

Equipos e Instalaciones Industriales

2025

Ing. Jorge Nozica
Ing. Leticia Simoncini
Ing. Héctor A. Perez

Recipientes sometidos a Presión Interna

RECIPIENTES SOMETIDOS A PRESIÓN INTERNA

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO



RECIPIENTES SOMETIDOS A PRESION INTERNA

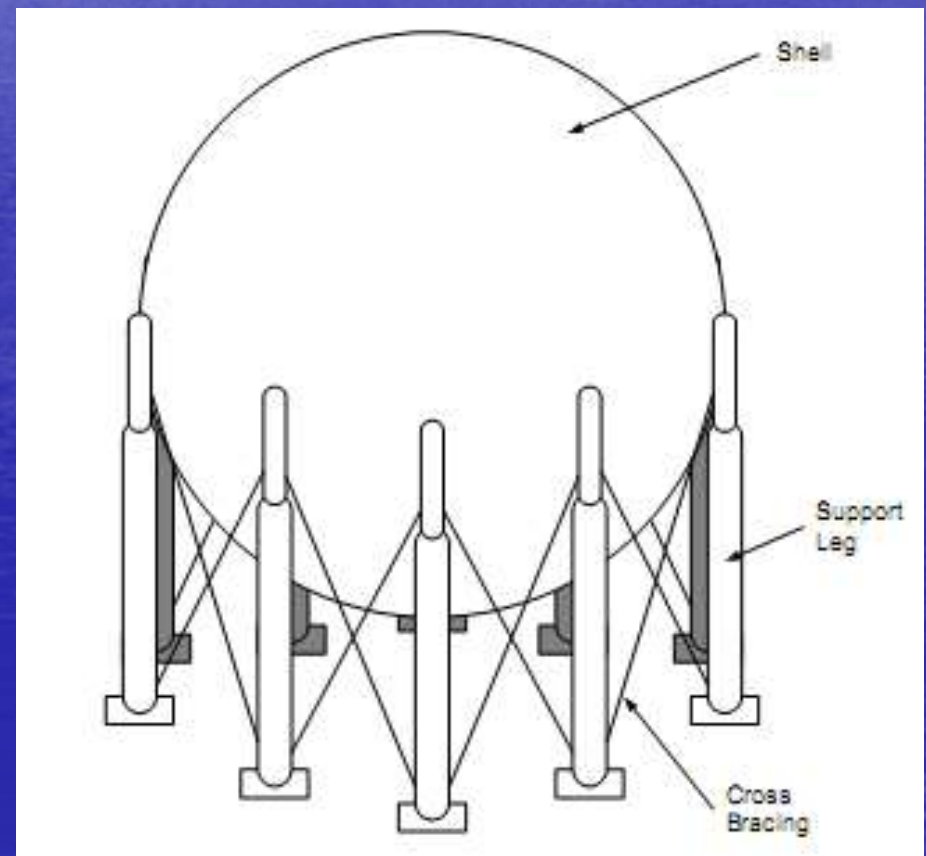
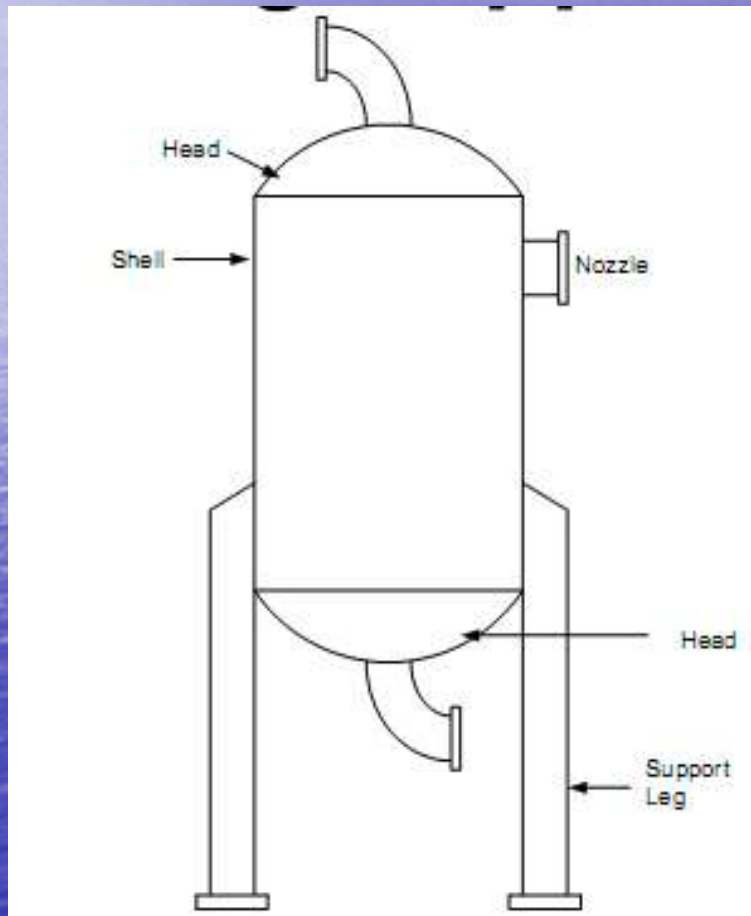
Definición

Se llama recipiente a un depósito cerrado de longitud limitada que contiene o puede contener una sustancia (inocua o letal), en nuestro caso fluidos sometidos a presión.

Estos equipos se clasifican en dos grupos:

- Recipientes sometidos a presión interna (RSPI).
- Recipientes sometidos a presión externa (RSPE).

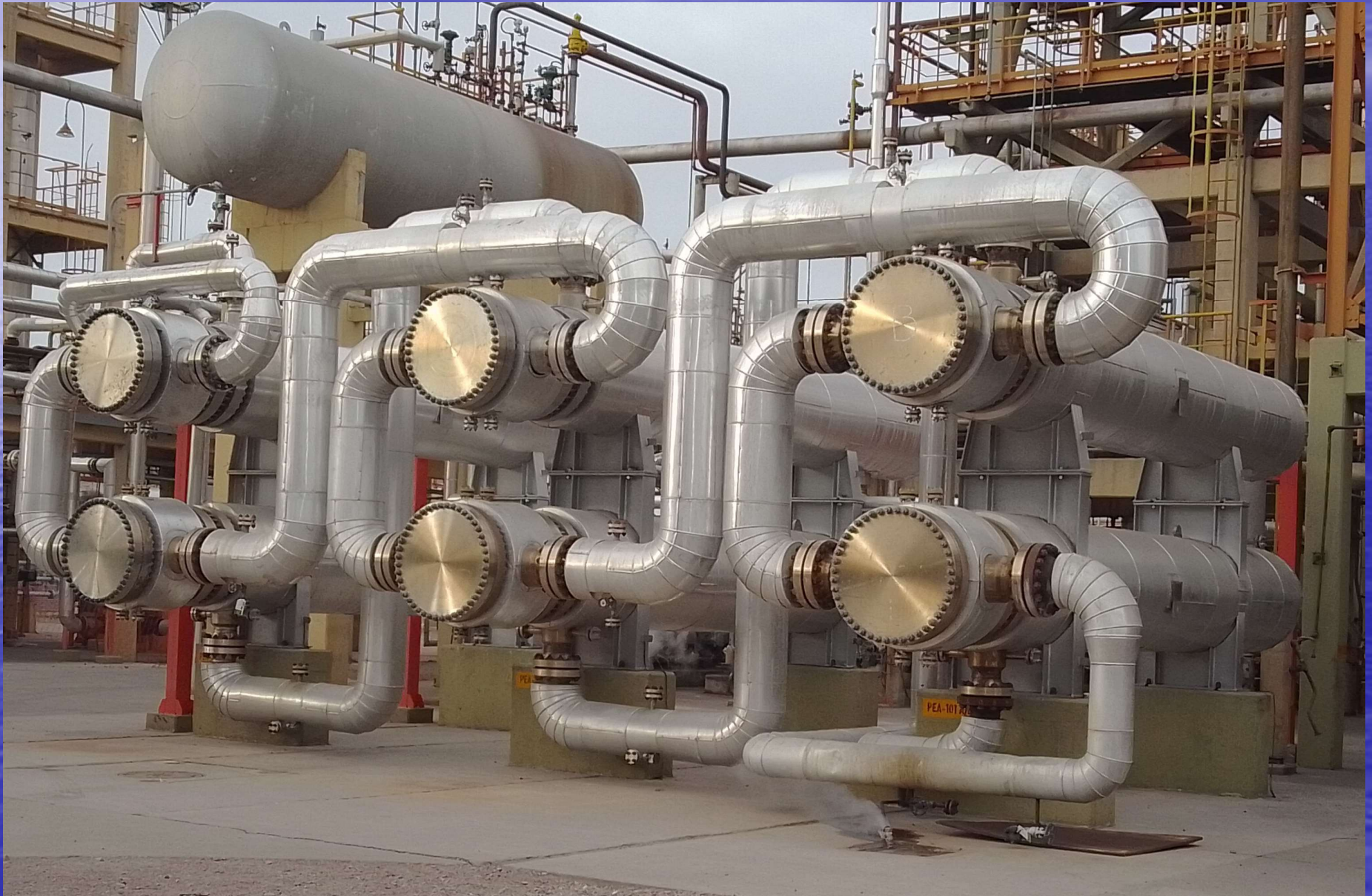
Ejemplos de RECIPIENTES



Ejemplos de RECIPIENTES



Ejemplos de RECIPIENTES a Presión (Intercambiadores)



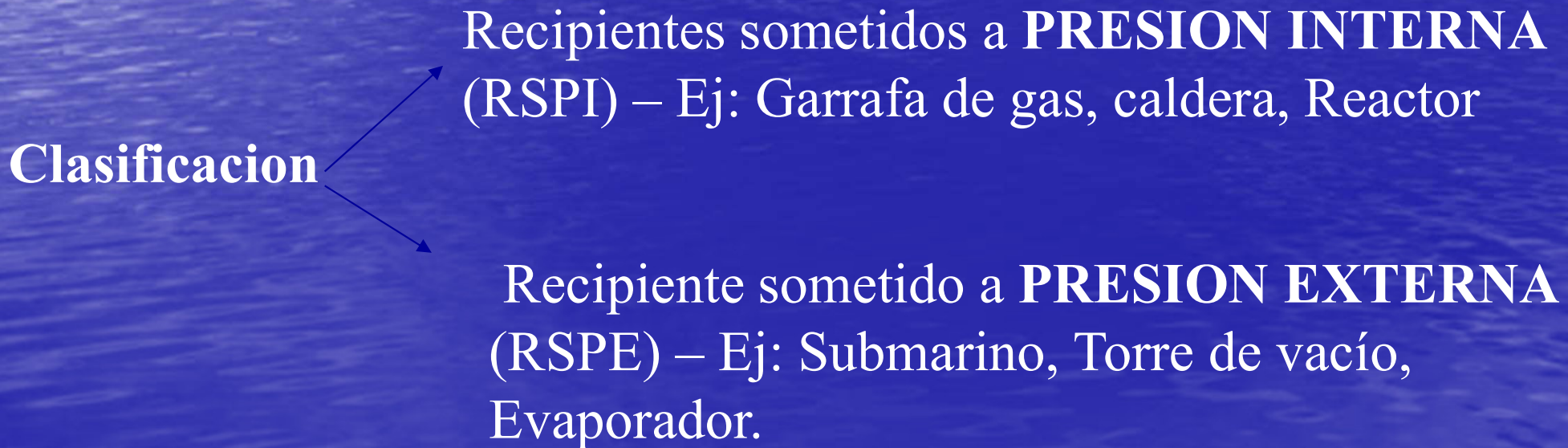
Ejemplos de RECIPIENTES



RECIPIENTES

DEFINICION: Se llama recipiente a un depósito cerrado de longitud limitada que contiene o puede contener una sustancia (sometida o no a presión). No será sometido a la acción del fuego, pero si puede utilizarse a altas temperaturas.

Clasificacion



Recipientes sometidos a **PRESION INTERNA** (RSPI) – Ej: Garrafa de gas, caldera, Reactor

Recipiente sometido a **PRESION EXTERNA** (RSPE) – Ej: Submarino, Torre de vacío, Evaporador.

CODIGOS

Es importante utilizar recipientes que estén calculados bajo normas

Normas Internacionales mas utilizadas:

- Código **ASME** (American Society of Mechanical Engineers)
- Código **CECT** (Comité Europeo de Constructores de Tuberías)
- Código **AD-Merkblatter** (Alemán)

Fabrica de Zapatos – Massachusetts (USA) 1905

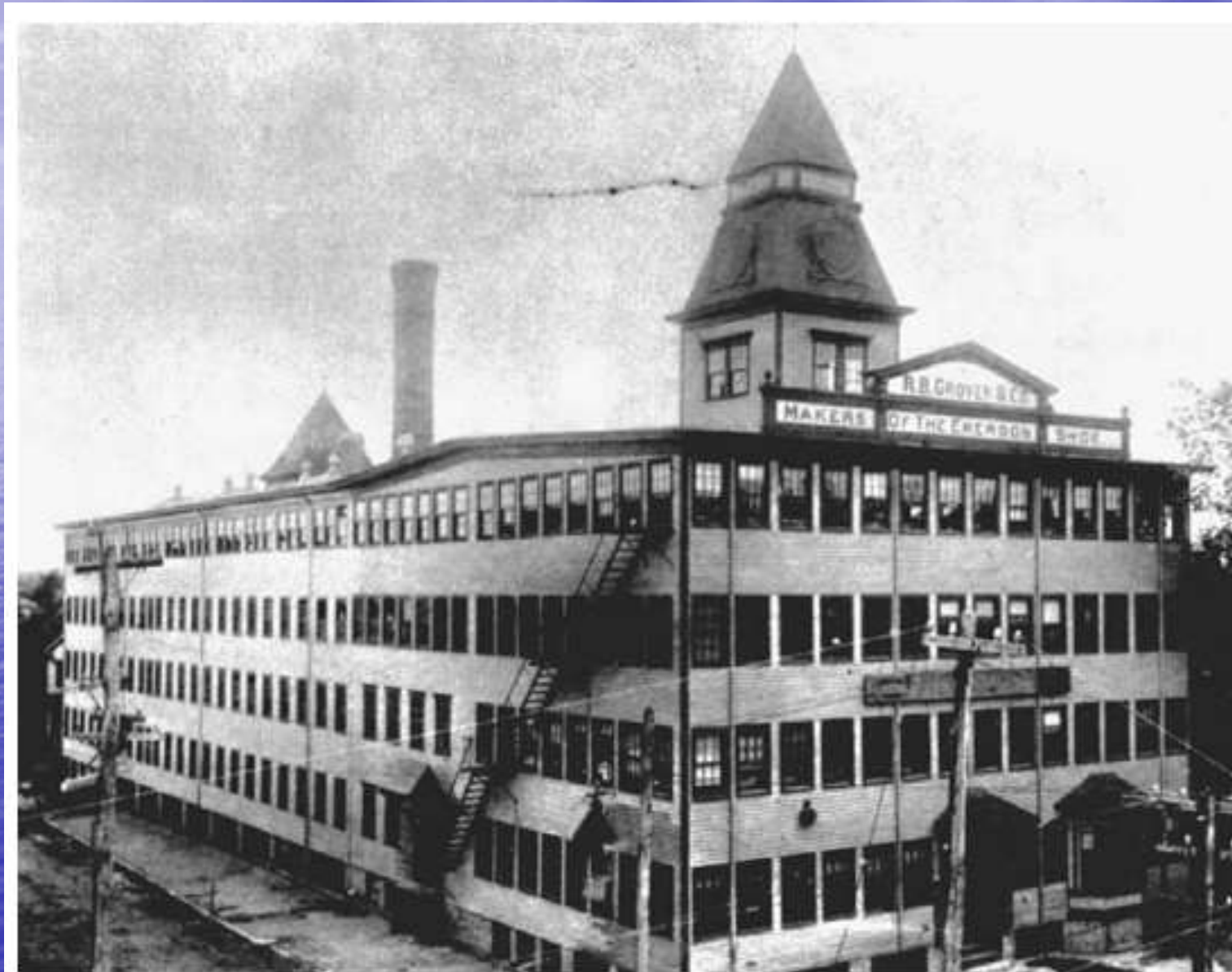


Figure 1.1 The Brockton, Massachusetts, shoe factory. *(Courtesy of The Hartford Steam Boiler Inspection and Insurance Company.)*

Fabrica de Zapatos – Massachusetts (USA) 1905



Figure 1.2 Shoe factory after the boiler explosion of March 20, 1905, which led to the adop-

Código ASME

Es un conjunto de normas, agrupadas en once secciones que incluyen los siguientes ítemes:

- Recipientes
- Uniones
- Soldaduras
- Materiales
- Condiciones de Diseño

Además especifica el proceso de fabricación: cortado de chapa, biselado, prensado, etc.

“ EL OBJETIVO ES LOGRAR EL MEJOR RECIPIENTE A MENOR COSTO “

Organización del Código ASME

Las secciones del código son:

- I. Calderas de Potencia.
- II. Especificaciones de Materiales.
- III. Componentes de Plantas de Energía Nuclear.
- IV. Calderas de Calefacción.
- V. Ensayos No Destructivos.
- VI. Regla Recomendadas para el cuidado y funcionamiento de calderas de calefacción.
- VII. Regla Recomendadas para el cuidado de calderas de potencia.
- VIII. Recipientes a Presión.
- IX. Condiciones de Soldadura.
- X. Recipiente a Presión de Plástico reforzado con fibras de Vidrio.
- XI. Reglas para inspección de componentes en plantas nucleoelectricas.

Características del Código ASME

La **sección VIII** está referida a recipientes sometidos a presión, cuenta con tres divisiones: *División 1*, *División 2* y *División 3*

División 1 :Es para recipientes de caldera, no sometidos a la acción del fuego , está constituida por tres secciones: A, B ,C.

División 2 :Es para alternativas especiales y formas no usuales, por ejemplo recipientes no cilíndricos ni esféricos, permite esfuerzos más elevados de diseño, control más estricto de calidad.

División 3: Para recipientes sometidos a presión > 10000 psi

Código CECT y AD-Merkblatter

CECT: Es un código referido especialmente para tuberías. Que incluye: diseño, fabricación y montaje de tuberías de acero soldada para instalaciones hidroeléctricas.

AD-Merkblatter: Asociado con las normas DIN, es un código muy completo pues sirve para construir recipientes de metales y no metales. Especifica: ensayos, diseño y proceso de fabricación.

Materiales Usados en Recipientes

- 95% ACERO COMÚN (1010, 1020 o INOXIDABLE).
- PLASTICO O FIBRA DE VIDRIO (son mas livianos y resistentes a la corrosión)
- ALUMINIO (aleaciones con impurezas de Mn y Mg)

Materiales Usados en Recipientes

Common Pressure Vessel Materials			
SERVICE	TYPICAL MATERIALS	COMMENTS	NOTES
Produced fluids containing water	Carbon steel with coating	Corrosivity of produced fluids varies widely	1
Sweet hydrocarbons, less 1 ppm H ₂ S	Carbon steel	May corrode even with trace H ₂ S above 550°F	1
SERVICE	TYPICAL MATERIALS	COMMENTS	NOTES
Sour hydrocarbons, with more than 1 ppm H ₂ S below 550°F	Carbon steel	Limited to 550°F maximum	1
Sour hydrocarbons, with more than 1 ppm H ₂ S above 550°F	Carbon steel clad with 12% Cr stainless steel		2
Sweet hydrogen, such as in catalytic reformers, hydrogen and ammonia plants	Carbon steel, 1¼ Cr-½ Mo and 2¼ Cr Mo steels	Choice depends on temperature and hydrogen partial pressure; see API Recommended Practice 941	1, 3
Sour hydrogen; may also contain hydrocarbon; examples include hydroprocessing unit and hydrotreater process streams	Carbon steel, 1¼ Cr-½ Mo, and 2¼ Cr-1 Mo Often clad with Type 321 or 347 stainless steel	Choice depends on temperature and on hydrogen and H ₂ S partial pressure; see API Recommended Practice 941	4
Steam	Carbon steel	CO ₂ corrosion may demand stainless cladding in a condensation service	1

DISEÑO

FACTORES PRIMORDIALES DE DISEÑO:

- MATERIALES
- FORMA
- ESPESOR
- UNIONES
- CONSTRUCCION

DATOS INICIALES PARA EL CALCULO

- Dimensiones del recipiente (diámetro). Relación L/D
- Tipo de cabezal a usar
- Condiciones de operación (Presión de trabajo, T, etc)
- Código a emplear.
- Cargas actuantes

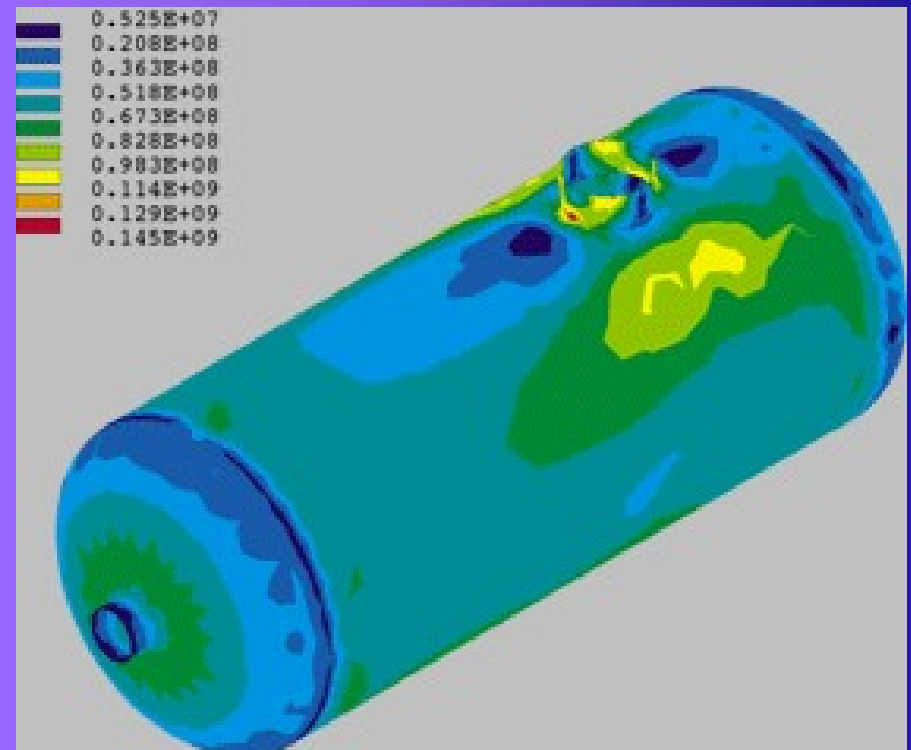
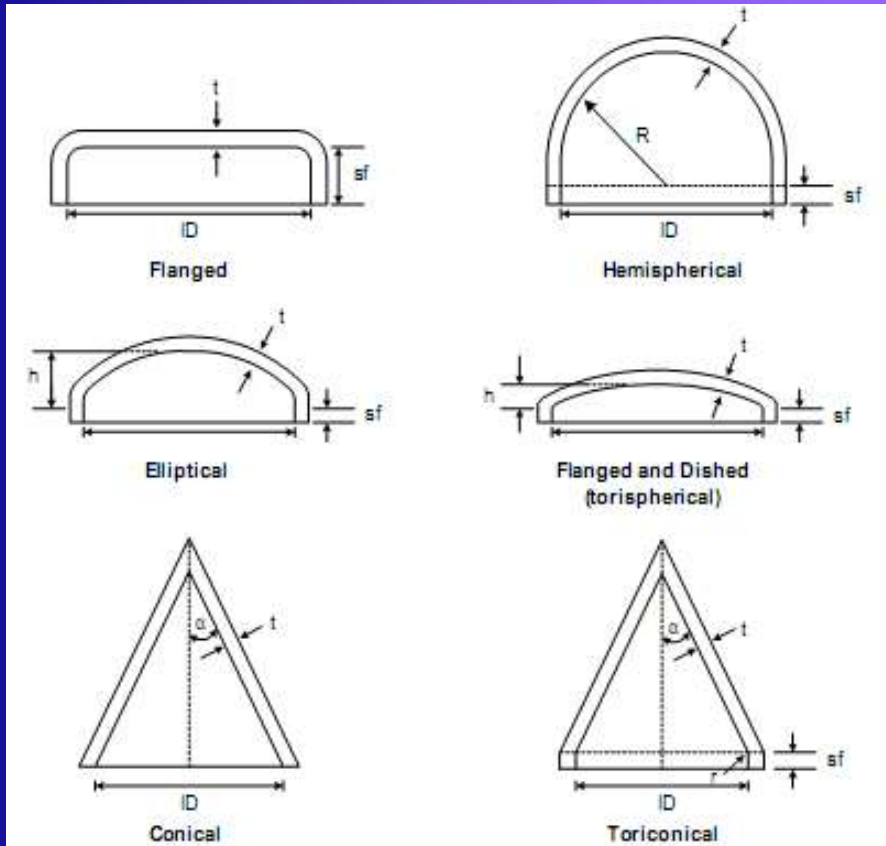
Diseño de Recipientes sometidos a Presión Interna

ENVOLVENTES: Sólo se calcula el espesor, ya que la rotura se produce por tensión. Para éstos recipientes no es grave la excentricidad. Tienen una tolerancia de forma superior a los RSPE.-

Recipientes sometidos a PRESION

TIPOS DE CABEZALES:

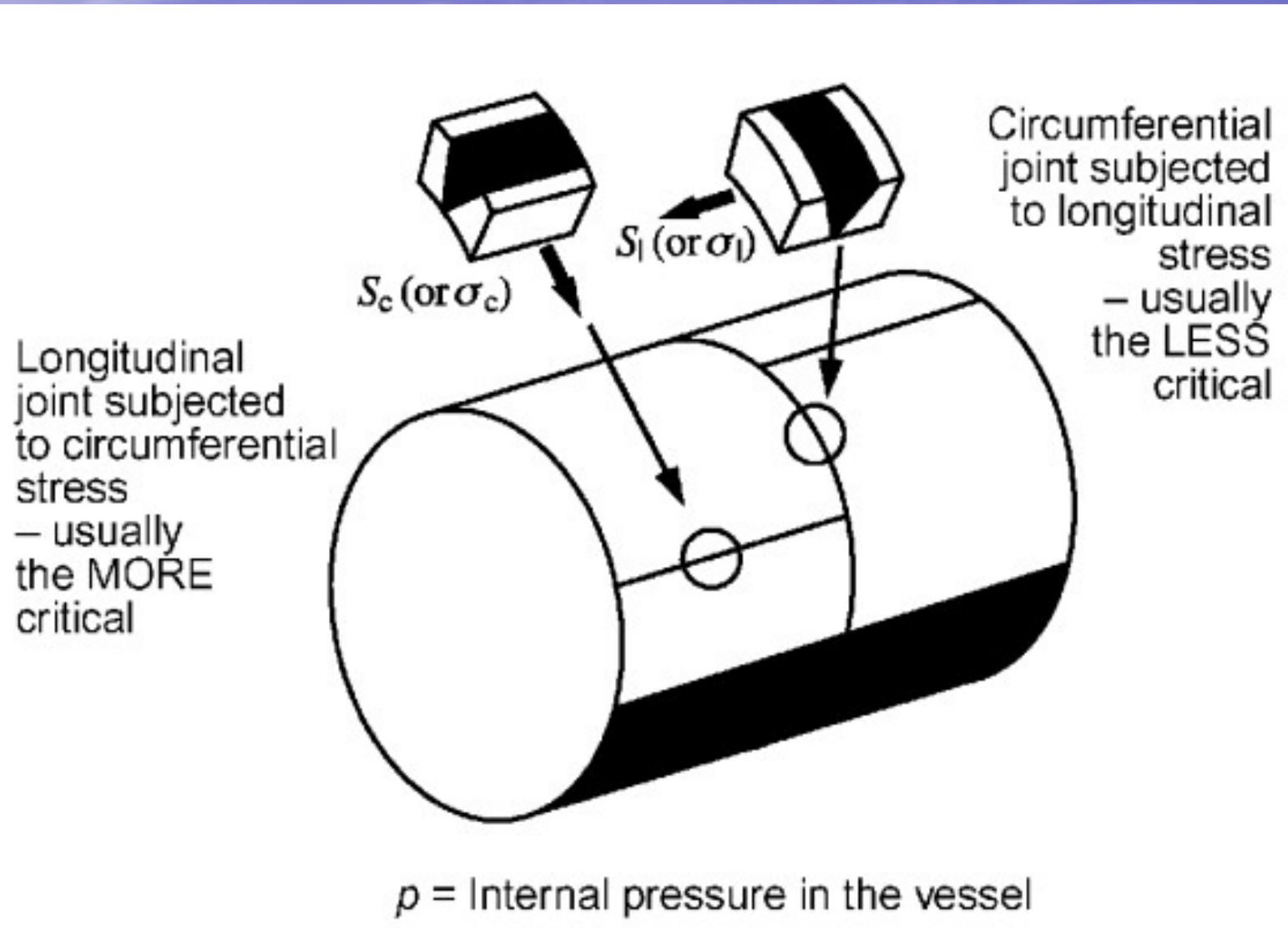
- Semiesférico
- Semielípticos
- Toriesféricos
- Toricónico
- Planos



ESFUERZOS SOPORTADOS POR UN RECIPIENTE

Si el espesor del recipiente es relativamente fino ($e \leq 0,5 r$ para recipientes cilíndricos o $e \leq 0,356 r$ para recipientes esféricos), la tensión circunferencial (σ_t) y la tensión longitudinal (σ_l) son prácticamente uniformes a través del espesor de la pared y son las únicas tensiones presentes, siendo la tensión radial (σ_r) despreciable.

ESFUERZOS SOPORTADOS POR UN RECIPIENTE



ESFUERZOS SOPORTADOS POR UN RECIPIENTE

(c) *Cylindrical Shells.* The minimum thickness or maximum allowable working pressure of cylindrical shells shall be the greater thickness or lesser pressure as given by (1) or (2) below.

(1) *Circumferential Stress (Longitudinal Joints).* When the thickness does not exceed one-half of the inside radius, or P does not exceed $0.385SE$, the following formulas shall apply:

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} \quad \text{or} \quad P = \frac{SEt}{R + 0.6t} \quad (1)$$

(2) *Longitudinal Stress (Circumferential Joints).*¹⁶ When the thickness does not exceed one-half of the inside radius, or P does not exceed $1.25SE$, the following formulas shall apply:

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} \quad \text{or} \quad P = \frac{2SEt}{R - 0.4t} \quad (2)$$

ESFUERZOS SOPORTADOS POR UN RECIPIENTE

(b) The symbols defined below are used in the formulas of this paragraph.

t = minimum required thickness of shell, in.

P = internal design pressure (see UG-21), psi

R = inside radius of the shell course under consideration,¹⁵ in.

S = maximum allowable stress value, psi (see UG-23 and the stress limitations specified in UG-24)

E = joint efficiency for, or the efficiency of, appropriate joint in cylindrical or spherical shells, or the efficiency of ligaments between openings, whichever is less.

For welded vessels, use the efficiency specified in UW-12.

For ligaments between openings, use the efficiency calculated by the rules given in UG-53.

Tensión Circunferencial (σ_t)

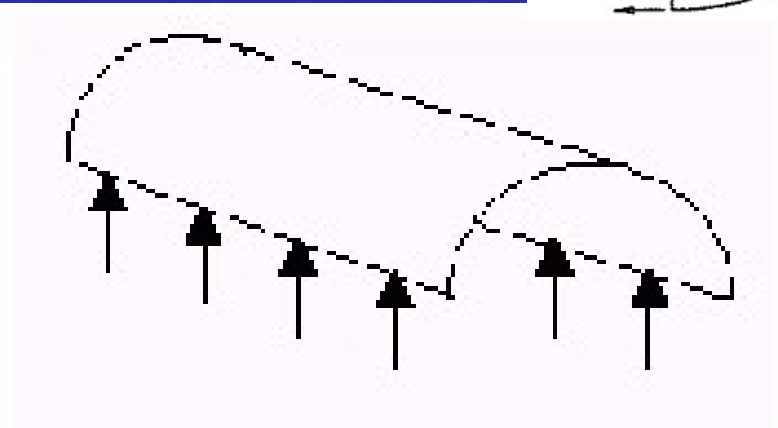
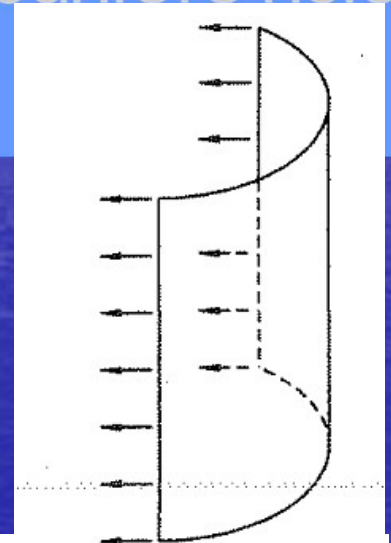
p = presión interna

$P = p * d * l$ fuerza que tiende a la rotura circunferencial

$a = 2 * e * l$ área que resiste el esfuerzo

$$\sigma = \frac{P}{a} = \frac{p * d * l}{2 * e * l} = \frac{p * d}{2 * e}$$

$$e = \frac{p * d}{2 * \sigma}$$



Tensión Longitudinal (σ_l)

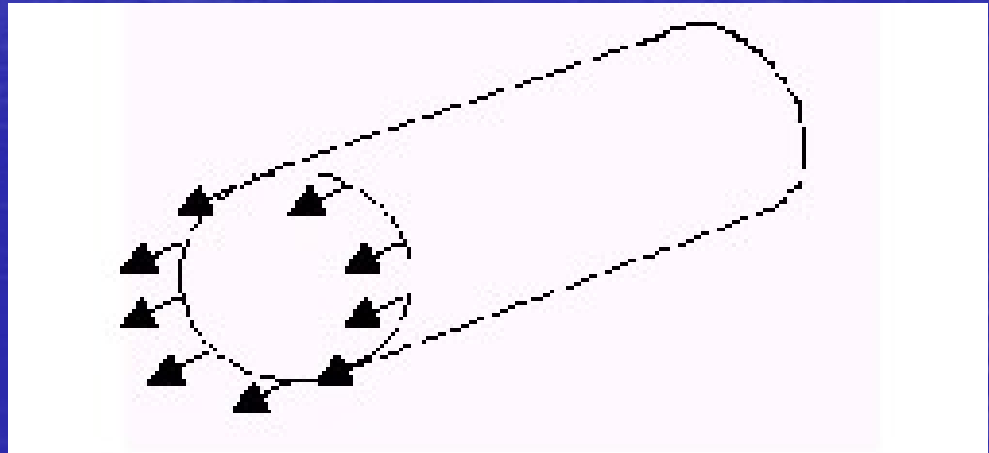
p = presión interna

$P = \frac{p * \pi * d^2}{4}$ fuerza que tiende a la rotura longitudinal

$a = e * \pi * d$ área que resiste el esfuerzo

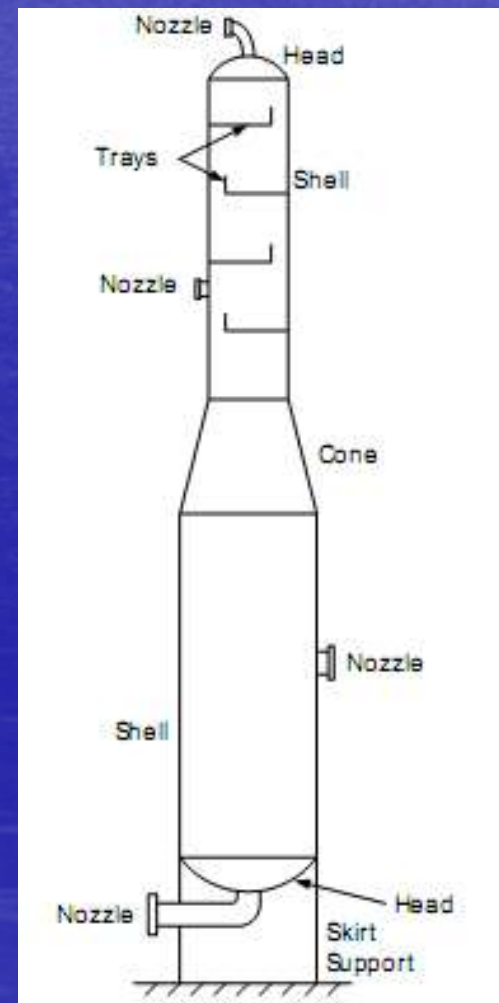
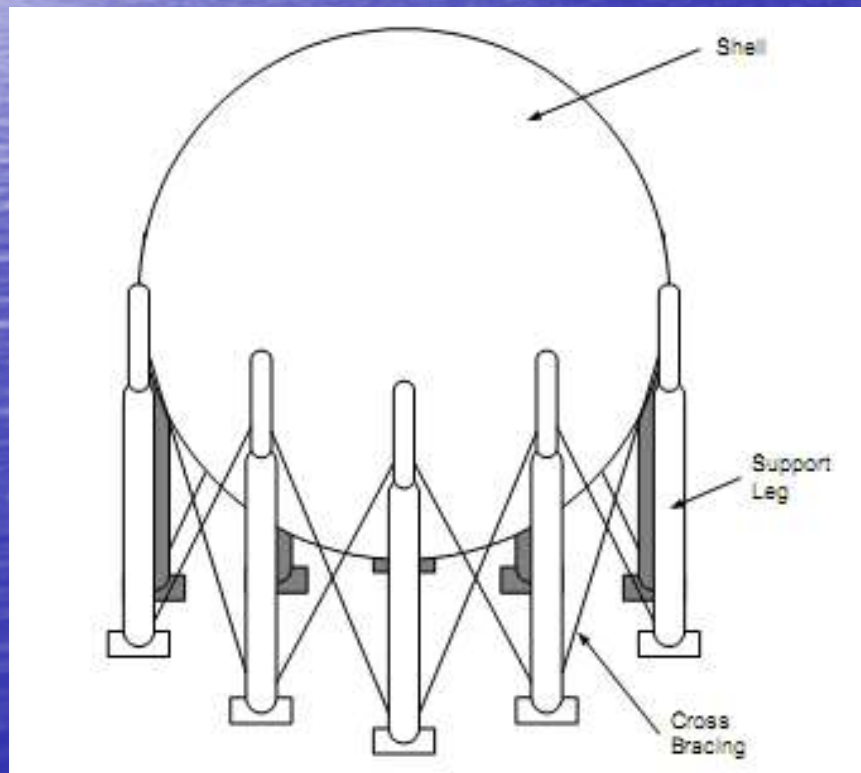
$$\sigma = \frac{P}{a} = \frac{p * d}{4 * e}$$

$$e = \frac{p * d}{4 * \sigma}$$

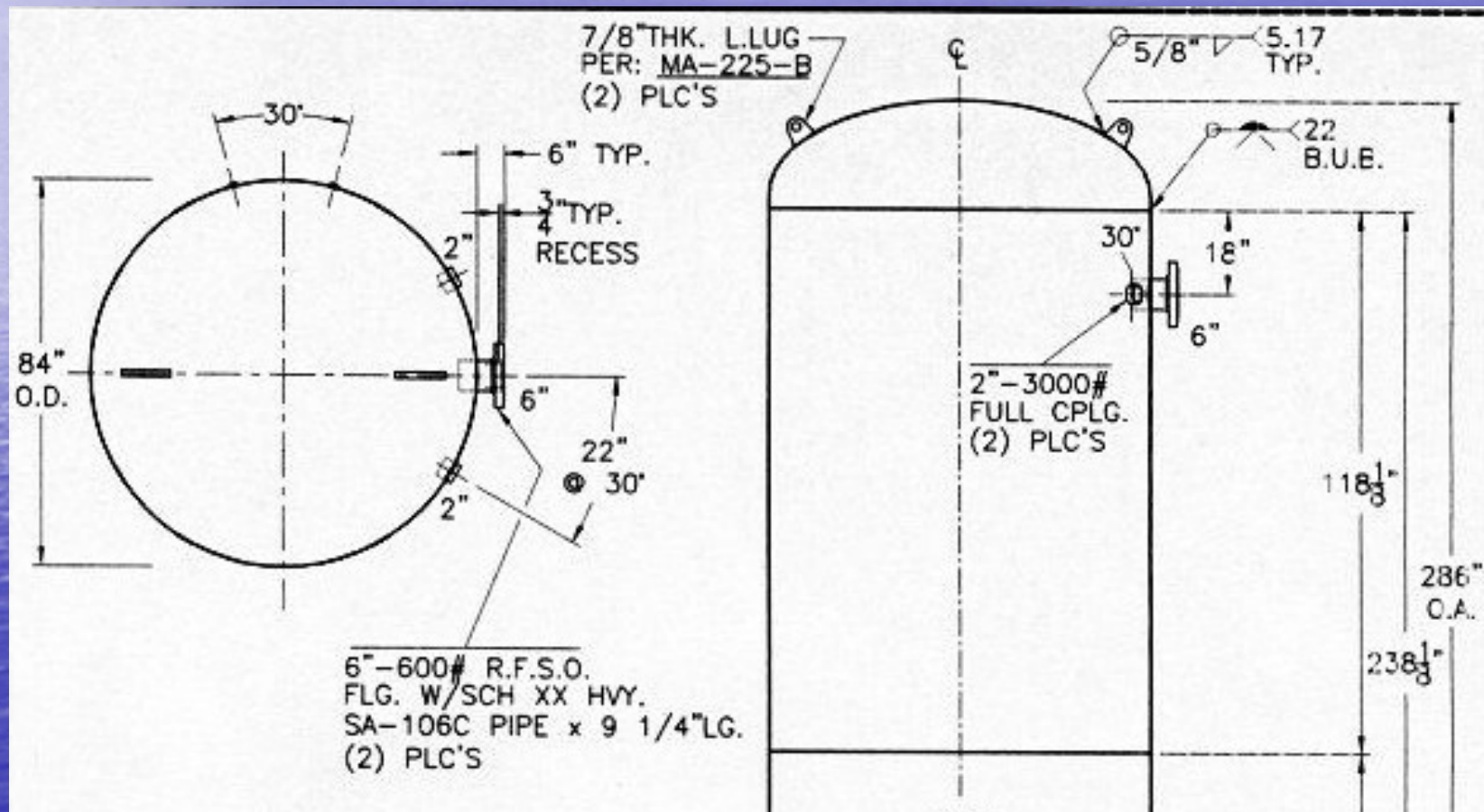


Recipientes sometidos a PRESION INTERNA

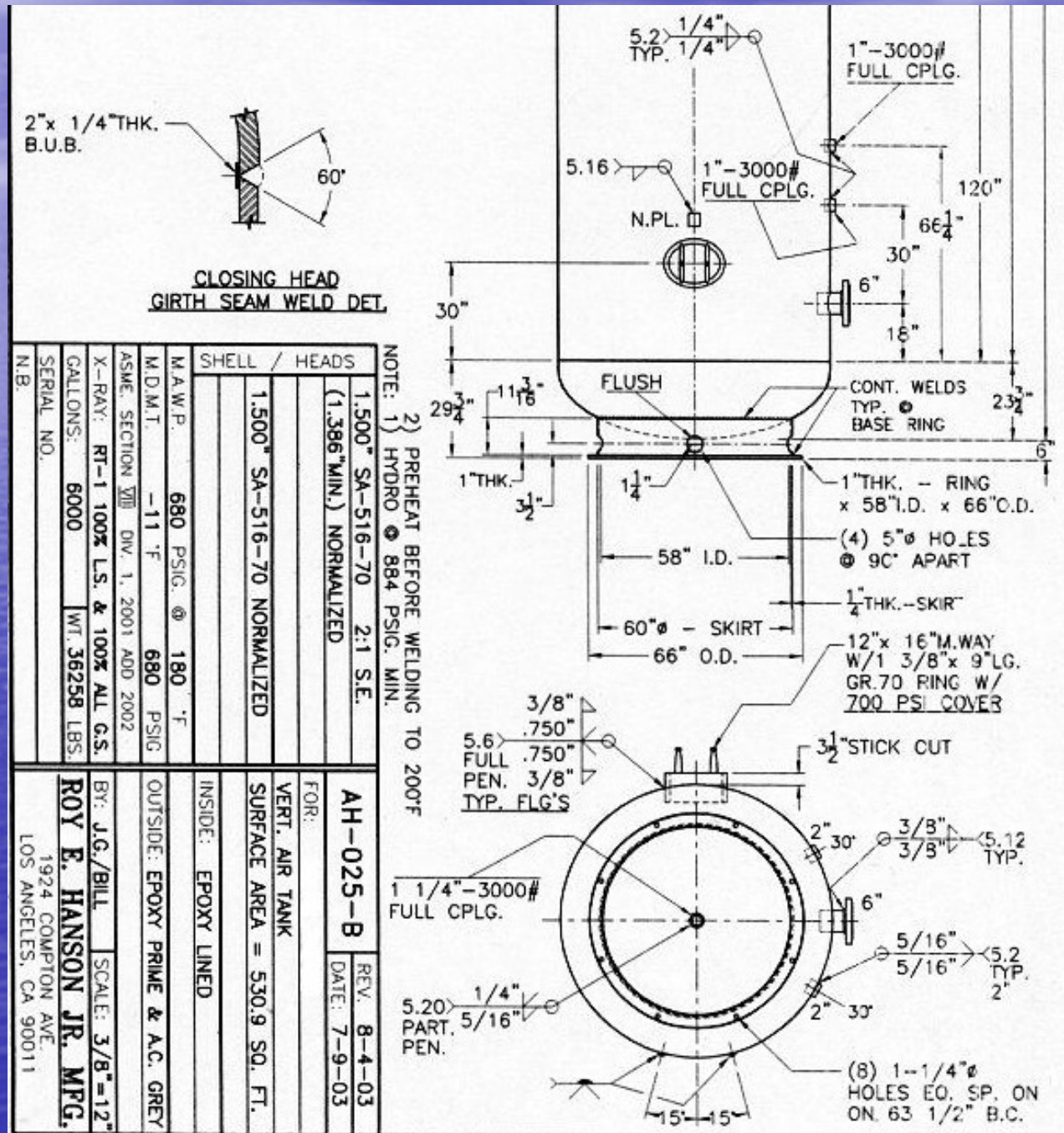
- Son los mas utilizados.
- Forma **ESFERICA**: Gases y Liquidos Volátiles
- Forma **CILINDRICA**: resto de aplicaciones.



Recipientes sometidos a PRESION INTERNA



Recipientes sometidos a PRESION INTERNA



Recipientes sometidos a PRESION INTERNA

2) PREHEAT BEFORE WELDING TO 200°F		1.1 FULL	5.2 PAF PER
NOTE: 1) HYDRO @ 884 PSIG. MIN.			
SHELL / HEADS	1.500" SA-516-70 2:1 S.E.	AH-025-B	REV. 8-4-03
	(1.386"MIN.) NORMALIZED		DATE: 7-9-03
		FOR:	
	1.500" SA-516-70 NORMALIZED	VERT. AIR TANK	
	SURFACE AREA = 530.9 SQ. FT.		
	INSIDE: EPOXY LINED		
M.A.W.P.	680 PSIG. @ 180 °F	OUTSIDE: EPOXY PRIME & A.C. GREY	
M.D.M.T.	-11 °F 680 PSIG		
ASME. SECTION VIII DIV. 1, 2001 ADD 2002		BY: J.G./BILL SCALE: 3/8"=12"	
X-RAY: RT-1 100% L.S. & 100% ALL G.S.			
GALLONS:	6000	WT. 36258 LBS.	
SERIAL NO.			
N.B.			



Tensión Admisible del Material (S)

Es función de la temperatura de diseño, tipo de acero y tensión de fluencia y de rotura. Siempre caen dentro de la zona elástica.

ALLOWABLE STRESS IN TENSION FOR CARBON AND LOW-ALLOY STEEL						
Spec No.	Grade	Nominal Composition	P-No.	Group No.	Min. Yield (ksi)	Min. Tensile (ksi)
Carbon Steel Plates and Sheets						
SA-515	55	C-Si	1	1	30	55
	60	C-Si	1	1	32	60
	65	C-Si	1	1	35	65
	70	C-Si	1	2	38	70
SA-516	55	C-Si	1	1	30	55
	60	C-Mn-Si	1	1	32	60
	65	C-Mn-Si	1	1	35	65
	70	C-Mn-Si	1	2	38	70
Plate - Low Alloy Steels						
SA-387	2 Cl.1	1/2Cr-1/2Mo	3	1	33	55
	2 Cl.2	1/2Cr-1/2Mo	3	2	45	70
	12 Cl.1	1Cr-1/2Mo	4	1	33	55
	12 Cl.2	1Cr-1/2Mo	4	1	40	65
	11 Cl.1	1 1/4Cr-1/2Mo-Si	4	1	35	60
	11 Cl.2	1 1/4Cr-1/2Mo-Si	4	1	45	75
	22 Cl.1	2 1/4Cr-1Mo	5	1	30	60
	22 Cl.2	2 1/4Cr-1Mo	5	1	45	75

Tensión Admisible del Material (S)

ALLOWABLE STRESS IN TENSION FOR CARBON AND LOW ALLOY STEEL												
Max Allowable Stress, ksi (Multiply by 1,000 to Obtain psi)												
for Metal Temperature, °F. Not Exceeding												
650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	Spec No.
								Carbon Steel Plates and Sheets				
13.8	13.3	12.1	10.2	8.4	6.5	4.5	2.5	--	--	--	--	SA-515
15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	--	--	--	--	SA-515
16.3	15.5	13.9	11.4	9.0	6.5	4.5	2.5	--	--	--	--	SA-515
17.5	16.6	14.8	12.0	9.3	6.5	4.5	2.5	--	--	--	--	SA-515
13.8	13.3	12.1	10.2	8.4	6.5	4.5	2.5	--	--	--	--	SA-516
15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	--	--	--	--	SA-516
16.3	15.5	13.9	11.4	9.0	6.5	4.5	2.5	--	--	--	--	SA-516
17.5	16.6	14.8	12.0	9.3	6.5	4.5	2.5	--	--	--	--	SA-516
								Plate-Low Alloy Steels (Cont'd)				
13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.3	9.2	5.9	--	--	--	--	SA-387
17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	16.9	9.2	5.9	--	--	--	--	SA-387
13.8	13.8	13.8	13.8	13.4	12.9	11.3	7.2	4.5	2.8	1.8	1.1	SA-387
16.3	16.3	16.3	16.3	15.8	15.2	11.3	7.2	4.5	2.8	1.8	1.1	SA-387
15.0	15.0	15.0	15.0	14.6	13.7	9.3	6.3	4.2	2.8	1.9	1.2	SA-387
18.8	18.8	18.8	18.8	18.3	13.7	9.3	6.3	4.2	2.8	1.9	1.2	SA-387
15.0	15.0	15.0	15.0	14.4	13.6	10.8	8.0	5.7	3.8	2.4	1.4	SA-387
17.7	17.2	17.2	16.9	16.4	15.8	11.4	7.8	5.1	3.2	2.0	1.2	SA-387

Factor de eficiencia de la junta (E)

Factor de eficiencia de la junta (E)

- La eficiencia de la junta depende del tipo (diseño) de unión, y del grado de radiografiado.
- El diseño limita su uso en juntas de diferentes categorías

Categorías de Juntas Soldadas

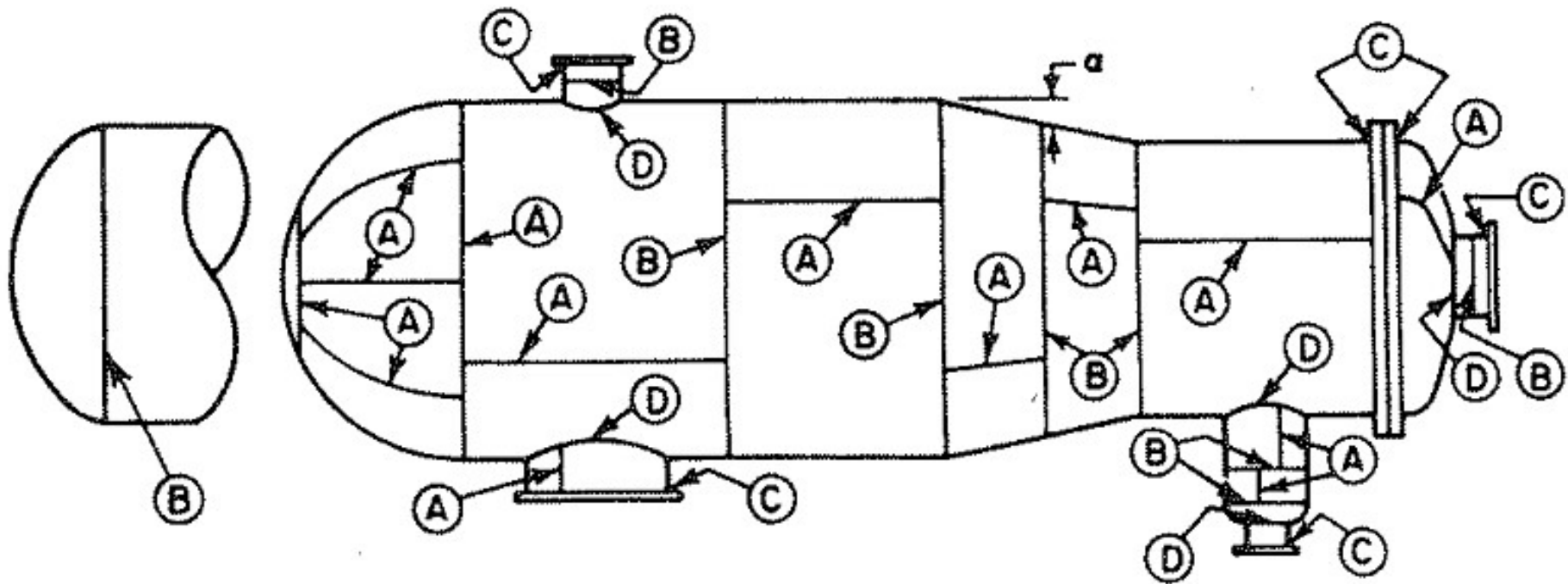


FIG. 1.1
WELDED JOINT CATEGORIES (ASME VIII-1)

Tipos de Juntas

1



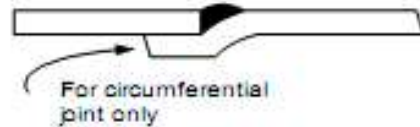
Butt joints as attained by double-welding or by other means which will obtain the same quality of deposited weld metal on the inside and outside weld surface.

Backing strip, if used, shall be removed after completion of weld.

2



Single-welded butt joint with backing strip which remains in place after welding.



3



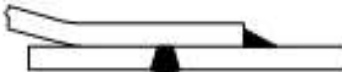
Single-welded butt joint without backing strip.

4



Double-full fillet lap joint.

5



Single-full fillet lap joint with plug welds.

6



Single-full fillet lap joint without plug welds.

Factor de eficiencia de la junta (E)

Joint Type	Acceptable Joint Categories	Degree of Radiographic Examination		
		Full	Spot	None
1	A, B, C, D	1.00	0.85	0.70
2	A, B, C, D (See ASME Code for limitations)	0.90	0.80	0.65
3	A, B, C	NA	NA	0.60
4	A, B, C (See ASME Code for limitations)	NA	NA	0.55
5	B, C (See ASME Code for limitations)	NA	NA	0.50
6	A, B, (See ASME Code for limitations)	NA	NA	0.45

Type No.	Joint Description	Limitations	Joint Category	Degree of Radiographic Examination		
				a Full ²	b Spot ³	c None
(1)	Butt joints as attained by double-welding or by other means which will obtain the same quality of deposited weld metal on the inside and outside weld surfaces to agree with the requirements of UW-35. Welds using metal backing strips which remain in place are excluded.	None	A, B, C & D	1.0	0.85	0.70
(2)	Single-welded butt joint with backing strip other than those included under (1)	(a) None except as shown in (b) below	A, B, C & D	0.90	0.80	0.65
		(b) Circumferential butt joints with one plate offset, see UW-13(c) and Fig. UW-13.1(k).	A, B & C	0.90	0.80	0.65
(3)	Single-welded butt joint without use of backing strip	Circumferential butt joints only, not over 5/8 in. thick and not over 24 in. outside diameter	A, B & C	NA	NA	0.60
(4)	Double full fillet lap joint	Longitudinal joints not over 3/8 in. thick	A	NA	NA	0.55
		Circumferential joints not over 5/8 in. thick	B & C ⁶	NA	NA	0.55
(5)	Single full fillet lap joints with plug welds conforming to UW-17	(a) Circumferential joints ⁴ for attachment of heads not over 24 in. outside diameter to shells not over 1/2 in. thick	B	NA	NA	0.50
		(b) Circumferential joints for the attachment to shells of jackets not over 5/8 in. in nominal thickness where the distance from the center of	C	NA	NA	0.50

Cálculo de Espesor de la Envolvente

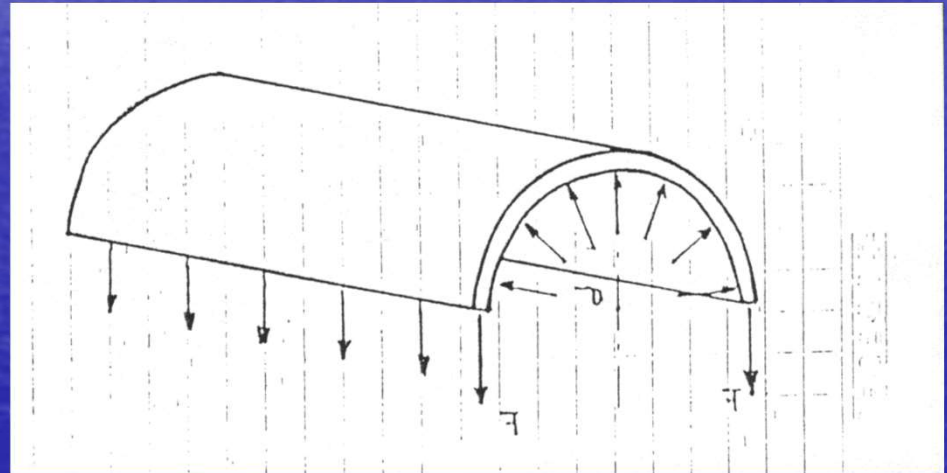
ENVOLVENTE CILINDRICA

Siempre y cuando:

- $t < R/2$
- $P < 0.385 S.E.$

$$t = \frac{P * R}{S * E - 0.6 * P}$$

$$P = \frac{S * E * t}{R + 0.6 * t}$$



t: espesor mínimo requerido
P: presión de diseño (máxima admisible)
S: tensión máxima admisible
R: radio interior del recipiente
0,6 P: corrección por presión de cód. ASME
E: eficiencia de la junta

Cálculo de Espesor de la Envolverte

ENVOLVENTE ESFERICA

siempre y cuando

- el espesor sea menor a $0.356R$: $t < 0.356R$
- la presión de diseño (en psi) sea menor a $0,665 \text{ S.E.}$:
 $P < 0,665 \text{ S.E}$

$$t = \frac{P * R}{2 * S * E - 0.2 * P}$$

$$P = \frac{2 * S * E * t}{R + 0.2 * t}$$

Cálculo del Espesor de los Cabezales

Cálculo del volumen

Una vez determinado el volumen de la porción cilíndrica del tanque y el espesor de la envolvente se procede al cálculo del cabezal.

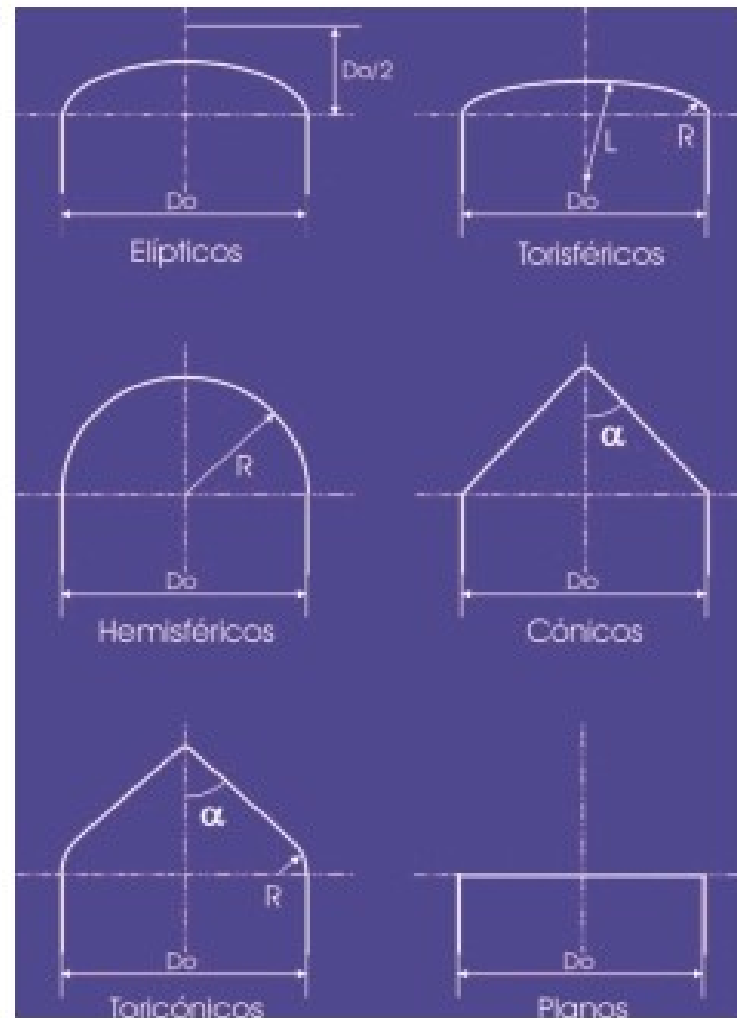
Los volúmenes de las cabezas se calculan por separado y se suman a la porción cilíndrica. Esto se debe a que en el caso de recipientes verticales, el cabezal superior no soporta la carga del material y puede ser dimensionado independientemente.

Cálculo del Espesor de los Cabezales

$$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P}$$

$$t = \frac{PL}{2SE - 0.2P}$$

$$L = \frac{D}{2 \cos \alpha}$$



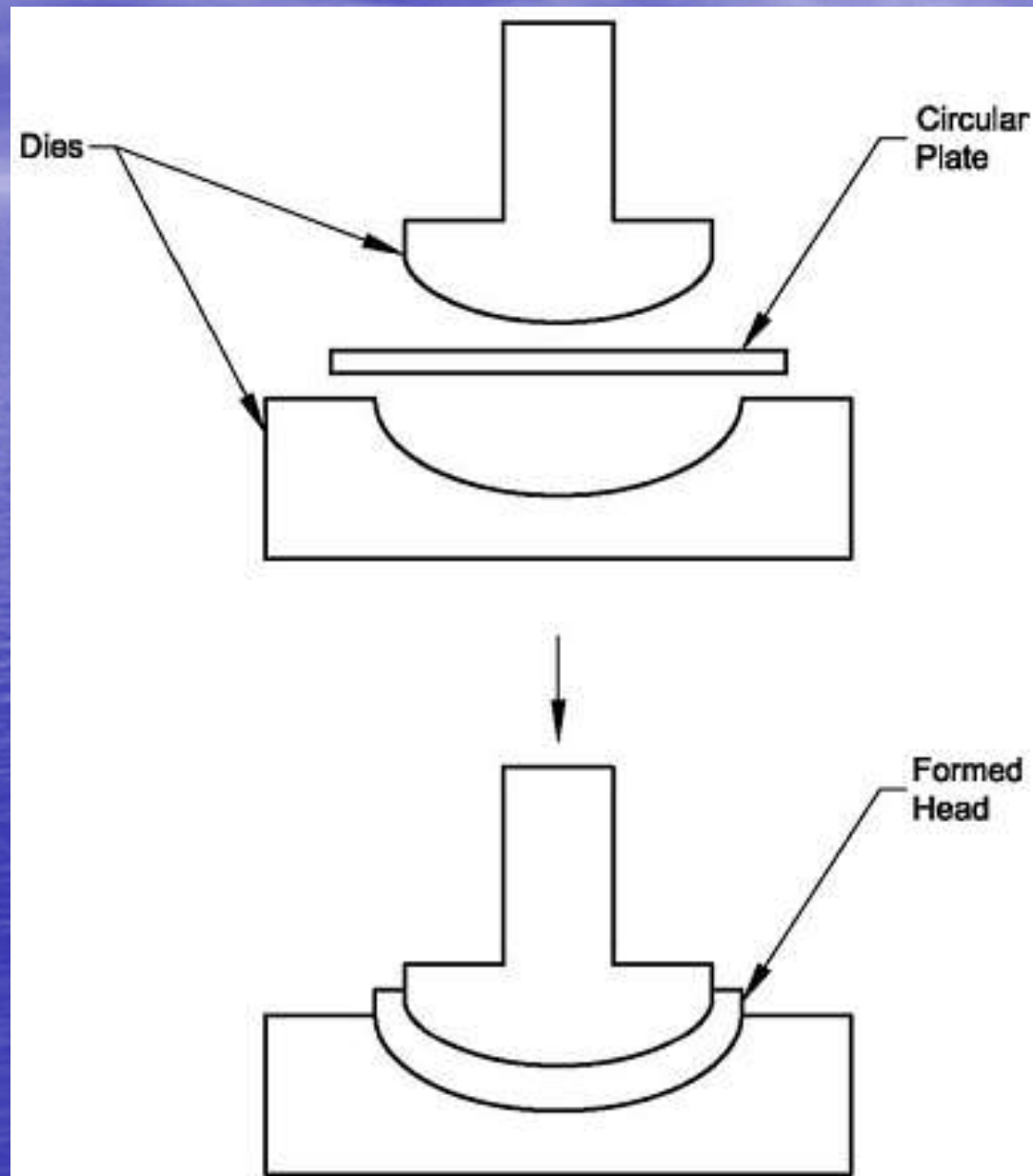
$$t = \frac{0.885PL}{SE - 0.1P}$$

$$t = \frac{PD}{2 \cos \alpha (SE - 0.6P)}$$

$$t = \alpha \sqrt{\frac{kP}{S}}$$

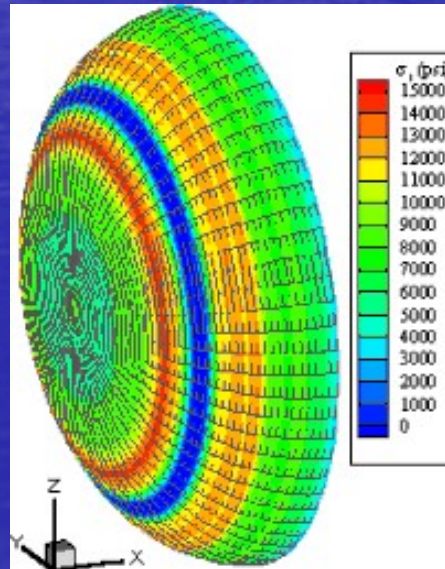
Con pestaña: $k=0.3$
Sin pestaña: $k=0.5$

Fabricación de los Cabezales



5.3 Pressing of formed heads.

Fabricación de los Cabezales





Proceso de Fabricación

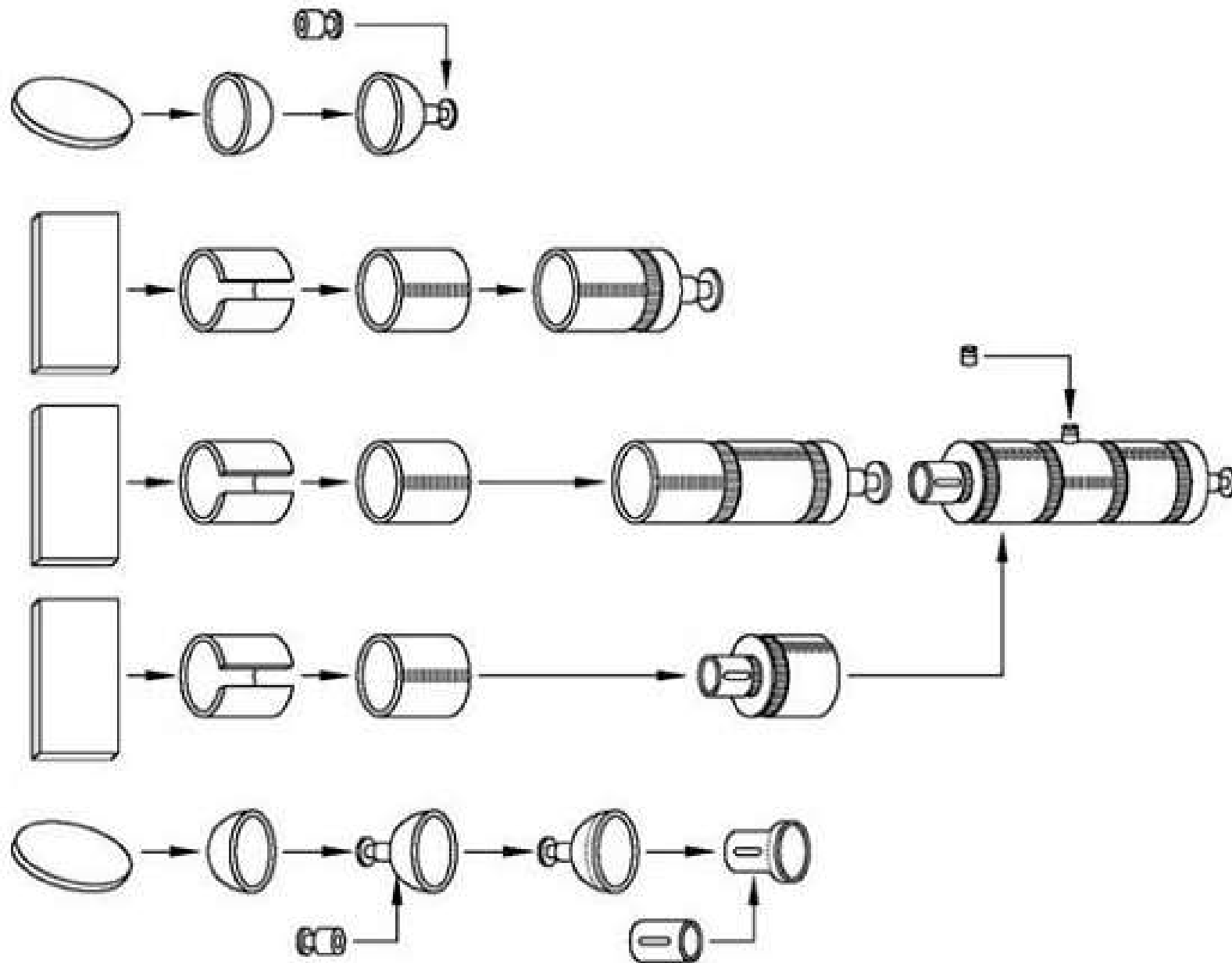


Figure 5.1 Typical sequence of operations for fabrication of a pressure vessel.

Fabricación de Recipientes Sometidos a Presión

La fabricación comprende:

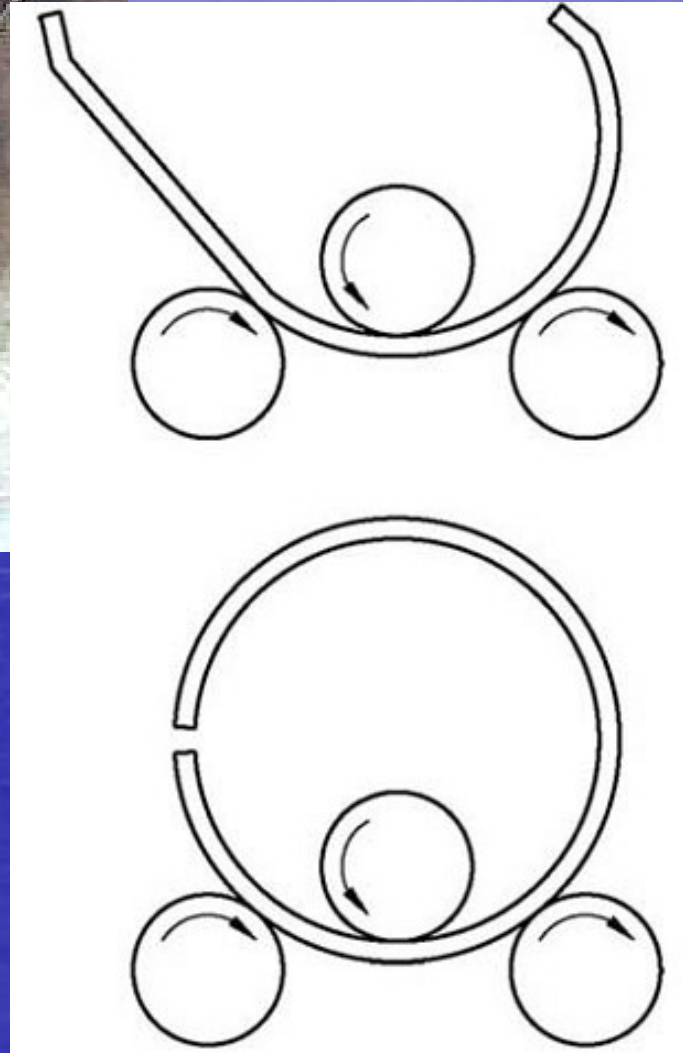
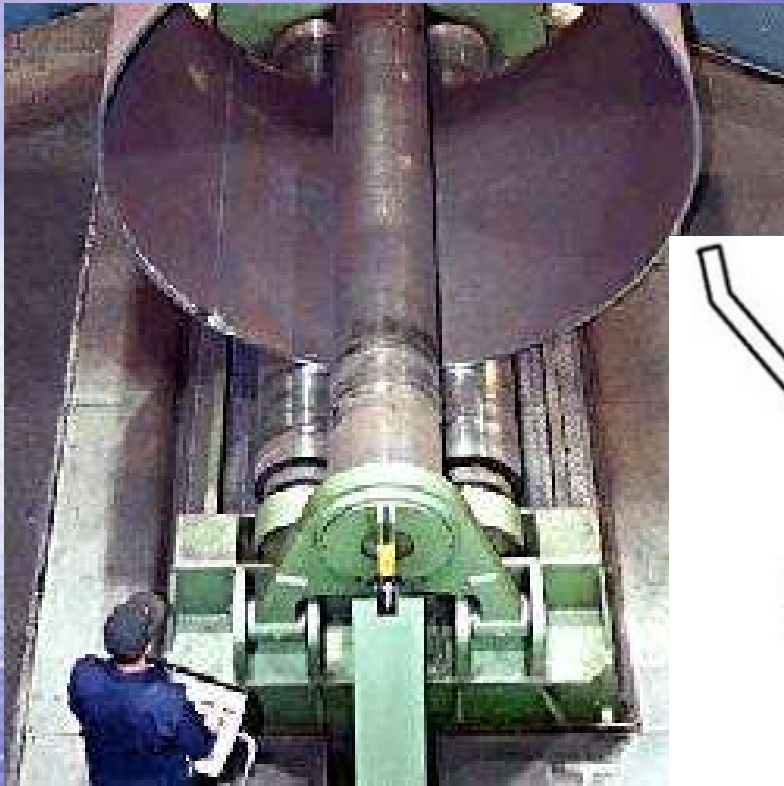
- Transporte
- Almacenamiento
- Corte de la chapa
- Golpe de prensa
- Curvado ó Rolado
- Punteado
- Soldadura
- Distensionado
- Test hidráulico
- Pintado (Opcional)



Corte y Rolado de Chapa



Corte y Rolado de Chapa



Rolado del Cuerpo Cilíndrico



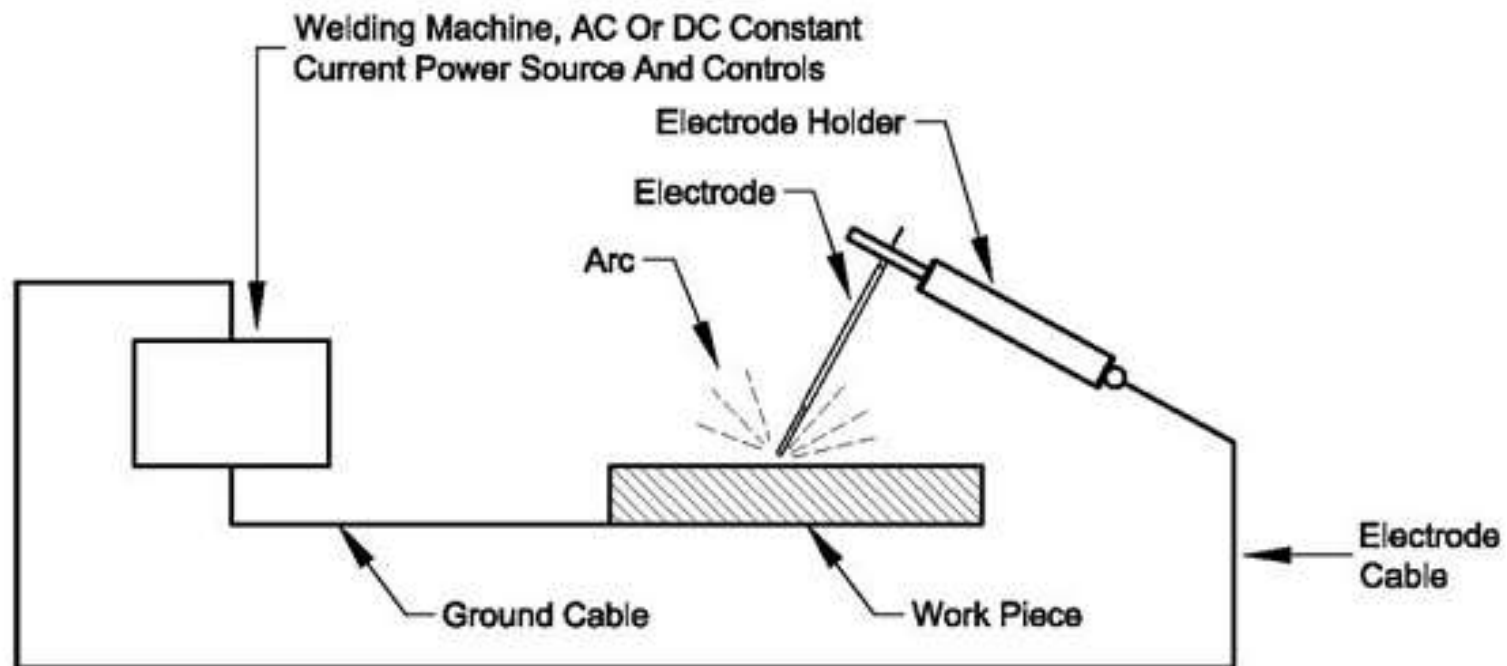
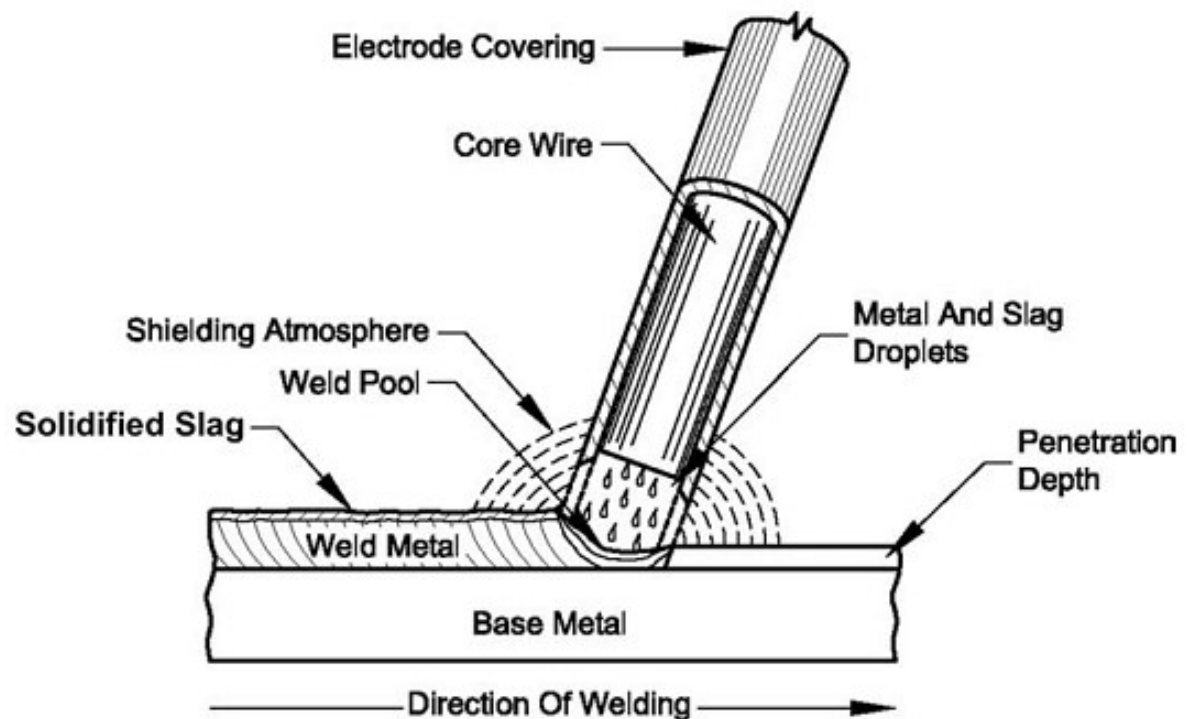


Figure 5.8 Typical welding circuit for a shielded metal arc welding (SMAW).





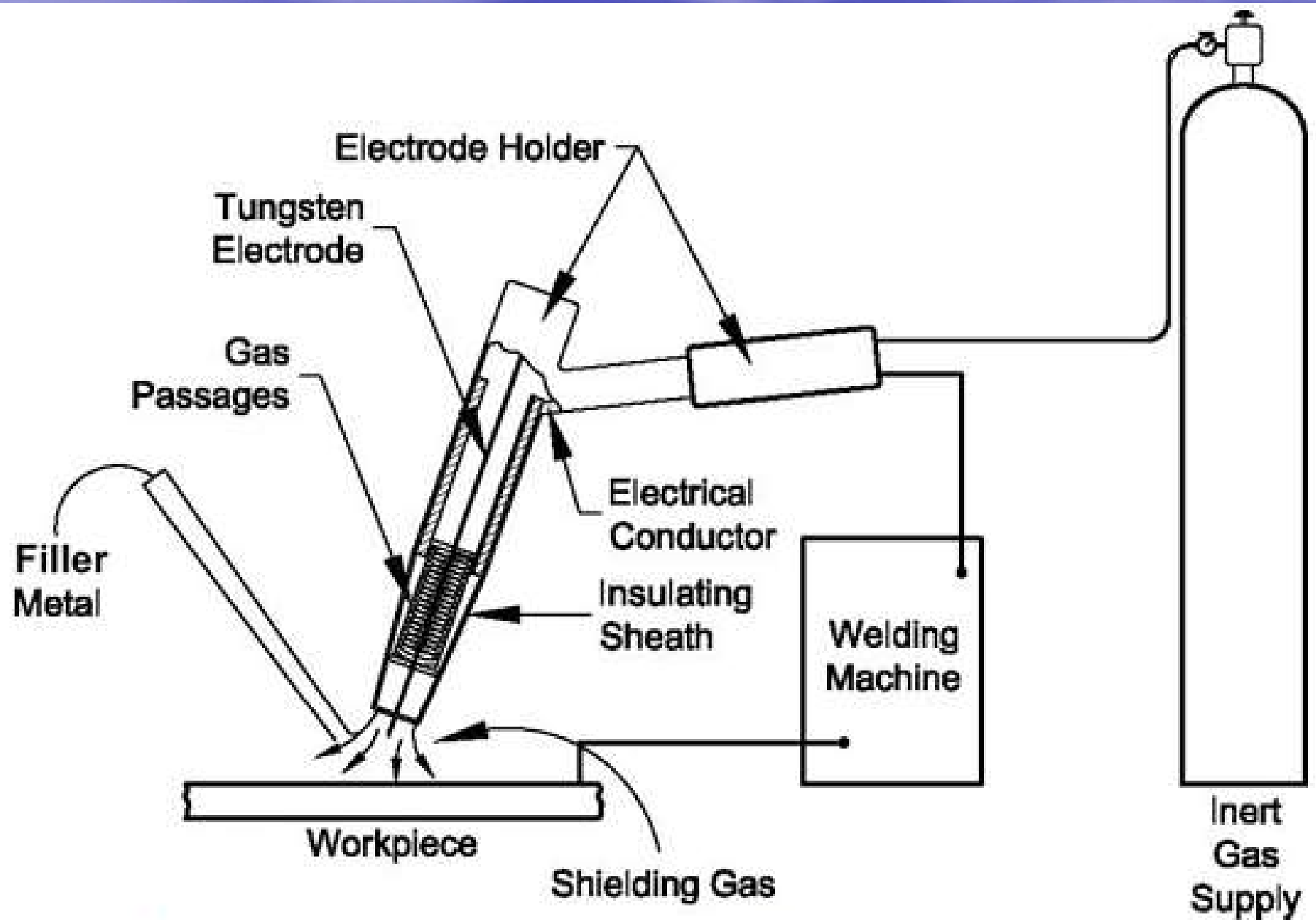


Figure 5.10 Equipment for a gas tungsten arc welding (GTAW).







Post Weld Heat Treat of an entire pressure vessel using
high velocity fuel fire burners and electric resistance
booster heater. Pressure vessel 25' diameter x 1' W.T. x
25' O.A.L. Material: Plain Carbon Steel
Location: Central Tennessee



Logística del Transporte



Logística del Transporte



Proceso de Transporte



Puntos a tener en cuenta:

- ❖ Design Temperature UG-20
- ❖ Design Pressure UG-21
- ❖ Loads UG-22
- ❖ Maximum Allowable Stress Value UG-23 - Tablas UCS 23 Sub part 1 section II Part D
- ❖ Corrosion UG – 25
- ❖ Thickness of Shell UG-27 / UG – 28 External Pressure
- ❖ Permissible out of roundness UG - 80
- ❖ Stiffening Rings UG -29
- ❖ Joint Efficiency UW – 12 (see UW – 3)
- ❖ Proof Test UG -101
- ❖ Procedures for postweld heat treatment UW – 40 / UCS – 56