

Tema 6. DEPÓSITOS Y RECIPIENTES DE PROCESO

Rev 1

Marzo 2003

ÍNDICE

6.0	OBJETIVO.....	1
6.1	INTRODUCCIÓN.....	1
6.2	RECIPIENTES DE PROCESO.....	2
6.3	DISEÑO DE RECIPIENTES DE PROCESO.....	3
6.3.1	CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.....	3
6.3.2	COMPARACIÓN ENTRE RECIPIENTES HORIZONTALES Y VERTICALES.....	4
6.4	DEPÓSITOS INTERMEDIOS.....	5
6.5	DIMENSIONADO DEL VOLUMEN POR TIEMPO DE RESIDENCIA (DEPÓSITOS DE REFLUJO).....	5
6.6	DIMENSIONADO DEL VOLUMEN POR VELOCIDAD DE SEPARACIÓN.....	6
6.6.1	APLICACIÓN AL CÁLCULO DE RECIPIENTES VERTICALES.....	7
6.6.2	APLICACIÓN AL CÁLCULO DE SEPARADORES HORIZONTALES.....	7
6.7	SEPARADORES LIQUIDO-LIQUIDO.....	9
6.8	TANQUES DE ALMACENAMIENTO.....	10
6.9	NORMA: UNE 62350-1:1996.....	13
6.10	DISEÑO MECÁNICO RECIPIENTES A PRESIÓN.....	15
6.11	PROBLEMAS.....	20
6.12	EXAMENES.....	20

BIBLIOGRAFÍA

- [1] CHEMICAL PORCESS EQUIPMENT, SELECTION AND DESIGN: Capítulo 18."Porcess Vessels" Stanley M. Walas. Butterworth-Heinemann
- [2] PROCESS COMPONENT DESIGN: Capítulo 6 "Process Vessels". P. Buthod & all, Universidad de Tulsa .Oklahoma
- [3] MANUAL DEL INGENIERO QUÍMICO. Perry & Chilton. Sección 6. "Recipientes de Almacenamiento y Procesamiento". 4ª Edición. Mc Graw Hill
(Seccion 10 en 7ª edición)
- [4] CODIGO ASME VIII División 1
- [5] INSTALACIONES PETROLÍFERAS AENOR

DEPÓSITOS Y RECIPIENTES DE PROCESO.

6.0 OBJETIVO.

- Describir los diferentes tipos de depósitos y recipientes de proceso.
- Plantear las ecuaciones básicas del diseño mecánico, **de acuerdo al código ASME**, de los diferentes depósitos y recipientes de proceso.
- Dimensiones de recipientes de proceso. Cálculo del diámetro y altura del recipiente en función del volumen necesario.
- Estimación de dimensiones normalizadas de tanques de proceso
- Aplicación al cálculo de separadores líquido-gas.

6.1 INTRODUCCIÓN.

Los recipientes de proceso en las plantas químicas son de dos tipos:

- aquellas **sin componentes internos**, llamadas tanques (*tanks*) o depósitos (*drums*), cuya función principal es el almacenamiento inicial, intermedio o final de los fluidos del proceso o la separación de dos fases líquido-vapor o líquido-líquido.
- aquellas **con componentes internos**, son las carcasas de los intercambiadores de calor, reactores, mezcladoras, columnas de separación y otros.

Así podremos tener:

- Depósitos de Líquidos tanto de:
 - Materias Primas.
 - Corrientes intermedias.
 - Productos finales.
- Recipientes con funciones añadidas como:
 - Mezcladores y reactores con agitación.
 - Intercambiadores de calor.
 - Separadores líquido-gas y líquido-líquido.

El factor fundamental del calculo es determinar el volumen necesario del recipiente calculado, así en los depósitos se determinará por el tiempo de almacenamiento necesario. Para los separadores por la velocidad de separación entre los diferentes fluidos.

Los depósitos de líquidos pueden ser de dos tipos:

- De Presión atmosférica. Generalmente cilíndricos de elevados diámetros y baja altura, con distintos techo.

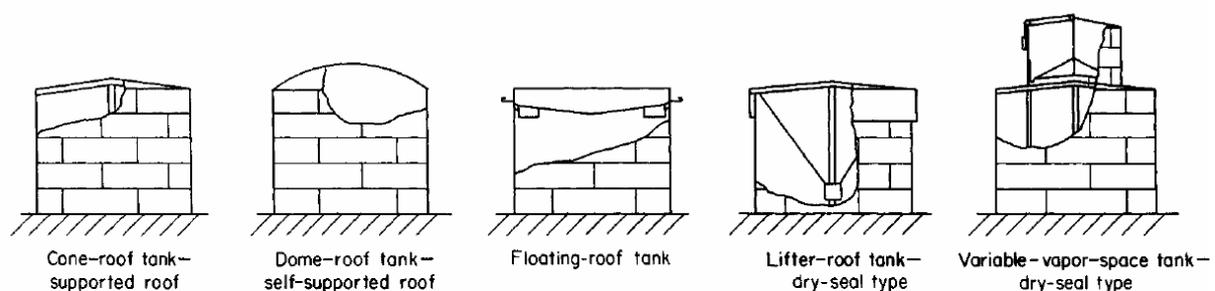


FIG. 10-182 Some types of atmospheric storage tanks.

- Recipientes a Presión. Pueden ser Esféricos, cilíndricos (horizontales y verticales), elipsoidales.

Para tanques de almacenamiento de líquidos se siguen las siguientes reglas de diseño:

- a) Para menos de 1000 gal ($\cong 4 \text{ m}^3$) utilizar tanques verticales montados sobre estructura metálica).
- b) Entre 1000 gal ($\cong 4 \text{ m}^3$) y 10 000 gal ($\cong 40 \text{ m}^3$) utilizar tanques horizontales montados sobre estructura de hormigón
- c) Por encima de 10 000 gal ($\cong 40 \text{ m}^3$) utilizar tanques verticales montados sobre estructura de hormigón

El tema se centra fundamentalmente en:

- a) Descripción de los recipientes a presión.
- b) **Información que debe suministrar el ingeniero químico** al ingeniero mecánico para el diseño final del recipiente a presión.
- c) **Diseño** de depósitos intermedios y separadores líquido-vapor

6.2 RECIPIENTES DE PROCESO.

Los recipientes de proceso consisten fundamentalmente en una carcasa cilíndrica con unos cabezales soldados o atornillados. Si son de diámetro < 24 in. (600 mm) la carcasa es de tubería standard. Si el diámetro es mayor se construyen con chapa arrollada y soldada.

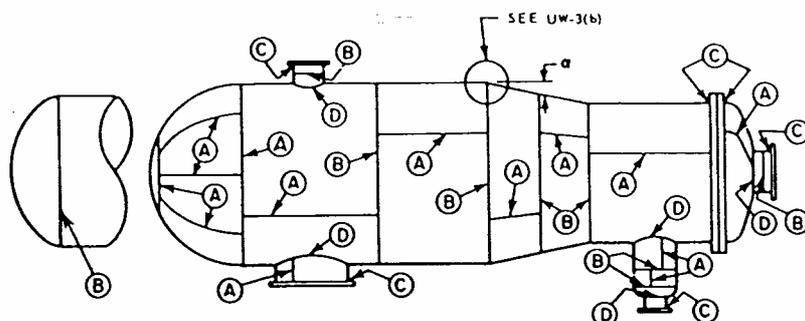


FIG. UW-3 ILLUSTRATION OF WELDED JOINT LOCATIONS TYPICAL OF CATEGORIES A, B, C, and D

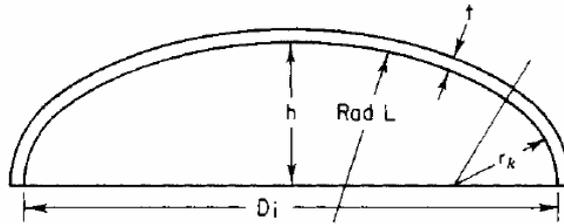
Los cabezales pueden tener distintas configuraciones y su dimensiones a través de fórmulas simplificadas son:

Tipo Cabezal	Toriesférica ASME	Elipsoidal	Hemiesférico
Volumen	$0.08089 D^3$	$0.13075 D^3$	$0.26103 D^3$
Área	$0.931 D_0^2$	$1.08 D_0^2$	$1.57 D_0^2$
Altura	$0.169 D$	$D/4$	$D/2$

Con D = diámetro interior (del cilindro) y D_0 = Diámetro exterior

Valores mas detallados son:

TABLE 10-65 Volumes of Heads*



Type of head	Knuckle radius, r_k	h	L	Volume	% Error	Remarks
Standard dished	Approx. $3t$		Approx. D_i	Approx. $0.050D_i^3 + 1.65tD_i^2$	± 10	h varies with t
Torispherical or A.S.M.E.	$0.06L$		D_i	$0.0809D_i^3$	} ± 0.1 ± 8	r_k must be the larger of $0.06L$ and $3t$
Torispherical or A.S.M.E.	$3t$		D_i	Approx. $0.513hD_i^2$		
Ellipsoidal		$D_i/4$		$\pi D_i^2 h/6$	0	Standard proportions
Ellipsoidal		$D_i/2$	$D_i/2$	$\pi D_i^3/24$	0	
Hemispherical				$\pi D_i^3/12$	0	Truncated cone h = height d = diameter at small end
Conical				$\pi h(D_i^2 + D_i d + d^2)/12$	0	

*Use consistent units.

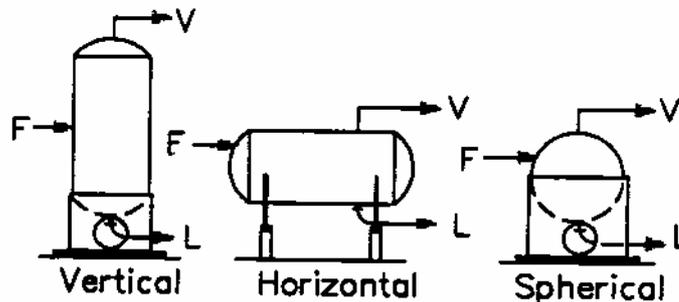
6.3 DISEÑO DE RECIPIENTES DE PROCESO.

Trataremos específicamente el cálculo de recipientes cilíndricos horizontales o verticales para:

- Depósitos Intermedios.
- Acumuladores o Depósitos de Recirculación
- Separadores Líquido-Vapor.

6.3.1 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.

6.3.1.1 CONFIGURACIONES



Separator Configurations

Se utilizan separadores verticales si el caudal del líquido es bajo (del orden de 10 gpm \approx 2.25 m³/hora), para caudales superiores se utilizan los horizontales y los esféricos para alta presión (del orden de 1000 psi \approx 70 atm).

6.3.1.2 TOBERAS

Son las entradas y salidas al recipiente. Deben incluir las toberas para instrumentación, purga y válvulas de seguridad.

6.3.1.3 SOPORTES

Definidos en la figura. Los verticales y esféricos tienen una camisa soldada al cabezal inferior, los horizontales soportes tipo "silla" en los extremos.

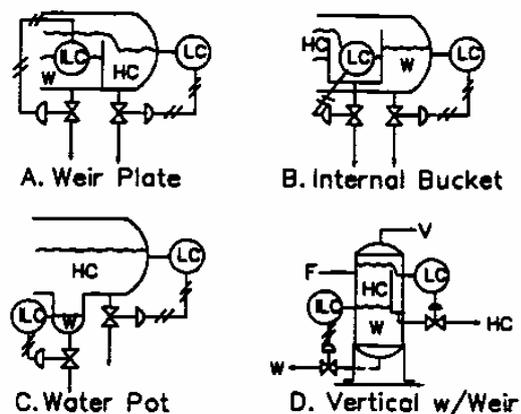
6.3.1.4 ELEMENTOS INTERNOS

Codos o deflectores en la entrada.

Rompedores de vórtices en la salida de líquidos.

Extractores de humedad o rellenos de malla

Paredes separadoras entre líquidos. (ver figura)



Liquid-Liquid Separation Schemes

6.3.2 COMPARACIÓN ENTRE RECIPIENTES HORIZONTALES Y VERTICALES.

Separadores Horizontales

- Ventajas:
 - Dirección del caída del líquido perpendicular al flujo en lugar de a contracorriente.
 - Mayor capacidad de líquido
 - Mejor control de la turbulencia (con platos longitudinales)
 - Mejor uso del volumen de retención
 - Mayor superficie de líquido
 - Más fácil de mantener
 - Mejor para líquido espumosos
- Desventajas
 - Necesita mayor área de la planta
 - No es bueno si hay gran cantidad de sólidos en el líquido.
 - Los eliminadores de humedad se pueden taponar y romper.

Separadores Verticales

- Ventajas:
 - Necesita menor superficie de planta
 - Fácil de limpiar
 - Bueno para manejo de sólidos
- Desventajas
 - Menor capacidad de líquido
 - El líquido fluye a contracorriente del vapor
 - No es bueno para líquidos espumosos
 - Problemas de instalación si es muy alto

6.4 DEPÓSITOS INTERMEDIOS

Los depósitos son recipientes de proceso relativamente pequeños utilizados para realizar la alimentación a otros equipos o para la separación de dos fases mezcladas.

Los depósitos para líquidos son generalmente horizontales.

La relación óptima de longitud / diámetro (L/D) es de 3 pero es común un rango de 2,5 a 5,0 en función de la presión de trabajo.

P (bar)	0-15	15-30	>300
L/D	3	4	5

El tiempo de retención (*holdup*) determina el volumen del depósito. Los valores estimados son:

- 5 minutos para depósitos de reflujo,
- de 5 a 10 min. para un depósito que alimenta a una torre de separación.
- 30 minutos para depósitos que alimentan a un horno (*fired heater*).

Los volúmenes calculados son siempre la MITAD del volumen total del depósito

Los depósitos eliminadores de humedad situados delante de los compresores deben contener un volumen superior a diez veces el caudal por minuto.

Los separadores líquido-líquido se diseñan para una velocidad de separación de 2-3 in/min (5-8 cm/min).

6.5 DIMENSIONADO DEL VOLUMEN POR TIEMPO DE RESIDENCIA (DEPÓSITOS DE REFLUJO)

Los acumuladores y depósitos intermedios se dimensionan basándose en el tiempo de residencia. Este tiempo depende del tiempo de reacción ante un cambio en el proceso, un tiempo muy largo da dimensiones muy grandes; un tiempo muy corto da lugar a pérdida de flexibilidad.

Para estimar el tiempo hay que considerar el tiempo de reacción de los instrumentos y el de reacción del operador.

Un método de dimensionado de depósitos de reflujo propuesto por Watkins (1967) está basado en los siguientes cuatro factores y en las cantidades de caudal de reflujo (L) y la cantidad de fluido desviada (D). el volumen del depósito será:

$$V_d = 2F_4(F_1 + F_2)(L + F_3 D)$$

Tiempo de reacción para Acumuladores de reflujo (minutos)					
operación	Factor instrumentos (F ₁)		Factor de operador (F ₂)		
	con alarma	sin alarma	bueno	normal	malo
FC	0.5	1.0	2	3	4
LC	1.0	1.5	2	3	4
TC	1.5	2.0	2	3	4

Si parte del flujo se deriva a otro depósito se recomienda multiplicar este flujo por el siguiente factor:

Características de operación	Factor (F ₃)
Buen control	2
Control normal	3
Control malo	4
Alimentación desde almacén	1.25

En función de donde esté montado el control, se deben aplicar los factores siguientes al tiempo total.

Lugar de control	Factor (F ₄)
Nivel bajo control central	1
Nivel en panel	1.5
Equipo	2

Estos factores son anteriores al control por ordenador, que reducen estos tiempos.

6.6 DIMENSIONADO DEL VOLUMEN POR VELOCIDAD DE SEPARACIÓN.

En separación de líquidos y gases tenemos unas partículas cayendo a una velocidad dentro de una corriente en sentido perpendicular o a contracorriente, si la velocidad del flujo es mayor que la de caída, esto evitará la separación. Si consideramos las partículas como esferas rígidas la velocidad de sedimentación se obtiene por:

$$V = \sqrt{\frac{4gD_p}{3C_D} \frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}}$$

Donde:

- V : Velocidad de sedimentación
- g : Aceleración de la gravedad
- D_p : Diámetro de partícula
- ρ_L, ρ_V : Densidades de líquido y vapor
- C_D , Coeficiente de caída, depende del número de Reynolds

$$C_D = \frac{64}{Re} \quad Re = \frac{D_p V \rho_V}{\mu_V}$$

El problema de determinar el tamaño de partícula dificulta el uso de esta ecuación, simplificada por Souders and Brown obteniéndose, la velocidad máxima del vapor :

$$V_{MAX} = K \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}}$$

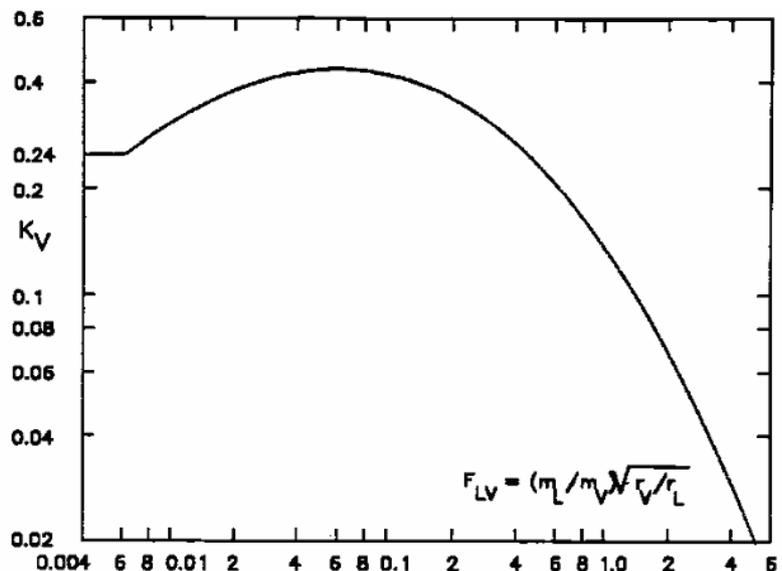
Donde K es el coeficiente de Souders-Brown dado en pies/sec en la figura:

donde:

$$F_{LV} = \frac{m_L}{m_V} \sqrt{\frac{\rho_V}{\rho_L}}$$

Siendo m_v , m_L Los caudales de vapor y liquido.

El área transversal al flujo de vapor se calcula por:



$$A_V = \frac{Q_V}{V_{MAX}} \quad Q_V = \frac{m_V}{\rho_V}$$

El tamaño del separador dependerá de alguno de estos factores:

- (1) Separación del líquido del vapor
- (2) Tiempo de permanencia del líquido
- (3) Separación de un líquido de otro.

La selección de un separador horizontal o vertical depende del análisis económico, siendo la regla general:

Caudales de líquido mayores a 100 gpm (≈ 25 m³/h)	HORIZONTAL
Caudales de líquido Menores de 10 gpm (≈ 2,5 m³/h)	VERTICAL
Caudales intermedios	Comparar costes.

La altura de la parte inferior del recipiente en el que se contiene el líquido está basado en tres consideraciones básicas:

- 1.- Nivel inferior de líquido h_{LLL} , mínimo admisible, con control de parada.
- 2.- Nivel diferencial necesario para vaciado en parada de alimentación, H_H
- 3.- Nivel diferencial necesario para llenado en parada de salida, H_S

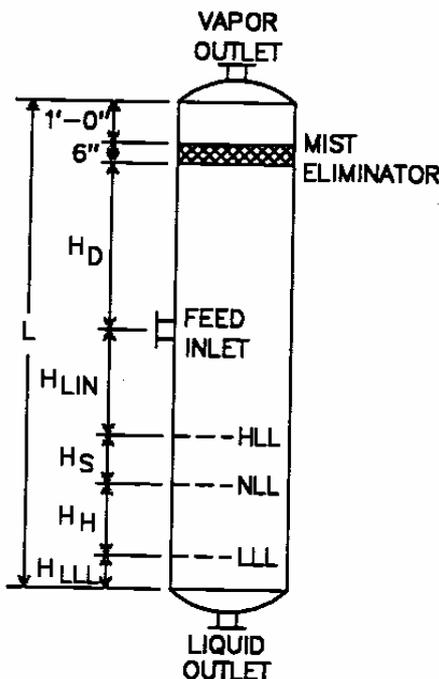
Los volúmenes de llenado y vaciado se calculan por :

$$V_H = T_H Q_L$$

$$V_S = T_S Q_L$$

6.6.1 APLICACIÓN AL CÁLCULO DE RECIPIENTES VERTICALES.

$$D = \sqrt{4A_V/\pi}$$



$$L = H_{LLL} + H_H + H_S + H_{LIN} + H_D + H_{MP}$$

Donde:

H_{LLL} = Nivel mín recomendado 1ft (≈ 0.30m)

$$H_H = V_H/A_V$$

$$H_S = V_S/A_V$$

H_{LIN} = Distancia a tobera de entrada, recomendado 1,5 ft (≈ 0.50 m)

H_D = Zona de separación de líquido, recomendado 2 ft (≈ 0.60 m) ó 0.2 D el mayor

H_{MP} = Distancia para eliminador de humedad, recomendado 1,5 ft (≈ 0.50 m)

6.6.2 APLICACIÓN AL CÁLCULO DE

SEPARADORES HORIZONTALES.

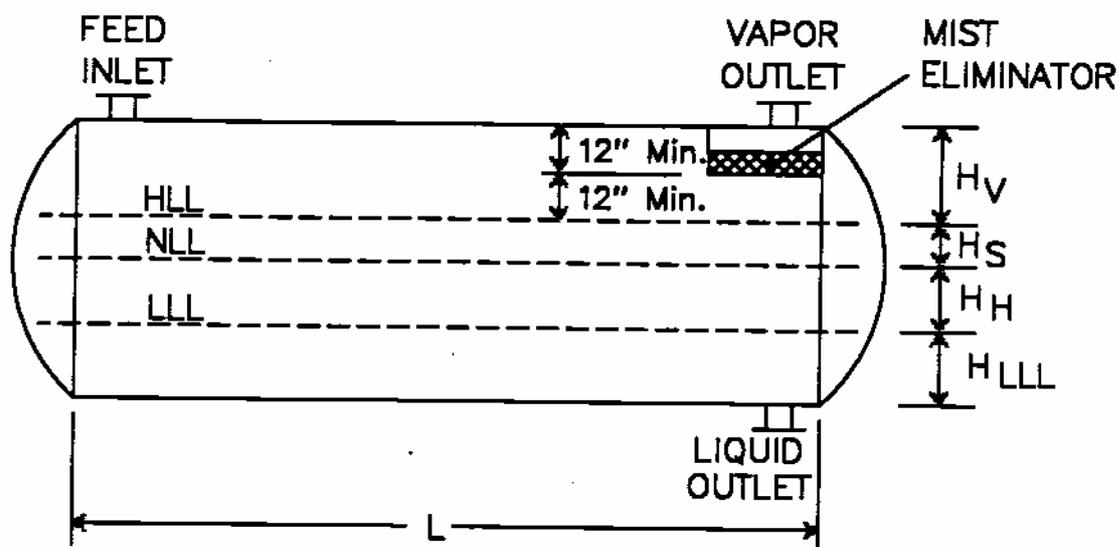
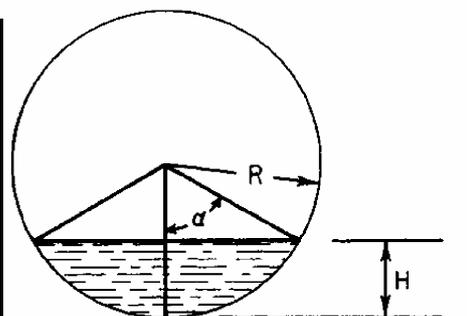


TABLE 10-64 Volume of Partially Filled Horizontal Cylinders

H/D	Fraccion de Volumen	H/D	Fraccion de Volumen	H/D	Fraccion de Volumen	H/D	Fraccion de Volumen
0,01	0,00169	0,26	0,20660	0,51	0,51273	0,76	0,81545
0,02	0,00477	0,27	0,21784	0,52	0,52546	0,77	0,82625
0,03	0,00874	0,28	0,22921	0,53	0,53818	0,78	0,83688
0,04	0,01342	0,29	0,24070	0,54	0,55088	0,79	0,84734
0,05	0,01869	0,30	0,25231	0,55	0,56356	0,80	0,85762
0,06	0,02450	0,31	0,26348	0,56	0,57621	0,81	0,86771
0,07	0,03077	0,32	0,27587	0,57	0,58884	0,82	0,87760
0,08	0,03748	0,33	0,28779	0,58	0,60142	0,83	0,88727
0,09	0,04458	0,34	0,29981	0,59	0,61397	0,84	0,89673
0,10	0,05204	0,35	0,31192	0,60	0,62647	0,85	0,90594
0,11	0,05985	0,36	0,32410	0,61	0,63892	0,86	0,91491
0,12	0,06797	0,37	0,33636	0,62	0,65131	0,87	0,92361
0,13	0,07639	0,38	0,34869	0,63	0,66364	0,88	0,93203
0,14	0,08509	0,39	0,36108	0,64	0,67590	0,89	0,94015
0,15	0,09406	0,40	0,37353	0,65	0,68808	0,90	0,94796
0,16	0,10327	0,41	0,38603	0,66	0,70019	0,91	0,95542
0,17	0,11273	0,42	0,39858	0,67	0,71221	0,92	0,96252
0,18	0,12240	0,43	0,41116	0,68	0,72413	0,93	0,96923
0,19	0,13229	0,44	0,42379	0,69	0,73652	0,94	0,97550
0,20	0,14238	0,45	0,43644	0,70	0,74769	0,95	0,98131
0,21	0,15266	0,46	0,44912	0,71	0,75930	0,96	0,98658
0,22	0,16312	0,47	0,46182	0,72	0,77079	0,97	0,99126
0,23	0,17375	0,48	0,47454	0,73	0,78216	0,98	0,99523
0,24	0,18455	0,49	0,48727	0,74	0,79340	0,99	0,99831
0,25	0,19550	0,50	0,50000	0,75	0,80450	1,00	100,0000



Matemáticamente se puede calcular

$$\phi = H/D$$

$$\alpha = 2\sqrt{\phi - \phi^2}$$

$$\frac{A_L}{A_T} = F_L = \frac{1}{\pi}(\arcsen\alpha - (1 - 2\phi)\alpha)$$

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- (1) Calcular F_{LV} y obtener K de la gráfica

$$F_{LV} = \frac{m_L}{m_V} \sqrt{\frac{\rho_V}{\rho_L}}$$

- (2) Calcular la velocidad máxima del vapor

$$V_{MAX} = K \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}}$$

(3) Calcular el caudal de vapor: $Q_V = \frac{m_V}{\rho_V}$

(4) Calcular el caudal de líquido: $Q_L = \frac{m_L}{\rho_L}$

(5) Calcular los volúmenes necesarios para llenado y vaciado:

$$V_H = T_H Q_L$$

$$V_S = T_S Q_L$$

(6) Asumir $A_L/A_T = 0.60$ y estimar el valor de (L/D) (de 3 a 5).

$$D = \sqrt[3]{\frac{4(V_H + V_S)}{0.6\pi(L/D)}}$$

Se redondea D al diámetro normalizado mayor, (generalmente en saltos de 6 in)

(7) Calcular la sección transversal total

$$A_T = \pi D^2 / 4$$

(8) Utilizar el valor de $H_{LLL} = 1$ ft, y calcular el valor de A_{LLL}

$$A_{LLL} = A_T \cdot F_{LLL} \text{ con } F \text{ calculado con } H = H_{LLL}$$

(9) Asumir el valor mínimo de $H_V = 1$ ft sin malla y 2 ft con malla y calcular el valor de

$$A_V \cdot A_V = A_T \cdot F_V \text{ con } F \text{ calculado con } H = H_V$$

(10) Calcular el área de líquido para llenado y vaciado

$$A_H + A_S = A_T + A_V + A_{LLL}$$

$$L_{\min} = \frac{V_H + V_S}{A_H + A_S}$$

Chequear L_{\min} con el valor propuesto $L = D \cdot (L/D)$, si L_{\min} es mucho menor que L volver a (6) asumir factor (L/D) menor y repetir.

(11) Comprobar que A_V y L permiten el tiempo suficiente para la caída del líquido T_L .

$$T_L = \frac{H_V}{V_{MAX}}$$

la velocidad horizontal está dada por:

$$V_{hor} = \frac{Q_V}{A_V}$$

La longitud mínima para la caída del líquido será:

$$L_{\min} = V_{hor} \cdot T_L$$

Si $L > L_{\min}$, control por tiempo de residencia . diseño OK

Si $L < L_{\min}$, Aumentar H_V y repetir desde (9)

6.7 SEPARADORES LIQUIDO-LIQUIDO

La separación de líquidos se calcula de modo muy similar a la separación de líquido-gas, pero cambian las formulas para determinar la velocidad de separación.

Se utilizan depósitos horizontales.

La velocidad se calcula siguiendo la ecuación de Stokes pero simplificando con un diámetro de partícula de 150 micras. (API Manual on Disposal of Refinery Wastes). Dando un valor de:

$$u = 2.415(\rho_2 - \rho_1) / \mu$$

Con ρ_2 y ρ_1 como pesos específicos y μ en cP la viscosidad de la fase continua.

Para identificar que fase es la dispersa se utiliza la ecuación.

$$\Psi = \frac{Q_L}{Q_H} \left(\frac{\rho_L u_H}{\rho_H u_L} \right)^{0.3}$$

Con el siguiente criterio:

Ψ	Resultado
< 0.3	Siempre dispersa la fase ligera
0.3 – 0.5	Probablemente dispersa la fase ligera
0.5 – 2.0	Inversión de fase
2.0 – 3.3	Probablemente dispersa la fase pesada
>3.3	Siempre dispersa la fase pesada

Los criterios para permitir la separación es que en número de Reynolds para la fase continua calculado con su diámetro hidráulico D_h ha de ser menor a 5000.

$$N_{Re} = \frac{D_h u \rho}{\mu}$$

Con D_h = diámetro hidráulico de la fase continua y u su velocidad lineal.

6.8 TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Los tanques cilíndricos para el almacenamiento de líquidos a temperatura próxima a la presión atmosférica están normalizados según normas API y están fabricados en acero.

Los tanques normalizados están hechos en un rango discreto de combinaciones de diámetro y longitud.

El espesor esta determinado muchas veces por requisitos de rigidez mas que por requisitos de resistencia.

Los tanques horizontales están limitados a 35 000 gal (130 m³) se soportan en estructuras metálicas u hormigón con alturas de 6 a 10 ft (2 a 3,5 m) con espesores mínimos de 3/16 in.

Los valores normalizados están en las siguientes tablas.

TABLE 18.2. Storage Tanks, Underwriter or API Standard, Selected Sizes

a. Small Horizontal Underwriter Label

Capacity Gallons	Dimensions			Weight in pounds
	Diameter	Length	Thickness	
280	42"	4'-0"	$\frac{3}{16}$ "	540
550	48"	6'-0"	$\frac{3}{16}$ "	800
1000	48"	10'-8"	$\frac{3}{16}$ "	1260
1000	64"	6'-0"	$\frac{3}{16}$ "	1160
1500	64"	9'-0"	$\frac{3}{16}$ "	1550
2000	64"	12'-0"	$\frac{3}{16}$ "	1950
3000	64"	18'-0"	$\frac{3}{16}$ "	2730
4000	64"	24'-0"	$\frac{3}{16}$ "	3510

b. Horizontal or Vertical with Underwriter Label

Nominal Capacity Gallons	Dimensions			Weight	No. of Supports
	Diameter	Approx. Length	Thickness		
5,000	6'-0"	23'-9"	$\frac{1}{4}$ "	5,440	3
5,000	7'-0"	17'-6"	$\frac{1}{4}$ "	5,130	2
6,000	8'-0"	16'-1"	$\frac{1}{4}$ "	5,920	2
6,000	8'-0"	16'-1"	$\frac{5}{16}$ "	6,720	2
8,000	8'-0"	21'-4"	$\frac{1}{4}$ "	7,280	2
8,000	8'-0"	21'-4"	$\frac{5}{16}$ "	8,330	2
10,000	8'-0"	26'-7"	$\frac{1}{4}$ "	8,860	3
10,000	8'-0"	26'-7"	$\frac{5}{16}$ "	10,510	3
10,000	10'-0"	17'-2"	$\frac{1}{4}$ "	8,030	2
10,000	10'-0"	17'-2"	$\frac{5}{16}$ "	9,130	2
10,000	10'-6"	15'-8"	$\frac{1}{4}$ "	8,160	2
10,000	10'-6"	15'-8"	$\frac{5}{16}$ "	9,020	2
15,000	8'-0"	39'-11"	$\frac{1}{4}$ "	13,210	4
15,000	8'-0"	39'-11"	$\frac{5}{16}$ "	14,620	4
20,000	10'-0"	34'-1"	$\frac{1}{4}$ "	14,130	3
20,000	10'-0"	34'-1"	$\frac{5}{16}$ "	16,330	3
25,000	10'-6"	38'-9"	$\frac{1}{4}$ "	17,040	4
25,000	10'-6"	38'-9"	$\frac{5}{16}$ "	19,010	4

c. Large Vertical, API Standard

Dimensions		Capacity		Shell Plates (Butt Welded)									
Diameter	Height	42 gal per bbl	U.S. Gal	Bottom Plates	Ring 1	Ring 2	Ring 3	Ring 4	Ring 5	Ring 6	Ring 7	Top Angle	Roof Plates
21'0"	18'0 ³ / ₄ "	1,114	46,788	1 ¹ / ₄ "	3 ³ / ₁₆ "				3" x 3" x 1 ¹ / ₄ "	3 ³ / ₁₆ "			
24'0"	24'0"	1,933	81,186	1 ¹ / ₄ "	3 ³ / ₁₆ "				3" x 3" x 1 ¹ / ₄ "	3 ³ / ₁₆ "			
30'0"	24'0"	3,024	127,008	1 ¹ / ₄ "	3 ³ / ₁₆ "				3" x 3" x 1 ¹ / ₄ "	3 ³ / ₁₆ "			
30'0"	29'11 ¹ / ₄ "	3,769	158,300	1 ¹ / ₄ "	3 ³ / ₁₆ "			3" x 3" x 1 ¹ / ₄ "	3 ³ / ₁₆ "				
30'0"	35'10 ¹ / ₂ "	4,510	189,420	1 ¹ / ₄ "	3 ³ / ₁₆ "		3" x 3" x 1 ¹ / ₄ "	3 ³ / ₁₆ "					
30'0"	37'10 ¹ / ₄ "	4,766	200,161	1 ¹ / ₄ "	1 ¹ / ₄ "	3 ³ / ₁₆ "	3 ³ / ₁₆ "	3 ³ / ₁₆ "	3 ³ / ₁₆ "			3" x 3" x 1 ¹ / ₄ "	3 ³ / ₁₆ "
30'0"	41'9 ³ / ₄ "	5,264	221,088	1 ¹ / ₄ "	3 ³ / ₁₆ "			3" x 3" x 1 ¹ / ₄ "	3 ³ / ₁₆ "				
40'0"	33'10 ³ / ₄ "	7,586	318,612	1 ¹ / ₄ "	1 ¹ / ₄ "	3 ³ / ₁₆ "	3 ³ / ₁₆ "	3 ³ / ₁₆ "	3 ³ / ₁₆ "			3" x 3" x 1 ¹ / ₄ "	3 ³ / ₁₆ "
50'0"	47'9"	16,700	701,400	1 ¹ / ₄ "	0.35"	0.29"	0.25"	1 ¹ / ₄ "	1 ¹ / ₄ "	1 ¹ / ₄ "		3" x 3" x 1 ¹ / ₄ "	3 ³ / ₁₆ "
60'0"	39'10"	20,054	842,268	1 ¹ / ₄ "	0.34"	0.27"	1 ¹ / ₄"	1^{1}/_{4}"	1^{1}/_{4}"	1^{1}/_{4}"		3" x 3" x 1 ¹ / ₄ "	3 ³ / ₁₆ "
70'0"	40'1"	27,472	1,153,824	1 ¹ / ₄ "	0.40"	0.32"	0.25"	1 ¹ / ₄ "	1 ¹ / ₄ "	1 ¹ / ₄ "		3" x 3" x 3 ³ / ₈ "	3 ³ / ₁₆ "
100'0"	40'0"	55,960	2,350,320	1 ¹ / ₄ "	0.57"	0.45"	0.33"	1 ¹ / ₄ "	1 ¹ / ₄ "			3" x 3" x 3 ³ / ₈ "	3 ³ / ₁₆ "
150'0"	48'0"	151,076	6,345,192	1 ¹ / ₄ "	1.03"	0.85"	0.68"	0.50"	0.33"	1 ¹ / ₄ "		3" x 3" x 3 ³ / ₈ "	3 ³ / ₁₆ "

6.9 NORMA: UNE 62350-1:1996

Tanques de acero para almacenamiento de carburantes y combustibles líquidos.

Tanques de capacidad mayor de 3000 litros

Parte 1: Tanques horizontales de pared simple

ANEXO A

A.1 Objeto

Este anexo tiene por objeto el definir las dimensiones de una serie de modelos de tanques, que están incluidos dentro de esta norma.

Para facilitar la referencia a esta norma de los modelos más usuales en el mercado, se establece una tabla de medidas (tabla A), con las características principales de los tanques. La relación de los modelos no es exhaustiva, por lo que la tabla no es limitativa.

A.2 Características de la tabla A

La tabla se construye como una serie de modelos de tanques definidos en esta norma. Dentro de la tabla hay una "serie principal" y una "serie complementaria" de tanques. La serie principal son los modelos más usuales y la serie complementaria establece unos modelos alternativos.

El tanque se define con el volumen nominal en litros.

Se realizan las dimensiones, atendiéndose al volumen nominal. El tanque construido podrá variar de lo indicado en la tabla, siempre dentro de las tolerancias especificadas en esta norma.

Se consideran los tanques, con fondos como los indicados en 4.2.1. de las siguientes características:

$R = D_e$,

$r = D_e/30$.

El largo de la parte cilíndrica (B) incluye las virolas y la zona cilíndrica de los fondos.

Los modelos entre paréntesis son los "modelos complementarios".

Los pesos corresponden a las medidas de la tabla y a espesores nominales, por ello habrá una cierta variación real en función de las tolerancias de espesor de los materiales. No se ha contado en la tabla con el peso de la boca de hombre ni de otros accesorios como las orejetas de izado.

A.3 Designación

La designación de los tanques de este anexo se realiza por su volumen nominal, seguido de la referencia de la norma UNE, con la indicación de "serie principal" o "serie complementaria" según proceda.

Ejemplo: Depósito de 30 000 litros (UNE 62350-1) serie principal.

Tabla A

Capacidad nominal (litros)	Diámetro exterior (mm)	Largo parte cilíndrica (mm)	Longitud total (mm)	Peso (kg)	Espesor nominal (mm)
(4 000)	1 200	3 376	3 748	477	4
(5 000)		4 272	4 644	583	
(6 000)		5 168 ¹⁾	5 540	689	
4 000	1 500	2 027	2 491	428	
5 000		2 599	3 063	512	
6 000		3 171	3 635	597	
(7 500)		4 029	4 492	723	
(10 000)		5 458	5 922	934	
(12 000)		6 602 ¹⁾	7 066	1 103	
(5 000)		1 900	1 449	2 039		597	5
(6 000)	1 806		2 395	680	
7 500	2 340		2 930	805	
10 000	3 232		3 821	1 014	
(12 000)	3 944		4 534	1 180	
(15 000)	5 014		5 603	1 430	
(20 000)	6 796		7 386	1 847	
(10 000)	2 200	2 275	2 957	1 154	6
12 000		2 807	3 489	1 327	
15 000		3 604	4 287	1 586	
(20 000)		4 934	5 617	2 018	
(25 000)		6 264	6 947	2 449	
(10 000)	2 500	1 619	2 394	1 135	
(12 000)		2 031	2 805	1 286	
(15 000)		2 648	3 422	1 514	
20 000		3 676	4 451	1 894	
25 000		4 705	5 479	2 273	
30 000		5 733	6 508	2 653	
35 000		6 761	7 536	3 032	
40 000		7 790	8 564	3 412	
50 000		9 847	10 621	4 171	
60 000		11 904 ²⁾	12 678	4 930	
(50 000)	3 000	6 627	7 555	4 942	8
(60 000)		8 057	8 985	5 786	
75 000		10 202	11 130	7 052	
100 000		13 777 ³⁾	14 705	9 162	

1) Dos refuerzos, como mínimo del tipo T 35 x 35 x 4,5.

2) Dos refuerzos, como mínimo del tipo T 60 x 60 x 7.

3) Dos refuerzos, como mínimo del tipo T 80 x 80 x 9.

6.10 DISEÑO MECÁNICO RECIPIENTES A PRESIÓN.

El diseño mecánico de los recipientes a presión consiste en la determinación del espesor del material. Este se obtiene de las siguientes fórmulas tomadas del código ASME de recipientes a presión que da los siguientes valores:

Tipo de depósito	Espesor (t)	Presión de diseño (P)
Concha Cilíndrica	$t = \frac{P.R}{S.E - 0,6P}$	$P = \frac{S.E.t}{R + 0,6t}$
Concha Esférica	$t = \frac{P.R}{2S.E - 0,2P}$	$P = \frac{2S.E.t}{R + 0,2t}$
Cabeza hemisférica	$t = \frac{P.L}{2S.E - 0,2P}$	$P = \frac{2S.E.t}{L + 0,2t}$

Donde:

- t = Espesor del recipiente, no incluye el sobre-espesor por corrosión.
- R = Radio del recipiente (mismas unidades que t)
- P = Presión de diseño del recipiente
- S = Máximo esfuerzo permisible para el material (función de temperatura) (mismas unidades que P)
- E = Eficiencia de la soldadura (adimensional, 0-- 1)
- L = Radio interno de cabeza hemisférica (unidades de t)

Los valores típicos de **E** dependen del tipo de soldadura y de la inspección realizada:

Tipo de soldadura	Grado de examen radiográfico		
	100 %	Puntual	No
Soldadura en "X"	1.00	0.85	0.70
Soldadura en "V" con fondo	0.90	0.80	0.65
Soldadura en "V" sin fondo	--	--	0.60

Los **sobre-espesores por corrosión** mínimos para acero al carbono son: 1/8" (3.2 mm) en situación normal, si el sobre-espesor es mayor a 1/4" estudiar otro material.

La Presión de diseño (**P**) es la máxima presión de trabajo permitida, (MAWP) que se calcula como el mayor de:

$$P = P_0 (1 + 0.10) \text{ ó } P = P_0 + 30 \text{ psi} = P_0 + 2 \text{ atm.}$$

Si el recipiente está protegido a la sobrepresión con discos de ruptura se calcula P como:

$$P = P_0 (1 + 0.33)$$

El esfuerzo máximo admisible (**S**) o esfuerzo de seguridad se obtiene a partir de esfuerzo de ruptura y está tabulado:

Tabla 6-57. Valores de esfuerzos máximos permisibles en tensión para aceros al carbono y de baja aleación

Valores en libras por pulgada cuadrada

Especificación A.S.M.E. No.	Grado	Composición nominal	Resistencia mínima especificada a la tensión	Para temperaturas que no sobrepasen (°F):						
				-20 a 650	700	800	900	1000	1100	1200
Placas										
<i>Aceros al carbono</i>										
SA515	55	C-Si	55 000	13 700	13 200	10 200	6 500	2 500		
SA515	70	C-Si	70 000	17 500	16 600	12 000	6 500	2 500		
SA516	55	C-Si	55 000	13 700	13 200	10 200	6 500	2 500		
SA516	70	C-Si	70 000	17 500	16 600	12 000	6 500	2 500		
SA285	A	.....	45 000	11 200	11 000	9 000	6 500			
SA285	B	.....	50 000	12 500	12 100	9 600	6 500			
SA285	C	.....	55 000	13 700	13 200	10 200	6 500			
<i>Aceros de baja aleación</i>										
SA202	A	Cr-Mn-Si	75 000	18 700	17 700	12 600	6 500	2 500		
SA202	B	Cr-Mn-Si	85 000	21 200	19 800	12 800	6 500	2 500		
SA387	D*	2 1/4 Cr-1 Mo	60 000	15 000	15 000	15 000	13 100	7 800	4 200	1 600
Tubos y tuberías sin costuras										
<i>Aceros al carbono</i>										
SA53	A	.....	48 000	12 000	11 600	9 300	6 500			
SA53	B	.....	60 000	15 000	14 300	10 800	6 500			
<i>Aceros de baja aleación</i>										
SA213	T22	2 1/4 Cr-1 Mo	60 000	15 000	15 000	15 000	13 100	7 800	4 200	1 600

Tabla 6-57. Valores de esfuerzos máximos permisibles en tensión para aceros al carbono y de baja aleación

Valores en libras por pulgada cuadrada

Especificación A.S.M.E. No.	Grado	Composición nominal	Resistencia mínima especificada a la tensión	Para temperaturas que no sobrepasen (°F):							
				-20 a 650	700	800	900	1000	1100	1200	
Piezas de forja <i>Aceros al carbono</i> SA105 SA105	I	.....	60 000	15 000	14 300	10 800	6 500	2 500		
	II	.....	70 000	17 500	16 600	12 000	6 500	2 500		
<i>Aceros de baja aleación</i> SA162 SA372	F22	2¼ Cr-1 Mo	70 000	17 500	17 500	17 500	14 000	7 800	4 200	1 600	
	IV	0.25 Mo	105 000	26 200 a 24 600	(cuando se normalizan o normalizan y templan)						
Piezas vaciadas <i>Aceros al carbono</i> SA216 SA216	WCA	.....	60 000	15 000	14 300	10 800	6 500	2 500		
	WCB	.....	70 000	17 500	16 600	12 000	6 500	2 500		
<i>Aceros de baja aleación</i> SA217	WC9	2¼ Cr-1 Mo	70 000	17 500	17 500	17 000	14 000	7 800	4 200	1 600	
Pernos <i>Aceros al carbono</i> SA307	B	55 000	7 000	(no se permiten por encima de 450 °F)						
<i>Aceros de baja aleación</i> SA193 SA193	B7†	1 Cr-0.2 Mo	.....	25 000	25 000	21 000	12 500	4 500		
	B16†	1 Cr-0.5 Mo	.....	25 000	25 000	25 000	20 500	11 000	2 700	

* Recocido.
† Diámetros menores de 2 ½ pulg.

Tabla 6-5B. Valores de esfuerzos máximos permisibles, en tensión, para productos de aluminio y aleaciones de aluminio

Valores en libras por pulgada cuadrada

Designación A.S.T.M. de la aleación	Templado	Espesor, en pulg	Resistencia mínima especificada a la tensión	Resistencia mínima especificada de cedencia	Para temperaturas que no sobrepasen (°F)						
					100	150	200	250	300	350	400
<i>Láminas y placas: especificación A.S.M.E. No. SB-209</i>											
1060	0	0.051-3.000	8 000	2 500	1 600	1 600	1 600	1 400	1 200	1 000	800
	H12	0.051-2.000	11 000	9 000	2 700	2 700	2 300	2 300	2 000	1 800	1 100
	H14	0.051-1.000	12 000	10 000	3 000	3 000	2 900	2 600	2 600	1 800	1 100
	H112	0.250-0.499	11 000	7 000	2 700	2 600	2 400	2 000	1 800	1 600	1 000
	H112	0.500-1.000	10 000	5 000	2 500	2 400	2 100	1 900	1 600	1 400	1 000
	H112	1.001-3.000	9 000	4 000	2 200	2 100	1 900	1 700	1 400	1 000	800
5052	0	0.051-3.000	25 000	9 500	6 200	6 200	6 200	6 200	5 600	4 100	2 300
	H32	0.051-2.000	31 000	23 000	7 700	7 700	7 500	7 500	6 100	4 100	2 300
	H34	0.051-1.000	34 000	26 000	8 500	8 500	8 400	8 400	6 100	4 100	2 300
	H112	0.250-0.499	28 000	16 000	7 000	7 000	7 000	7 000	6 100	4 100	2 300
	H112	0.500-3.000	25 000	9 500	6 200	6 200	6 200	6 200	6 000	4 100	2 300
5456	0	0.051-1.500	42 000	19 000	10 500	10 500	10 500	10 500	6 000	4 100	2 300
	0	1.501-3.000	41 000	18 000	10 200	10 200	10 200	10 200	6 000	4 100	2 300
	H321	0.188-1.250	46 000	33 000	11 500	11 500	11 500	11 500	6 100	4 100	2 300
	H321	1.251-1.500	44 000	31 000	11 000	11 000	11 000	11 000	6 100	4 100	2 300
	H321	1.501-3.000	41 000	29 000	10 200	10 200	10 200	10 200	6 000	4 100	2 300
<i>Varillas, barras y perfiles: especificación A.S.M.E. No. SB-221</i>											
1060	0, H112	All	8 500	2 500	1 600	1 600	1 600	1 400	1 200	1 000	800
<i>Tubos estrados sin costura: especificación A.S.M.E. No. SB-210</i>											
1060	0, H112	0.010-0.500	8 500	2 500	1 600	1 600	1 600	1 400	1 200	1 000	800
	H14	0.010-0.500	12 000	10 000	3 000	3 000	2 900	2 900	2 600	1 800	1 100
<i>Pernos y materiales similares: especificación A.S.M.E. No. SB-211</i>											
2014	T6	0.125-8.000	65 000	55 000	13 000	12 200	11 600	10 400	7 200	4 400	3 000

Tabla 6-59. Valores de esfuerzos máximos permisibles, en tensión, para aceros de alta aleación*

Valores en libras por pulgada cuadrada

Especificación A.S.M.E. No.	Grado	Composición nominal	Resistencia mínima especificada a la tensión	Para temperaturas que no sobrepasen (°F)										
				-20 a 100	200	400	700	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
<i>Aceros en placas</i>														
SA-240	304	18 Cr-8 Ni	75 000	18 700	15 600	12 900	11 000	10 100	9 700	8 800	6 000	3 700	2 300	1 400
SA-240	304L†	18 Cr-8 Ni	70 000	15 600	13 300	10 000	9 300	10 100	9 700	8 800	6 000	3 700	2 300	1 400
SA-240	310S	25 Cr-20 Ni	75 000	18 700	16 900	14 900	12 700	11 600	9 800	5 000	2 500	700	300	200
SA-240	316	16 Cr-12 Ni-2 Mo	75 000	18 700	16 100	13 300	11 300	10 800	10 600	10 300	7 400	4 100	2 200	1 700
SA-240	410	13 Cr	65 000	16 200	15 400	14 400	13 100	10 400	6 400	2 900	1 000			
<i>Tubos y tuberías—soldados</i>														
SA-249	TP304	18 Cr-8 Ni	75 000	15 900	13 300	11 000	12 000	11 500	10 600	7 400	4 600	2 900	1 700	1 000
SA-268	TP410	13 Cr	60 000	12 700	12 100	11 300	10 200							
<i>Pernos</i>														
SA-193	B8	18 Cr-8 Ni	75 000	15 000	13 300	10 900	8 600	7 500	7 000	6 300	4 500	2 400	1 400	750
SA-193	B6(410)	13 Cr	110 000	20 000	19 000	17 700	16 100	11 000						

* El Código da varios conjuntos de valores de esfuerzos, dependiendo de condiciones específicas (véase el Código, Tabla UHA-23).
+ 9 000 lb/pulg² a 800 °F

6.11 PROBLEMAS.

6.7.1 Se necesita un acumulador de reflujo para manejar el caudal en cabeza de un fraccionador de 400 gpm de los cuales 300 gpm son de reflujo y 100 es producto destilado. El reflujo del fraccionador está bajo control automático de temperatura con una alarma en el indicador de nivel del acumulador de reflujo. El producto destilado fluye a otra unidad de proceso por medio de un buen control de nivel. Estimar el volumen del acumulador.

6.7.2 Diseñar un separador de líquido para la aspiración de un compresor de aire. El flujo de aire es 5000 ft³/min. El liquido a separar es agua en una cantidad muy pequeña. La densidad del aire es 0.1 lbm/cuft a la temperatura y presión de aspiración.

6.7.3 Diseñar un separador de gas y aceite para las siguientes condiciones de proceso.

$m_L = 46100 \text{ lbm/hr}$ $\rho_L = 38.83 \text{ lbm/cuft}$

$m_V = 145600 \text{ lbm/hr}$ $\rho_V = 4.01 \text{ lbm/cuft}$

Presión de operación = 975 psig

Tiempo de llenado $T_H = 10 \text{ min}$

Tiempo de Vaciado $T_S = 5 \text{ min}$

6.7.4 Diseñar un separador de agua y aceite para las siguientes condiciones de proceso.

Aceite Caudal = 180 cfh sp gr = 0.90 Viscosidad = 10 cP

Agua Caudal = 640 cfh sp gr = 1.00 Viscosidad = 0.7 cP

6.12 EXAMENES

EXAMEN 29-01-97

12.- Estimar el espesor de la concha cilíndrica de un recipiente a presión con relación (L/D) = 4 para contener 25 m³ de un fluido a 40 bar de presión y 400 °C si el recipiente es de acero al carbono SA 515 grado 70 y tenemos una eficiencia en soldadura E =0,80.

A	50 mm	B	66 mm
C	60 mm	D	75 mm

13.- ¿Cuál es la altura mínima recomendada para un separador líquido-vapor vertical de 0.50 m de diámetro, con eliminador de humedad y un volumen total por tiempo de residencia de 300 litros ($V_S + V_H$).

A	1,5 m	B	8 pies
C	3,4 m	D	4,8 m

EXAMEN 03-09-97

09.- Estimar el espesor de la concha cilíndrica de un recipiente a presión con relación (L/D) = 4 para contener 10 m³ de un fluido a 50 bar de presión y 40 °C si el recipiente es de acero inoxidable SA 240 grado 304 y tenemos una eficiencia en soldadura E =0,80.

A	40 mm	B	50 mm
C	60 mm	D	70 mm

EXAMEN 04-09-98

- C07.-** Estimar el espesor de la concha cilíndrica de un recipiente a presión protegido con disco de ruptura, con relación $(L/D) = 3$ para contener 20 m^3 de un fluido a 400 psig de presión y $900 \text{ }^\circ\text{F}$ si el recipiente es de acero inoxidable AISI 316 y tenemos una eficiencia en soldadura $E = 0,80$.

A	2 ½ pulgadas	B	70 mm
C	60 mm	D	80 mm

EXAMEN 05-02-99

- C05.-** Cual de los siguientes depósitos utilizarías para un separador de gas y aceite para las siguientes condiciones de proceso.

Tiempo de llenado = 10 min.; Tiempo de Vaciado = 5 min.

Presión de operación = 30 bar

$$m_L = 25000 \text{ kg/hr} \qquad \rho_L = 820 \text{ kg/m}^3$$

$$m_V = 80000 \text{ kg/hr} \qquad \rho_V = 60 \text{ kg/m}^3$$

A	Horizontal de $\phi = 5,5 \text{ ft}$ y $L = 22 \text{ ft}$	B	Vertical de $\phi = 1.0 \text{ m}$ y $L = 5 \text{ m}$
C	Horizontal de $\phi = 1,0 \text{ m}$ y $L = 5 \text{ m}$	D	Vertical de $\phi = 4 \text{ ft}$ y $L = 16 \text{ ft}$

EXAMEN 04-09-99

- C04.- Espesor de un recipiente de proceso (7%)**

Estimar el espesor de la concha cilíndrica de un recipiente a presión protegido con disco de ruptura, con relación $(L/D) = 4$ para contener 25 m^3 de un fluido a 35 bar de presión y $600 \text{ }^\circ\text{C}$ si el recipiente es de acero inoxidable AISI 316 y tenemos una eficiencia en soldadura $E = 0,80$.

A	60 mm	B	70 mm
C	80 mm	D	100 mm

EXAMEN 12-01-02

- C04.- Recipientes a presión**

Estimar el espesor de un recipiente esférico a presión para contener 30 m^3 de un fluido a 600 psig de presión y $800 \text{ }^\circ\text{F}$ si el recipiente es de acero al carbono SA 515 grado 70, está protegido con válvula de seguridad y tenemos una eficiencia en soldadura $E = 0,80$.

A	2 in	B	2 ½ in
C	3 in	D	3 ½ in