	kg/s
q	1,859	kW
M_2	580,389	kg

Finalmente hay que hallar el agua necesaria para que se mantenga a 4°C durante 15 horas que va a durar el proceso de diálisis con agitación.

Al igual que en el caso anterior, utilizando Ecuación 3-1, Ecuación 3-2, Ecuación 3-3 y Ecuación 3-4 y partir de los datos de partida de la Tabla 4.5 se obtienen los valores de la Tabla 4.6:

Tabla 4.5. Datos necesarios para el cálculo de cantidad de masa de agua y del calor para la agitación

Fluido frío: agua refrigeración		
T_{in2}	1,000	°C
T_{out2}	3,740	°C
C_p	4,216	kJ/Kg°C
K	0,00056	kW/m°C
densidad	1000,000	kg/m ³
Pr	13,024	
viscosidad	0,00173	kg/ms

Tabla 4.6. Resultados de la agitación

U	3,797	W/m ² °C
Q	0,0010	kW
m_2	0,00009	Kg/s
M_2	4,839	kg

IV.5. A-202

Datos de partida:



ANEXO IV

Tabla 5.1. Datos de partida fluido caliente

Fluido caliente: agua bidestilada con polímero		
M_1	9,000	kg
T_{in1}	10,000	°C
T_{out2}	4,000	°C
C_p	4,195	kJ/Kg°C
K	0,00058	kW/m°C
densidad	1000	kg/m ³
Pr	9,400	
viscosidad	0,0013	kg/ms

Tabla 5.2. Datos de partida fluido frío

Fluido frío: agua refrigeración		
T_{in2}	1,000	°C
C_p	4,216	kJ/Kg°C
K	0,00056	kW/m°C
densidad	1000,000	kg/m ³
Pr	13,024	
viscosidad	0,00173	kg/ms

Según la Ecuación 1-5, Ecuación 1-6 y Ecuación 1-7 se obtienen los siguientes valores para los coeficientes de transmisión de calor.

Tabla 5.3. Datos necesarios para el cálculo de los coeficientes de transmisión de calor y el valor de dichos coeficientes

V_{tanque}	10	L
D	0,204	m
N	29	rps
μ_s	0,00028	kg/ms
d_a	0,068	m
D_e	0,2	m
u	3	m/s
h_b	6,259	kW/m ² °C
h_i	21,473	kW/m ² °C

La solución a las ecuaciones de calor para un tiempo de 20 minutos es:



ANEXO IV

Tabla 5.4. Resultados

tiempo	1200	s
T_w	3,847	°C
T_{out2}	3,651	°C
m_2	0,039	kg/s
q	0,016	kW
M_2	19,175	kg

Utilizando el mismo procedimiento que el del apartado IV.3 para el cálculo del agua necesaria en la agitación, en este caso durante 14 horas, se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 5.5. Datos necesarios para el cálculo de cantidad de masa de agua y del calor para la agitación

Fluido frío: agua refrigeración		
T_{in2}	1,000	°C
T_{out2}	3,800	°C
C_p	4,216	kJ/Kg°C
K	0,00056	kW/m°C
densidad	1000,000	kg/m ³
Pr	13,024	
viscosidad	0,00173	kg/ms

Tabla 5.6. Resultados para la agitación

U	3,797	W/m ² °C
Q	0,00015	kW
m_2	0,00001	Kg/s
M_2	0,636	kg