

8.1 Introducción

En este capítulo realizaremos el diseño de dos equipos principales de planta. Dimensionaremos hidráulica, mecánica y térmicamente los parámetros constructivos del intercambiador de calor **E-407** y la columna de absorción de cloro con reacción química **R-402**.

8.2 Diseño del Intercambiador de calor E-407

Los intercambiadores de placas se construyen con una sucesión de láminas de metal en un bastidor conectadas de modo que circule el fluido entre las mismas.

Al circular el fluido encerrado entre las placas, el mismo se desplaza en forma de fina de capa lo cual mejora la capacidad de intercambio.

Las placas poseen juntas que permite la separación de los fluidos y que se presiona por medio del bastidor donde están alojadas las placas de dicho intercambiador.

La elección de un intercambiador de placa para el enfriamiento del hipoclorito de sodio recae en el hecho de la baja presión de los fluidos, el espacio que intercambiador ocupa, el costo de los materiales seleccionados.

Las placas poseen diseños especiales, comúnmente desarrollados por los fabricantes de dichos equipos, para nuestro caso de diseño utilizaremos un desarrollo de placa de la empresa Alfa Laval y soportaremos nuestros cálculos con el uso de simulador Aspen EDR (Aspen Exchanger Design and Rating).

CALCULOS

Como se ha explicado, este tipo de intercambiadores comúnmente es desarrollado por el fabricante, pero existen métodos que permiten alcanzar resultados aproximados, estos métodos que tomados de la bibliografía existente son

- **Método de Raju & Chand**
- **Método de Haslego & Polley**

Nosotros utilizaremos el método 2 reemplazando los valores obtenidos en las gráficas de apoyo de dicho método por los valores entregados por el simulador.

Dicho procedimiento es aplicable bajo las siguientes condiciones:

1. Para equipos líquido-líquido, sin cambio de fases

2. Válidas para equipos de paso simple con 0.5 mm espesor placas.
3. La conductividad térmica de la placa se supone de acero inoxidable
4. En las propiedades físicas del agua, soluciones acuosas e hidrocarburos se asumen valores típicos
5. La exactitud en los valores del coeficiente total de transferencia de calor de diseño se estima con un margen de $\pm 15\%$, por lo que se deberá asumir un exceso de área de transferencia del orden del 10%
6. Para fluidos con viscosidad entre 100 y 500 cP, se deberá usar la línea correspondiente a 100 cP en los gráficos. Para valores superiores a 500 cP consultar al fabricante

En este equipo de planta se enfría el hipoclorito de sodio producido y recirculado previo a ser almacenado en los tanques de despacho final. El equipo por nosotros escogido es un intercambiador de placas de titanio Grado 2 con muy buena resistencia mecánica y química a la abrasión y corrosión de los fluidos empleados.

Vamos a determinar el tipo y número de placas, el espesor y cantidad de las mismas y la caída de presión adecuada para el uso que le vamos a dar.

Del balance de masa, se determinó que el caudal másico del producto a enfriar (Hipoclorito de Sodio 100 g/l de cloro activo) es de 13614 kg/h y el caudal másico del fluido refrigerante (agua de torre de enfriamiento) es de 20000 kg/h.

1) CALCULO DE TRANSFERENCIA DE CALOR ENTRE FLUIDOS

Datos de proceso obtenido de balance de masa y energía

Hipoclorito de sodio	Agua de enfriamiento
$t_1 = 36,6^{\circ}C$	$T_{sal} = 30,9^{\circ}C$
$t_2 = 32^{\circ}C$	$T_{ent} = 28^{\circ}C$
$m = 13614 \frac{kg}{h}$	$m = 20000 \frac{kg}{h}$
$C_p \text{ hipo} = 0,9261 \frac{kcal}{kg.^{\circ}C}$	$C_p \text{ h20} = 1 \frac{kcal}{kg.^{\circ}C}$

2) Cálculo de calor transferido de hipoclorito al agua

$$Q = m \cdot cp \cdot \Delta T$$

$$Q = \frac{20000kg}{h} \cdot \frac{1kcal}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 2.9^\circ C$$

$$Q = 58000 \frac{kcal}{h}$$

3) Cálculo de delta Temp. medio logarítmico

Delta T1: Lado Caliente (hipoclorito de sodio)

$$\Delta T1 = t1 - t2$$

$$\Delta T1 = 36,6^\circ C - 32^\circ C$$

$$\Delta T1 = 4,6^\circ C$$

Delta T2: Lado Frío (Agua de enfriamiento)

$$\Delta T2 = Tsal - Tent$$

$$\Delta T2 = 30,9^\circ C - 28^\circ C$$

$$\Delta T2 = 2,9^\circ C$$

Cálculo de delta T medio logarítmico

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T1 - \Delta T2}{\ln \frac{\Delta T1}{\Delta T2}}$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{4,6 - 2,9}{\ln \frac{4,6}{2,9}}$$

$$\Delta T_{ml} = 3,684^\circ C$$

4) Cálculo del número de unidades de transferencia NUT

NUT Lado caliente (Corriente Hipoclorito de sodio)

$$NTU_{hipo} = \frac{\Delta T1}{\Delta T_{ml}}$$

$$NTU_{hipo} = \frac{4,6^\circ C}{3,684^\circ C}$$

$$NTU_{hipo} = 1,248$$

NUT Lado frío (Corriente Agua de enfriamiento)

$$NTU_{hipo} = \frac{\Delta T1}{\Delta T_{ml}}$$

$$NTU_{hipo} = \frac{2,9^\circ C}{3,684^\circ C}$$

$$NTU_{hipo} = 0,787$$

5) Determinación del Área de transferencia

Para determinar la primera aproximación del área de transferencia es necesario contar con los Coeficientes Globales de transferencia de calor.

El método de Haslego & Polley propone obtener los valores de los coeficientes mediante gráficas, debido a que no se cuenta con la gráfica que nos

entregue el valor para la corriente de hipoclorito, se recurrirá al simulador Aspen para realizar los cálculos manuales con los coeficientes simulados.

Entonces utilizaremos los siguientes valores

Coeficiente de película para Hipoclorito de sodio

$$hh_{ipo} = \frac{2735 \text{ kcal}}{\text{h.m}^2.^\circ\text{C}}$$

Coeficiente de película para agua

$$hh_{20} = \frac{6144,5 \text{ kcal}}{\text{h.m}^2.^\circ\text{C}}$$

Cálculo de Coeficiente de Transferencia simplificado

$$\begin{aligned}\frac{1}{U_o} &= \frac{1}{hh_{ipo}} + \frac{1}{hh_{20}} \\ U_o &= \frac{1}{\frac{1}{hh_{ipo}} + \frac{1}{hh_{20}}} \\ U_o &= \frac{1}{\frac{1}{\frac{2735 \text{ kcal}}{\text{h.m}^2.^\circ\text{C}}} + \frac{1}{\frac{6144,5 \text{ kcal}}{\text{h.m}^2.^\circ\text{C}}}} \\ U_o &= \frac{1892,58 \text{ kcal}}{\text{h.m}^2.^\circ\text{C}}\end{aligned}$$

Cálculo del área de Transferencia

Aquí vinculamos la diferencia de temperatura entre el Hipoclorito de Sodio y el agua de enfriamiento por medio del (Delta T_{medio} logarítmico), que es la fuerza impulsora; el área de transferencia de calor (A₀); y el coeficiente global de transferencia de calor (U₀).

Donde

$$Q = U_o \cdot A_o \cdot \Delta T_{ml}$$

$$\begin{aligned}Q &= \frac{58000 \text{ kcal}}{h} \\ U_o &= \frac{1892,58 \text{ kcal}}{\text{h.m}^2.^\circ\text{C}} \\ \Delta T_{ml} &= 3,684^\circ\text{C}\end{aligned}$$

$$Ao = \frac{Q}{Uo \cdot \Delta T_{ml}}$$

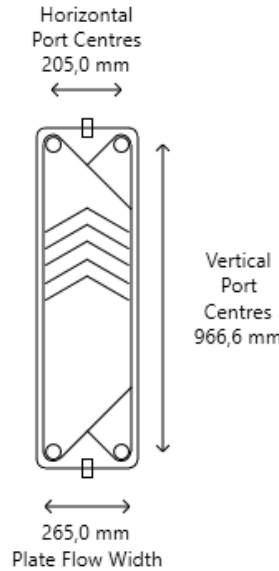
$$Ao = \frac{58000 \text{ kcal}}{\frac{h}{1892,58 \text{ kcal}} \cdot 3,684^\circ C}$$

$$Ao = 8,31 \text{ m}^2$$

6) Datos de intercambiador de placas simulado

Intercambiador Alfa Laval

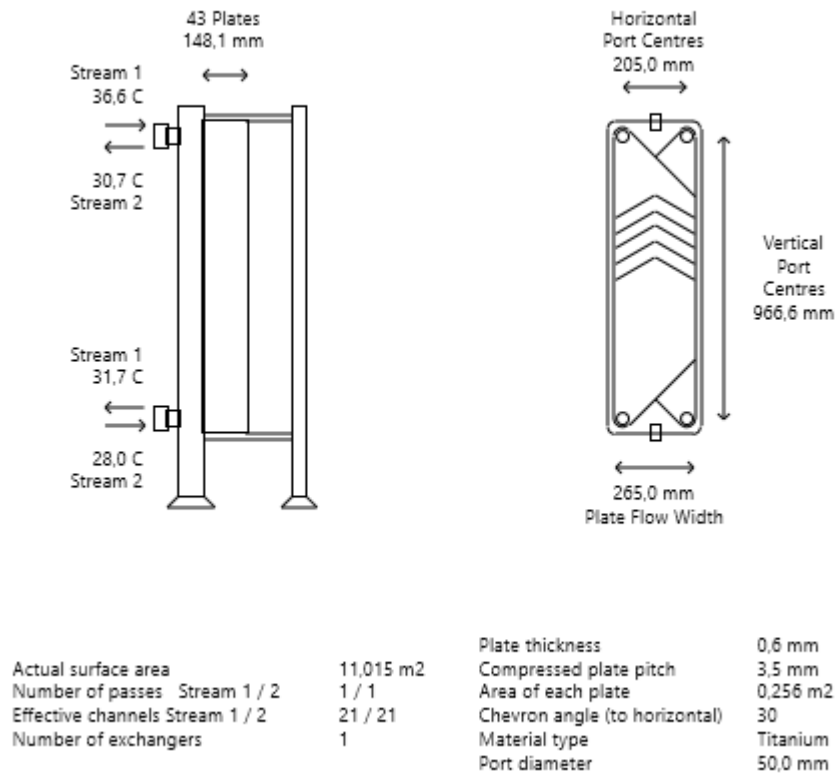
PlateData	
Plate data / manufacturer:	Alfa Laval
Plate name:	M10-M
Chevron angle (to horizontal):	30 Degrees
Other chevron angle (mixed Plates):	293 Degrees
Horizontal port centers distance:	205 mm
Vertical port centers distance:	966,63 mm
Plate thickness:	0,6 mm
Compressed plate pitch:	3,52 mm
Port diameter:	50 mm
Plate width:	265 mm
Area of plate(s):	0,256 m ²
Number of plates for area:	1
Manufacturer Data	
Plate Databank...	



Horizontal Port Centres
205,0 mm

Vertical Port Centres
966,6 mm

265,0 mm
Plate Flow Width



7) Cálculo del número de placas supuesto N_{ps}

$$N_{ps} = \frac{A_o}{A_p}$$

$$N_{ps} = \frac{8,31m^2}{0,256m^2}$$

$$N_{ps} = 32 \text{ placas}$$

8) Cálculo de número total de canales N_c y canales paralelos n_p

$$N_c = N_{ps} + 1$$

$$N_c = 32 + 1$$

$$N_c = 33 \text{ canales}$$

Calculo de n_p

$$n_p = \frac{V}{v}$$

Donde

V es el mayor caudal que podrá circular por el intercambiador 15 m³/h

v es el valor de caudal promedio tomado para intercambiadores de 2,6 m³/h (valores 2,2 a 3,5 m³/h)

$$np = \frac{15 \text{ m}^3/\text{h}}{2,6 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$np = \frac{15 \text{ m}^3/\text{h}}{2,6 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$np = 5,76 \text{ canales/paso}$$

9) Cálculo del número de pasos n

$$n = \frac{Nc}{2np}$$

$$n = \frac{33}{2 \cdot 5,76}$$

$$n = 2,86 \cong 3 \text{ pasos}$$

10) Cálculo del número de placas requeridas Npr

$$Npr = (n \cdot (np - 1) + (n \cdot np)) - 1$$

$$Npr = (3 \cdot (5,76 - 1) + (3 \cdot 5,76)) - 1$$

$$Npr = 30 \text{ placas requeridas}$$

Dado que el intercambiador seleccionado Alfa Laval M – 10M según la simulación indica que posee una capacidad de carga de 43 placas el número de 30 placas requeridas se ajusta a las necesidades de intercambio.

8.3 Diseño de la Columna de Absorción con Reacción Química R-402

En este equipo de planta se absorbe el gas cloro residual del proceso. El gas se absorbe en una solución de soda cáustica al 11% m/m y la reacción química que se lleva a cabo es altamente exotérmica con un valor de calor generado de 350 kCal/kg de cloro reaccionado. La torre de absorción será construida en titanio grado 2 y se utilizará un caudal de recirculación de 9 a 9,5 veces el caudal de hipoclorito producido para disipar el calor de reacción dentro del equipo.

Vamos a determinar la altura de la parte cilíndrica de la torre, la altura del relleno, el tipo de relleno, el diámetro interno de la torre, el caudal de recirculación de líquido y las características del distribuidor superior de líquido dentro de la torre (diámetro del distribuidor, número de agujeros del mismo y diámetro de los agujeros) y la caída de presión a lo largo de todo el equipo.

Generalmente, para el cálculo de todos los parámetros constructivos de una torre de absorción descritos en el párrafo anterior, la bibliografía disponible trata y adopta ciertos parámetros operacionales muy distintos a los que tenemos en nuestro proyecto. Es decir, se adopta que la concentración de soluto en el gas de entrada a la torre es relativamente baja ($<5\%$) y nosotros tenemos una concentración de soluto del 25% . Otro parámetro que se adopta en la bibliografía es que no hay reacción química; en nuestra torre hay reacción química y es una reacción muy violenta con una alta velocidad, lo que favorece mucho la disminución de la altura del relleno.

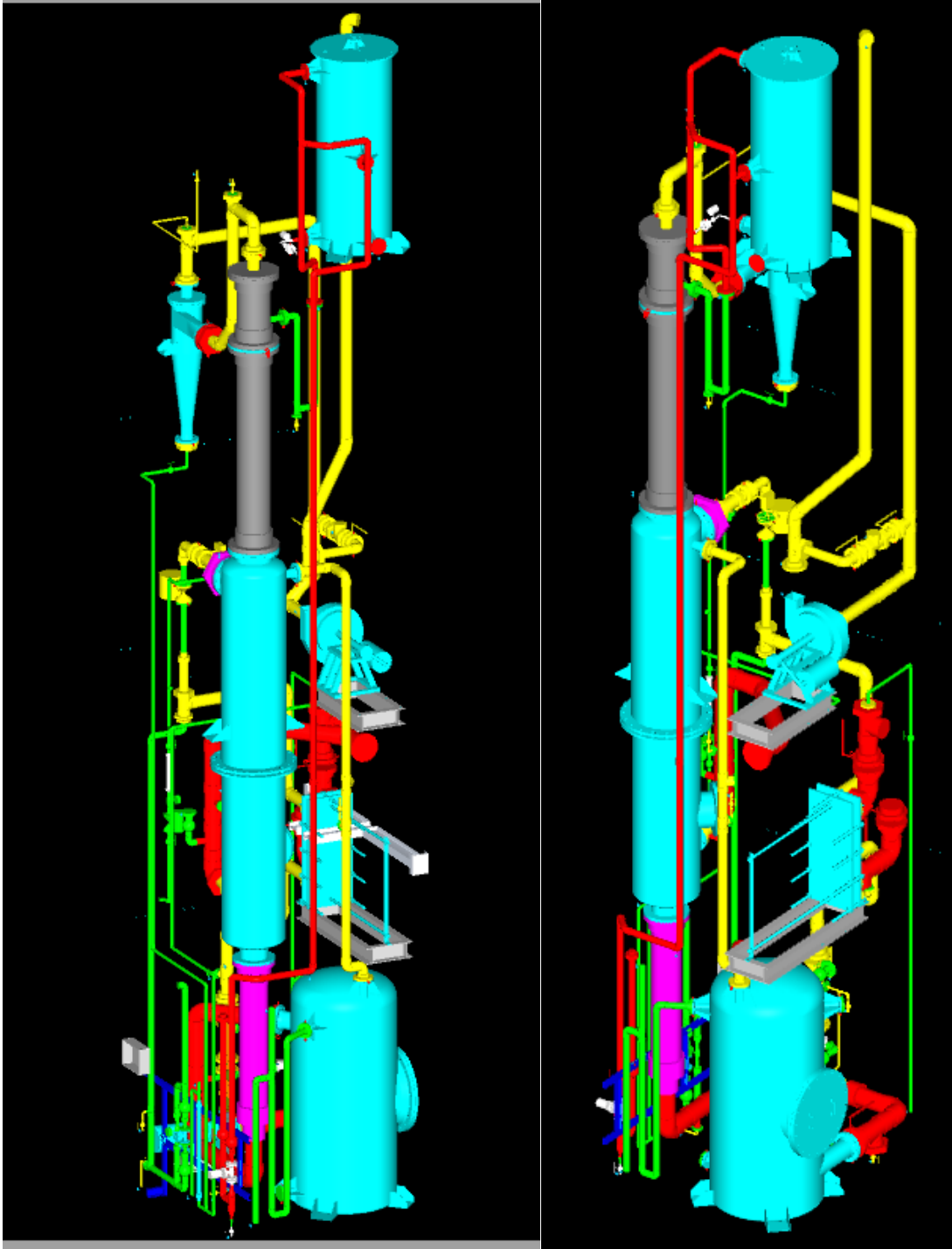
En vista de todo esto, hemos adoptado las siguientes premisas como base de cálculo del equipo mencionado (**R-402**):

- 1°- En base al calor a disipar dentro de la torre de absorción, vamos a determinar el caudal de recirculación de líquido de la torre.
- 2°- Con los datos de la corriente gaseosa y la corriente líquida y los datos del relleno empleado, determinaremos el diámetro adecuado de la torre para que la caída de presión total del equipo no supere los 5 mBarg. Para ello empleamos la “Ecuación Generalizada de puntos de inundación y caída de Presión” de ECKERT (1970)
- 3°- Con el dato corroborado de caudal de recirculación, calculamos el diámetro del caño de distribución superior de líquido, la cantidad de agujeros necesarios y el diámetro de estos.

En cuanto a la altura de relleno de la torre, se emplearon los criterios establecidos en el documento “*SCRUBBER – Fast Chemical Reaction rating and Design*” – De la empresa P&I Design Limited.

Este documento marca los lineamientos específicos para la reacción entre el cloro y la soda caustica en la formación del hipoclorito de sodio y los valores obtenidos son claramente más bajos que los empleados en la práctica profesional habitual. Es decir, que el valor mínimo de la altura de relleno calculado por este método (0.92 m) es mucho menor que el valor finalmente adoptado en base a la experiencia industrial vigente (2,8 m).

Se muestra a continuación un modelo similar al equipo a diseñar en el presente documento acompañado de todos los accesorios y cañerías del sistema de producción de hipoclorito de sodio.



A continuación, se presenta la memoria de cálculos de los parámetros mencionados:

Diseño de Equipos

Nota: Se recircula un gran caudal de producto terminado para ayudar a mantener un ΔT no mayor a 5°C entre la entrada y salida de líquido del R-402. Esto se hace para evitar la formación de compuestos indeseados.

Datos básicos			
Q _R	Calor de reacción de 1 kg de cloro en la formación de NaClO	350.00	kcal/kg
M _{Cl}	Masa de Cloro	110	kg/h
Q _G	Calor Generado por la reacción química	38500	kcal/h
Q _G	Calor Generado por la reacción química + 10% margen de seguridad	42350	kcal/h
ΔT	Diferencia de temperatura entre entrada y salida de líquido del R-402	5	°C
C _p	Capacidad Calorífica del líquido	0.92	kcal*kg/°C
CE	Consumo específico de cloro por ton de hipoclorito producido a 100 g/l	90.00	kg/ton
DI	Densidad del líquido	1.145	ton/ m ³
P _{NaClO}	Producción de Hipoclorito de Sodio a 100 g/l de cloro activo	1.22	Ton/h
P _{NaClO}	Producción de Hipoclorito de Sodio a 100 g/l de cloro activo	1.1	m ³ /h
m _{NaClO}	Flujo másico de Hipoclorito para disipar el calor de reacción	9206.5	kg/h
FV	Flujo volumétrico de Hipoclorito para disipar el calor de reacción	8.0	m ³ /h
FT	Caudal total de recirculación	9.11	m ³ /h

SE ADOPTA UN VALOR DE CAUDAL DE RECIRCULACION DE 10 m³/h.

Datos básicos (condiciones de entrada del gas)			
D	Diámetro columna	0.35	m
A	Area columna	0.10	m²
		1.04	ft²
Datos gas			
M _{Cl}	Masa de Cloro	110	kg/h
PM _{Cl}	Masa Molecular del Cloro	70.91	kg/kmol
FM _{Cl}	Flujo Molar de Cloro	1.551	Kmol/h
Q _A	Caudal volumétrico de Aire	100	m³/h
FM _A	Flujo Molar de Aire	4.464	Kmol/h
PM _A	Masa Molecular del Aire	28.960	kg/kmol
FM _M	Flujo Molar de la Mezcla	6.016	Kmol/h
V _M	Volumen Molar en CNPyT	22.400	m³/kmol
Q _M	Caudal volumétrico de la Mezcla	134.7	m³/h

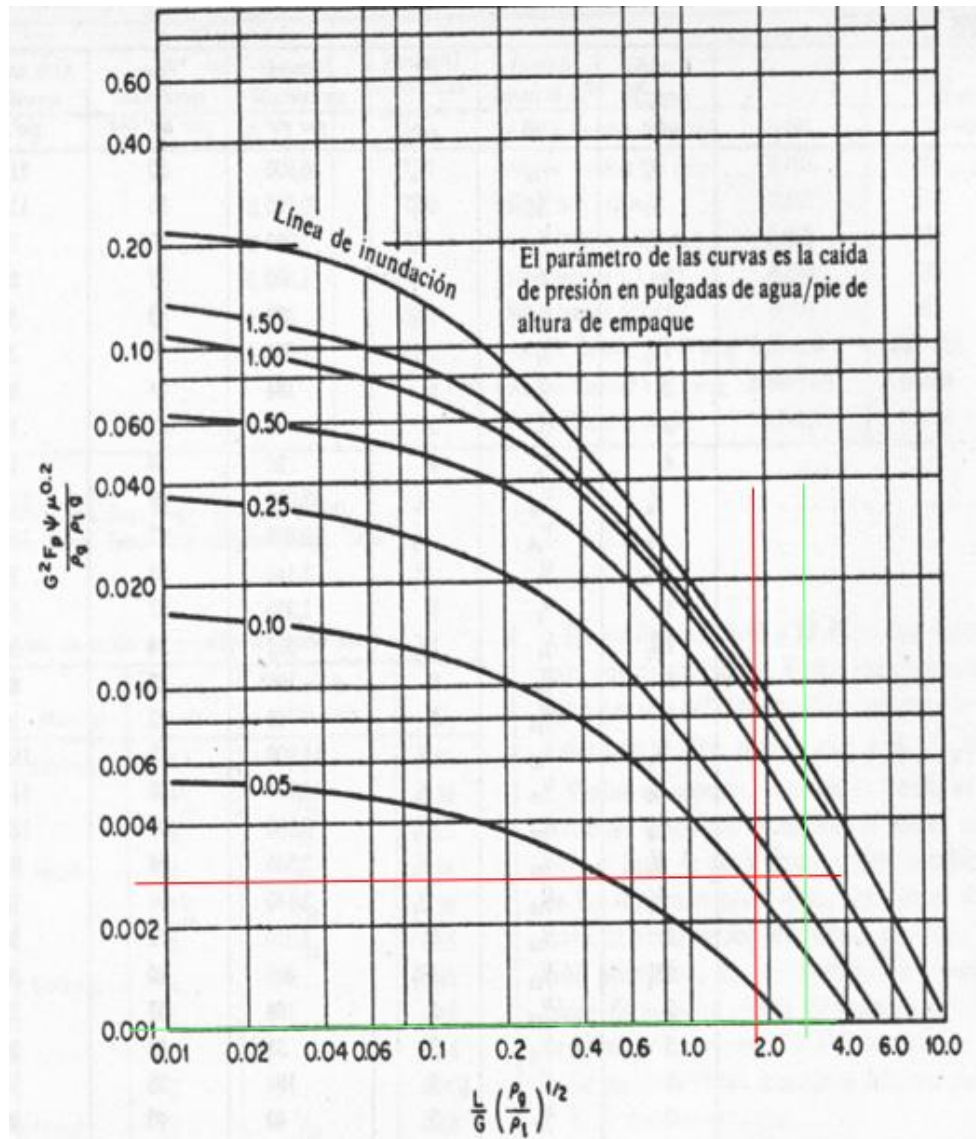
Diseño de Equipos

		4761	ft ³ / h
M _A	Masa de Aire	129.29	kg/h
M _M	Masa de Mezcla	239.29	kg/h
D _g	Densidad Gas	1.776	kg / m ³
		0.111	Lb / ft ³
Q _{mg}	Caudal másico Gas	528	Lb / h
G	flujo de gas	0.1416	Lb / s ft ²
Datos líquido			
Q _l	Caudal volumétrico líquido	10	m ³ /h
		353	ft ³ / h
D _l	Densidad líquida	1145	kg / m ³
		71.5	Lb / ft ³
Q _{mg}	Caudal másico líquido	25255	Lb / h
L	flujo de líquido	6.77	Lb / s ft ²
μ	viscosidad del líquido	3	cP
r	Relación de densidad agua a líquido	1.145	
g	cte. Gravitacional	32.2	ft/ s ²
F _p	Factor de empaque = a_p / e^3 (1/ ft)	28	(Jaeger Tri-packs 1")
Absisa	$L/G * (dg/dl)^{0.5}$	1.884	Adim.
Ordenada	$(G^2 * F_p * r * v^{0.2}) / (dg * dl * g)$	0.0031	Adim.
	Ordenada pundo inundación	0.0095	
	Ordenada de curva de 1.5 inch agua / ft	0.0097	
	Ordenada de curva de 1.0 inch agua / ft	0.0090	
	Ordenada de curva de 0.5 inch agua / ft	0.0063	
G inundación		0.246	Lb / s ft ²
% inundación		57.6	%
DP oper.	Dif. Presión (de curva)	0.15	inch agua / ft
		1.22	mbar / m

Datos básicos (condiciones de salida de gases)			
D	Diámetro columna	0.35	m
A	Area columna	0.10	m²
		1.04	ft²
Datos gas			
Qg	Caudal volumétrico Gas	100.0	m³/h
		3533	ft³ / h
Dg	Densidad Gas	1.293	kg / m³
		0.081	Lb / ft³
Qmg	Caudal másico Gas	285	Lb / h
G	flujo de gas	0.0765	Lb / s ft²

Diseño de Equipos

Datos líquido			
Ql	Caudal volumétrico líquido	10	m ³ /h
		353	ft ³ / h
DI	Densidad líquido	1145	kg / m ³
		71.5	Lb / ft ³
Qmg	Caudal másico líquido	25255	Lb / h
L	flujo de líquido	6.77	Lb / s ft ²
v	viscosidad del líquido	3	cP
r	Relación de densidad agua a líquido	1.145	
g	cte. Gravitacional	32.2	ft/ s ²
Fp	Factor de empaque = a_p / e^3 (1/ ft)	28	1/ft
Absisa	$L/G * (d_g/d_l)^{0.5}$	2.976	Adim.
Ordenada	$(G^2 * F_p * r * v^{0.2}) / (d_g * d_l * g)$	0.001258	Adim.
PI	Ordenada punto inundación	0.0055	
	Ordenada de curva de 1.5 inch agua / ft	0.0060	
	Ordenada de curva de 1.0 inch agua / ft	0.0053	
	Ordenada de curva de 0.5 inch agua / ft	0.0034	
G inundación		0.161	Lb / s ft ²
% inundación		47.6	%
DP oper.	Dif. Presión (de curva)	0.07	inch agua / ft
		0.57	mbar / m



- Inundación en las condiciones de salida de gases
- Inundación en las condiciones de entrada de gases

Número y diámetro de los agujeros del distribuidor superior de líquido

Caudal por distribuidor	10.0 m ³ /h
Viscosidad dinámica	3 cP
Densidad	1145 kg/m ³

Caño distribuidor

D. Interno	75 mm	3"
Area flujo	0.00441563 m ²	
Longitud	300 mm	
D. Interno agujeros	10 mm	
Area flujo	0.0000785 m ²	
Cantidad agujeros	15	
Rugosidad absoluta	0.000046 m	De tabla

N° Re entrada	17998
Factor fricción	0.00657793
DP entrada	0.02382061
N° Re último agujero	1200
Factor fricción	0.01333465
DP entrada	0.00025257
Factor fricción promedio	0.00995629
DP promedio	0.01203659 kPa

Delta P pipe

Velocidad de ingreso	0.6 m/seg
Factor alfa adopt.	1 Adim.
Factor fricción promedio	0.00996 Adim.
Delta P	12 Pa

Delta P agujeros

Velocidad en agujeros	2.4	m/seg	
Coficiente flujo	0.62	Adim.	
Delta P	8288	Pa	
	8.3	kPa	Tiene que ser menor
	83	mbar	de 100 mBar

Relación de presiones	0.00145224
% de maldistribución	1.30%

Cálculo Nre Entrada				
Nota:		1) Las ecuaciones son válidas también para gases cuando la caída de presión (P1-P2) es menor o igual al 10 % de la presión aguas arriba (P1)		
Datos del fluido				
Caudal volumétrico	10	m3/h		
Caudal másico	11450	kg/h	274800	kg/d
Viscosidad dinámica	3	cP		
Densidad	1145	kg/m3		
Datos del sistema				
Diámetro interno	0.075	m		
Longitud	0.3	m		
Rugosidad absoluta	0.000046	m	Ver tabla	
Rugosidad relativa	0.00061333	Adimensional		
Area de flujo	0.00442	m2		
Velocidad	0.6288	m/s		
N _{Re}	17998	Adimensional		
f (Fanningg)	0.00088898	Para Re< 2100	A	B
f (Fanningg)	0.00657793	Para Re >	12.31862	11.95887
Delta P (laminar)	0.00321925	kPa		
Delta P (turbulento)	0.02382061	kPa		
f (Fanningg)	0.00657793	Adimensional		
	0.02	kPa		
Delta P caño recto	0.24	mbar		
	0.00	psi		
	0.000	kg/cm2		

Cálculo Nre último agujero				
		1) Las ecuaciones son válidas también para gases cuando la caída de presión (P1-P2) es menor o igual al 10 % de la presión aguas arriba (P1)		
Datos del fluido				
Caudal volumétrico	0.66666667	m3/h		
Caudal másico	763.333333	kg/h	18320	kg/d
Viscosidad dinámica	3	cP		
Densidad	1145	kg/m3		
Datos del sistema				
Diámetro interno	0.075	m		
Longitud	0.3	m		
Rugosidad absoluta	0.000046	m	Ver tabla	
Rugosidad relativa	0.00061333	Adimensional		
Area de flujo	0.00442	m2		
Velocidad	0.0419	m/s		
N _{Re}	1200	Adimensional		
f (Fanningg)	0.01333465	Para Re< 2100	A	B
f (Fanningg)	0.01569288	Para Re >	7.971372	8.28311
Delta P (laminar)	0.00021462	kPa		

Delta P (turbulento)	0.00025257	kPa
f (Fanning)	0.01333465	Adimensional
	0.00021	kPa
Delta P caño recto	0.00215	mbar
	0.00003	psi
	0.00000219	kg/cm2

Calculo Teórico de altura de relleno según “*SCRUBBER – Fast Chemical Reaction rating and Design*” – De la empresa P&I Design Limited.

Parametro de diseño					
Diámetro columna	ID	350	mm		
Área columna	A	0.096	m ²	1.04	ft ²
Area interfacial del empaque	a	85	ft ² /ft ³		
Pie	ft	0.3048	m		
Area interfacial del empaque	a	278.9	m ² /m ³		
Volumen de espacio vacío	e	0.9	adimensional		

Condiciones de entrada del gas (bottom)					
Presión de operación	P	1003	mbar abs		
Presión de operación	P	0.9900	atm		
Temperatura de entrada	T	30	°C	303.15	
Temperatura de entrada	T	303.15	°K		

Reactante (cloro)

Peso Molecular	PM	70.91	kg/kmol		
Flujo molar del Cloro	FMC	1.55	kmol/h		
Caudal volumétrico de Cloro	Q _c	34.72	m ³ /h		
Flujo másico	F _m	109.9	kg/h		
Flujo molar superficial	G	16.1	kmol/h m ²	233.9	Lb/h ft ²
Viscosidad del Cloro	μ _C	0.014	cP		Dato Perry 5 ^{ta} Ed.
Atomic Diffusion Volumen	Σ _v	37.7	cm ³ /mol		Dato Perry 5 ^{ta} Ed.

Inerte (se asume solo aire, se desprecia vapor de agua)

Caudal volumétrico de Inerte (AIRE)	Q _A	100.00	m ³ /h		
Volumen Molar (en CNPyT)	VM	22.40	m ³ /kmol		
Peso Molecular	PM	28.96	kg/kmol		
Flujo molar del Aire	FMA	4.46	kmol/h		
Flujo másico	F _m	129.3	kg/h		

Viscosidad del Aire	μ_A	0.018	cP	Dato Perry 5 ^{ta} Ed.
Atomic Diffusion Volumen	Σv	20.1	cm ³ /mol	Dato Perry 5 ^{ta} Ed.

Total de la Mezcla

Flujo másico	F _m	239.2	kg/h
Flujo molar de la Mezcla	F _{MM}	6.01	kmol/h
Caudal volumétrico de la Mezcla	Q _M	134.72	m ³ /h
Peso Molecular	PM	39.77	kg/kmol

$$FV = FM * VM * \frac{T(K)}{273.15} * \frac{1}{P}$$

Flujo volumétrico	FV	151.03	m ³ /h
-------------------	----	--------	-------------------

$$\mu_M = \frac{\mu_A * FMA + \mu_C * FMC}{FMM}$$

Viscosidad de la Mezcla	μ_M	0.017	cP
-------------------------	---------	-------	----

$$D_{AB} = \frac{10^{-3} T^{1.75} [(M_A + M_B) / M_A M_B]^{1/2}}{P [(\Sigma n_A)^{1/3} + (\Sigma n_B)^{1/3}]^2} \text{ cm}^2 / \text{sec}$$

Coeficiente de diffusion	D _{AB}	0.133	cm ² /s
Densidad	ρ ó r	1.58	kg/m ³

Cálculo del número de unidades de transferencia NTU

Concentración de cloro en gas entrada	y ₁	0.258	Fracción Molar
Concentración de cloro en gas salida	y ₂	0.000005	Fracción Molar
	ln (1-y ₁)	-0.29803	
	ln (1-y ₂)	-0.000005	

$$NTU = N_{og} = \ln \left[\frac{\ln (1-y_1)}{\ln (1-y_2)} \right]$$

Número unidades de transferencia	NTU = Nog	11.00	
----------------------------------	-----------	-------	--

Condiciones de salida del gas (top)

Reactante (cloro)

Flujo molar de cloro	0.00002	kmol/h
Flujo másico de cloro	0.00158	kg/h
% absorbido	100.00	%

Total de la Mezcla

Flujo másico de la mezcla	129.29	kg/h
Flujo molar de la mezcla	4.46	kmol/h
Peso Molecular de la mezcla	28.96	kg/kmol
Concentración de cloro en gas salida	15.8	mg/m3

Cálculo del drift factor a través del contenido de cloro

Presión parcial del cloro a la entrada	p_g	0.255	atm
	$\ln (P - P_i)/(P - P_g)$	0.298	adimensional

$$(P - p)_{lm} = \frac{P_g - P_i}{\ln \left(\frac{P - p_i}{P - p_g} \right)}$$

$(P - p)_{lm}$	0.856	atm
----------------	-------	-----

$$\text{Drift Factor} = \frac{P}{(P - p)_{lm}}$$

Drift factor	$P/(P - p)_{lm}$	1.156	adimensional
--------------	------------------	-------	--------------

Cálculo del drift factor a través del contenido de aire

Presión parcial del aire a la entrada	P_{b1}	0.735	atm	0.30
Presión parcial del aire a la salida	P_{b2}	0.990	atm	
	$(P - p)_{lm}$	0.8561	atm	
Drift factor	$P/(P - p)_{lm}$	1.156	adimensional	

Cálculo de Kcg

			ft ³ atm/lb
Constante gases	R	1.314	mol °K
Temperatura absoluta	T	303.15	°K
Velocidad del gas	v	5725	ft/h
Velocidad del gas	v	48.5	cm/s
Viscosidad gas	μ ó m	0.041	lb / ft h
Coefficiente de diffusion	D_{AB}	0.517	ft ² /h
Diametro columna ensayo	d	1.148	ft
Densidad	ρ ó r	0.099	Lb/ft ³
N° Reynolds	Re	15821	adimensional

N° Schmidt	Sch	0.804	adimensional
------------	-----	-------	--------------

$$K_g = 0.04 \frac{v}{RT} \left(\frac{vdr}{m} \right)^{-0.25} \left(\frac{m}{rD} \right)^{-0.5} \frac{P}{P_{BM}}$$

Coeficiente film gaseoso	Kg	0.06611	lbmole/h ft2 atm
Coeficiente de correccion	Rg	2.5	corrige de falling film a gas film para packing (entre 2,5 y 3.3)
Coeficiente film gaseoso corregido	Kcg	0.16527241	lbmole/h ft2 atm
		0.807655747	kmol / h m2 atm

Cálculo del HTU

Kga		225.2	kmol / h m3 atm
-----	--	-------	--------------------

$$HTU = \frac{G}{K_g a (P - p)_{lm}}$$

HTU		0.08	m
Altura relleno	z	0.92	m

AUXILIAR		0.024	
	Z	3.04	

NTU	10.850
(P-p)lm	0.864748949
	0.897931076

Fuente: "SCRUBBER Fast Chemical Reaction Rating & Design" P & I Design Limited. Febrero 2003.

Datos Finales Constructivos y Estructurales del Diseño de la Columna de Absorción con Reacción Química R-402

Datos Finales			
H	Altura de relleno	2.8	m
Tr	Tipo de Relleno	Jaeger Tri-packs 1"	
Vr	Volumen de Relleno	269	lts
h	Altura de la torre	4	m
D	Diámetro interno de la Torre	350	mm
Q_G	Caudal de Gas de entrada	134.7	m ³ /h
Q_L	Caudal de Recirculación de Líquido	10	m ³ /h
L	Longitud del distribuidor de líquido	300	mm
U	Cantidad de orificios del distribuidor de líquido	15	
dU	Diametro de los orificios del distribuidor de líquido	10	mm