



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

MÓDULO III: DISEÑOS DE RECIPIENTES A
PRESIÓN, PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS Y
VÁLBULAS DE SEGURIDAD.

(CA-190)

TEMA 1:
RECIPIENTES A PRESIÓN Y CALDERAS.

EXPOSITOR: ORLANDO R. RIVERA.
PALACIO DE MINERÍA
MARZO 2003

MODULO III

Tema 1: Recipientes a Presión y Calderas

El proceso de diseño de un recipiente sujeto a presión, ya sea que vaya o no a ser sometido a fuego directo consiste básicamente en el arreglo y disposición de una serie de elementos o formas geométricas, tanto metálicos como no metálicos, de tal manera que soporten las cargas y/o la presión en forma segura, cumpliendo las funciones específicas para las que es diseñado .

CONDICIONES BASICAS

El recipiente debe cumplir los requisitos de SEGURIDAD y funcionales.

Los elementos estructurales que lo conformen deben ser capaces de soportar la presión y las cargas a las que estará sometido. Debe ser la construcción más económica.

CONCEPTOS BÁSICOS

- DISEÑO ESTRUCTURAL
- TIPOS DE FORMAS GEOMETRICAS Y LAS RELACIONES ENTRE LAS MISMAS
- ANTECEDENTES HISTORICOS QUE SE TENGAN SOBRE LAS MISMAS
- CONCEPTOS BÁSICOS

- COMPORTAMIENTO DE LAS DISTINTAS FORMAS ESTRUCTURALES
- CONCEPTOS DE DISEÑO
- FACTORES DE SEGURIDAD
- CODIGOS Y ESPECIFICACIONES

DISEÑO ESTRUCTURAL

HERRAMIENTAS PARA EL DISEÑO MECANICO ESTRUCTURAL

- Conocimiento de las propiedades de los materiales.
- El análisis de la resistencia estructural o mecánica.
- Los códigos, especificaciones y estándares

PASOS LÓGICOS PARA REALIZAR EL DISEÑO

- Requisitos de comportamiento del recipiente.
- La forma y ubicación del recipiente.
- Condiciones de carga y operación.
- Diseño preliminar.

PASOS LÓGICOS PARA REALIZAR EL DISEÑO

- Análisis
- Selección de materiales, formas y espesores.
- Diseño secundario.

FORMAS GEOMETRICAS Y SUS INTERRELACIONES

TIPOS DE FORMAS GEOMETRICAS Y LA TRANSICION ENTRE LAS MISMAS

Para este punto, se debe considerar las distintas especificaciones de materiales y en que formas o perfiles se encuentran comercialmente.

El tipo o tipos de refuerzo que se requieren para garantizar la continuidad en la resistencia y comportamiento estructural de los distintos miembros que componen el recipiente.

ANTECEDENTES HISTORICOS QUE SE TENGAN SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LA GEOMETRIA EN LAS ESTRUCTURAS MECANICAS

Es muy importante tener en cuenta los antecedentes históricos que se tengan sobre determinados diseños o configuraciones geométricas.

ANTECEDENTES HISTORICOS QUE SE TENGAN SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LA GEOMETRIA EN LAS ESTRUCTURAS MECANICAS

Los códigos se encargan de resumir los distintos comportamientos que se han observado a lo largo de años de servicio bajo distintas condiciones de operación.

Estas reseñas se presentan como adendas o como interpretaciones en el código **ASME**.

COMPORTAMIENTO DE LAS FORMAS ESTRUCTURALES

El comportamiento de los aceros y materiales estructurales está definido por dos de sus propiedades básicas, su resistencia y su ductilidad.

Estas propiedades normalmente se presentan por medio de gráficas esfuerzo-deformación.

COMPORTAMIENTO DE LAS DISTINTAS FORMAS ESTRUCTURALES

Una gráfica esfuerzo-deformación "comercial" puede o no mostrar las cuatro zonas principales que la componen, que a su vez representan los cuatro estados típicos de comportamiento de los metales.

COMPORTAMIENTO DE LAS DISTINTAS FORMAS ESTRUCTURALES

Estas zonas son:

- El rango elástico
- El rango plástico
- El rango de deformaciones permanentes
- El rango de adelgazamiento-fractura-ruptura

COMPORTAMIENTO DE LAS DISTINTAS FORMAS ESTRUCTURALES

Las gráficas "comerciales", pueden o no mostrar las cuatro áreas, pero todas cuando menos muestran los rangos elásticos y plásticos.

Gráfica Esfuerzo-Deformación "Comercial"

CRITERIOS DE DISEÑO Y CONCEPTOS DE DISEÑO

El comportamiento de las formas geométricas y estructuras metálicas al ser sometidas a cargas o presión, puede estar controlada por uno o más criterios. Estas propiedades se conocen como "límite de utilización estructural" y de entre ellas destacan:

CONCEPTOS DE DISEÑO

El Punto de Cedencia Hipotético
La Máxima Resistencia Plástica
Las Deformaciones Máximas a las condiciones de servicio
La Inestabilidad
La Fatiga
La Fractura

DISEÑO

Como resultado de la combinación de los "límites" anteriores, se desarrollaron sistemas de diseño, entre los cuales están el método del "esfuerzo máximo permisible" y el de "diseño plástico"

Diseño por el Método del Esfuerzo Máximo Permisible"

El método de diseño por "esfuerzo máximo permisible", requiere considerar los siguiente:
Punto de cedencia hipotético, Inestabilidad, Fatiga y frecuentemente la Máxima resistencia plástica.

"Diseño Plástico"

El método de diseño por "diseño plástico" requiere se consideren, obligatoriamente, La Máxima resistencia plástica La Inestabilidad.

FACTOR DE SEGURIDAD

El término "factor de seguridad" se ha introducido como un elemento comercial de confiabilidad, a la luz de los registros estadísticos que se han realizado en un gran número de recipientes sujetos a presión bajo las más distintas condiciones de operación.

El "Factor de Seguridad" no debe considerarse como la posibilidad de sobrecargar o sobrepresurizar un recipiente.

Para seleccionar un margen de seguridad, considerar:

- Aproximaciones e incertidumbre en el método de análisis
- Calidad de la Mano de Obra
- Presencia de esfuerzos residuales y concentraciones de esfuerzos
- Posibles deficiencias en el material
- Adelgazamiento en las secciones calculadas
- Ubicación y utilización del recipiente

Cargas a las que estará sometido. (adicionales a las consideradas en el cálculo)

Un método preciso para obtener un valor adecuado para el "factor de seguridad" requiere de análisis estadísticos del comportamiento de cada miembro en esa posición específica, ya que pueden presentarse variaciones al cambiar de posición o de tipo de servicio.

La mayoría de los accidentes que han ocurrido en la industria, involucrando el uso de estructuras metálicas en general, han sido resultado de la combinación de los puntos mencionados, los cuales han sido ignorados o analizados separadamente, por lo que no deben desdeñarse o considerarse exagerados algunos factores de seguridad considerados en los códigos y/o especificaciones.

CODIGOS Y ESPECIFICACIONES

Esta es la parte esencial que nunca debe olvidar un diseñador. Las especificaciones son puntos torales de la construcción.

Son la principal herramienta que guía al ingeniero hacia procedimientos de diseños seguros y universalmente aceptados, además de ser la mejor referencia en la selección tanto de materiales como de métodos de trabajo y/o proceso. Su utilización es recomendable.

Los códigos representan un conjunto de reglas de construcción que comprenden los aspectos de seguridad y bases comerciales por lo que su cumplimiento es obligatorio por Ley.

El seguimiento de las especificaciones y códigos, representan para el comprador, una garantía de que el recipiente cumple con los requisitos básicos de seguridad, funcionamiento y economía.

MATERIALES

El uso de materiales metálicos, especialmente los aceros, en la construcción de recipientes sujetos a presión, se atribuye a sus excelentes propiedades mecánicas, a la abundancia de las materias primas para fabricarlo y a su precio competitivo.

La principal cualidad del acero y de los materiales metálicos es que pueden producirse con una amplia gama de propiedades físicas y mecánicas, las cuales pueden controlarse con mucha precisión para obtener las características y propiedades deseadas.

Para la construcción de calderas y recipientes sujetos a presión existe una gran cantidad de aceros y materiales metálicos identificados bajo designaciones estandarizadas por diversas asociaciones, entre las que destacan las de ASTM, AISI, DIN, BSI, JIS, etc

PROPIEDADES IMPORTANTES DE LOS MATERIALES

La herramienta principal de que dispone un diseñador para determinar el comportamiento mecánico, son los diagramas esfuerzo-deformación

Las propiedades importantes a considerar son:

- Punto de cedencia
- Punto de fluencia
- Nivel de esfuerzo de cedencia
- Limite proporcional
- Resistencia a la tensión
- Ductilidad
- Módulo de elasticidad
- Módulo de deformación permanente
- Relación de Poisson
- Módulo de elasticidad cortante
- Soldabilidad
- Maquinabilidad
- Formabilidad
- Resistencia a la corrosión y a la abrasión
- Resistencia a la fatiga
- Tenacidad
- Resistencia a la fractura frágil
- Sensibilidad a las grietas
- Resistencia al impacto
- Resistencia al deslizamiento (creeping)
- Relajación

Consideraciones sobre el H₂O

- 1 Composición química
- 2 Tratamiento térmico
- 3 Historia de su deformación
- 4 Geometría
- 5 Temperatura
- 6 Relación de deformación
- 7 Estado de esfuerzos

Los tres primeros dependen exclusivamente del proceso de manufactura del material base.

Los cuatro restantes dependen de la aplicación, de la funcionalidad del diseño y de los detalles de diseño de cada miembro o componente

DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS

Esta es una parte importante del proceso de diseño-fabricación.

En diseños de alto riesgo, deben tomarse probetas normalizadas y someterlas a las distintas pruebas indicadas en los códigos y/o especificaciones para corroborar que el material recibido cumple con las características mecánicas consideradas en el diseño.

La ASTM cuenta con procedimientos escritos, incluyendo la descripción de los aparatos requeridos para la determinación y evaluación de todas y cada una de las propiedades que debe tener un material conforme a una especificación predeterminada y los criterios de aceptación - rechazo.

DISPONIBILIDAD DE ACEROS Y MATERIALES METALICOS

Es importante asegurarse que realmente existen en su forma comercial los materiales considerados en nuestro diseño.

Es común encontrar que determinada especificación solo se produce comercialmente hasta o a partir de determinado espesor o diámetro y que en caso de que se nos fabrique deberemos comprar un mínimo de "x" toneladas y este material tendrá un tiempo de entrega de "n" meses

Esta situación puede resolverse comparando la concordancia entre las especificaciones ASTM con las DIN o con las JIS, etc., de tal manera que se evalúe en que grado son iguales o en que nos afectan las variantes que se presenten, recalculando los factores esenciales que puedan afectar el comportamiento de nuestro diseño

IMPORTANCIA DE LA SELECCION DE MATERIALES

Para cumplir los requisitos de seguridad, funcionamiento y economía, existe una amplísima variedad de materiales de donde escoger, siguiendo las especificaciones y los procedimientos de trabajo para los distintos materiales.

- El reto para el diseñador es seleccionar el material más conveniente para un trabajo específico
- La selección debe basarse en:
- El cumplimiento de las condiciones de servicio predeterminadas
- El cumplimiento de las condiciones de seguridad predeterminadas
- El cumplimiento de las expectativas mecánicas de los materiales
- La economía

En el aspecto económico, considerar el precio del material base, fletes, los costos de fabricación, efectos del peso muerto en los costos de las estructuras y cimentaciones, áreas o espacios de operación y otros factores.

SELECCION DE MATERIALES

También considerar que en ocasiones es más económico utilizar materiales base más resistentes, aparentemente más caros pero, que requerrán espesores menores y consecuentemente estructuras y/o cimentaciones más ligeras

Este criterio debe utilizarse al analizar materiales resistentes a la corrosión o a la abrasión, estudiando la posibilidad de utilizar materiales revestidos (clad), soldadura de revestimiento, etc.

Bajo ninguna circunstancia, violar el código sobre el que está basado el diseño en aras de la economía o de alguna condición operativa.

**NO ES NEGOCIABLE NI ESTÁ SUJETO A ANÁLISIS NI CONSIDERACIONES DE NINGÚN TIPO LA SEGURIDAD QUE DEBE TENER EL RECIPIENTE DURANTE LA OPERACIÓN.
SELECCION DE MATERIALES**

Es obligación del diseñador el realizar análisis exhaustivos sobre el comportamiento de distintos materiales para garantizar la funcionalidad y seguridad del recipiente dentro de los marcos de seguridad establecidos.

Todos sus hallazgos y decisiones en este sentido debe consignarlos en la MEMORIA DE DISEÑO Y CÁLCULO DEL RECIPIENTE a fin de que, cualquier otra persona debidamente calificada pueda revisarlos y rehacerlos cuando así sea necesario.

El diseñador nunca debe olvidar que todo tiene solución, menos la muerte
DE UN BUEN DISEÑO DEPENDEN LA FUNCIONALIDAD Y LA ECONOMÍA, PERO TAMBIÉN LA VIDA DE LAS PERSONAS.

Tablas de Selección de Materiales

MATERIALES MAS COMUNES PARA USO EN BAJA TEMPERATURA

MATERIALES PARA USO EN ALTA TEMPERATURA

MATERIALES POR TIPO DE SERVICIO

Selección de Materiales

Es importante que al seleccionar un material en particular se revisen cuidadosamente las especificaciones correspondientes a fin de contemplar en que rango es aplicable, (temperatura, presión, espesores), y que pruebas indica el Código que se deben realizar, (metalográficas, de impacto, tratamiento térmico previo, durante y después de la soldadura, etc.)

Selección de Materiales

Todos los requisitos que indique el Código se deben consignar en la Memoria de Diseño y Cálculo del Equipo y también se deben indicar en los Dibujos de Fabricación, en la Especificación de Procedimiento de Soldadura, en la Hoja Viajera, etc

Selección de Materiales

NO ES NEGOCIABLE NI ESTÁ SUJETO A ANÁLISIS NI CONSIDERACIONES DE NINGÚN TIPO LA SEGURIDAD QUE DEBE TENER EL RECIPIENTE DURANTE LA OPERACIÓN.

Corolario

DE UN BUEN DISEÑO DEPENDE LA FUNCIONALIDAD Y LA ECONOMÍA, PERO TAMBIÉN LA VIDA DE LAS PERSONAS Y LOS BIENES PATRIMONIALES DE LAS EMPRESAS

TEMA 2: CRITERIOS PRINCIPALES EN EL CÁLCULO DE RECIPIENTES

DISEÑO Y CALCULO DE RECIPIENTES A PRESION

Demostración del Uso de las Formulas
Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas, A.C.

OBJETIVO

El objetivo de esta presentación es compartir con los estudiantes los distintos criterios de aplicación de las formulas para el cálculo de recipientes sujetos a presión mediante el análisis de un Reporte Generado por Computadora.

Recipiente tipo por analizar

Recipiente Cilindrico Vertical Tipo Torre con Cambio de Sección
CARACTERISTICAS DEL REPORTE

Advanced Pressure Vessel Ver. 8.02
Company: *Evaluaciones, Inspecciones
y Asesoría, S.A. de C.V.*

Report Date: 4/ 5/98
CUSTOMER: Diplomado en Calderas
y Recipientes a Presión
DEC FI UNAM-CIME-STPS
CARACTERISTICAS DEL REPORTE

PROJECT DESCRIPTION Demostraciones del Uso de Formulas
VESSEL DESCRIPTION
Torre Cilindrica Vertical con Cambio de Sección
JOB NUMBER 98/01
PLACA DE DATOS TIPICA

PERSONAS QUE AVALAN EL REPORTE

Engineering Manager: _____ date: ___/___/___
Q.C. Manager: _____ date: ___/___/___
Authorized Inspector: _____ date: ___/___/___
CARACTERISTICAS DEL REPORTE

CONDICIONES DE DISEÑO

Condiciones de Diseño

CALCULO DE UNA SECCION CILINDRICA

IDENTIFICACION DE PARTES

Shell Description: CPOCIL01
Job/Quote No: 98/01
Customer: Diplomado en Recipientes
Designed: Manuel Cabrera
Design Date: April 5, 1998
Checked: Manuel Cabrera
Approved: MCM
External loads do not control design.
DATOS DE DISEÑO

Cálculo del Esfuerzo Longitudinal

Longitudinal Stress Calculations:
 $t = PR / (2SE + 0.4P)$
 $= 350.00 * 24.0625 / (2 * 17500 * 1.00 + 0.4 * 350.00)$
 $t = 0.2397 + 0.0625 \text{ (corrosion)} = 0.3022 \text{ In. min}$
Cálculo del Esfuerzo Circunferencial

Design Thickness per Paragraph UG-27©
Circumferential Stress Calculations:
 $t = PR / (SE - 0.6P)$

=350.00*24.0625/(17500*1.00-0.6*350.00)
t=0.4871+0.0625 (corrosion)=0.5496 In. min
NOMINAL SHELL THICKNESS SELECTED = 0.6250 Inches
OTROS PARAMETROS QUE ARROJA EL PROGRAMA

CALCULO DE OTRA SECCION CILINDRICA

IDENTIFICACION DE PARTES

Shell Desc. CPOCIL02
Job/ Quote No: 98/01
Customer: Diplomado en Recipientes
Designed: Manuel Cabrera
Design Date: April 5, 1998
Checked: Manuel Cabrera
Approved: MCM
External loads do not control design.
DATOS DE DISEÑO

Cálculo del Esfuerzo Longitudinal

Longitudinal Stress Calculations:
t = PR / (2SE + 0.4P)
=350.00*21.0625/(2*17500*1.00+0.4*350.00)
t=0.2098+0.0625(corrosion)=0.2723 In. min
Cálculo del Esfuerzo Circunferencial

Design Thickness per Paragraph UG-27©

Circumferential Stress Calculations:
t = PR / (SE - 0.6P)
=350.00*21.0625/(17500*1.00-0.6*350.00)
t=0.4264+0.0625(corrosion)=0.4889 In.min
NOMINAL SHELL THICKNESS SELECTED = 0.5000 Inches

OTROS PARAMETROS QUE ARROJA EL PROGRAMA

CALCULO DE UNA SECCION CONICA

IDENTIFICACION DE PARTES

Job Desc. Reductor
Job/Quote No: 98/01
Customer: Diplomado en Recipientes
Designed: Manuel Cabrera
Design Date: April 5, 1998
Checked: Manuel Cabrera
Approved: MCM
External loads do not control design.
DATOS DE DISEÑO

Cálculo del Esfuerzo Circunferencial

Design Thickness per Appendix 1-4(e)
t = PD / (2 cos a (SE - 0.6 P))
t = 350*48.1443/(2*0.866(17500*1.0-0.6*350))
t = 0.5627+0.0625 (corrosion)=0.6252 In. min.

NOMINAL CONE THICKNESS SELECTED
= 0.7500 Inches
OTROS PARAMETROS QUE ARROJA EL PROGRAMA

Cálculo del Refuerzo del Cono

Cone-to-Cylinder Reinforcement
Large End of Conical Section Description.
Design Temperature. 350 øF
Design Pressure. 350.00 PSI
Cálculo del Refuerzo del Cono

Shell Number 2 Information
Shell Material: SA-516, Gr 70
Condition: Commercial
Matl Stress(Ss): 17500 PSI
Shell B- Table. CS-2
Long. Eff. (E1): 100
Modulus of Elasticity(Es): 28.5 (10^6),PSI
Nominal (ts): 0.5000 In
Minimum Thickness (t): 0.4264 In.
Ins. Radius(RI): 21.0000 In.
Cálculo del Refuerzo del Cono

Cone Information
Cone Material: SA-516, Gr 70
Condition. Commercial
Matl Stress(Sc): 17500 PSI
Cone B- Table: CS-2
Long Eff. (E2): 100
Modulus of Elasticity(Ec). 28.5 (10^6),PSI
Nominal (tc): 0.7500 In.
Minimum Thickness (tr). 0.5627 In.
Cone Angle (a). 30.0 degrees
Cálculo y Criterios

Axial Load (f1). 0.00 Lb./in.
Internal Pressure
P / SsE1 = 0.02000
Maximum Cone Angle (amax) = 30.0 degrees
Maximum cone angle equals/exceeds cone angle, no reinforcement required
CALCULO DE UNA CABEZA

TIPO F&D
FLANGE AND DISH SITUADA EN EL FONDO
IDENTIFICACION DE PARTES

Head Desc. Fondo1
Job/Quote No: 98/01
Customer: Diplomado en Recipientes
Designed: Manuel Cabrera
Design Date: April 5, 1998
Checked : Manuel Cabrera
Approved: MCM
External loads do not control design.
DATOS DE DISEÑO

DATOS DE DISEÑO

CALCULOS

Design Thickness per UG-32(e)

$$t = PL * 0.8850 / (SE - 0.1 P)$$

$$t = 373.45 * 48.0625 * 0.885 / (17500 * 1.0 - 0.1 * 373.45)$$

$$t = 0.9097 + 0.0625(\text{corrosion}) + 0.0625(\text{thin out})$$

$$= 1.0347 \text{ in. min.}$$

NOMINAL HEAD THICKNESS SELECTED

$$= 1.1250 \text{ Inches}$$

OTROS PARAMETROS QUE ARROJA EL PROGRAMA

CALCULO DE UNA CABEZA

TIPO TORIESFERICO SITUADA EN EL FONDO

IDENTIFICACION DE PARTES

Head Desc: Fondo2

Job/Quote No 98/01

Customer: Diplomado en Recipientes

Designed: Manuel Cabrera

Design Date: April 5, 1998

Checked: Manuel Cabrera

Approved: MCM

External loads do not control design.

DATOS DE DISEÑO

DATOS DE DISEÑO

CALCULOS

Design Thickness per APPENDIX 1-4(d)

$$t = PLM / (2 SE - 0.2 P)$$

$$M = \frac{1}{4} [3 + \text{Sq Rt}(L/r)] = 1.4531$$

$$t = 373.45 * 38.4625 * 1.4531 / (2 * 17500 * 1.0 - 0.2 * 373.45)$$

$$t = 0.5977 + 0.0625(\text{corrosion}) + 0.0625(\text{thin out})$$

$$= 0.7227 \text{ in. min.}$$

NOMINAL HEAD THICKNESS SELECTED

$$= 0.7500 \text{ Inches}$$

OTROS PARAMETROS QUE ARROJA EL PROGRAMA

CALCULO DE UNA CABEZA

TIPO SEMIESFERICO SITUADA EN EL FONDO

IDENTIFICACION DE PARTES

Head Desc: Fondo3

Job/Quote No. 98/01

Customer: Diplomado en Recipientes

Designed: Manuel Cabrera

Design Date: April 5, 1998

Checked: Manuel Cabrera

Approved: MCM

External loads do not control design.

DATOS DE DISEÑO

DATOS DE DISEÑO

CALCULOS

Design Thickness per UG-32(f)

$$t = PL / (2 SE - 0.2 P)$$

$$t = 373.45 * 24.0625 / (2 * 17500 * 1.00 - 0.2 * 373.45)$$

$$t = 0.2573 + 0.0625(\text{corrosion}) + 0.1875(\text{thin out})$$
$$= 0.5073 \text{ In. Min.}$$

NOMINAL HEAD THICKNESS SELECTED

$$= 0.6250 \text{ Inches}$$

OTROS PARAMETROS QUE ARROJA EL PROGRAMA

CALCULO DE UNA CABEZA

TIPO TORIESFERICO SITUADA EN LA PARTE SUPERIOR

IDENTIFICACION DE PARTES

Head Desc: Cabeza2

Job/Quote No. 98/01

Customer Diplomado en Recipientes

Designed. Manuel Cabrera

Design Date. April 5, 1998

Checked : Manuel Cabrera

Approved: MCM

External loads do not control design.

DATOS DE DISEÑO

DATOS DE DISEÑO

CALCULOS

Design Thickness per APPENDIX 1-4(d)

$$t = PLM / (2 SE - 0.2 P)$$

$$M = \frac{1}{4} [3 + \text{Sq Rt}(L/r)]: 1.4526$$

$$t = 350 * 33.6625 * 1.4526 / (2 * 17500 * 1.00 - 0.2 * 350)$$

$$t = 0.4900 + 0.0625(\text{corrosion}) + 0.0625(\text{thin out})$$
$$= 0.6150 \text{ In. min.}$$

NOMINAL HEAD THICKNESS SELECTED

$$= 0.6250 \text{ Inches}$$

OTROS PARAMETROS QUE ARROJA EL PROGRAMA

CALCULO DE UNA BOQUILLA

BOQUILLA UNIDA AL FONDO DEL RECIPIENTE

IDENTIFICACION DE LA BOQUILLA

Nozzle in an ASME head

Job/Quote No: 98/01

Nozzle Number: 1

Description: Purge fond

Quantity 1

Configuration: Nozzle abutting the vessel,
attached by a groove weld.

Nozzle does not pass thru a cat. A joint.

Características de la Cabeza

Head material: SA-516, Grade 70
 Material Stress: 17500
 Head wall, nom: 1.1250
 Head wall, corroded and thinned: 1.0000
 E = 100 percent (for tr)
 Factor M = 1.0000
 Required head thickness per UG-37(a)
 $t_r = P L M / (2 S E - 0.2 P) = 373.45 * 48.0625 * 1.0000 / (2 * 17500 * 1 - 0.2 * 373.45) = 0.5139$
 Datos de la Boquilla

Datos de la Boquilla

Cálculo de los Factores de Resistencia

Cabeza-Cuello de Boquilla
 Boquilla Placa de Refuerzo
 Placa de Refuerzo-Cabeza
 Factores de Resistencia

$f_r1 = 1.000$
 $f_r2 = S_n / S_v = 15000 / 17500 = 0.857$
 $f_r3 = S_p / S_v = 12700 / 17500 = 0.726$
 $f_r4 = S_p / S_v = 12700 / 17500 = 0.726$
 Parámetros para el Cálculo para TMDM

Min. temp curve	B
Minimum Design Metal Temperature	20 °F
Pressure at MDMT.	350.0 psi
UCS-66(b) reduction:	Yes
UCS-68© reduction:	No
Computed minimum temperature	-150 °F

Cálculos bajo UG-45

The wall thickness shall not be less than
 the greater of the following:
 UG-45(a) - thickness for pressure
 loading plus corrosion.
 UG-45(b) - the smaller of UG-45(b)(1) or
 UG-45(b)(4):

$t = (P R n / (S E - 0.6 P)) + C A$
 nozzle efficiency (E), 100 %
 $t = (373.45 * 1.9755 / (15000 * 1 - 0.6 * 373.45)) +$
 0.0625
 $= 0.1124$ in
 UG-45(b)(1)

the thickness (plus CA) required for
 internal pressure.
 $t = P L M / (2 S E - 0.2 P) + \text{corrosion}$
 $t = 373.45 * 48.0625 * 1.7604 / (2 * 17500 * 1 -$
 $0.2 * 373.45) + 0.0625$
 $= 0.9672$ in.

UG-45(b)(4)

minimum thickness of standard wall pipe
plus CA = 0.2699 In.

UG-45(b) = 0.2699 In.

Wall thickness for pipe = $t_n * 0.875$

Wall thickness of 0.2949 is greater
than or equal to UG-45 value of
0.2699

Required nozzle thickness per UG-37(a) - Internal Pressure

$$\begin{aligned} t_n &= PR_n/SE - 0.6P \\ &= 373 * 1.9755 / 15000 * 1.0 - 0.6 * 373 \\ &= 0.0499 \text{ In} \end{aligned}$$

Area Required - Internal Pressure

$$\begin{aligned} A &= d t_r F + 2 t_n t_r F (1 - f r_1) \\ A &= 3.951 * 0.5139 * 1.0 + 2 * 0.2745 * 0.5139 * 1.0 (1 - 1) \\ &= 2.0304 \text{ Sq.In.} \end{aligned}$$

Area Available - Internal Pressure

$$\begin{aligned} A_1 &= \text{Larger value of the following:} \\ &= d(E_1 t - F t_r) - 2 t_n (E_1 t - F t_r)(1 - f r_1) \quad \text{OR} \\ &= 2(t + t_n)(E_1 t - F t_r) - 2 t_n (E_1 t - F t_r)(1 - f r_1) \end{aligned}$$

A1

$$\begin{aligned} &= d(E_1 t - F t_r) - 2 t_n (E_1 t - F t_r)(1 - f r_1) \\ &= 3.9510 (1.00 * 1.0000 - 1.00 * 0.5139) - \\ &\quad 2 * 0.2745 (1.00 * 1.0000 - 1.00 * 0.5139) \\ &\quad (1 - 1.000) \\ &= 1.9206 \end{aligned}$$

A1

$$\begin{aligned} &= 2(t + t_n)(E_1 t - F t_r) - 2 t_n (E_1 t - F t_r)(1 - f r_1) \\ &= 2(1.0000 + 0.2745)(1.00 * 1.0000 - 1.00 * \\ &\quad 0.5139) - 2 * 0.2745(1.00 * 1.0000 - 1.00 * \\ &\quad 0.5139) (1 - 1.000) \\ &= 1.2391 \end{aligned}$$

A1 = 1.9206 Sq.In.

Area Available - Internal Pressure

A2 = Smaller value of the following:

$$= 5 (t_n - t_n) f r_2 * t$$

OR

$$= 2 (t_n - t_n) (2.5 * t_n + t_e) f r_2$$

A2

$$\begin{aligned} A_2 &= 5 (t_n - t_n) f r_2 * t \\ &= 5 (0.2745 - 0.0499) 0.857 * 1.0000 \\ &= 0.9623 \end{aligned}$$

OR

$$\begin{aligned} &= 2 (t_n - t_n) (2.5 * t_n + t_e) f r_2 \\ &= 2(0.2745 - 0.0499)(2.5 * 0.2745 + 0.1875) 0.857 \\ &= 0.3363 \end{aligned}$$

A2 = 0.3363 Sq.In.

Area Available - Internal Pressure

$$\begin{aligned}
 A41 &= (\text{leg})^2 \cdot \pi \cdot r^3 \\
 &= 0.1856 \cdot 0.1856 \cdot 0.726 = 0.0250 \text{ Sq In.} \\
 A42 &= (\text{leg})^2 \cdot \pi \cdot r^4 \\
 &= 0.1326 \cdot 0.1326 \cdot 0.726 = 0.0128 \text{ Sq In} \\
 A5 &= (D_p - d - 2t_n) \cdot t_e \cdot \pi \cdot r^4 \\
 &= (6.0 - 3.9510 - 2 \cdot 0.2745) \cdot 0.1875 \cdot 0.726 \\
 &= 0.2042 \text{ Sq.In.}
 \end{aligned}$$

Area Available - Internal Pressure

$$A1 + A2 + A3 + A41 + A42 + A43 + A5 = 2.4989 \text{ which is greater than } A \text{ of } 2.0304$$

OPENING IS ADEQUATELY REINFORCED WITH THE PAD.

Revisión de las dimensiones de las Soldaduras

UW-16 Check the welds per UW-16

$$\begin{aligned}
 t_{\min, \text{ weld 41}} &= \text{lesser of } 0.75 \text{ or } t_e \text{ or } t_n \\
 &= 0.75 \text{ or } 0.1875 \text{ or } 0.2745 \\
 &= 0.1875
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Weld 41, leg min.} &= (0.7 \cdot t_{\min}) / 0.707 \\
 &= 0.7 \cdot 0.1312 / 0.707 \\
 &= 0.1856
 \end{aligned}$$

Weld 41, actual weld leg = 0.1856
Check the welds per UW-16

$$\begin{aligned}
 t_{\min, \text{ weld 42}} &= \text{lesser of } 0.75 \text{ or } t \text{ or } t_e \\
 &= 0.75 \text{ or } 1.0000 \text{ or } 0.1875 \\
 &= 0.1875
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Weld 42, leg min.} &= (0.5 \cdot t_{\min}) / 0.707 \\
 &= (0.5 \cdot 0.1875) / 0.707 \\
 &= 0.1326
 \end{aligned}$$

Weld 42, actual weld leg = 0.1326
Check the welds per UW-16

Upper weld, weld 41. 0.1856 In
Plate weld, weld 42. 0.1326 In
Determinación de Esfuerzos Unitarios

UG-45© and UW-15
Unit Stresses per UG-45© and UW-15

$$\begin{aligned}
 \text{Nozzle wall in shear} &= 0.70 \cdot 15000 = 10500 \text{ PSI} \\
 \text{Upper fillet, weld 41, in shear} &= 0.49 \cdot 12700 = 6223 \text{ PSI} \\
 \text{Groove weld in tension (nozzle)} &= 0.74 \cdot 15000 = 11100 \text{ PSI} \\
 \text{Outer fillet, weld 42, in shear} &= 0.49 \cdot 12700 = 6223 \text{ PSI} \\
 \text{Stresses per UG-45© and UW-15} &
 \end{aligned}$$

Limits for components dimensions
OD, limit of reinf: 7.9020 In
Outer "h" limit: 0.8738 In
Resistencia de la Conexión de los Elementos

Strength of connection elements

Nozzle wall in shear

$$= \pi/2 * \text{mean nozzle diameter} * t * 10500 \\ = 1.57 * 4.225 * 0.2745 * 10500 = 19121 \text{ Lbs.}$$

Upper fillet in shear

$$= \pi/2 * \text{nozzle O.D.} * \text{weld leg} * 6223 \\ = 1.57 * 4.5000 * 0.1856 * 6223 = 8160 \text{ Lbs}$$

Strength of connection elements

Groove weld tension

$$= \pi/2 * \text{nozzle O.D.} * t * 11100 \\ = 1.57 * 4.5000 * 1.0000 * 11100 = 78421 \text{ Lbs}$$

Outer fillet in shear

$$= \pi/2 * \text{plate O.D.} * \text{weld leg} * 6223 \\ = 1.57 * 6.0000 * 0.1326 * 6223 = 7773 \text{ Lbs.}$$

Cargas en las Soldaduras

UG-41(b)(1) and

Fig. UG-41.1 sketch (b)

Load to be carried by welds

$$W = (A - A1)S \\ = (2.0304 - 1.9206) 17500 = 1922 \text{ Lbs}$$
$$W1-1 = (A2 + A5 + A41 + A42) * S \\ = (0.3363 + 0.2042 + 0.0250 + 0.0128) \\ * 17500 = 10120 \text{ Lbs.}$$
$$W2-2 = (A2 + A41) S \\ = (0.3363 + 0.0250) * 17500 = 6323 \text{ Lbs}$$

Revisión a la Resistencia de las Trayectorias

Check strength paths

$$\text{Path 1-1} = 7773 + 19121 = 26894 \text{ Lbs.}$$
$$\text{Path 2-2} = 8160 + 78421 = 86581 \text{ Lbs.}$$
$$\text{Plate strength} = A5 * Sp = 0.2042 * 12700 \\ = 2593 \text{ Lbs.}$$

Outer fillet weld strength of 7773

is greater than plate strength.

MAWP Report by Component

Job: 98/01

• SUMMARY—

New and cold component with lowest

MAWP: (MAWP = 379.82 PSI) Cabeza1

Hot and corroded component with lowest

MAWP (MAWP = 350.00 PSI) CPOCIL01

Pressures are exclusive of any external loads.

• MDMT Report by Component-

• SUMMARY—

Component with highest MDMT: Fondo1
(Computed MDMT = 20)
All components meet or exceed the design MDMT of 20.
• Vessel Summary-Job: 98/01

HYDRO TEST INFORMATION

Gauge at Top
Controlling Components
Ratio: CPOCIL01
Pressure: CPOCIL01
Design Pressure * 1.5 * (Cold Stress / Hot
Stress) = Hydro Test Pressure
 $350.00 * 1.5 * (17500.00 / 17500.00) = 525 \text{ PSI}$

TEMA 5: PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

MÉTODO DE ULTRASONIDO

ULTRASONIDO (ONDAS ULTRASONICAS)

Son vibraciones mecánicas que se transmiten en un medio elástico (sólido, líquido o gas), con una frecuencia mayor al rango audible humano

DESCRIPCIÓN TEÓRICA

Se basa en la capacidad de los materiales para transmitir ondas de sonido de alta frecuencia y la interacción de ambos determina: la sanidad, espesor de pared y variaciones de la estructura interna del material

ANTECEDENTES HISTÓRICOS.

Percusión de ruedas del ferrocarril con un martillo.

Desde 1924 rusos y alemanes se enfocaron al estudio y desarrollo de técnicas de END empleando ondas ultrasónicas.

ESPECTRO DE ONDAS ACÚSTICAS

Es la serie resultante y ordenada del análisis de las ondas de sonido:

Zona infrasónica. De 1 a 16 Hz.

Zona audible: De 16 a 20 kHz.

Zona ultrasónica: Mayor a 20 KHz

RANGOS DE FRECUENCIAS PARA INSPECCIÓN

Para examinación de materiales metálicos:

Según tecnología alemana: de 0.2 a 25 MHz

Según tecnología americana: 0.5 a 25 MHz.

APLICACIONES EN LA INDUSTRIA

Detección y caracterización de discontinuidades internas

Detección y evaluación de discontinuidades superficiales.

Determinación del % de adherencia en uniones bimetálicas (babbit, stellite, etc.) Medición de espesores de pared y extensión de corrosión o erosión internas

En las determinaciones con ultrasonido, se mide la atenuación y el tiempo de recorrido de la onda ultrasónica en un medio

VENTAJAS

Alto poder de penetración.

Alta Sensibilidad.

Mayor exactitud en la determinación de la posición, dimensión y orientación de una discontinuidad.

Buen poder de resolución.

Requiere acceso sólo a una superficie de la pieza.

Las indicaciones instantáneas de las discontinuidades.
No es peligroso para el cuerpo humano.

LIMITACIONES

Requiere personal con buena preparación técnica y bastante experiencia
Difícil inspeccionar piezas rugosas, de geometría compleja y muy delgadas, porosas o con estructura metalúrgica muy burda
LIMITACIONES

Difícil detectar y evaluar discontinuidades cercanas a la superficie, debido al campo muerto o zona muerta
Alto costo del equipo y accesorios.
Requiere el uso de acoplantes.
La evaluación es por comparación.

FUNDAMENTOS BÁSICOS DEL MÉTODO DE INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO

SISTEMAS BÁSICOS DE INSPECCIÓN

Pulso-eco (impulsos).
Reflexión.
Transmisión a través.
Onda reflejada

Es el más ampliamente utilizado en la industria.

COMPARACIÓN BÁSICA ENTRE ALTA Y BAJA FRECUENCIA

SISTEMAS BÁSICOS DE INSPECCIÓN

Transmisión continua.
La señal eléctrica es enviada en forma ininterrumpida; se requiere de un transmisor y un receptor separados. Se utiliza en el estudio y análisis de los materiales.

PULSO-ECO: REFLEXIÓN Y TRANSMISIÓN A TRAVÉS

FUNCIONAMIENTO BÁSICO

Los equipos ultrasónicos funcionan bajo el principio de movimiento rectilíneo uniforme:

Donde.
La velocidad es una constante; $V=0 \text{ m/s}$
La aceleración es igual a cero, $a=0 \text{ m/s}^2$

GENERACIÓN DE UNA ONDA ULTRASÓNICA

Se produce mediante la excitación de las partículas de un cuerpo elástico por medio de un oscilador mecánico (cristal piezoeléctrico).

MODELO DE CUERPO ELÁSTICO

TÉCNICAS DE INSPECCIÓN

Según el arreglo palpador-pieza, existen dos técnicas:
Contacto directo, utilizada por exploración manual
Inmersión, usualmente en agua acondicionada.

CONTACTO DIRECTO

Pieza y palpador están en un íntimo contacto, únicamente separados por una película de acoplante, el acoplante es un medio que permite la transmisión de las ondas ultrasónicas al material.

USOS

Inspección no masiva de soldaduras, piezas forjadas y piezas de fundición.
Inspección en campo de líneas de conducción, estructuras, recipientes sujetos a presión, etc

INMERSIÓN

La pieza y el palpador se sumergen en un líquido (agua acondicionada), el palpador se localiza a una cierta distancia de la superficie de la pieza.

Se usa en sistemas de inspección automática o semiautomática, generalmente de tipo estacionario; con esta técnica se obtiene alta productividad, versatilidad y repetibilidad en los resultados

PRINCIPIOS BÁSICOS DE ACÚSTICA

EFECTOS DE LA FRECUENCIA

- A mayor frecuencia:
- Mayor sensibilidad
- Mayor atenuación de la onda.
- Menor penetración.
- Menor campo muerto.
- A mayor frecuencia: Mayor resolución
- Menor divergencia del haz.
- Mayor intensidad del haz.
- Menor longitud de onda
- La frecuencia determina el tamaño de la longitud de onda y ésta, la sensibilidad.
- Poder de Penetración.
- Poder de Resolución.
- Longitud de Onda.
- Campo Muerto
- Sensibilidad.
- Ángulo de Divergencia.
- Atenuación del Haz.
- Campo Cercano.

GENERACIÓN Y RECEPCIÓN DE LAS ONDAS ULTRASÓNICAS

PIEZOELECTRICIDAD

Es un fenómeno físico reversible que convierte:
Energía mecánica en energía eléctrica (efecto piezoelectrico directo).
Energía eléctrica en energía mecánica (efecto piezoelectrico invertido).

MATERIALES PIEZOELÉCTRICOS

Cuarzo.
Sulfato de litio
Cerámicas polarizadas.
Titanato de bario.
Titanato zirconato de plomo.
Metaniobato de plomo

CLASIFICACIÓN DE PALPADORES

Se clasifican de acuerdo a:
Grado de amortiguamiento (banda ancha y bobina angosta).
La propagación del haz.
Forma de acoplamiento palpador-pieza.
Número de cristales piezoelectricos.
Temperatura de trabajo.
Aplicaciones especiales.
Tamaño, frecuencia y tipo de conectores.

BLOQUES DE CALIBRACIÓN Y REFERENCIA

BLOQUES DE CALIBRACIÓN

Determinación de características operacionales del instrumento y los palpadores.
Establecer condiciones de prueba reproducibles (EHP)

BLOQUES DE REFERENCIA

Contienen reflectores conocidos para ajustar la sensibilidad de prueba.
Sirven para evaluar las discontinuidades detectas.

BLOQUES DE PRUEBA

La obtención del material para la fabricación de los bloques, puede ser
De la misma colada del componente, vaciados por separado.
Una extensión del componente
La obtención del material para la fabricación de los bloques, puede ser
Material de la misma especificación, proceso de fabricación y los mismos tratamientos térmicos que la pieza a inspeccionar.

PROPAGACIÓN DE LA ONDA

Las ondas al propagarse en un medio describen un movimiento de tipo ondulatorio que se representa por medio de una curva sinusoidal.

MOVIMIENTO ONDULATORIO

Frecuencia: Es el número de ciclos que ocurren en la unidad de tiempo (segundo)

Velocidad acústica: Es la rapidez con la que se desplaza una onda ultrasónica a través de un material; relaciona la frecuencia

Es un valor constante para cada material; depende de las propiedades del medio en el que se propague y del tipo de onda

DETECTABILIDAD

Una consideración teórico-práctica que establece que:

Donde:

λ = Longitud de onda (mm)

Detectabilidad: Tamaño mínimo de discontinuidad detectable

MODOS DE OSCILACIÓN O TIPOS DE ONDA

Las vibraciones ultrasónicas se propagan de muchas formas.

La clasificación de la propagación es basada en la oscilación de las partículas con respecto a la dirección de la propagación del haz.

Las formas de propagación más comunes son:

Longitudinales (compresión) también conocidas como haz normal o recto.

Transversales (de corte), también conocidas como haz angular

Las formas de propagación más comunes son:

Superficiales (de Rayleigh) sólo se transmiten en superficies tersas, pulidas o rectificadas.

De placa (de Lamb) sólo se transmiten en sólidos de espesores delgados ($\lambda_{sup} = t_{pieza}$)

ACOPLANTE

Medio acústicamente conductor, son sustancias líquidas o semilíquidas: agua, aceite, gel, pasta de celulosa, vaselina, grasa, etc

El aire y en general, los gases atenúan fuertemente el sonido producen una reflexión del 99.99% del haz ultrasónico.

SELECCIÓN DEL ACOPLANTE

Debe hacerse en base a:

Acabado superficial de la pieza

Temperatura de la superficie

Posibilidad de reacciones químicas

Requisitos de limpieza.

Posición u orientación de la superficie examinada.

Requisitos de transmisión y reflexión en interfases.

TIPOS DE BARRIDO

La información de la inspección puede ser presentada por cualquier de las formas siguientes

Barrido tipo A (A-Scan)

Barrido tipo B (B-Scan)

Barrido tipo C (C-Scan).

Registro en papel o monitor de pantalla, mostrando una vista de planta de la pieza inspeccionada

Presentación analógico o digital.

REQUISITOS DE INSPECCIÓN PARA RECIPIENTES SUJETOS A PRESIÓN

CÓDIGO ASME BPV SECTION V

Requisitos de inspección

Artículo 4: Inspección en Servicio.

Artículo 5. Inspección de materiales y fabricación.

Artículo 23 Requisitos suplementarios

(Normas ASTM adoptadas)

CÓDIGO ASME BPV SECTION VIII DIV. 1, PART UG

Criterios de aceptación para medición de espesores.

Espesor mínimo requerido a:

Presión interna de diseño, o;

Presión Máxima de Trabajo Permisible.

CÓDIGO ASME BPV SECTION VIII DIV. 1

Criterios de aceptación para evaluar la sanidad.

Evaluación de Soldaduras Apéndice 12

Evaluación de piezas de fundición de acero.

Apéndice 7.



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

**MÓDULO III: DISEÑOS DE RECIPIENTES A
PRESIÓN, PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS Y
VÁLBULAS DE SEGURIDAD.
(CA-190)**

**TEMA2:
QUEMADORES Y COMBUSTIÓN**

**EXPOSITOR: ORLANDO R. RIVERA.
PALACIO DE MINERÍA
MARZO 2003**

MODULO IV INGENIERÍA DE SOPORTES A CALDERAS

TEMA 1: QUEMADORES Y COMBUSTIÓN

COMBUSTIBLE

PETRÓLEO ES UN COMBUSTIBLE LÍQUIDO.

COMPOSICIÓN MÁSCICA EN PORCENTAJE

CARBONO	85
HIDRÓGENO	12.5
OXÍGENO	0.1 - 1.0
AZUFRE	2.0
NITRÓGENO	0.001 - 0.3

LAS RESERVAS MUNDIALES SE ESTIMAN

DE 90 A 95 MIL MILLONES DE TONELADAS

MÉXICO OCUPA EL CUARTO LUGAR

EN EXTRACCIÓN DE PETRÓLEO PARA EXPORTACIÓN Y CONSUMO

COMBUSTIBLE

SUSTANCIA QUE SE QUEMA INTENCIONALMENTE PARA OBTENER ENERGÍA CALORÍFICA

COMBUSTIBLES DERIVADOS DEL PETRÓLEO

PRODUCTOS DESTILADOS: Gas Natural, Gas LP y Diesel

PRODUCTOS RESIDUALES: Combustóleo

COMBUSTIBLES no derivados : Carbón

CARACTERÍSTICAS DE LOS COMBUSTIBLES

Composición química

Poder Calorífico

Viscosidad

Calor Específico

Temperatura de inflamación

Escurrecimiento y de Flama

COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL

EN FRACCIONES MÁSCICAS

COMPOSICIÓN ELEMENTAL PARA EL COMBUSTIBLE DIESEL

$c = 0.80$

$h = 0.20$ (aproximadamente)

GASES COMBUSTIBLES

EL GAS NATURAL SE ESPECIFICA POR :

$r_{CH_4} + r_{C_2H_6} + r_{H_2} + r_{N_2} = 1$ (ó 100 %)

PODER CALORÍFICO

Es la cantidad de energía que se desprende al quemar totalmente 1 kg de combustible sólido, líquido o gaseoso

PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS)

Calor de combustión que incluye el calor de condensación de dicho vapor de agua

PODER CALORIFICO INFERIOR (PCI)

Se considera al agua en forma de vapor

PARA 1 KMOL DE H₂

RESULTA . $PCS - PCI = M_{H_2O} \cdot r = 45040$ (kJ/kmol)

COMBUSTIBLES QUE CONTIENEN HUMEDAD

Se puede usar la relación siguiente:

$$PCI = PCS - 2500(9h + w) \text{ [kJ/kg]}$$

PODER CALORÍFICO PARA SÓLIDOS Y LÍQUIDOS

Expresión de Dulong & Petit y la Asociación de Ingenieros Alemanes (VDI) :

$$PCI = 34.013c + 125.6h - 10.9(o-s) - 2.5(9h + w)$$

PODER CALORÍFICO DE GASES COMBUSTIBLES

CALOR ESPECÍFICO

COMBUSTIBLE DIESEL = 2.09 kJ/kgK

COMBUSTÓLEOS = 1.67 a 2.51 kJ/kgK

COMBUSTÓLEO

Combustible pesado que procede de los residuos obtenidos de la refinación del petróleo crudo y es probablemente el de mayor uso en CALDERAS Y GENERADORES DE VAPOR EN MÉXICO

PROPIEDADES DEL COMBUSTÓLEO

Composición másica

Azcapotzalco (benigno)

C = 85.73 %

H2 = 10.72 %

S = 3.50 %

H2O = 0.03 %

O2 = 0.02 %

Minatitlán

C = 82.80 %

H2 = 10.40 %

N2 = 2.97 %

O2 = 0.20 %

S = 2.93 %

Z = 0.40 %

W = 0.30 %

DIESEL COMBUSTIBLE

Es ampliamente usado en calderas de pequeña y mediana capacidad. Tiene menor contenido de azufre comparado con el combustóleo, y mayor contenido de humedad

GAS OLEO

DIESEL 80 %

COMBUSTÓLEO 20 %

CARACTERÍSTICAS DEL DIESEL COMBUSTIBLE

COMPOSICIÓN MÁSICA

c = 84.60 %

h2 = 9.70 %

s = 2.70 %

n2 = 1.00 %

w = 1.50 %

o2 = 0.0 %

z = 0.50 %

CARACTERÍSTICAS DEL DIESEL...

TEMPERATURA DE ESCURRIMIENTO

0 °C Nov. a Feb

5 °C Mar. a Oct.

TEMPERATURA DE INFLAMACIÓN

52 °C

PCI (medio) = 44790 kJ/kg

GAS NATURAL

Este combustible gaseoso es muy bien estimado en el ámbito de calderas y generadores de vapor debido a que propicia una correcta combustión al no poseer azufre ni cenizas

COMPOSICIÓN DEL GAS NATURAL

Metano
Etano
Bióxido de Carbono
Otros gases

CARACTERÍSTICAS DEL GAS NATURAL COMPOSICIÓN MOLAR

Cadereyta , N. L.

H₂ = 10.80 %
CH₄ = 76.30 %
CO₂ = 0.60 %
C₂H₆ = 6.00 %
C₂H₄ = 2.30 %
C₃H₈ = 0.10 %
C₃H₆ = 0.70 %
otros = 3.20 %

Petroquímica Camargo

CH₄ = 83.32 %
C₂H₆ = 9.40 %
C₃H₈ = 2.30 %
C₄H₁₀ = 0.40 %
C₅H₁₂ = 0.30 %
CO₂ = 0.69 %
N₂ + Ar = 3.59 %

DATOS ADICIONALES

H₂S = 17 ppm
PCI = 35755 kJ/Nm³

COMBUSTIBLE GAS L.P.

Este gas combustible tiene su mayor uso para aplicaciones domésticas, aunque algunas industrias ya lo ocupan para Calderas y Generadores de Vapor

COMPOSICIÓN DETALLADA DE GAS L.P. COMPOSICIÓN MÁSCAS

Etano CH ₄	0.02 %
Etano + Etileno C ₂ H ₆	0.44 %
Propano C ₃ H ₈	45.57 %
Propileno C ₃ H ₆	0.05 %
iso-Butano C ₄ H ₁₀	14.11 %
n-Butano C ₄ H ₁₀	34.25 %
1-Buteno C ₄ H ₈	0.37 %
iso-Buteno C ₅ H ₁₀	0.06 %
iso-Pentano C ₅ H ₁₂	2.82 %
otros	2.31 %

COMBUSTIÓN

Proceso de oxidación rápida, en el cual el oxígeno reacciona con materiales combustibles para producir energía calorífica, generalmente en forma de gases de alta temperatura

COMBUSTIÓN TEÓRICA O ESTEQUIOMÉTRICA

Conocida como completa, por considerar que el combustible se ha oxidado al máximo para producir CO₂, H₂O y SO₂

COMBUSTIÓN CON EXCESO DE OXÍGENO

La combustión real exige un **exceso de oxígeno** para llevar a cabo en forma completa la química de la combustión

COMPUESTOS GASEOSOS

Ecuación Básica de Proceso de Combustión (2.1)

Ecuación Básica de Proceso de Combustión (2.3)

Ecuación Básica de Proceso de Combustión (2.6)

Ecuaciones Básicas de los Procesos de Combustión (2.7)

Ecuación Básica de Proceso de Combustión (2.10)

En las anteriores ecuaciones representan

O₂ =

CO₂=

H₂ =

S =

32 kg de oxígeno

44 kg de Bióxido de Carbono

2 kg de Hidrógeno

32 kg de azufre

OXÍGENO Y AIRE NECESARIO PARA LA COMBUSTIÓN Y SUS PRODUCTOS, CASO COMBUSTIBLES SÓLIDOS Y LÍQUIDOS

ANÁLISIS MÁSSICO

ECUACIÓN PARA EL CARBONO (2.11)

De la anterior ecuación en términos mássicos para 1 kg de carbono nos resulta la siguiente (2.12) :

Ecuación para el caso de combustión incompleta aplicada al carbono Ec. (2.13)

En términos de masas moleculares de la anterior ecuación nos resulta la Ec. (2.14b)

Para la oxidación posterior del CO se resuelve con la Ec. (2.15a) :

Y en términos mássicos se resuelve con la Ec. (2.15c)

El Hidrógeno forma agua, según ecuación estequiométrica (2.16)

En términos de masas moleculares se resuelve con la Ec. (2.17)

Para el azufre contenido en el combustible, queda la Ecuación (2.18)

En términos mássicos se resuelve con la Ec. (2.19)

En síntesis para una combustión completa se considera que :

1 kg de carbón

1 kg de hidrógeno

1 kg de Azufre

Necesita 2.67 (8/3) kg de O₂

Necesita 8 kg de O₂

Necesita 1 kg de O₂

Por lo tanto, la cantidad mínima o estequiométrica de oxígeno para 1 kg de combustible sólido o líquido, dada su composición mássica de c, h y s, queda determinada por la Ec. (2.20)

La anterior ecuación expresada en unidades de volumen

Por otro lado, el aire mínimo para la combustión teórica, se da en masa según la Ec. (2.22) :

Y en volumen

Productos de Combustibles Sólidos y Líquidos en Combustión Completa

Los productos de la combustión completa, determinados a partir de las Ecuaciones Estequiométricas de 1 kg de combustible con el Oxígeno necesario, se componen de los gases siguientes :

BIÓXIDO DE CARBONO

Ecuación (2.29)

VAPOR DE AGUA

Ecuación (2.30)

BIÓXIDO DE AZUFRE

Ecuación (2.31)

Finalmente el volúmen de los productos de combustión teórica se dá por la Ecuación (2.34)

EXCESO DE AIRE

Si x es la cantidad práctica de aire para asegurar la combustión completa, se obtiene a partir de la Ecuación (2.35)

Donde :

es la relación de aire, y

es el coeficiente de exceso de aire

El volúmen total de los productos de combustión se calcula con la Ecuación (2.36)

El oxígeno y aire mínimo necesario para la combustión de gases se expresa en fracciones molares o volumétricas.

Supóngase una composición de un gas combustible típico como en la Ecuación (2.37)

Ecuación (2.37)

Considerando las ecuaciones estequiométricas existentes en las tablas, nos resulta la expresión (2.38)

La anterior expresión se explica, con la siguiente relación estequiométrica gas combustible – oxígeno

- a) El CO de 1 a 0.5
- b) El H₂ de 1 a 0.5
- c) El CH₄ de 1 a 20
- d) El C₂H₄ de 1 a 3.0

Entonces, el aire mínimo o estequiométrico se calcula con la ecuación (2.39), y considerando, que :

Ecuación (2.39)

Válida únicamente para el gas combustible adoptado como ejemplo

Para asegurar una combustión completa, el aire necesario se calcula con la Ecuación (2.40)

AIRE PRÁCTICO DE LA COMBUSTIÓN

Productos de gases combustibles

Después de efectuado el proceso de combustión y de acuerdo con la Ecuación (2.40), donde $X =$

X_{min} podemos considerar que :

Productos de gases combustibles

El CO se transforma en CO₂ en proporción de 1 a 1

El H₂ se transforma en H₂O en proporción de 1 a 1

El CH₄ se transforma en CO₂ en proporción de 1 a 1. Además , se produce H₂O en proporción de 1 a 2

Productos de gases combustibles

El C_2H_4 se transforma en CO_2 en proporción de 1 a 2. Además se produce H_2O en proporción de 1 a 2. Los demás gases como el CO_2 , el O_2 y el N_2 pasan idealmente sin alterarse. Eventualmente pueden transformarse en NO_x .

Ecuación (2.41) del Volúmen parcial del

BIÓXIDO DE CARBONO

Ecuación (2.42) del volúmen parcial del

VAPOR DE AGUA

Ecuación (2.43) del volúmen parcial del

OXÍGENO

Ecuación (2.44) del volúmen parcial del

NITRÓGENO

TEMA 2: CUIDADO DE CALDERAS.

Contenido:

Procedimiento para la puesta en marcha de calderas.

Precauciones durante el proceso de arranque.

Indicadores importantes en la operación de calderas.

Recomendaciones para el cuidado de las calderas.

Antes de iniciar el desarrollo del tema, les quiero mostrar a través de diapositivas, lo que le sucede a las calderas al no tener cuidado en su operación y/o mantenimiento.

Vamos a dar inicio a nuestro tema, considerando que tenemos instalada una caldera nueva tipo tubos de fuego y que ya fue probada en fábrica. Además que tiene su equipo auxiliar completo y que durante su montaje e instalación, se cumplió con los siguientes requisitos:

Requisitos legales. Actualmente se tiene la norma oficial mexicana NOM-122-STPS-1996 Relativa a las condiciones de seguridad e higiene para el funcionamiento de los recipientes sujetos a presión y generadores de vapor ó calderas que operen en los centros de trabajo.

Puntos a considerar.

- 1.- Tener por escrito un manual de seguridad e higiene para la operación y mantenimiento de la caldera, sus accesorios y dispositivos.
- 2 - La caldera debe ser instalada en lugares en donde los riesgos sean mínimos
- 3 - La caldera se encuentre en piso firme y nivelado capaz de soportar el peso muerto de la misma.
- 4.- El equipo debe de estar libre de impactos, con suficiente ventilación. Para una ventilación adecuada, el cuarto de calderas deberá estar provisto de áreas de escape de aire caliente en la parte superior del cuarto de calderas, y de áreas para la admisión de aire fresco, necesario para ventilación del mismo y para la combustión
- 5 - Debe contar con iluminación general y complementaria:

En caldera	60 Luxes como mínimo.
En quemador	100 Luxes como mínimo
En cabezal de vapor	60 Luxes como mínimo.
Área de manómetros	100 Luxes como mínimo
- 6 - Espacio mínimo de 1.5 m entre el techo y la parte más alta de la caldera
- 7 - Espacio mínimo de 1.0 m alrededor de la caldera

Requisitos técnicos del equipo.

- 1 - Tener espacio suficiente ya sea por la parte delantera o trasera, para poder cambiar los tubos flux
- 2.- Es necesario que el cuarto de calderas cuente con un sistema de drenaje, con registros en: centro de la caldera, en la zona del equipo suavizador y en las trincheras en caso de que existan.
- 3 - Para la descarga de las purgas, se recomienda un tanque separador centrífugo o una fosa de purgas.
- 4.- Dentro del tablero de la caldera tener una copia del diagrama eléctrico de la misma

REVISIÓN DE LA INSTALACIÓN

La Instalación comprende:

1.- Sistema de alimentación de agua.

- 1.1 - Toma de agua a una presión de 2 a 3 Kg/cm² (ver manómetro)
- 1.2 - Equipo suavizador de agua (simple o doble)
- 1.3.- Tanque de condensados con sus accesorios y altura adecuada, para producir así una carga positiva en la succión de la bomba y evitar la evaporación del agua al funcionar ésta. Se sugieren las

siguientes alturas del tanque de condensados con respecto a la línea de centros de la bomba, cuando la temperatura del agua exceda a 82°C (180°F).

Temperatura en °C	Altura en m
82 a 93	1.80 o más
93 a 96	2.40 o más
96 a 100	3.90 o más

1.4 - Bomba de alimentación de agua. La conexión entre el tanque de condensados y la bomba, deberá ser de por lo menos el mismo diámetro de succión de la bomba, teniendo un filtro lo mas cercano a ésta y una válvula tipo compuerta.

1.5.- Tubería de alimentación de agua desde la bomba hasta la toma de la caldera conservando el mismo diámetro de descarga de la bomba; Además debe contar con una válvula tipo globo lo mas cercano a la caldera y junto a ésta una o dos válvulas de retención.

2.- Sistema de alimentación de combustible.

2.1.- Utilizando combustóleo.

2.1.1.- Tanque(s) de almacenamiento general. Su instalación se rige por la norma oficial mexicana NOM-005-STPS-1993

2.1.2.- Bomba de trasiego Tubería aislada con la tubería que conduce el vapor para el precalentador del tanque de combustóleo.

2.1.3.- Tanque de día.

2.1.4 - Bomba de alimentación de combustible al quemador de la caldera, incluye filtro en la succión y válvulas de control manual.

2.1.5.- Precalentador de vapor y eléctrico (pueden estar separados o en una sola pieza), con accesorios y controles para el control automático del vapor y de la temperatura la cual se eleva a 93°C, esta temperatura puede variar dependiendo del tipo de quemador.

2.1.6.- Línea de atomización, dependiendo del fabricante de la caldera, ésta puede ser con aire o vapor.

2.1.7 - Se utiliza piloto de gas L P o natural.

2.2.- Utilizando gas natural. (Las instalaciones de gas natural se rigen por la norma oficial mexicana NOM-SECRE-002-1997).

2.2.1 - En la caseta que esta dentro de las instalaciones de la empresa se regula el gasto y la presión requerida; Se conduce hasta el cuarto de calderas

2.2.2.- Dentro del cuarto de calderas, se tiene: Una válvula de corte manual, un manómetro de rango adecuado y un regulador que nos baja la presión del gas a la requerida por el quemador

2.2.3 - Después del regulador esta el tren principal de gas y el quemador.

2.2.4.- Se utiliza piloto de gas natural.

2.3.- Utilizando gas L.P. (Las instalaciones de gas L.P. se rigen por el proyecto de norma oficial mexicana NOM-069-SCFI-1994)

2.3.1 - Tanque(s) de almacenamiento.

2.3.2 - Vaporizador(es) con su tanque trampa (Si son necesarios)

2.3.3.- Banco de regulación. Se baja la presión del gas L.P. normalmente a 1.5 Kg/cm².

2.3.4.- Se conduce el gas L.P. a la presión mencionada hasta dentro del cuarto de calderas.

2.3.5.- Dentro del cuarto de calderas se tiene un segundo regulador llamado de 2a. Etapa que baja la presión del gas L.P. a la requerida por el quemador de la caldera.

2.3.6.- Antes del regulador mencionado, se encuentra instalada una válvula de corte manual, un filtro y un manómetro de rango adecuado.

2.3.7 - Después del regulador de 2a. Etapa, se encuentra el tren principal de gas L.P. y el quemador de la caldera

2.3.8.- Se utiliza piloto de gas L.P.

2.4.- Utilizando diesel o gasóleo.

2.4.1.- Tanque(s) de almacenamiento general. Su instalación se rige por la norma oficial mexicana NOM-005-STPS-1993.

2.4.2.- Bomba de alimentación de combustible al quemador. Entre la bomba y el tanque va instalada una válvula de corte manual y un filtro; A la descarga de la bomba va un manómetro de rango adecuado y dependiendo del tamaño y tipo de quemador va una válvula de alivio con línea de retorno de combustible.

- 2.4.3.- Dependiendo del fabricante y del tamaño del quemador; Se puede atomizar mecánicamente, con aire o vapor.
- 2.4.4 - Dependiendo del tamaño del quemador puede llevar piloto de gas L.P. o de diesel

3.- Sistema de salida de gases.

- 3.1.- Termómetro de 100 a 500°C con carátula del diámetro adecuado
- 3.2.- Chimenea del mismo diámetro al de la caldera y altura adecuada.
- 3.3.- Puertos de muestreo de acuerdo al instructivo CCAT-FF-001 de la SEDESOL.
- 3.4.- Plataforma (si es necesario)

4.- Sistema de purgas.

- 4.1.- La(s) purga(s) de fondo deben contar con una válvula de cierre lento tipo " Y " , y una válvula de cierre rápido seleccionadas a la presión adecuada. Instaladas en el orden descrito a partir de la salida de la caldera.
- 4.2.- En la purga de la columna de nivel, va una válvula tipo globo seleccionada a la presión adecuada
- 4.3.- Las descargas de la purga del cristal de nivel y la purga del tren de controles, se pueden unir y conectarse en la tubería de descarga de la columna de nivel.
- 4.4.- La descarga de la purga de la columna de nivel, se puede unir a la descarga de la(s) purga(s) de fondo.
- 4.5 - La descarga de la(s) purga(s) de fondo, va a una fosa o a un tanque separador centrifugo

5.- Sistema de energía eléctrica.

- 5.1.- Para el correcto funcionamiento del equipo eléctrico, es conveniente que el voltaje se mantenga lo más constante posible. Esto es de vital importancia para el circuito de control, el cual no admite variaciones en + o - 10% de los 110 volts nominales.
- 5.2 - Para el correcto funcionamiento y protección del control programador, se utiliza un transformador tipo seco de ½ KVA de 220 o 440 V a 110 V
- 5.3.- Todos los motores deben estar protegidos con arrancadores magnéticos.

6.- Sistema de vapor

- 6.1 - Inmediatamente después de la salida de vapor de la caldera, va una válvula tipo globo seleccionada para la presión adecuada. Toda tubería de vapor deberá estar debidamente aislada y dependiendo de su longitud tendrá juntas de expansión.
 - 6.2.- En sistemas intercomunicados de vapor con igual presión de trabajo, se deben instalar válvulas de retención a la salida de cada caldera y cuando haya diferentes presiones instalarlas en las calderas de baja presión.
 - 6.3 - Si se utiliza cabezal de vapor, deberá de contar con. Válvula de seguridad, manómetro de rango adecuado, trampa de vapor con descarga al tanque de condensados. Además estará aislado.
 - 6.4.- La descarga de la(s) válvula(s) de seguridad serán independientes y deben soportarse en una forma tal que evite cualquier esfuerzo sobre la(s) válvula(s).
- Antes de iniciar el proceso de arranque se recomienda, destapar la caldera por ambos lados y realizar una prueba hidrostática a la presión de diseño, además revisar los refractarios para verificar que no sufrieron ningún daño durante el transporte y montaje de la misma.
- A continuación, veremos como se realiza una prueba hidrostática de acuerdo a la sección No. I del código ASME.

PROCEDIMIENTO PARA LA PUESTA EN MARCHA DE CALDERAS Y PRECAUCIONES DURANTE EL PROCESO DE ARRANQUE

Realizar una inspección ocular a todo el exterior de la caldera, para verificar que no haya sufrido algún daño en su cuerpo o en alguno de sus controles y accesorios, durante el transporte y montaje.

Revisar que haya energía eléctrica en el tablero de control de la caldera y en el arrancador de la bomba de agua (voltaje adecuado).

Revisar que el acoplamiento entre el motor y la bomba de agua se encuentre debidamente alineado

Revisar el sentido de la rotación del ventilador, bomba de agua y en su caso de la bomba de combustible que sea el adecuado.

Revisar que el tanque de condensados tenga agua y que este al nivel adecuado.

Revisar que todas las válvulas de alimentación de agua estén abiertas, retirar el manómetro en la descarga de la bomba para verificar que circula el agua y eliminar el aire que había en la tubería tanto de succión como de descarga. Cuando salga agua sin burbujas colocar de nuevo el manómetro.

Revisar que la presión de agua a la entrada del equipo suavizador sea la adecuada (2 a 3 Kg/cm²).

Abrir la válvula de venteo de la caldera.

Revisar que las válvulas de purga de fondo, purga de columna de nivel, purga del cristal de nivel, purga del tren de controles, salida principal de vapor y purga de superficie (si cuenta con ella), estén cerradas.

Retirar la tapa del control principal de nivel, revisar que no este obstruido el flotador y que las cápsulas de mercurio estén en buen estado y en su lugar.

Verificar que los grifos de prueba del control principal de nivel estén cerrados.

Verificar que las válvulas del cristal de nivel estén abiertas

Revisar que el control de presión límite y el control de presión modulante estén ajustados a la presión que va trabajar la caldera, así como su diferencial

Revisar en la placa de la(s) válvula(s) de seguridad la presión a la cual esta calibrada. Ésta debe ser mayor a la presión de trabajo pero no mas que la presión de diseño.

Revisar el electrodo de ignición que no se haya dañado durante el transporte y montaje de la caldera.

Verificar que el voltaje que está recibiendo el motor modutrol sea el adecuado (24 V).

Arrancar la bomba de alimentación de agua colocando el selector de tres posiciones, en automático, verificando el amperaje del motor.

Verificar que la bomba esta inyectando agua dentro de la caldera, sintiendo el paso en la tubería de descarga de la misma. También se puede verificar tocando la descarga de la válvula de venteo o escuchar el ruido que produce el aire al salir de la caldera.

Revisar la tubería y conexiones del agua de alimentación para corregir posibles fugas.

Observar en la mirilla de cristal, el nivel del agua dentro de la caldera y marcar el nivel cuando se pare la bomba automáticamente. Este nivel normalmente es de 63 mm medido a partir de su base.

Purgar la caldera por el fondo, marcar en la mirilla de cristal, el nivel donde arranca la bomba automáticamente. Aproximadamente es de 44 mm medido a partir de su base.

Colocar el selector de la bomba de agua en la posición de apagado y seguir purgando la caldera por el fondo, marcar en la mirilla de cristal, el nivel de corte del quemador (actúa una alarma auditiva). Aproximadamente es de 38mm medido a partir de su base

Verificar que el control de baja presión de aire para la combustión este ajustado a la presión requerida y que funcione correctamente.

De acuerdo al tipo de combustible, revisar que no estén bloqueados los controles eléctricos de seguridad con que cuenta la caldera

A.- Utilizando gas natural o L.P.

Control por baja presión de gas.
Control por alta presión de gas.

B.- Utilizando combustóleo.

- Microswitch de arranque.
Control por baja presión de aire para atomización.
Control por baja presión de combustible.
Control por baja temperatura de combustible
Control por alta temperatura de combustible.

C.- Utilizando diesel o gasóleo.

Microswitch de arranque.
Control por baja presión de aire para atomización.
Control por baja presión de combustible.

Abrir todas las válvulas manuales de alimentación de combustible desde el tanque de almacenamiento hasta el quemador de la caldera.

Si se utiliza retorno de combustible, también abrir todas las válvulas

Abrir la válvula manual que alimenta el gas al piloto, verificar la presión la cual debe ser de 5 a 10 pulgadas columna de agua.

Cuando se utiliza combustóleo, en algunas calderas el arranque en frío se hace con diesel y se atomiza con aire, Ya que se tiene vapor a 3 Kg/cm^2 , se abren todas las válvulas manuales que controlan el paso de vapor a: tanque de almacenamiento general y tanque de día, al llegar a las temperaturas recomendadas (30° C en el tanque de almacenamiento general y 60° C en el tanque de día), se arranca la bomba de trasiego para circular el combustóleo entre el tanque general y el de día

Se apaga la caldera y se abren las válvulas del combustóleo que hay entre el tanque de día y el quemador, se cierran las válvulas del diesel

Se arranca la bomba de alimentación de combustible para circular el combustóleo entre el tanque de día y el quemador, se abre la válvula que controla el paso del vapor al precalentador y se enciende el precalentador eléctrico para elevar la temperatura del combustóleo a 93° C y pueda funcionar el quemador. Algunas calderas atomizan con vapor en este momento se hace el cambio.

En las calderas que utilizan combustibles líquidos y que tienen línea de retorno, se puede poner a funcionar la bomba de combustible para revisar y ajustar las presiones requeridas por el quemador de la caldera.

Presión de combustible líquido recomendada en operación de alta alimentación, utilizando atomización con aire o vapor:

Presión de abastecimiento: 5.0 Kg/cm^2

Presión de entrada al quemador: 2.5 a 3.5 Kg/cm^2

Presión de retorno: Aprox. 1.0 Kg/cm^2 de diferencia con respecto a la presión de entrada.

Presión de atomización con aire:

Sin flujo de combustible la presión mínima es de 0.5 Kg/cm^2

Con combustible en fuego bajo sube a 0.80 Kg/cm^2

Con combustible en fuego alto no debe sobrepasar los 2.0 Kg/cm^2

Presión de atomización con vapor: Dentro del rango de 0.8 a 1.4 Kg/cm^2

La presión de combustible líquido utilizando atomización mecánica es de 7 Kg/cm^2 .

La presión de combustible en calderas que utilizan gas L.P. o natural, es baja y depende del tamaño del quemador y del lugar donde este instalado. Se mide en pulgadas columna de agua, en onzas/ pulg² o en gr./cm²

Todos los valores de presión y temperatura mencionados en los puntos anteriores se dan como referencia para poder arrancar la caldera. Los valores reales nos lo dará el análisis de gases que se hace a la caldera en operación para dejarla dentro de norma.

Hasta este punto se tiene la caldera lista para iniciar el proceso de arranque

Encender la caldera iniciando el ciclo del control de flama modulante, el cual tiene la siguiente secuencia

Se energiza el motor del ventilador y el motor modutrol iniciando un tiempo de prepurga que tiene una duración de 70 segundos, en este lapso la compuerta del aire pasa de fuego bajo a fuego alto y viceversa A los 70 segundos se energiza el transformador de ignición y la válvula solenoide del piloto de gas, estableciéndose el encendido del piloto.

La fotocelda registra la señal de la flama del piloto. Periodo no mayor a 10 segundos

Se energiza la válvula principal de combustible, encendiendo la caldera.

Después de un período de 15 segundos para verificar la presencia de la flama principal, se apaga el piloto.

A los 105 segundos se tiene el fin del ciclo de encendido, el programador se para. El quemador modula hasta que la carga de demanda es satisfecha, regresando a fuego bajo

Para el quemador. Hay un periodo de pospurga cortándose la corriente al motor del ventilador a los 120 segundos.

El sistema queda listo para iniciar otro ciclo.

Ya que se tiene la caldera encendida se mantiene en fuego bajo y se le da un calentamiento inicial lento de la siguiente manera:

Trabaje la caldera por 10 minutos y apagela por 5 minutos, repita lo anterior tres veces más. Después déjela trabajando en fuego bajo hasta que llegue a una presión de vapor de 3.0 Kg/cm², Durante este periodo se recomienda apretar nuevamente los registros pas-mano, el registro pasa-hombre y las tapas de la caldera. Posteriormente se puede pasar a automático, verificando que se apague la caldera a la presión a la cual está ajustado el control de presión límite.

Se recuerda que cuando empiece a salir vapor por la válvula de venteo, ésta se cierra

Antes de que una caldera nueva sea puesta en servicio, debe limpiarse cuidadosamente a fin de eliminar la grasa y otras materias orgánicas, óxidos, escamas de laminación, fundentes de soldadura y cualquier otro material inherente a la fabricación y al montaje.

El objetivo a lograr durante la limpieza de una caldera nueva es producir una superficie metálica limpia en todas las partes de la misma que están en contacto con el agua y el vapor durante la operación

Se recomienda que ésta limpieza química la realice la compañía que esta a cargo del tratamiento del agua

Después que se realizo el lavado químico, se arranca la caldera hasta que pare por presión. Abra lentamente la válvula principal de salida de vapor y verifique que la caldera encienda a la presión que esta ajustado el diferencial del control de presión límite

Verifique que actúan las protecciones de seguridad de la caldera, las cuales son.

-Paro por alta presión de vapor.- Esta prueba se realizó en el punto No. 34

-Paro por bajo nivel de agua.- Estando la caldera en operación, apagar la bomba de agua y purgar la caldera por el fondo. Viendo la mirilla de cristal revisar que el quemador se apague en el nivel que tenemos marcado por corte de bajo nivel

Paro por falla de flama.- Teniendo en operación la caldera, retirar la fotocelda del quemador y tapanla, dependiendo del control de flama y del tipo de detección, la caldera debe apagarse en un tiempo corto (seg.).

Por ultimo, verificar o en su caso ajustar que la caldera este bien carburada desde fuego bajo hasta fuego alto, tomando lecturas de los gases con equipo autorizado por SEMARNAP. La norma oficial mexicana que rige es la NOM-085-ECOL-1994 en su tabla No. 5

Caldera lista para su operación normal.

Tema 3:

TRATAMIENTO QUÍMICO DEL AGUA

EL AGUA

El agua es un compuesto químico constituido por dos átomos de Hidrógeno y uno de Oxígeno y que se expresa por la fórmula H_2O

Debido a sus propiedades es considerado como solvente universal, por lo que no se encuentra puro en la naturaleza.

El volumen de agua existente en la naturaleza es una cantidad constante, por lo que no es ampliable a voluntad

ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DEL AGUA

El agua proviene de cuatro fuentes principales:

Agua de lluvia y superficial
Agua de manantiales y ríos
Agua de pozos y perforaciones
Agua de mar

El agua de estas fuentes que no ha recibido ningún tratamiento se le conoce como AGUA CRUDA

Algunas de las características del agua por lo que se utiliza en la industria, son:
No sufre alteraciones químicas por calentamiento dentro del rango de temperaturas encontradas.

El agua es una sustancia fundamental en muchos procesos industriales en los que interviene como :

Materia principal de un proceso, disolvente, diluyente o medio de transporte de otras materias; también como sistema auxiliar para lavado, para limpieza, etc. Medio de transporte térmico, como es el caso de calderas o generadores de vapor

El objetivo del TRATAMIENTO QUÍMICO DEL AGUA, es el de reducir y evitar los problemas asociados a la generación de vapor

Para conseguir dicho objetivo, el agua debe someterse a un tratamiento externo que reduzca la cantidad de contaminantes que contenga, a un nivel conveniente para repuesto del agua en las calderas o generadores de vapor.

Estos contaminantes, también denominados impurezas, se encuentran en el agua y son causas potenciales de problemas por lo que se hace necesaria su eliminación mediante un tratamiento adecuado.

IMPUREZAS DEL AGUA

Algunas de las principales impurezas que se encuentran generalmente en el agua, se relacionan con los problemas que pueden causar y se hacen necesarios algunos tratamientos físico químicos para su eliminación.

Dureza: Sales de Calcio y Magnesio expresadas como $CaCO_3$.

- Esta impureza es la principal fuente de incrustación en equipos de intercambio de calor.

- Se elimina por suavización, desmineralización, destilación, tratamiento

interno, etc.

Alcalinidad: Bicarbonatos (HCO_3), carbonatos (CO_3), e Hidróxidos (OH)

- Causa espuma y arrastre de sólidos en la producción de vapor - **Fragilización del acero en calderas.** El CO_3 produce CO_2 al calentarse. (Este gas es corrosivo).

Acidez mineral : Ácidos libres (H_2SO_4 , HNO_3 y HCl) , expresados como CaCO_3

- Causa corrosión general
- Se elimina neutralizando con álcalis.

pH : Concentración de iones. Hidrógeno

- El pH varía de acuerdo a la acidez o a la alcalinidad del agua. (El pH del **agua natural oscila de 6.0 a 8.0**).

- El pH puede ser regulado con álcalis o ácidos, para subirlo o bajarlo respectivamente.

Cloruros. (Cl^-)

- Con el Calcio y el Magnesio, forma sales incrustantes

- Incrementa los sólidos disueltos en el agua y su carácter es corrosivo.

- Se elimina por desmineralización, destilación, ósmosis inversa, etc.

Sílice. - SiO_2 .

- Causa incrustación en el agua de calderas.

- Se vaporiza en las calderas y se deposita en los álabes de una turbina.

- Se elimina con

tratamientos en caliente con intercambio iónico sales de magnesio, por fuertemente básica, adsorción con resinas de por destilación, ósmosis inversa, etc ó

Aceites y grasas:

Se expresa

por

- Causa depósitos, lodos y espuma en

- Decrementa la transmisión de calor

- Es indeseable en la mayor parte de los procesos.

-

- Se elimina por separación mecánica, coagulación y filtración (tierra diatomacea).

Oxígeno: (O_2)

- Causa corrosión de condensado, etc.

en líneas de agua, equipo de

intercambio de calor, calderas, retorno

Conductividad.

- Se expresa en micromhos por cm (mmhos/cm)
- Es el resultado de los sólidos ionizables en solución.
- Una alta conductividad incrementa las características corrosivas del agua.
- Se elimina con cualquier proceso que disminuya el contenido de sales disueltas. desmineralización, ósmosis inversa, etc

ANÁLISIS DEL AGUA

El análisis del agua es un análisis físico-químico que se efectúa para valorar su calidad para su utilización.

Las principales impurezas del agua las constituyen los sólidos disueltos, que se disocian en iones con carga positiva (CATIONES) y con carga negativa (ANIONES).

Los cationes más comunes en el agua son: Calcio (Ca⁺⁺), Magnesio(Mg^{}) y Sodio(Na⁺).**

Los aniones más comunes en el agua son. Bicarbonato(HCO₃⁻), Carbonato (CO₃⁼), Cloruro (Cl⁻), Sulfatos (SO₄⁼), Nitratos (NO₃⁼) y, en aguas contaminadas, los Nitritos(NO₂⁻).

La sílice es otro compuesto que se encuentra presente en forma de silicatos solubles y en ocasiones, en estado coloidal.

Otras impurezas importantes son los gases disueltos como el Bióxido de Carbono (CO₂), el Oxígeno (O₂), el Amoníaco (NH₃), etc.

Los problemas de corrosión e incrustación o de depositación, debidos a las impurezas del agua se deben principalmente a: La solubilidad de cada impureza, a la temperatura, al pH y a las condiciones de oxidación o reducción presentes

Cuando el agua se evapora, las impurezas se concentran y se depositan cuando se excede el limite de solubilidad, debido a la temperatura o al pH.

Basándose en la solubilidad, los minerales comunes en el agua natural forman grupos: Compuestos de Ca y Mg, de Na, SiO₂, de Fierro (Fe) y Manganeso (Mn)

Como las impurezas que se encuentran en el agua, están en cantidades muy pequeñas, el resultado de un análisis se expresa en partes por millón (ppm) o en partes por billón (ppb) Esto en vez de expresarlas en porcentos

Una parte por millón significa una parte de la sustancia en un millón de partes de agua, independientemente de la unidad que se utilice. Por ejemplo:

1 gramo en un millón de gramos

1 libra en un millón de libras

Como la densidad del agua es de 1 gr/ ml, tenemos:

1ppm = 1 mg /lt , o también

1ppm = 1 gr/m³

La ppb es mil veces menor que la ppm , es decir : 1ppb = 1 mg /m³

Para facilitar el manejo aritmético de los resultados

de los análisis del agua, se suelen convertir a una base común. Generalmente se utiliza el CaCO_3 , cuyo peso molecular es de 100.

TRATAMIENTO EXTERNO DEL AGUA

Las impurezas del agua ocasionan problemas de corrosión e incrustación, principalmente en los equipos de intercambio de calor y en tuberías, causando pérdidas de eficiencia y fallas en los equipos con los consiguientes paros costosos por reemplazos de partes, reparaciones, además de la falta del suministro que se cause.

Para depurar el agua, generalmente es preciso utilizar uno o combinar varios tratamientos, cuyas bases pueden ser físicas, químicas o biológicas y, cuyo efecto es el de eliminar en primer lugar, la materia en suspensión, después las coloidales y por último las sustancias disueltas (minerales u orgánicas).

Finalmente se corregirán ciertas características

Todo esto dependerá de:

La calidad del agua disponible, el uso del agua acondicionada o tratada y la calidad necesaria de esta agua a utilizar.

Lo anterior se le conoce como "tratamiento externo del agua".

Algunos de los tratamientos elementales a mencionar, son:

Decantación o flotación, filtración, coagulación y floculación, precipitación (cal/coagulante en frío, cal/carbonato en caliente), suavización, desmineralización, separación por membranas (ósmosis inversa, ultrafiltración, electrodiálisis), destilación o evaporación.

Por frío, cal/carbonato en caliente), suavización, desmineralización, separación por membranas (ósmosis inversa, ultrafiltración, electrodiálisis), destilación o evaporación.

Diversas sustancias sólidas constituyen indudablemente, la parte más importante y aparente de la contaminación. La separación de estas partículas sólidas puede hacerse de dos maneras: decantación o flotación o, filtración o tamizado

En la decantación se aprovecha la acción directa de la pesantez y por flotación se fijan sobre las partículas burbujas de aire introducidas sistemáticamente en la suspensión.

El primer proceso puede acelerarse artificialmente mediante la intervención de la fuerza centrífuga (hidrociclones o centrifugadoras)

El primer proceso puede acelerarse artificialmente mediante la intervención de la fuerza centrífuga (hidrociclones o centrifugadoras)

El cuadro siguiente, relaciona ciertos materiales y organismos, con su tamaño medio, así como el orden de magnitud del tiempo necesario para que estas partículas, recorran verticalmente un metro de agua, únicamente por la influencia de su peso

Diámetro de la partícula (mm)	Tiempo de sedimentación para 1m de caída	Material
-------------------------------	--	----------

En efecto, un litro de agua de buena calidad puede contener varias decenas de millones de partículas del orden de una micra, aunque estas partículas pesen, en total, menos de 0.1 mg.

FILTRACION

La filtración es un procedimiento en el que se utiliza el paso de una mezcla sólido-líquido a través de un medio poroso (filtro) que retiene los sólidos y deja pasar los líquidos (filtrado)

Si las materias en suspensión que deben separarse tienen una dimensión superior a la de los poros, quedarán retenidas en la superficie del filtro. La filtración, en este caso, se denomina superficial o en torta o sobre soporte.

En caso contrario de que las materias queden retenidas en el interior de la masa porosa, la filtración se denomina en volumen, en profundidad o sobre lecho filtrante.

Los filtros retienen, en la superficie o en el seno de la masa filtrante, las partículas que contiene un líquido.

COAGULACION Y FLOCULACION

Para permitir la separación de una suspensión coloidal en condiciones de velocidad satisfactorias por sus pesantes, es necesario aglomerar los coloides para formar partículas de tamaño mucho mayor. Esta aglomeración se efectúa por medios artificiales, que resulta de dos acciones diferentes.

COAGULACION.

Una desestabilización, producida generalmente, por la adición de reactivos químicos, que anulan las fuerzas repulsivas o actúan sobre la hidrofilia de las partículas coloidales

FLOCULACION.

Una aglomeración de los coloides "descargados", hasta la obtención de un tamaño de 0.1 micra

aproximadamente y después por agitación mecánica, las conduce a un tamaño suficiente de los flóculos.

Los reactivos correspondientes serán "coagulantes" y "floculantes" respectivamente.

La separación sólido-líquido del flóculo formado y del agua puede hacerse por filtración, por decantación o flotación y filtración (opcional).

PRECIPITACION

Una vez que el agua ha sido extraída de su fuente, donde pudo haberse encontrado en un estado de equilibrio, suele exponerse a bombeo, aereación, calentamiento, etc., que pueden cambiar su estabilidad y producir corrosión o incrustación.

Esto puede conocerse encontrando el Índice de Estabilidad del Agua. Un factor importante para este cálculo es el producto de solubilidad del Carbonato de Calcio (CaCO_3) y la concentración de ciertos iones en el agua.

El proceso de precipitación emplea el producto de solubilidad de un compuesto que contiene un ion o radical que es considerado perjudicial y que, por lo tanto, debe ser eliminado antes de utilizar el agua.

El caso más común es la reducción de la concentración de iones de Calcio⁺⁺ y Magnesio⁺⁺ por precipitación como CaCO_3 y $\text{Mg}(\text{CO}_3)$.

Por precipitación química se entiende, la formación por la acción de los reactivos apropiados de compuestos insolubles de los elementos indeseables.

El mecanismo de la precipitación del Carbonato cálcico y el hidróxido de magnesio; para el primer caso (CaCO_3), la reacción de la cal sobre el agua cruda es extraordinariamente lenta, en ausencia de "gérmenes de cristalización".

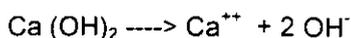
Por el contrario, cuando el agua y la cal se ponen en contacto con una masa suficiente de cristales de CaCO_3 ya precipitados, la reacción alcanza su equilibrio en unos minutos.

CAL-COAGULANTE EN FRIO

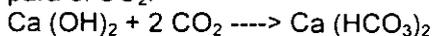
Este tratamiento se efectúa a temperatura ambiente, elimina la turbidez, el color y materia en suspensión, por esto, se les denomina a los equipos de este tratamiento floculadores y clarificadores también.

La dureza constituida por las sales de Ca y Mg, son reducidas en este tratamiento, por el proceso de precipitación, que predomina en este tratamiento, como CaCO_3 y $\text{Mg}(\text{OH})_2$ respectivamente.

Puesto que la alcalinidad de casi toda el agua cruda esta formada por bicarbonatos y generalmente contiene CO_2 , la precipitación del Carbonato de Calcio requiere la conversión del CO_2 del HCO_3 , de acuerdo con las siguientes reacciones químicas:



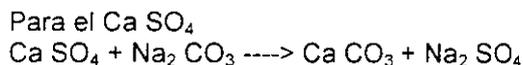
para el CO_2 :



De esta manera, se han convertido las sales solubles a sales insolubles (precipitado que se separa por asentamiento).

Dado que la dureza de Ca y Mg puede ser "de Carbonato" o "no Carbonato", las reacciones anteriores convirtieron la "dureza Carbonato"

La "dureza no Carbonato" esta dada por las sales de Ca y Mg, derivadas de ácidos minerales (sulfatos, cloruro, nitratos . . .) Esta se reduce, mediante la adición de carbonato de Sodio (Na_2CO_3), de acuerdo a las siguientes reacciones químicas.



Todos estos equipos producen lodos de la reacción química, que actualmente debe considerarse su disposición, para evitar contaminación.

Deben ponerse fuera de servicio periódicamente, para su limpieza.

Debe llevarse un especial control químico para obtener la calidad del agua deseada, así como de la operación

Mantenimiento preventivo estricto.

CAL CARBONATO EN CALIENTE

En éste proceso, las reacciones se efectúan en caliente (105°C aprox), por lo que suceden a una velocidad considerablemente mayor.

Se obtienen precipitados más grandes, más pesados y el asentamiento es más rápido. No utiliza Coagulante, ni cal para eliminar el CO_2 .

El efluente se usa generalmente para calderas o evaporadores. Si se desea pulir más, puede hacerse pasar por un suavizador de Zeolita en caliente.

Las reacciones químicas son las mismas que las que se producen en el tratamiento en frío; con la ventaja de que se reduce el contenido de la sílice del agua cruda, con la adición de óxido de Magnesio, que se convierte a hidróxido de Magnesio, el cual retiene la sílice. El Mg (OH)_2 del agua cruda actúa igual y además funciona como coagulante

La alimentación del agua cruda, de los reactivos y del vapor es por separado por la parte superior del tanque. Ahí se atomiza el agua, de esta manera se desgasifica (O_2, CO_2)

Los lodos se eliminan conforme se forman por la parte inferior del cono.

Este tratamiento requiere de una estricta supervisión y de un control químico cuidadoso. Debido a la temperatura, las tuberías de alimentación de Cal, se incrustan con frecuencia

El efluente suele arrastrar Ca CO_3 y Mg (OH)_2 hasta los filtros por lo que deben tomarse las medidas pertinentes.

INTERCAMBIO IONICO

Los intercambiadores de iones son sustancias granulares insolubles, que tienen, en su estructura molecular, radicales ácidos o básicos, capaces de permutar, sin modificación aparente de su aspecto

físico y sin alteración alguna o solubilización, los iones positivos o negativos, fijados previamente a estos radicales, por otros iones del mismo signo, que se encuentran en solución en el líquido puesto en contacto con ellos

Mediante esta permutación, llamada INTERCAMBIO IONICO, puede modificarse la Composición iónica del líquido a tratar, sin alterar el número total de iones existentes en este líquido, al iniciarse el tratamiento.

Este intercambiador de iones, tiene una capacidad limitada de iones almacenados en su esqueleto. A esta se le llama "Capacidad de intercambio", en virtud de esto, llegará finalmente a saturarse con iones indeseables.

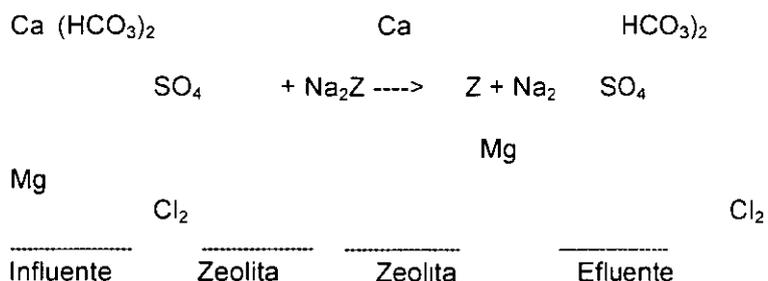
Esta operación es un proceso químico cíclico y el ciclo completo incluye normalmente

- Retrolavado
- Regeneración
- Enjuagado
- Servicio

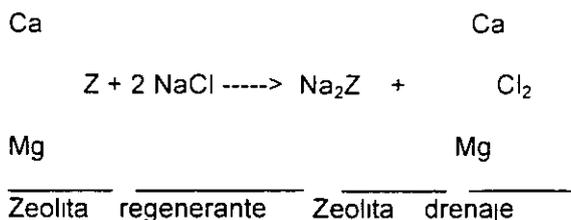
SUAVIZACION

El intercambio que sucede durante la operación, produce un efluente con sales de sodio, en vez de las sales de Ca y Mg del influente.

La dureza en el efluente puede llegar hasta 2 a 4 ppm, dependiendo de la dureza del influente. (Generalmente se obtiene agua de dureza cero). Las **reacciones químicas que se suscitan** en el equipo suavizador, son las siguientes:



Para restituir la capacidad de intercambio de la resina se regenera:



El efluente con sales de sodio, de un suavizador con Zeolita, puede abastecer calderas de baja presión.

La cantidad de sal que necesita un suavizador para su regeneración está determinada por los límites aceptables para la calidad del efluente y la capacidad que la planta desea obtener.

Por su diseño y forma de operación, un suavizador actúa también como filtro, esto obliga a efectuar un retrolavado cuidadoso.

En el caso de que el efluente contenga turbidez y lodo, la Zeolita se irá recubriendo y su capacidad disminuirá gradualmente

Si el efluente proviene de un tratamiento "cal en frío", la Zeolita puede ser incrustada por Carbonato de Calcio o hidróxido de Magnesio, etc

DESMINERALIZACION

Dado que las sales que se encuentran disueltas en el agua se encuentran disociadas en iones, con carga eléctrica positiva llamados "cationes y con carga eléctrica negativa llamados aniones"

las soluciones son eléctricamente neutras, debido a la igualdad de ambas cargas

El proceso de Desmineralización o desionización consiste en la eliminación de ambos iones contenidos en el agua. La pureza que se llega a obtener a través de este proceso en el efluente es de aproximadamente del orden de 0.10 a 0.20 ppm de sales totales disueltas y menos de 10 ppb de Silice.

En el caso de una resina en ciclo sodio, el calcio desplaza al sodio, por tener concentraciones normales Pero para la regeneración, el Sodio desplaza al Calcio, debido a su alta concentración en la solución regenerante.

La mayor parte de las unidades de intercambio iónico son simples recipientes que contienen un lecho de resina de intercambio iónico que opera por flujo descendente. Como se mencionó anteriormente, sobre una base cíclica: operación, regeneración, enjuague, y operación.

Recordando que el diámetro efectivo del material de intercambio iónico es de 20-50 mallas (0.5 mm), hace que el lecho de resina funcione como un filtro muy efectivo, con las ventajas y desventajas correspondientes.

Cuando las necesidades de agua desmineralizada son elevadas, es aconsejable disponer de dos o tres sistemas o trenes de desmineralización

Uno de los principales problemas de las resinas es que suelen contaminarse con algunas sustancias, con la consiguiente pérdida de la capacidad de intercambio

Otro tipo de fallas son las mecánicas en distribuidores y toberas.

También las producidas por corrosión, dadas las características de los regenerantes, en particular el ácido sulfúrico.

Debido a esto se deberá contar en la planta, con las refacciones necesarias y con la resina suficiente para reponer en caso de pérdida.

Algunas consideraciones sobre el tratamiento de los desechos:

Un factor importante en la selección de cualquier proceso de intercambio iónico es la disposición del desecho producido por la regeneración de las unidades

En algunas ocasiones, es reutilizable el desecho catiónico y el aniónico. Generalmente, se almacenan ambos en una fosa de construcción especial, para recibir ambos desechos, alternativamente.

OSMOSIS INVERSA

La osmosis es un proceso en el cual un solvente fluye a través de una membrana permeable separando una solución más fuerte de una solución más débil. El solvente fluye en la dirección que reducirá la concentración de la solución más fuerte.

La OSMOSIS INVERSA es un proceso de membrana permeable que actúa como un filtro molecular para eliminar del agua:

- Minerales disueltos
- Compuestos orgánicos disueltos
- Materia Coloidal.
- Bacterias.

En este proceso de O.I., el agua es introducida a presión a través de una membrana permeable separando en dos partes:

- El filtrado, permeado o producto (diluido).
- El rechazo o no permeado (concentrado).

La O.I., utiliza membranas semipermeables, que dejan pasar el agua, reteniendo del 90 al 99% de todos los minerales disueltos del 95 al 99% de la mayoría de los elementos orgánicos y el 100% de la materia coloidal (bacterias, virus, sílice, coloidal . . .)

Tomando en cuenta las variables de comportamiento, para este proceso, podemos mencionar.

El flujo de agua a través de una membrana, es proporcional a la diferencial de presión aplicada a través de la membrana (400 a 1200 lb/pulg²).

No siempre es recomendable una alta recuperación por la posibilidad de la precipitación de sólidos disueltos en la membrana, esta baja recuperación oscila entre 40-50% de conversión

Las membranas no son totalmente impermeables y siempre se tendrá cierta cantidad de materiales disueltos que pasarán a través. A ésta cantidad de material se le conoce como PASO DE SALES.

En la actualidad, se comercializan dos tipos de membranas

De acetato de celulosa (mezcla mono, di, triacetato).
Membranas de poliamidas aromáticas.

Las primeras (A de C) proporciona un fuerte caudal por unidad de superficie. Su diseño es tubular, espiral o fibras huecas. Las de poliamida tiene menor caudal específico y para obtener un máximo de superficie por unidad de volumen del permeador, tiene un diseño particular.

Los dos diseños más importantes de Osmosis inversa son:

Módulos de arrollamiento en espiral

Las membranas se arrollan por pares sobre un tubo central en el que se colecta el permeado. El agua que será tratada circula paralelamente al tubo central, por los espacios acondicionados entre las dos caras activas de las membranas por medio de unos espaciadores (de plástico).

El producto atraviesa el material y llega al tubo central.

Módulos de fibras huecas:

Una fibra hueca puede asimilarse a un cilindro poroso de pared gruesa, cuya resistencia es función de la relación diámetro exterior/diámetro interior. Si ésta relación permanece constante cuando sus diámetros decrecen, el

cilindro conserva sus propiedades de resistencia aún cuando disminuya el espesor de la pared (de esta manera se aumenta el caudal del agua que la atraviesa). Así se logra tener una membrana de superficie máxima por unidad de volumen, capaz de resistir, sin soporte mecánico, altas presiones.

Las fibras son del grueso de un cabello humano, con un agujero a todo lo largo

La membrana consiste en un soporte poroso con un centro hueco, una capa soporte de polímero poroso y en el exterior un forro delgado densamente empacado.

La separación ocurre sobre la superficie de la fibra. La armadura de resina epóxica y fibra de vidrio contiene el material de fibra hueca que los une en cada extremo.

En un permeador de cuatro pulgadas de diámetro hay un millón de fibras proximalmente, que soportan una presión de 400 lb/pulg² del agua de alimentación que entra por el tubo central y fluye radialmente pasando por las fibras para fluir por el interior hacia la placa epoxi como producto.

Las sales concentradas salen en el rechazo por el interior del módulo hacia el otro extremo para su desecho.

INSTALACIONES DE OSMOSIS INVERSAS

En Paralelo.- En este tipo de instalaciones todos los módulos trabajan en las mismas condiciones de operación (presión y conversión)

TRATAMIENTO QUIMICO DEL AGUA DE CALDERAS

Dosificación Química para el Control del Ciclo Agua-Vapor

Para evitar que se presenten los daños por impurezas, es necesario llevar un control del ciclo a base de

dosificación química y análisis

para mantener las concentraciones de las impurezas dentro de los límites de control requeridos para cada unidad dependiendo de sus condiciones de operación.

A) TRATAMIENTO QUIMICO DEL AGUA DE CALDERA, y

B) TRATAMIENTO QUIMICO DEL AGUA DE ALIMENTACION.

Control por fosfatos.

Para evitar que las sales de calcio y magnesio formen una incrustación en la caldera, el tratamiento interno, debe precipitarlos como lodos, manteniéndose este lodo en forma fluida para eliminarlos mediante purgas.

La eliminación del calcio se considera más problemática que la del magnesio ya que este es rápidamente precipitado por la alcalinidad del agua de caldera formando hidróxido de magnesio.

La dosificación del fosfato, se debe efectuar directamente al domo superior.

A) Tratamiento Cáustico: Se controla el pH para prevenir la formación de incrustación mediante la inyección de sosa cáustica y fosfato trisódico

B) Control Coordinado ph- fosfatos: Utilizando en unidades operando a una presión de 600 psig , en adelante, con el objeto de reducir al mínimo la corrosión cáustica.

C) Control Congruente: **Se han propuesto varias** explicaciones a ello y la más aceptable establece que al precipitar el fosfato de una solución sobresaturada, **no lo hace exclusivamente como** fosfato trisódico sino como fosfato trisódico y disódico con el resultado de que el agua de caldera contendrá un exceso de hidróxido de sodio libre

Tratamiento Volátil:

Es el control de pH del agua de caldera mediante productos volátiles tales como la hidrazina, amoníaco, morfolina y ciclohexilamina.

Tratamiento Químico del Agua de Alimentación:

Este se efectúa con la finalidad de eliminar principalmente el oxígeno que trae consigo. La presencia de este oxígeno ya en la caldera, ocasionará la corrosión por picaduras.

Aparte este oxígeno puede favorecer otros tipos de corrosión como la corrosión de cobre por amoníaco. Es esencial la eliminación del oxígeno para evitar la corrosión del generador de vapor.

Sulfito de sodio:

El sulfito de sodio se ha utilizado desde hace mucho tiempo como un eliminador de oxígeno en agua de calderas. Reacciona rápido particularmente a elevadas temperaturas formando sulfato de sodio de acuerdo a la siguiente reacción: $2\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{Calor} \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{SO}_2$

Hidrazina:

Para calderas de alta presión se emplea como agente reductor la hidrazina (N_2H_4). Reacciona con el oxígeno disuelto del agua de acuerdo a la siguiente reacción: $\text{N}_2\text{H}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

Aminas neutralizantes:

Normalmente se denominan aminas neutralizantes o volátiles y actúan neutralizando el ácido carbónico, elevando el pH. La morfolina y la ciclohexilamina, son las aminas neutralizantes más comúnmente usadas.

Aminas filmicas

Forman sobre la superficie metálica una película que actúa como barrera entre el metal y el condensado, protegiendo al primero del ataque del oxígeno y el bióxido de carbono

Muestreo y Análisis.

Para llevar un adecuado control de la concentración de impurezas en el ciclo agua-vapor así como de las especies químicas inyectadas para evitar problemas de corrosión e incrustación, es imprescindible la toma de muestras en distintos puntos del ciclo para su análisis.

Colección de Muestras:

Una parte importante del trabajo analítico, es la colección de muestras representativas, las cuales deben ser preservadas en su estado original hasta que pueda hacerse el análisis.

INDICADORES IMPORTANTES EN LA OPERACIÓN DE CALDERAS

I.- CONTROL DE NIVEL.

Se puede decir que éste es uno de los controles más importantes de las calderas, el tipo de control más usual es el de cápsulas de mercurio líquido

En la parte superior trae una cabeza donde van alojadas dos cápsulas de mercurio, una es de dos hilos la cual controla la bomba que alimenta el agua a la caldera; La otra cápsula es de tres hilos, es la que manda cortar el quemador y activa una alarma sonora al mismo tiempo cuando ocurre un bajo nivel dentro de la caldera.

Como la falla de éste control es la causa más frecuente de siniestros hoy en día, algunos fabricantes de calderas, además del control principal de nivel le instalan un segundo control del tipo de varillas; Y hasta un tercer control: el tapón fusible (en si éste es un indicador).

La práctica ha demostrado que estos intentos de doble protección no son la solución. Si no se purga correctamente la columna de nivel y al lavarse interiormente la unidad, no se hace con esmero ni se inspeccionan cuidadosamente las condiciones reales de funcionamiento de sus partes, por mas controles que se instalen va a ocurrir la falla

2.- MANÓMETRO PRINCIPAL DE VAPOR.

La caldera debe tener un manómetro graduado en Kg/cm², Kpa o bar, éste manómetro se calibrará periódicamente, está instalado en la zona de vapor y forma parte de lo que se llama tren de controles. Cuidar que la presión de trabajo se ubique dentro del tercio medio de la carátula y que ésta sea del tamaño adecuado al tamaño de la caldera, para poder leer desde el frente de la caldera la presión del vapor sin ningún problema.

Para especificar un manómetro se requiere

Rango de la presión

Diámetro de carátula

Posición de la conexión

Diámetro de la conexión

Tipo de fluido que va a manejar

3.- CONTROL DE FLAMA

En la actualidad, el tipo de control y de detección de flama se rige por la norma oficial mexicana NOM-027-SEDE-1996

Los fabricantes de calderas deben de cumplir con esta norma. Toda la norma se resume a dos tablas.

Tabla 1 - Clases de controles de seguridad de flama según el ciclo de trabajo

Tabla 2 - Sistemas de detección de flama.

Esta norma tiene algunas fallas, como son

Acepta calderas que trabajen solo con una flama hasta capacidades de 70 c.c

Acepta calderas que utilicen varilla detectora como medio de detección hasta capacidades de 473 c.c.

A continuación se presenta una tabla de controles de flama de la ;marca Honeywell (más común en calderas), donde se indica dentro de que clase entran de acuerdo a la norma y de acuerdo a la practica, hasta que capacidad de caldera se recomiendan.

NOTA: A PARTIR DE INSTALACIONES CUYA CAPACIDAD DE LIBERACION DE CALOR SOBRE PASE LOS 157 (37,500 Kcal/hr) (4.44 C.C.) , INDEPENDIEMENTE DEL TIPO DE COMBUSTIBLE QUE UTILICEN; SE DEBERA DE UTILIZAR CONTROL DE SEGURIDAD CONTRA FALLA DE FLAMA CON DETECCIÓN DE FLAMA POR MEDIOS ELECTRONICOS (NO TERMICO)

4.- TERMÓMETRO DE CHIMENEA

Éste es un indicador de importancia en la operación de las calderas, una alta temperatura puede ser por dos causas:

Que este hollinada la caldera.

Que exista fuga de gases por alguna de las mamparas.

La causa más frecuente, es la primera; Cuando tenga 80° C por arriba de la temperatura del vapor, indica que la caldera tiene hollín y/o incrustación, se debe proceder a lavado y deshollinado.

Si la presión de trabajo de la caldera es de 7 0 Kg/cm², de tablas de vapor, la temperatura que corresponde al vapor para ésta presión es de 169.5° C, entonces tenemos:

$$169.5 + 80 = 249.5^{\circ} \text{ C}$$

En una caldera de tubos de fuego, la temperatura normal de los gases en la base de la chimenea es de 200 a 225° C.

Por lo anterior, es muy importante que la caldera este siempre bien carburada en toda su gama de modulación.

En base a la capacidad de la caldera y al tipo de combustible que utilice su quemador, es la frecuencia con la cual se analizan los gases producto de la combustión.

El fabricante del quemador indica cual es el % de CO₂ (bióxido de carbono) más idóneo para el funcionamiento eficiente del mismo. En la practica se recomiendan los siguientes valores:

RANGO	Gas L P o N.	Diesel o G.	Combustóleo
Excelente	10	12.8	13.8
Bueno	9	11.5	13
Regular	8.5	10	12
Pobre	8 o menos	9 o menos	11.5 o menos

Los resultados de una carburación, deben tener los valores de los siguientes parámetros:

Bióxido de carbono, oxígeno, exceso de aire, monóxido de carbono, temperatura de los gases y eficiencia del quemador.

A continuación tenemos las tablas 5 y 6 de la norma oficial mexicana NOM-085-ECOL-1994.

NOTAS.

Ver 6.1.1.4

Ver 6.1.1.5

El monitoreo continuo de No_x será permanente en las zonas metropolitanas de las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey, con una duración de cuando menos 7 días una vez cada tres meses en las zonas críticas, y con una duración de cuando menos 7 días una vez cada seis meses en el resto del país.

Ver 4 13

5.- TRATAMIENTO DEL AGUA Y PURGAS.

El descuido del mantenimiento por el lado del agua trae como resultado la formación de incrustaciones, picaduras, corrosión, espuma, arrastre de humedad y crestas de nivel de agua.

Es importante un tratamiento de agua con procedimiento adecuado de purgas para conservar las superficies de calefacción de la caldera libres de incrustación y prolongar la vida útil de la misma.

Se recomienda consultar a empresas expertas en tratamiento de agua.

Ellos analizarán el agua y propondrán el tratamiento adecuado basado en el análisis y cantidad de agua cruda que se usará, también dirán la frecuencia de las purgas para reducir la concentración de sales y lodos dentro de la caldera.

El tratamiento se divide en:

Externo.- A través del equipo suavizador, la dureza a la salida debe ser = 0 ppm.

El operador dentro de sus actividades toma muestra del agua a la salida del equipo suavizador y checa su dureza, si le marca algún valor, es el momento para regenerar la resina.

Interno.- Dosificación de productos químicos, puede ser en el tanque de condensados o directamente a la caldera. La cantidad y frecuencia la determina el experto en tratamiento de agua.

PURGAS DE LA CALDERA.- Normalmente se recomienda purgar la caldera mínimo cada turno (la frecuencia real la determina el experto en tratamiento de agua).

Purga de fondo.- Se hace de la siguiente manera:

Teniendo la caldera con presión (normalmente la presión de trabajo), se sube el nivel del agua a la mitad de la mirilla de cristal con la bomba en posición manual.

Se coloca la bomba de agua en posición de automático.

Abrir primero la válvula de cierre rápido.

después se abre la válvula de cierre lento

Se espera a que baje el nivel hasta que arranque la bomba de agua.

Se cierra la válvula de cierre lento.

Se cierra la válvula de cierre rápido.

Las demás purgas tardan aprox. 5 seg

6.- CONTROL DE PRESIÓN LÍMITE.

Éste control es muy importante su funcionamiento correcto, en el ajustamos la presión de vapor a al cual va a trabajar la caldera Tiene dos escalas, la principal es para delimitar la presión de paro del quemador de la caldera, la otra es la diferencial, se indica la presión a la cual enciende de nuevo el quemador

7.- BITÁCORA.

Éste documento es muy útil ya que en el se lleva el historial de la caldera en cuanto a su operación y mantenimiento, desde que se arranca por primera vez

En base a ese historial se puede formar un programa de mantenimiento preventivo para la caldera

PARÁMETROS PARA ANOTAR EN UNA BITÁCORA POR TURNO

Fecha.

Hora.

Presión de vapor.

Temperatura de gases productos de la combustión.

Temperatura del agua de alimentación.

Temperatura de combustible (solo si se utiliza combustóleo):

En tanque de almacenamiento general

En tanque de día.

A la entrada del quemador

Presión de atomización con aire o vapor (comb. Líquido)

Presión de combustible (líquido):

A la salida de la bomba de alimentación

A la entrada del quemador

De retorno

Presión de combustible (gas):

En el tanque de almacenamiento (gas L P.)

En alta presión regulada

En baja presión

Purgas: De fondo, columna de nivel, cristal de nivel, tren de controles y de superficie.

Tratamiento interno.

Tratamiento externo.

Consumo de combustible.

Pruebas de paro por: alta presión de vapor, bajo nivel de agua y falla de flama.

Mantenimientos rutinarios.

Análisis de gases

Observaciones.

Nombre y firma del operador.

RECOMENDACIONES PARA EL CUIDADO DE LAS CALDERAS

Las calderas de prestigio indudablemente son construidas de acuerdo con el código ASME o alguna otra norma de fabricación de reconocida competencia. En forma similar, el quemador y controles son de marcas de prestigio. Consiguientemente la caldera que se tiene es digna de confianza en cuanto a la seguridad de su operación.

Sin embargo, la seguridad, confiabilidad y eficiencia de operación, solamente pueden conservarse con un programa básico de mantenimiento.

Se recomienda tener un programa de mantenimiento preventivo de acuerdo al tipo de caldera, combustible utilizado y régimen de trabajo.

A continuación se muestra un programa de mantenimiento preventivo descriptivo, más no limitativo.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

I - DIARIO

Realizar las purgas de la caldera por lo menos cada ocho horas de operación.

Checar la dureza del agua después del suavizador para saber cuando hay que regenerar la resina.

Después de un tiempo de operación se tendrá medida la frecuencia de ésta actividad.

Dosificación del tratamiento interno.

Si utiliza combustóleo limpiar la boquilla del quemador y el filtro de combustible.

Llenar la bitácora con los parámetros de operación.

Realizar una inspección ocular a la instalación completa para descubrir cualquier anomalía.

Mantener limpia la caldera, sus accesorios y la casa de máquinas.

II.- CADA OCHO DÍAS

Si utiliza diesel o gasóleo limpiar la boquilla del quemador y filtro.

Comprobar que no hay fugas de gases ni de aire en las juntas de ambas tapas y mirilla trasera.

Comprobar la tensión de la banda al compresor y/o ventilador en su caso.

Si utiliza atomización con aire limpiar el filtro del compresor.

Limpiar el electrodo de ignición del piloto de gas.

Apretar las conexiones del cable de ignición.

Si utiliza combustóleo, comprobar que los interruptores termostáticos del calentador del combustible operen a la temperatura a que fueron calibrados al hacer la puesta en marcha.

Inspeccionar los prensa estopas de la bomba de alimentación de agua.

Comprobar que la trampa del calentador de vapor opera correctamente (si se usa Combustóleo) La descarga va al drenaje.

Asegúrese que la fotocelda esté limpia, así como el conductor en donde se encuentra colocada

Comprobar el voltaje y amperaje de los motores

III.- CADA MES

Lavar el filtro que esta en la succión de la bomba de agua

Si utiliza gas L.P. o natural limpiar el filtro de combustible.

Comprobar que los niveles de agua son los indicados: 63 mm de nivel máximo

45 mm arranque de la bomba

38 mm corte por bajo nivel.

Comprobar el corte por bajo nivel de agua.- Bajando el interruptor de la bomba de alimentación, el agua al evaporarse irá disminuyendo el nivel, al llegar a 38 mm la caldera debe apagarse. En el caso de no apagarse, hay que parar inmediatamente la caldera e inspeccionar la cápsula de mercurio de tres hilos (en el control de nivel), así como también asegurarse de un correcto funcionamiento del flotador estando la columna exenta de lodos o acumulaciones.

Realizar la prueba por falla de flama.

Limpiar la malla del ventilador del sistema de aire.

Verificar el funcionamiento del piloto de gas.

Revisar el apriete del mecanismo de modulación

Checar el apriete de las conexiones del tablero de control.

Reengrasar los baleros de la bomba de agua.

Tirar ligeramente de la palanca de la(s) válvula(s) de seguridad para que escapen y evitar que se peguen en su asiento, ésta actividad se debe realizar estando la caldera a una presión no menor del 75% de la presión de trabajo.

IV.- CADA TRES MESES

Revisar la carburación del quemador de la caldera tomando lectura de los gases producto de la combustión.

Revisión del mecanismo y cápsulas de mercurio del control de nivel.

Las válvulas solenoide deben ser examinadas. Observe la flama cuando el quemador deba apagar. Si la flama no se apaga súbitamente en el momento preciso, puede significar falla o desgaste de la válvula solenoide. Reemplace la válvula para evitar serios problemas

V.- CADA SEIS MESES

Estando la caldera fría realizar un servicio de limpieza general, el cual consiste en :

Retirar tubo del piloto de gas

Retirar el quemador.

Destapar la caldera por ambos lados.

Retirar los empaques de ambas tapas y de las mamparas.

Limpiar los fluxes por el lado del hollín con un escobillón, que se debe de pasar a todo lo largo de los mismos.

Limpiar ambos espejos con un cepillo de alambre.

Se inspecciona el refractario del hogar, tapa intermedia y tapa trasera que no tenga grietas o que esté desprendido el material. Si es necesario se le aplica un resane.

Ya que está limpia por el lado de los gases se procede a hacer el lavado lado agua. Se tira toda el agua que tenga la caldera.

Estando completamente vacía, se retiran los registros de mano y el registro de hombre.

Se retira el tapón que esta en la entrada de agua a la caldera y los que tiene el control de nivel en sus cruces superior e inferior, además se retira la cabeza del control de nivel para descubrir el flotador.

Se retiran los controles de presión y el manómetro principal de vapor, dejando al descubierto la tubería del tren de controles.

A la descarga de la bomba de agua se instala una toma para conectar una manguera y se cierra la llave de alimentación de agua a la caldera.

Se arranca la bomba de agua, por la manguera saldrá un chorro de agua con cierta presión, se introduce ésta por cada uno de los registros con objeto de lavar los tubos flux por el lado del agua, todos los lodos saldrán por los registros inferiores y una vez que el agua sale clara indicará que ha quedado limpia.

Con el mismo procedimiento se limpia el interior del control de nivel, la toma de alimentación de agua, la tubería del tren de controles y las cruces de la columna de nivel.

Cambiar el empaque del flotador de la columna de nivel, a los tornillos se les pone una mezcla de grafito con aceite para que no se peguen.

Cambio del tapón fusible (si la caldera lo tiene)

Colocar los controles de presión y el manómetro principal en el tren de controles.

Instalar los tapones macho de las cruces de la columna de nivel y de la entrada de alimentación de agua a la caldera, también se le pone la mezcla de grafito con aceite.

Cambio de la mirilla de nivel con sus empaques.

Cambio de empaques a los registros de mano y al registro de hombre, si son de asbesto se cubren con grafito.

Llenar la caldera con agua y realizar prueba hidrostática a la presión de operación para verificar que no haya fuga en los registros.

Tapar la caldera por ambos lados cambiando sus empaquetaduras, a todos los tornillos se les aplica la mezcla de grafito con aceite.

Colocar el quemador y conectar el piloto de gas.

Se tiene la caldera lista para su arranque y revisión de la carburación.

Prueba de la(s) válvula(s) de seguridad automáticamente.

Tema 3:

TRATAMIENTO QUIMICO DEL AGUA

EL AGUA

El agua es un compuesto químico constituido por dos átomos de Hidrógeno y uno de Oxígeno y que se expresa por la fórmula H_2O .

Debido a sus propiedades es considerado como solvente universal, por lo que no se encuentra puro en la naturaleza.

El volumen de agua existente en la naturaleza es una cantidad constante, por lo que no es ampliable a voluntad

ORIGEN Y CARACTERISTICAS DEL AGUA

El agua proviene de cuatro fuentes principales:

Agua de lluvia y superficial

Agua de manantiales y ríos

Agua de pozos y perforaciones

Agua de mar

El agua de estas fuentes que no ha recibido ningún tratamiento se le conoce como AGUA CRUDA

Algunas de las características del agua por lo que se utiliza en la industria, son:

No sufre alteraciones químicas por calentamiento dentro del rango de temperaturas encontradas.

El agua es una sustancia fundamental en muchos procesos industriales en los que interviene como :

Materia principal de un proceso, disolvente, diluyente o medio de transporte de otras materias; también como sistema auxiliar para lavado, para limpieza, etc Medio de transporte térmico, como es el caso de calderas o generadores de vapor.

El objetivo del TRATAMIENTO QUIMICO DEL AGUA, es el de reducir y evitar los problemas asociados a la generación de vapor.

Para conseguir dicho objetivo, el agua debe someterse a un tratamiento externo que reduzca la cantidad de contaminantes que contenga, a un nivel conveniente para repuesto del agua en las calderas o generadores de vapor.

Estos contaminantes, también denominados impurezas, se encuentran en el agua y son causas potenciales de problemas por lo que se hace necesaria su eliminación mediante un tratamiento adecuado.

IMPUREZAS DEL AGUA

Algunas de las principales impurezas que se encuentran generalmente en el agua, se relacionan con los problemas que pueden causar y se hacen necesarios algunos tratamientos físico químicos para su eliminación.

Dureza: Sales de Calcio y $CaCO_3$.

Magnesio expresadas como

- Esta impureza es la principal fuente de incrustación en equipos de intercambio de calor.

- Se elimina por suavización, desmineralización, destilación, tratamiento

interno, etc.

Alcalinidad: Bicarbonatos (HCO_3), carbonatos (CO_3), e Hidróxidos (OH)
- Causa espuma y arrastre de sólidos en la producción de vapor. - Fragilización del acero en calderas El CO_3 produce CO_2 al calentarse. (Este gas es corrosivo).

Acidez mineral : Acidos libres (H_2SO_4 , HNO_3 y, HCl) , **expresados**
como CaCO_3 .

- Causa corrosión general .
- Se elimina neutralizando con

álcalis.

pH : Concentración de iones

Hidrógeno.

- El pH varía de acuerdo a la acidez o a la alcalinidad del agua (El pH del agua natural oscila de 6.0 a 8.0).
- El pH puede ser regulado con álcalis o ácidos, para subirlo o bajarlo respectivamente.

Cloruros:

(

Cl^-

)

- Con el Calcio y el Magnesio, forma sales incrustantes.
- Incrementa los sólidos disueltos en el agua y su carácter es corrosivo.
- Se elimina por desmineralización, destilación, ósmosis inversa, etc.

Sílice: - SiO_2 .

- Causa incrustación en el agua de calderas.

- Se vaporiza en las calderas y se deposita en los álabes de una turbina.

Se elimina con tratamientos en caliente con sales de magnesio, por adsorción con resinas de intercambio iónico fuertemente básica, por destilación, ósmosis inversa, etc .

Aceites y grasas. Se expresa como materia extractable por cloroformo

- Causa depósitos, lodos y espuma en calderas.

- Decrementa la transmisión de calor

Es indeseable en la mayor parte de los procesos.

Se elimina por separación mecánica, coagulación y filtración (tierra diatomacea).

Oxígeno: (O_2)

- Causa corrosión en líneas de agua, equipo de intercambio de calor, calderas, retorno de condensado, etc.

Conductividad.

- Se expresa en micromhos por cm. (mmhos/cm).

- Es el resultado de los sólidos ionizables en solución.

- Una alta conductividad incrementa las características corrosivas del agua.

- Se elimina con cualquier proceso que disminuya el contenido de sales disueltas. desmineralización, ósmosis inversa, etc.

ANÁLISIS DEL AGUA

El análisis del agua es un análisis fisico-químico que se efectúa para valorar su calidad para su utilización.

Las principales impurezas del agua las constituyen los sólidos disueltos, que se disocian en iones con carga positiva (CATIONES) y con carga negativa (ANIONES).

Los cationes más comunes en el agua son: Calcio (Ca⁺⁺), Magnesio(Mg⁺⁺) y Sodio(Na⁺).

Los aniones más comunes en el agua son: Bicarbonato(HCO₃⁻), Carbonato (CO₃⁼), Cloruro (Cl⁻), Sulfatos (SO₄⁼), Nitratos (NO₃⁼) y, en aguas contaminadas, los Nitritos(NO₂⁻).

La sílice es otro compuesto que se encuentra presente en forma de silicatos solubles y en ocasiones, en estado coloidal.

Otras impurezas importantes son los gases disueltos como el Bióxido de Carbono (CO₂), el Oxígeno (O₂), el Amoníaco (NH₃), etc.

Los problemas de corrosión e incrustación o de depositación, debidos a las impurezas del agua se deben principalmente a: La solubilidad de cada impureza, a la temperatura, al pH y a las condiciones de oxidación o reducción presentes.

Cuando el agua se evapora, las impurezas se concentran y se depositan cuando se excede el límite de solubilidad, debido a la temperatura o al pH.

Basándose en la solubilidad, los minerales comunes en el agua natural forman grupos. Compuestos de Ca y Mg, de Na, SiO₂, de Hierro (Fe) y Manganeso (Mn).

Como las impurezas que se encuentran en el agua, están en cantidades muy pequeñas, el resultado de un análisis se expresa en partes por millón (ppm) o en partes por billón (ppb). Esto en vez de expresarlas en porcentos.

Una parte por millón significa una parte de la sustancia en un millón de partes de agua, independientemente de la unidad que se utilice. Por ejemplo:

1 gramo en un millón de gramos

1 libra en un millón de libras

Como la densidad del agua es de 1 gr/ ml, tenemos:

1ppm = 1 mg /lt , o también

1ppm = 1 gr/m³

La ppb es mil veces menor que la ppm , es decir : 1ppb = 1 mg /m³

Para facilitar el manejo aritmético de los resultados de los análisis del agua , se suelen convertir a una base común. Generalmente se utiliza el CaCO₃ , cuyo peso molecular es de 100.

TRATAMIENTO EXTERNO DEL AGUA

Las impurezas del agua ocasionan problemas de corrosión e incrustación, principalmente en los equipos de intercambio de calor y en tuberías, causando pérdidas de eficiencia y fallas en los equipos con los consiguientes paros costosos por reemplazos de partes, reparaciones, además de la falta del suministro que se cause.

Para depurar el agua, generalmente es preciso utilizar uno o combinar varios tratamientos, cuyas bases pueden ser físicas, químicas o biológicas

y, cuyo efecto es el de eliminar en primer lugar, la materia en suspensión, después las coloidales y por último las sustancias disueltas (minerales u orgánicas).

Finalmente se corregirán ciertas características

Todo esto dependerá de

La calidad del agua disponible, el uso del agua acondicionada o tratada y la calidad necesaria de esta agua a utilizar.

Lo anterior se le conoce como "tratamiento externo del agua".

Algunos de los tratamientos elementales a mencionar, son:

Decantación o flotación, filtración, coagulación y floculación, precipitación (cal/coagulante en frío, cal/carbonato en caliente), suavización, desmineralización, separación por membranas (ósmosis inversa, ultrafiltración, electrodiálisis), destilación o evaporación.

frío, cal/carbonato en caliente), suavización, desmineralización, separación por membranas (ósmosis inversa, ultrafiltración, electrodiálisis), destilación o evaporación.

Diversas sustancias sólidas constituyen indudablemente, la parte más importante y aparente de la contaminación. La separación de estas partículas sólidas puede hacerse de dos maneras, decantación o flotación o, filtración o tamizado..

En la decantación se aprovecha la acción directa de la pesantez y por flotación se fijan sobre las partículas burbujas de aire introducidas sistemáticamente en la suspensión.

El primer proceso puede acelerarse artificialmente mediante la intervención de la fuerza centrífuga (hidrociclones o centrifugadoras).

El primer proceso puede acelerarse artificialmente mediante la intervención de la fuerza centrífuga (hidrociclones o centrifugadoras).

El cuadro siguiente, relaciona ciertos materiales y organismos, con su tamaño medio, así como el orden de magnitud del tiempo necesario para que estas partículas, recorran verticalmente un metro de agua, únicamente por la influencia de su peso.

Diámetro de la partícula (mm)	Tiempo de sedimentación para 1m de caída Material
--------------------------------------	--

En efecto, un litro de agua de buena calidad puede contener varias decenas de millones de partículas del orden de una micra, aunque estas partículas pesen, en total, menos de 0.1 mg.

FILTRACION

La filtración es un procedimiento en el que se utiliza el paso de una mezcla sólido-líquido a través de un medio poroso (filtro) que retiene los sólidos y deja pasar los líquidos (filtrado).

Si las materias en suspensión que deben separarse tiene una dimensión superior a la de los poros, quedarán retenidas en la superficie del filtro. La filtración, en este caso, se denomina superficial o en torta o sobre soporte.

En caso contrario de que las materias queden retenidas en el interior de la masa porosa, la filtración se denomina en volumen, en profundidad o sobre lecho filtrante.

Los filtros retienen, en la superficie o en el seno de la masa filtrante, las partículas que contiene un líquido.

COAGULACION Y FLOCULACION

Para permitir la separación de una suspensión coloidal en condiciones de velocidad satisfactorias por

sus pesantes, es necesario

aglomerar los coloides para formar partículas de tamaño mucho mayor.

Esta aglomeración se efectúa por medios artificiales, que resulta de dos acciones diferentes:

COAGULACION:

Una desestabilización, producida generalmente, por la adición de reactivos químicos, que anulan las fuerzas repulsivas o actúan sobre la hidrofilia de las partículas coloidales.

FLOCULACION:

Una aglomeración de los coloides "descargados", hasta la obtención de un tamaño de 0.1 micra aproximadamente y después por agitación mecánica, las conduce a un tamaño suficiente de los floculos.

Los reactivos correspondientes serán "coagulantes" y "floculantes" respectivamente.

La separación sólido-líquido del floculo formado y del agua puede hacerse por filtración, por decantación o flotación y filtración (opcional).

PRECIPITACION

Una vez que el agua ha sido extraída de su fuente, donde pudo haberse encontrado en un estado de equilibrio, suele exponerse a bombeo, aereación, calentamiento, etc., que pueden cambiar su estabilidad y producir corrosión o incrustación.

Esto puede conocerse encontrando el Índice de Estabilidad del Agua. Un factor importante para este cálculo es el producto de solubilidad del Carbonato de Calcio (CaCO_3) y la concentración de ciertos iones en el agua.

El proceso de precipitación emplea el producto de solubilidad de un compuesto que contiene un ion o radical que es considerado perjudicial y que, por lo tanto, debe ser eliminado antes de utilizar el agua.

El caso más común es la reducción de la concentración de iones de Calcio⁺⁺ y Magnesio⁺⁺ por precipitación como CaCO_3 y $\text{Mg}(\text{CO}_3)$.

Por precipitación química se entiende, la formación por la acción de los reactivos

apropiados de compuestos insolubles de los elementos indeseables.

El mecanismo de la precipitación del Carbonato cálcico y el hidróxido de magnesio, para el primer caso (CaCO_3), la reacción de la cal sobre el agua cruda es extraordinariamente lenta, en ausencia de "gérmenes de cristalización".

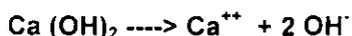
Por el contrario, cuando el agua y la cal se ponen en contacto con una masa suficiente de cristales de CaCO_3 ya precipitados, la reacción alcanza su equilibrio en unos minutos.

CAL-COAGULANTE EN FRIO

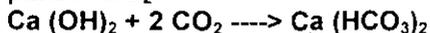
Este tratamiento se efectúa a temperatura ambiente, elimina la turbidez, el color y materia en suspensión, por esto, se les denomina a los equipos de este tratamiento floculadores y clarificadores también.

La dureza constituida por las sales de Ca y Mg, son reducidas en este tratamiento, por el proceso de precipitación, que predomina en este tratamiento, como CaCO_3 y $\text{Mg}(\text{OH})_2$ respectivamente

Puesto que la alcalinidad de casi toda el agua cruda esta formada por bicarbonatos y generalmente contiene CO_2 , la precipitación del Carbonato de Calcio requiere la conversión del CO_2 del HCO_3 , de acuerdo con las siguientes reacciones químicas:



para el CO_2 :



De esta manera, se han convertido las sales solubles a sales insolubles (precipitado que se separa por asentamiento).

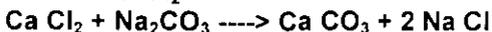
Dado que la dureza de Ca y Mg puede ser "de Carbonato" o "no Carbonato", las reacciones anteriores convirtieron la "dureza Carbonato".

La "dureza no Carbonato" esta dada por las sales de Ca y Mg, derivadas de ácidos minerales (sulfatos, cloruro, nitratos). Esta se reduce, mediante la adición de carbonato de Sodio (Na_2CO_3), de acuerdo a las siguientes reacciones químicas:

Para el Ca SO_4



Para el Ca Cl_2



Todos estos equipos producen lodos de la reacción química, que actualmente debe considerarse su disposición, para evitar contaminación.

Deben ponerse fuera de servicio periódicamente, para su limpieza.

Debe llevarse un especial control químico para obtener la calidad del agua deseada, así como de la operación

Mantenimiento

preventivo

estricto

CAL CARBONATO EN CALIENTE

En éste proceso, las reacciones se efectúan en caliente (105 °C aprox.), por lo que suceden a una velocidad considerablemente mayor.

Se obtienen precipitados más grandes, más pesados y el asentamiento es más rápido. No utiliza Coagulante, ni cal para eliminar el CO_2 .

El efluente se usa generalmente para calderas o evaporadores. Si se desea pulir más, puede hacerse pasar por un suavizador de Zeolita en caliente.

Las reacciones químicas son las mismas que las que se producen en el tratamiento en frío; con la ventaja de que se reduce el contenido de la sílice del agua cruda, con la adición de óxido de Magnesio, que se convierte a hidróxido de Magnesio, el cual retiene la sílice. El $\text{Mg}(\text{OH})_2$ del agua cruda actúa igual y además funciona como coagulante

La alimentación del agua cruda, de los reactivos y del vapor es por separado por la parte superior del tanque. Ahí se atomiza el agua, de esta manera se desgasifica (O_2 , CO_2).

Los lodos se eliminan conforme se forman por la parte inferior del cono.

Este tratamiento requiere de una estricta supervisión y de un control químico cuidadoso. Debido a la temperatura, las tuberías de alimentación de Cal, se incrustan con frecuencia

El efluente suele arrastrar CaCO_3 y $\text{Mg}(\text{OH})_2$ hasta los filtros por lo que deben tomarse las medidas pertinentes.

INTERCAMBIO IONICO

Los intercambiadores de iones son sustancias granulares insolubles, que tienen, en su estructura molecular, radicales ácidos o básicos, capaces de permutar, sin modificación aparente de su aspecto físico y sin alteración alguna o solubilización,

los iones positivos o negativos, fijados previamente a estos radicales, por otros iones del mismo signo, que se encuentran en solución en el líquido puesto en contacto con ellos

Mediante esta permutación, llamada INTERCAMBIO IONICO, puede modificarse la Composición iónica del líquido a tratar, sin alterar el número total de iones existentes en este líquido, al iniciarse el tratamiento.

Este intercambiador de iones, tiene una capacidad limitada de iones almacenados en su esqueleto. A esta se le llama "Capacidad de intercambio"; en virtud de esto, llegará finalmente a saturarse con iones indeseables

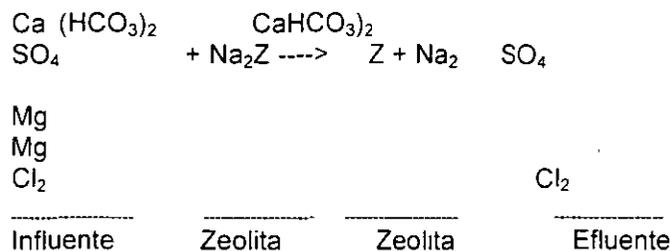
Esta operación es un proceso químico cíclico y el ciclo completo incluye normalmente:

- Retrolavado
- Regeneración
- Enjuagado
- Servicio

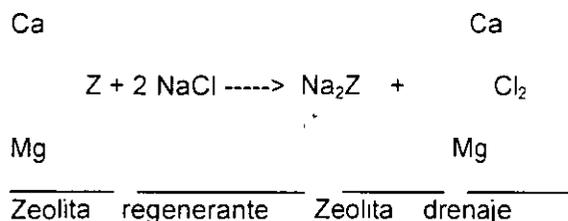
SUAVIZACION

El intercambio que sucede durante la operación, produce un efluente con sales de sodio, en vez de las sales de Ca y Mg del influente.

La dureza en el efluente puede llegar hasta 2 a 4 ppm, dependiendo de la dureza del influente (Generalmente se obtiene agua de dureza cero) Las reacciones químicas que se suscitan en el equipo suavizador, son las siguientes:



Para restituir la capacidad de intercambio de la resina se regenera



El efluente con sales de sodio, de un suavizador con Zeolita, puede abastecer calderas de baja presión.

La cantidad de sal que necesita un suavizador para su regeneración está determinada por los límites aceptables para la calidad del efluente y la capacidad que la planta desea obtener.

Por su diseño y forma de operación, un suavizador actúa también como filtro, esto obliga a efectuar un retrolavado cuidadoso.

En el caso de que el efluente contenga turbidez y lodo, la Zeolita se irá recubriendo y su capacidad disminuirá gradualmente.

Si el efluente proviene de un tratamiento "cal en frío", la Zeolita puede ser incrustada por Carbonato de Calcio o hidróxido de Magnesio, etc

DESMINERALIZACION

Dado que las sales que se encuentran disueltas en el agua se encuentran disociadas en iones, con carga

eléctrica positiva llamados "cationes y con carga eléctrica negativa llamados aniones" las soluciones son eléctricamente neutras, debido a la igualdad de ambas cargas

El proceso de Desmineralización o desionización consiste en la eliminación de ambos iones contenidos en el agua. La pureza que se llega a obtener a través de este proceso en el efluente es de aproximadamente del orden de 0.10 a 0.20 ppm de sales totales disueltas y menos de 10 ppb de Sílice.

En el caso de una resina en ciclo sodio, el calcio desplaza al sodio, por tener concentraciones normales. Pero para la regeneración, el Sodio desplaza al Calcio, debido a su alta concentración en la solución regenerante.

La mayor parte de las unidades de intercambio iónico son simples recipientes que contienen un lecho de resina de intercambio iónico que opera por flujo descendente Como se mencionó anteriormente, sobre una base cíclica. operación, regeneración, enjuague, y operación.

Recordando que el diámetro efectivo del material de intercambio iónico es de 20-50 mallas (0.5 mm), hace que el lecho de resina funcione como un filtro muy efectivo, con las ventajas y desventajas correspondientes.

Cuando las necesidades de agua desmineralizada son elevadas, es aconsejable disponer de dos o tres sistemas o trenes de desmineralización.

Uno de los principales problemas de las resinas es que suelen contaminarse con algunas sustancias, con la consiguiente pérdida de la capacidad de intercambio

Otro tipo de fallas son las mecánicas en distribuidores y toberas.

También las producidas por corrosión, dadas las características de los regenerantes, en particular el ácido sulfúrico.

Debido a esto se deberá contar en la planta, con las refacciones necesarias y con la resina suficiente para reponer en caso de pérdida

Algunas consideraciones sobre el tratamiento de los desechos:

Un factor importante en la selección de cualquier proceso de intercambio iónico es la disposición del desecho producido por la regeneración de las unidades.

En algunas ocasiones, es reutilizable el desecho catiónico y el aniónico Generalmente, se almacenan ambos en una fosa de construcción especial, para recibir ambos desechos, alternativamente.

OSMOSIS INVERSA

La osmosis es un proceso en el cual un solvente fluye a través de una membrana permeable separando una solución más fuerte de una solución más débil. El solvente fluye en la dirección que reducirá la concentración de la solución más fuerte.

La OSMOSIS INVERSA es un proceso de membrana permeable que actúa como un filtro molecular para eliminar del agua:

- **Minerales disueltos.**
- **Compuestos orgánicos disueltos.**
- **Materia Coloidal.**
- **Bacterias.**

En este proceso de O.I., el agua es introducida a presión a través de una membrana permeable

separando en dos partes:

- El filtrado, permeado o producto (diluido).
- El rechazo o no permeado (concentrado).

La O.I., utiliza membranas semipermeables, que dejan pasar el agua, reteniendo del 90 al 99% de todos los minerales disueltos del 95 al 99% de la mayoría de los elementos orgánicos y el 100% de la materia coloidal (bacterias, virus, sílice, coloidal . . .) .

Tomando en cuenta las variables de comportamiento, para este proceso, podemos mencionar:

El flujo de agua a través de una membrana, es proporcional a la diferencial de presión aplicada a través de la membrana (400 a 1200 lb/pulg²).

No siempre es recomendable una alta recuperación por la posibilidad de la precipitación de sólidos disueltos en la membrana, esta baja recuperación oscila entre 40-50% de conversión.

Las membranas no son totalmente impermeables y siempre se tendrá cierta cantidad de materiales disueltos que pasarán a través. A ésta cantidad de material se le conoce como PASO DE SALES

En la actualidad, se comercializan dos tipos de membranas :

De acetato de celulosa (mezcla mono, di, triacetato).

Membranas de poliamidas aromáticas.

Las primeras (A. de C.) proporciona un fuerte caudal por unidad de superficie. Su diseño es tubular, espiral o fibras huecas. Las de poliamida tiene menor caudal específico y para obtener un máximo de superficie por unidad de volumen del permeador, tiene un diseño particular.

Los dos diseños más importantes de Osmosis inversa son:

Módulos de arrollamiento en espiral:

Las membranas se arrollan por pares sobre un tubo central en el que se colecta el permeado. El agua que será tratada circula

paralelamente al tubo central, por los espacios acondicionados entre las dos caras activas de las membranas por medio de unos espaciadores (de plástico).

El producto atraviesa el material y llega al tubo central.

Módulos de fibras huecas:

Una fibra hueca puede asimilarse a un cilindro poroso de pared gruesa, cuya resistencia es función de la relación diámetro exterior/diámetro interior. Si ésta relación permanece constante cuando sus diámetros decrecen, el cilindro conserva sus propiedades de resistencia aún cuando disminuya el espesor de la pared (de esta manera se aumenta el caudal del agua que la atraviesa). Así se logra tener una membrana de superficie máxima por unidad de volumen, capaz de resistir, sin soporte mecánico, altas presiones.

Las fibras son del grueso de un cabello humano, con un agujero a todo lo largo.

La membrana consiste en un soporte poroso con un centro hueco, una capa soporte de polímero poroso y en el exterior un forro delgado densamente empacado.

La separación ocurre sobre la superficie de la fibra. La armadura de resina epóxica y fibra de vidrio contiene el material de fibra hueca que los une en cada extremo.

En un permeador de cuatro pulgadas de diámetro hay un millón de fibras proximadamente, que soportan una presión de 400 lb/pulg² del agua de alimentación que entra por el tubo central y fluye radialmente pasando por las fibras para fluir por el interior hacia la placa epoxi como producto.

Las sales concentradas salen en el rechazo por el interior del módulo hacia el otro extremo para su desecho.

INSTALACIONES DE OSMOSIS INVERSAS

En Paralelo.- En este tipo de instalaciones todos los módulos trabajan en las mismas condiciones de operación (presión y conversión).

TRATAMIENTO QUIMICO DEL AGUA DE CALDERAS

Dosificación Química para el Control del Ciclo Agua-Vapor.

Para evitar que se presenten los daños por impurezas, es necesario llevar un control del ciclo a base de dosificación química y análisis

para mantener las concentraciones de las impurezas dentro de los límites de control requeridos para cada unidad dependiendo de sus condiciones de operación.

A)TRATAMIENTO QUIMICO DEL AGUA DE CALDERA, y

B)TRATAMIENTO QUIMICO DEL AGUA DE ALIMENTACION

Control por fosfatos:

Para evitar que las sales de calcio y magnesio formen una incrustación en la caldera, el tratamiento interno, debe precipitarlos como lodos, manteniéndose este lodo en forma fluida para eliminarlos mediante purgas.

La eliminación del calcio se considera más problemática que la del magnesio ya que este es rápidamente precipitado por la alcalinidad del agua de caldera formando hidróxido de magnesio.

La dosificación del fosfato, se debe efectuar directamente al domo superior.

A) Tratamiento Cáustico: Se controla el pH para prevenir la formación de incrustación mediante la inyección de sosa cáustica y fosfato trisódico.

B)Control Coordinado ph- fostatos: Utilizando en unidades operando a una presión de 600 psig , en adelante, con el objeto de reducir al mínimo la corrosión cáustica.

C) Control Congruente: Se han propuesto varias explicaciones a ello y la más aceptable establece que al precipitar el fosfato de una solución sobresaturada, no lo hace exclusivamente como fosfato trisódico sino como fosfato trisódico y disódico con el resultado de que el agua de caldera contendrá un exceso de hidróxido de sodio libre.

Tratamiento Volátil:

Es el control de pH del agua de caldera mediante productos volátiles tales como la hidrazina, amoniaco, morfolina y ciclohexilamina.

Tratamiento Químico del Agua de Alimentación.

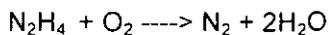
Este se efectúa con la finalidad de eliminar principalmente el oxígeno que trae consigo. La presencia de este oxígeno ya en la caldera, ocasionará la corrosión por picaduras. Aparte este oxígeno puede favorecer otros tipos de corrosión como la corrosión de cobre por amoníaco. Es esencial la eliminación del oxígeno para evitar la corrosión del generador de vapor.

Sulfito de sodio:

El sulfito de sodio se ha utilizado desde hace mucho tiempo como un eliminador de oxígeno en agua de calderas. Reacciona rápido particularmente a elevadas temperaturas formando sulfato de sodio de acuerdo a la siguiente reacción: $2\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{Calor} \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{SO}_2$

Hidrazina:

Para calderas de alta presión se emplea como agente reductor la hidrazina (N_2H_4). Reacciona con el oxígeno disuelto del agua de acuerdo a la siguiente reacción:



Aminas neutralizantes:

Normalmente se denominan aminas neutralizantes o volátiles y actúan neutralizando el ácido carbónico, elevando el pH. La morfolina y la ciclohexilamina, son las aminas neutralizantes más comúnmente usadas.

Aminas filmicas:

Forman sobre la superficie metálica una película que actúa como barrera entre el metal y el condensado, protegiendo al primero del ataque del oxígeno y el bióxido de carbono.

Muestreo y Análisis:

Para llevar un adecuado control de la concentración de impurezas en el ciclo agua-vapor así como de las especies químicas inyectadas para evitar problemas de corrosión e incrustación, es imprescindible la toma de muestras en distintos puntos del ciclo para su análisis.

Colección de Muestras: Una parte importante del trabajo analítico, es la colección de muestras representativas, las cuales deben ser preservadas en su estado original hasta que pueda hacerse el análisis.

TEMA 6: INSPECCIÓN DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

PUNTOS BASICOS A CONSIDERAR EN LAS INSPECCIONES DE CALDERAS EN SERVICIO Y DURANTE SU PUESTA FUERA DE SERVICIO.

APRECIACION DEL RIESGO.

Es deseable que la apreciación del riesgo sea realizada por el personal experimentado, ya que debido a la gran diversidad de equipos a presión que existen instalados tanto en la industria como en negociaciones comerciales no es posible estimar en toda su magnitud la peligrosidad que implican tales equipos.

No obstante esto, en esta parte se pretende dar una idea general de como poder determinar los factores que influyen en la apreciación de riesgos.

Fundamentalmente para apreciar un riesgo deberían considerarse los puntos siguiente:

- a) Organización y supervisión del personal técnico de más alta jerarquía, en lo que se refiere a la operación, mantenimiento y pruebas de los equipos a presión.
- b) Competencia del encargado de la operación de los equipos a presión
- c) Condiciones físicas de la instalaciones correspondientes a los equipos a presión.
- d) Antigüedad de dichas instalaciones .
- e) Investigación de posibles accidentes ocurridos con anterioridad en estos equipos, y determinación de sus causas
- f) Revisión del libro diario de operaciones correspondientes a los equipos a presión.

En una forma general se han indicado los puntos que deben considerarse para la apreciación de riesgos, sin embargo cabe hacer notar que el desarrollo de cada uno de estos puntos implica la especialización en el campo de la instalación, mantenimiento y operación a presión.

Considerando la necesidad existente de esta especialización, quiero hacer referencia que en México existe actualmente el comité de "Normas para calderas", promovido por la Asociación Mexicana de Ingenieros Mecánicos y Electricistas; dentro del cual pueden participar aquellas personas interesadas en una mayor especialización en este campo.

PREVENCIÓN DE DAÑOS.

Para aplicar un buen programa de prevención de daños, considero muy conveniente el conocimiento de reglamentos, códigos de inspección, códigos de fabricación de equipos sujetos a presión, así como manuales de seguridad.

Sin embargo en seguida me permito mencionar algunos puntos específicos que pueden en cuenta para sugerir recomendaciones tendientes a prevenir accidentes en los equipos que normalmente trabajan a presión:

- 1.- Localización del lugar destinados a las instalaciones de calderas y recipientes a presión.
- 2.- Material de que está construido el local destinado a las calderas
- 3.- Espacio existente entre techos, paredes, los equipos por inspeccionar.
- 4 - Instalación de escaleras y plataformas utilizadas para inspección, operación y mantenimiento de las calderas y sus accesorios cuando así se requiera
- 5.- La existencia de suficientes salidas en el local de las calderas, que permitan una rápida evacuación del mismo en cualquier momento
- 6.- Tipos de iluminación y ventilación existentes en el local de calderas.
- 7.- Sistemas de protección contra incendio instalados en el local de las calderas.
- 8 - Adecuada visibilidad de los cristales de nivel desde el área de operaciones.
- 9 - Adecuada estabilidad de chimeneas, así como su instalación en tal forma que los productos resultantes de la combustión no ocasionen daños a terceros.
- 10.- La forma en que se encuentran instalados los tanques de combustible
- 11.- Si la cimentación de la caldera o recipiente a presión es adecuada.

- 12 - La debida protección de la estructura de la caldera contra altas temperaturas, goteras, fugas de vapor u otro fluido.
- 13.- El tipo de recubrimiento utilizado para cubrir las bases cuando estén expuestos los equipos a presión a daños por corrosión.
- 14.- La forma en que están soportadas las tuberías de vapor en general, tipos de juntas, curvas en expansión, así como el tipo de aislamiento térmico con que cuenten las tuberías.
- 15.- La forma en que este colocado el material refractario
- 16.- La o las válvulas de seguridad con que cuenten los equipos sujetos a presión, así como la forma en que estén instaladas.
- 17 - Los dispositivos de alivio de presión que se encuentren instalados en los equipos sujetos a presión, así como su instalación.
- 18.- Los indicadores de nivel y la forma en que se encuentren instalados
- 19.- Las válvulas de cierre en tuberías de conexión entre la caldera y la columna de agua
- 20 - Las llaves de prueba o comprobación de nivel de agua.
- 21.- Conexiones existentes en las columnas de agua de las calderas.
- 22 - Manómetros instalados en las calderas o recipientes a presión así como la forma en que están instalados
- 23.- Sistema o sistemas de alimentación de agua a las calderas y/o recipientes sujetos a presión
- 24.- Tipo de controles en calderas y/o recipientes sujetos a presión así como la forma en que se encuentran instalados.

EN EL CASO DE INSTALACIONES DE CALDERAS A LA INTEMPERIE PRINCIPALMENTE SE OBSERVA LO QUE A CONTINUACION MENCIONAMOS

- 1 - La existencia de una protección adecuada contra la lluvia de las partes a presión, material refractario y aislamiento.
- 2.- La existencia de sotechados o cualquier otro tipo de protección contra la intemperie para los accesorios de las calderas, tales como válvulas de seguridad, sopladores de mollin, equipo de encendido, instrumentos, controles, etc.
- 3.- La existencia de refugios para los operadores.
- 4.- Si se cuentan con protectores contra el congelamiento de los drenajes de los cristales de nivel, de las tuberías de los manómetros, de las líneas de purga u otro tipo de tubería que deban tener dicha protección.

Como se indica en los puntos antes citados, he mencionado en una forma general cuales son los aspectos que se consideran durante el desarrollo de la inspección a calderas, y recipientes a presión.

Sin embargo los anteriores puntos iban encaminados a verificar las condiciones propiamente de las instalaciones, pero otro aspecto que es muy importante es la observación de las condiciones de operación de tales equipos, por lo que a continuación me permito hacer mención de los puntos que se consideran durante el desarrollo de la inspección a este respecto.

- 1.- La existencia de una vigilancia en la operación de los equipos sujetos a presión independientemente que la operación de los mismos sea automática.

2.- La competencia de la persona encargada de la operación

3 - El personal disponible para la realización de las operaciones de los equipos en función de la magnitud de las instalaciones de los mismos.

4.- El tipo de instructivos existentes para la buena operación y mantenimiento de los equipo sujetos a presión, así como conocer por que personas fue elaborado

5 - La existencia de un sistema de tratamiento del agua de alimentación cuando sea necesario.

6 - La existencia de una libro diario en el cual se anoten los trabajos que se efectúen sobre las calderas durante su operación de cada turno.

7 - Se verifican las condiciones físicas de las calderas sobre calentadores, recalentados, economizadores, conexiones de vapor, tuberías de purga, conexiones de agua, válvulas y accesorios en general de las instalaciones.

8.- Se revisan los accesorios de las calderas o recipientes a presión tales como bombas de alimentación de agua, de combustible, sopladores, manómetros, taponos fusibles, controles, etc., con objeto de comprobar que su estado físico o de operación son satisfactorios.

9 - Se efectúan algunos tipos de pruebas de los equipos sujetos a presión durante su operación tales como, disparo manual con presión de válvulas de seguridad , verificación del buen funcionamiento de los controles de corte por bajo nivel de agua, verificación del buen funcionamiento de los controles de presión y temperatura, verificación del buen funcionamiento de los controles de presión y temperatura, verificación del buen funcionamiento de los dispositivos indicadores de nivel, etc.

En algunas ocasiones, se pueden llegar a realizar inspecciones internas de los equipos sujetos a presión, lo cual solamente se logra cuando los asegurados solicitan este tipo de inspección y ofrecen las facilidades necesarias para llevar a cabo su realización, en estos casos se observa fundamentalmente lo que a continuación se cita:

1 - Superficies en contacto con el agua, para detectar si existen roturas, corrosión, abrasión , incrustación, puntos delgados, residuos o daños por productos utilizados en el tratamiento de aguas, residuos de aceite, etc.

2.- Superficies expuestas al fuego: En ellas se verifica flexiones, ampollas o deformaciones

3 - Superficies externas En estas partes se verifica con cuidado que no existan focos de corrosión, grietas, deformaciones, asoladoras, malas condiciones de soldaduras, etc.

4.- Puntas de tensión: Se inspeccionan estas partes cuidadosamente debido a que los mismos están sometidos a esfuerzos críticos (cordones de soldadura)

5 - Uniones remachadas. Se verifica no exista adelgazamiento en las placas metálicas remachadas, también se verifica si no existen rajaduras, corrosión, o cualquiera otra clase de defectos tanto en remaches como en plantas.

6.- Uniones translapadas: Se verifica la parte correspondiente a los extremos de las placas en donde forman la costura recta, ya que en estos puntos es donde existe tendencia a la ruptura.

7 - Ligamentos: Se examinan cuidadosamente los ligamentos entre los tubos y los barrenos para los mismos, ya que puede encontrarse que los ligamentos se encuentren rotos.

8 - Bridas: Estos elementos también son examinados debido a que las bridas pertenecientes a cabezales que carecen de tirantes pueden presentar agrietamientos

9.- Cabezales: Se examinan las condiciones de los mismos a través de los registros de mano de que generalmente están provistas.

10.- Tubos: Se examinan las superficies de los tubos, con objeto de detectar si existen abolsamientos, roturas, o defectos en la soldadura, sin embargo se pone especial atención a los extremos de los mismos para asegurarse que no existan indicios de corrosión, fugas, o un adelgazamiento excesivo a consecuencia del rolado de los mismos.

11.- Tirantes: Se comprueba la tensión de los tirantes, revisándose también los puntos de sujeción ya que en estos pueden aparecer roturas. Así mismo se verifica si no existen indicios de abrasión, corrosión, incrustaciones o picaduras.

12.-Mamparas: Se comprueba el estado físico de las mismas así como su existencia ya que la falta de las mismas pueden ocasionar serios daños a la estructura de la caldera.

13.- Domos: Se examina el tubo de alimentación interior, los tubos de vapor seco, y los tamices de vapor cerciorándose de que no existan incrustaciones en los elementos antes citados

14 - Tapones fusibles: Se observa que el metal fusible no presente alguna alteración, por ejemplo haya sido rellenado con otro metal que no sea de la calidad y propiedades necesarias.

15.- Equipo de combustión: Se observa el equipo de combustión aprovechando la oportunidad de que la caldera se encuentra fuera de servicio, poniendo especial interés en aquellas partes no accesibles cuando el equipo se encuentra en operación normal.

TARIFA.

La tarificación en el seguro de calderas y recipientes a presión involucra el conocimiento de ciertas características físicas y de operación de tales equipos, obviamente también involucra el establecimiento de sumas aseguradas.

Considerando este hecho, más adelante se ejemplifican algunos casos de cotización, sin embargo cabe mencionar que en términos generales los factores que se toman en cuenta para la cotización son .

- En el caso de calderas y/o recipientes a presión con fogón.



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**



DIPOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

**MÓDULO III: DISEÑO DE RECIPIENTES A PRESIÓN, PRUEBAS NO
DESTRUCTIVAS Y VÁLVULAS DE SEGURIDAD**

**TEMA:
APÉNDICE L
EJEMPLOS ILUSTRADOS DE CÓDIGOS DE FÓRMULAS Y NORMAS**

**EXPOSITOR: ING. ORLANDO R. RIVERA
SEDE. TACUBA No. 5. CENTRO
MARZO 2003**

APPENDIX L

EXAMPLES ILLUSTRATING THE APPLICATION OF CODE FORMULAS AND RULES

VESSELS UNDER INTERNAL PRESSURE

L-1 APPLICATION OF RULES FOR JOINT EFFICIENCY IN SHELLS AND HEADS OF VESSELS WITH WELDED JOINTS

(a) *Introduction.* This Appendix provides guidelines for establishing the appropriate joint efficiency for vessels of welded construction. The joint efficiencies are applied in various design formulas which determine either the minimum required design thicknesses of vessel parts or the maximum allowable working pressure for a given thickness.

(b) *Requirements for Radiography.* Radiography is mandatory for certain vessel services and material thicknesses (UW-11). When radiography is not mandatory, the degree of radiography is optional, and the amount of radiography must be determined by the user or his designated agent (U-2).

Whether radiography is mandatory or optional, the amount of radiography performed on each butt weld together with the type of weld (UW-12) will determine the joint efficiency to be applied in the various design formulas.

(c) *Application of Joint Efficiency Factors.* The longitudinal and circumferential directions of stress are investigated separately to determine the most restrictive condition governing stresses in the vessel. [See UG-23(c).] In terms of the application of joint efficiencies, each weld joint is considered separately, and the joint efficiency for that weld joint is then applied in the appropriate design formula for the component under consideration.

(d) *Flow Charts.* Figures L-1.1 through L-1.3 provide step-by-step guidelines for determining required joint efficiencies for various components. Alternatively, Figs. L-1.4 and L-1.5 provide guidelines for determining joint efficiencies for weld categories. Generally, the designer should consider the following points.

(1) Is radiography mandatory due to service or material thickness?

(2) What type of weld joints have been selected? The weld joint type as well as the amount of radiography affects the joint efficiency.

(3) If radiography is not mandatory, the amount of radiography performed is optional. The user or his designated agent shall determine the extent of radiography to be performed, or at his option, may permit the vessel manufacturer to select the extent of radiography.

(4) Does the radiography performed affect the joint efficiency for circumferential or longitudinal stress on a shell or cone? Remember, the material thicknesses due to circumferential and longitudinal stresses must be calculated separately.

(e) *Examples.* In the following examples, all vessels are cylindrical 24 in. O.D. with a 2:1 ellipsoidal head on one end and a hemispherical head on the other. The ellipsoidal head is attached with a Type No. 2 butt weld, and the hemispherical head is attached with a Type No. 1 butt joint. The vessel has a 12¾ in. O.D. seamless pipe sump with a torispherical head attached with a Type No. 2 butt joint. In each case, the internal design pressure is 500 psi with 0.125 in. corrosion allowance. Design temperature is 450°F.

All materials are carbon steel with a maximum allowable stress of 15.0 ksi as given in Table UCS-23. All heads and the sump are seamless in all examples. The shell is seamless in Examples (1), (2), and (3). In Examples (4), (5), and (6), the shell has a Type No. 1 butt welded longitudinal joint.

Proposed thicknesses (uncorroded) for all examples:

shell = 0.688 (nominal for seamless examples)

hemi head = 0.375

2:1 head = 0.625

sump = 0.500 (nominal)

F and D head = 0.428 (min.)

In the corroded condition:

A89

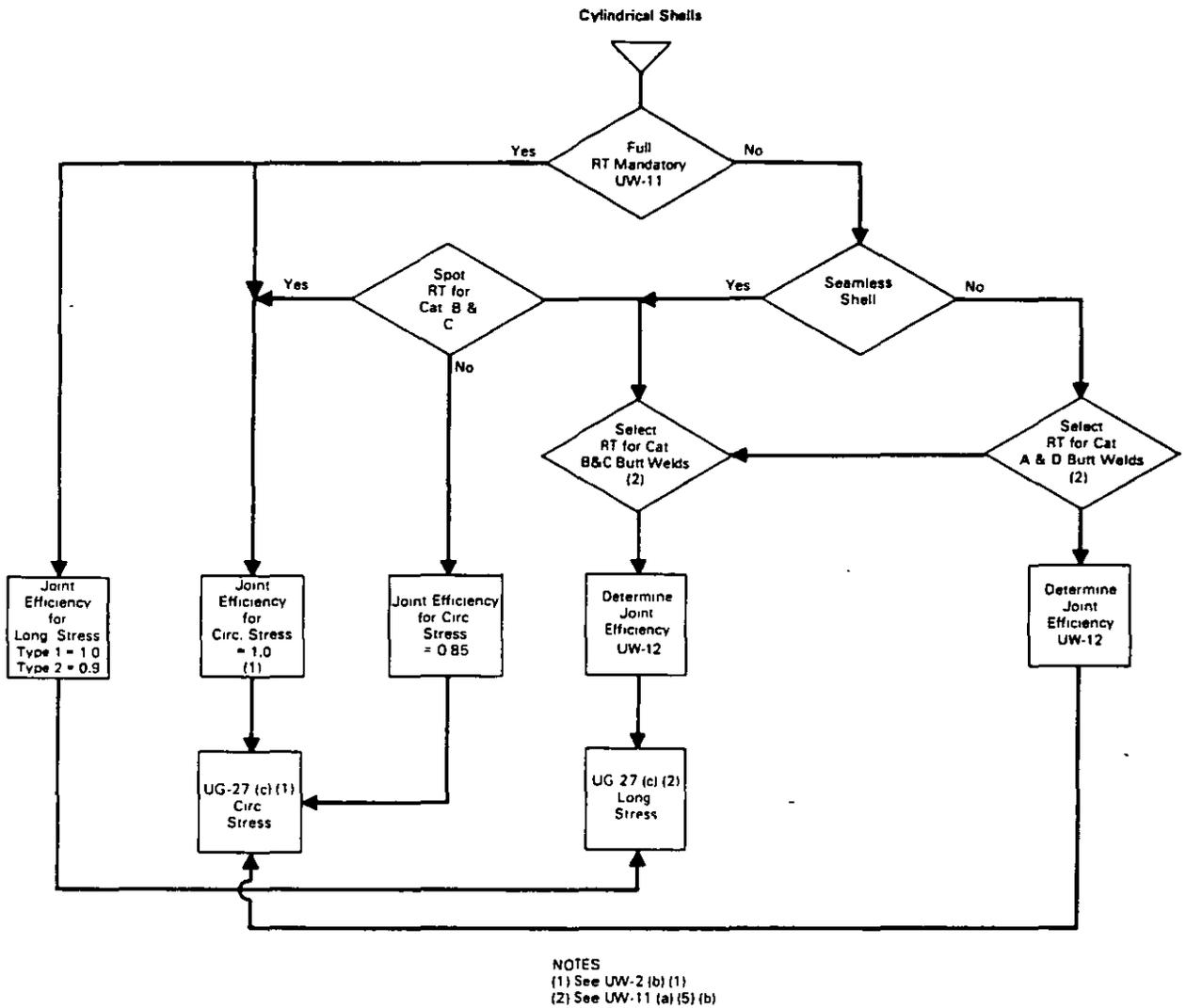


FIG. L-1.1 JOINT EFFICIENCIES FOR CYLINDRICAL SHELLS

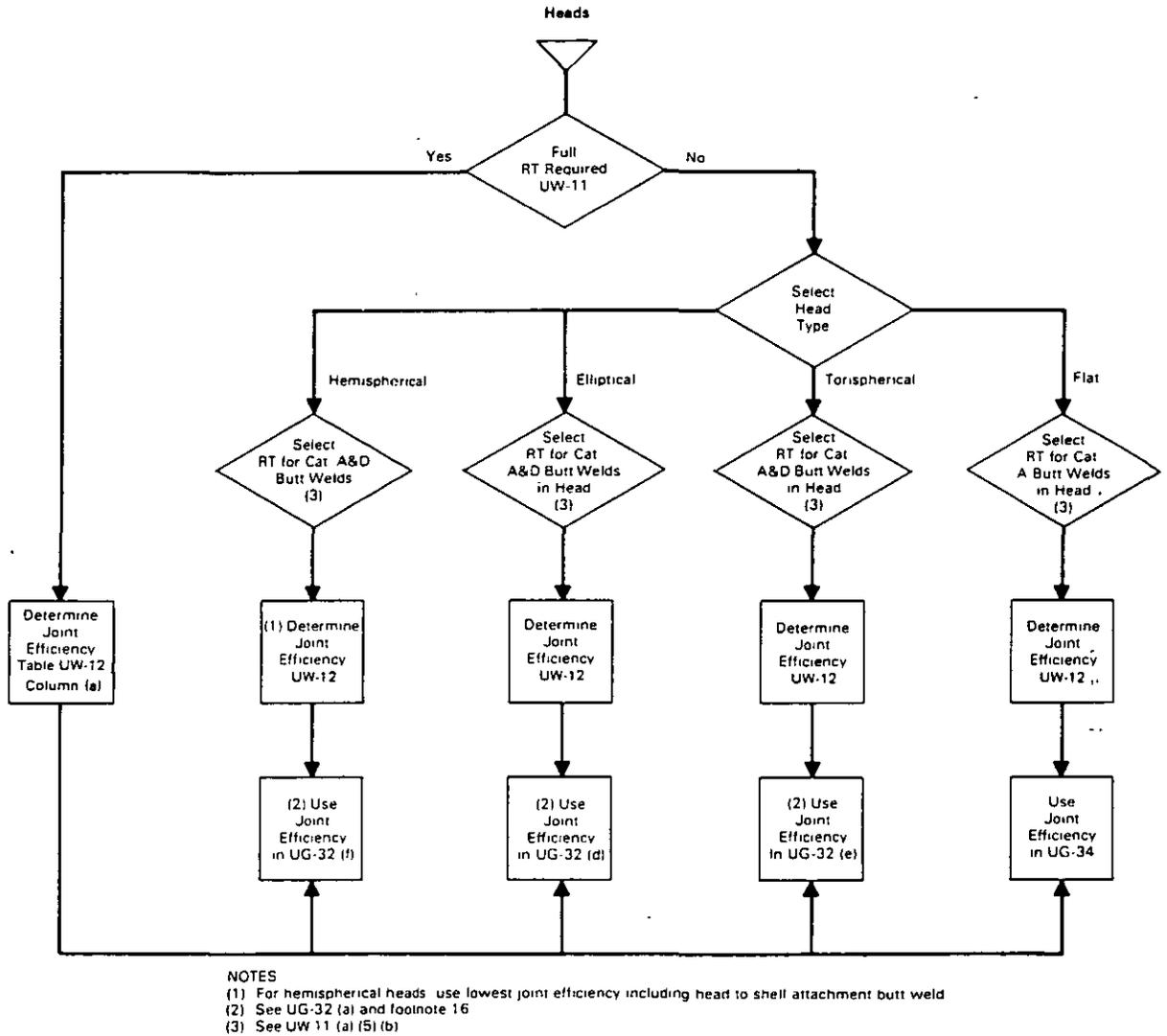
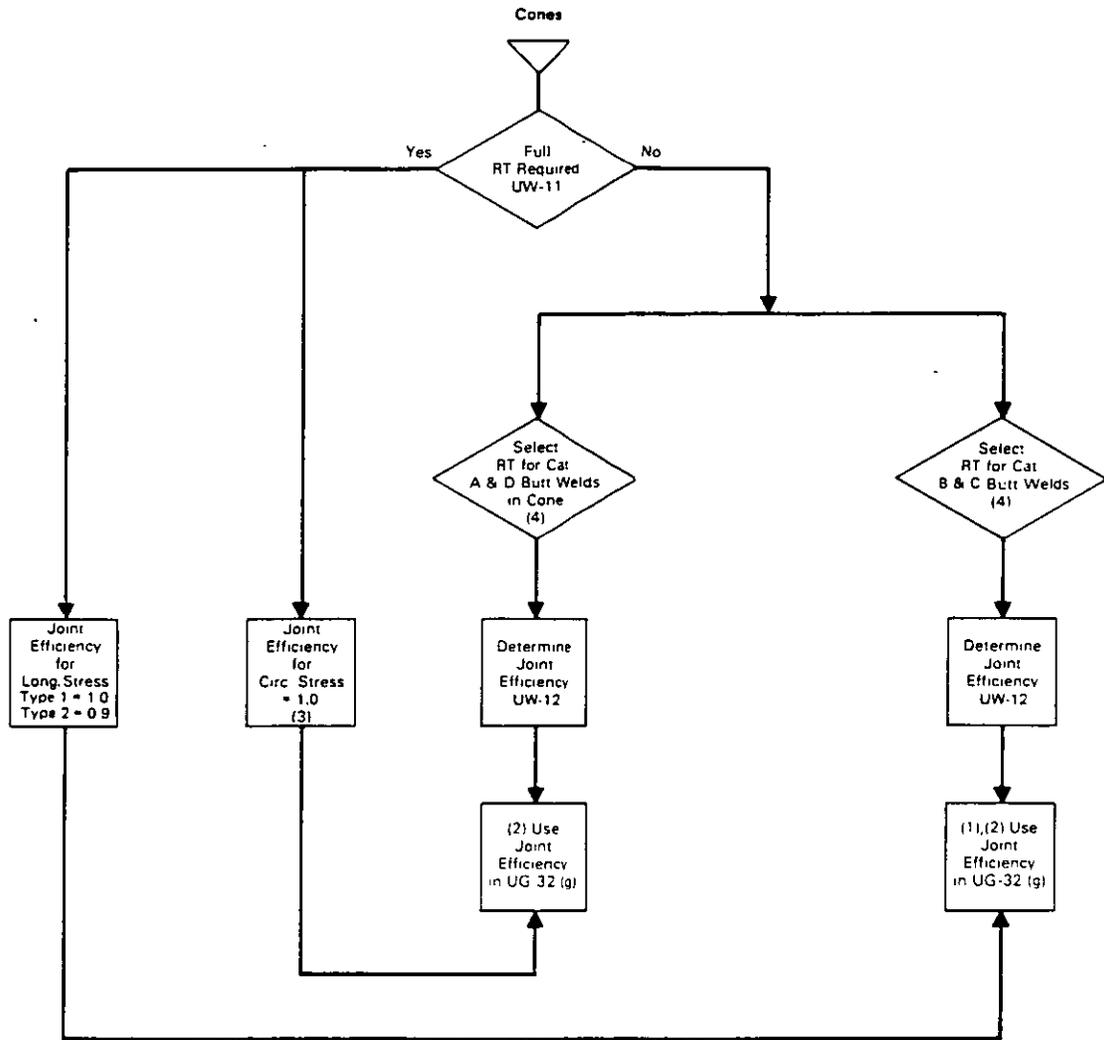


FIG. L-1.2 JOINT EFFICIENCIES FOR FORMED HEADS AND UNSTAYED FLAT HEADS AND COVERS WITH CATEGORIES A AND D BUTT WELDS



NOTES

(1) When used to analyze longitudinal stress modify the formula in UG-32 (g) as follows

$$t = \frac{PD}{4 \cos \alpha (SE + 0.4P)}$$

(2) See Appendix 1-5 for analysis of cone-to-shell junction.

(3) See UW-2 (b) (1)

(4) See UW-11 (a) (5) (b)

FIG. L-1.3 JOINT EFFICIENCIES FOR CONICAL HEADS OR CONICAL SHELL SECTIONS

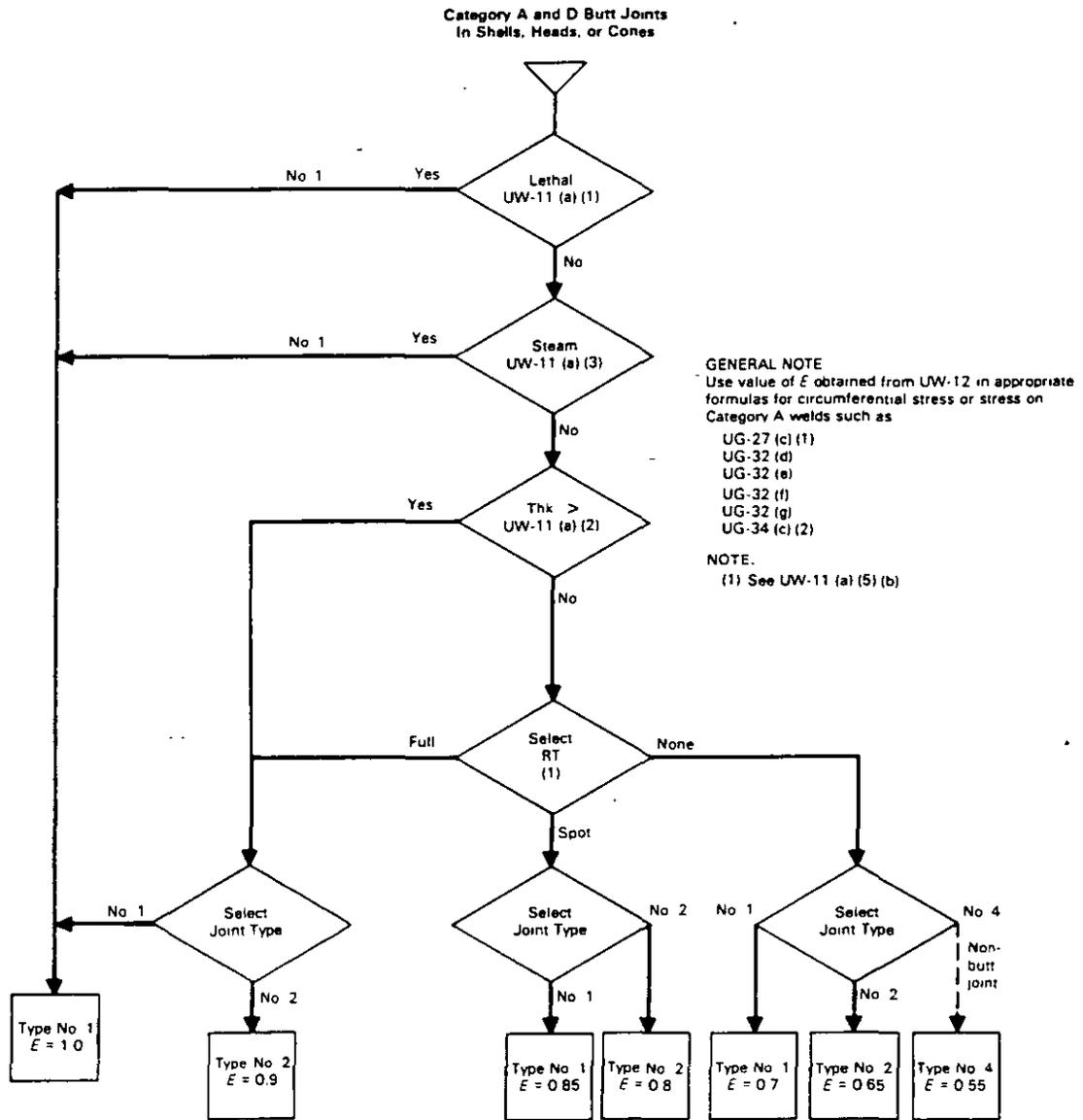


FIG. L-1.4 JOINT EFFICIENCIES FOR CATEGORIES A AND D WELDED JOINTS IN SHELLS, HEADS, OR CONES

Fig. L-1.5

1989 SECTION VIII — DIVISION 1

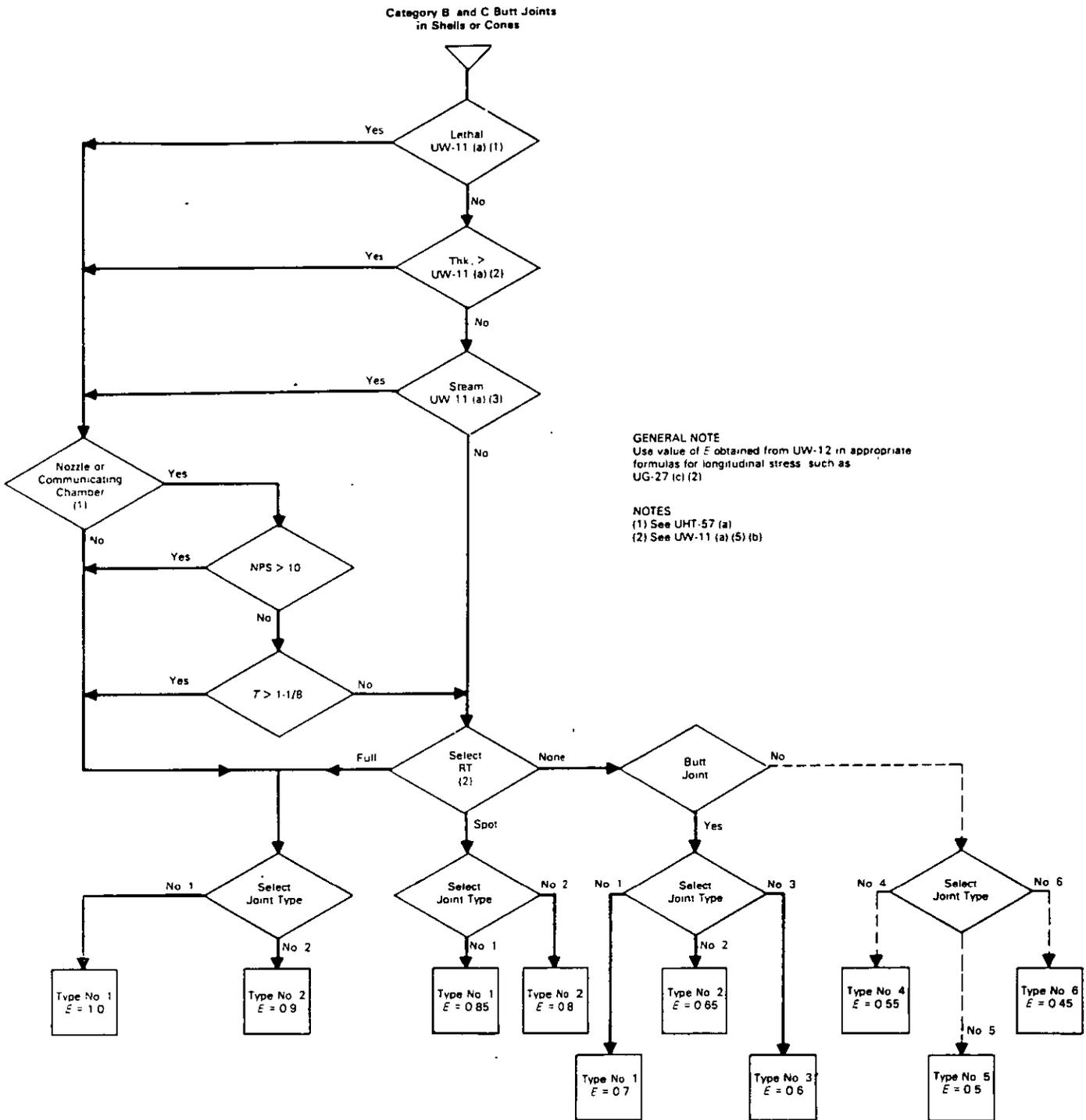


FIG. L-1.5 JOINT EFFICIENCIES FOR CATEGORIES B AND C WELDED JOINTS IN SHELLS OR CONES

$$\begin{aligned}
 \text{shell thickness nominal} &= 0.688 - 0.125 = 0.563 \\
 \text{thickness minimum (smls)}^1 &= 0.688 \\
 &\quad \times 0.875 - 0.125 = 0.477 \\
 \text{inside radius} &= 12 - 0.563 = 11.437 \\
 \text{hemi head thickness} &= 0.375 - 0.125 = 0.25 \\
 \text{inside radius} &= 12 - 0.25 = 11.75 \\
 \text{ellipsoidal head thickness} &= 0.625 - 0.125 = 0.500 \\
 \text{inside diameter} &= 24 - 2(0.5) = 23.0 \\
 \text{sump thickness nominal} &= 0.500 - 0.125 = 0.375 \\
 \text{thickness minimum} &= 0.500 \times 0.875 \\
 &\quad - 0.125 = 0.313 \\
 \text{inside radius} &= 6.375 - 0.375 = 6.0 \\
 \text{torispherical head thickness} &= 0.563 \\
 &\quad - 0.125 = 0.438 \\
 \text{dish radius} &= 12.0 + 0.125 = 12.125 \\
 \text{corner radius} &= 1.5 + 0.125 = 1.625
 \end{aligned}$$

(1) Given. This vessel for lethal service with full radiography required [UW-11(a)(1)] all joints including sump to head [UW-11(a)(4)]:

Shell, circumferential stress, UG-27(c)(1):

$$E = 1.00$$

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{PR}{SE - 0.6P} = \frac{500(11.437)}{15,000(1.0) - 0.6(500)} \\
 &= 0.389 \text{ in.}
 \end{aligned}$$

Shell, longitudinal stress, UG-27(c)(2), on a Type No. 2 joint:

$$E = 0.90$$

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{PR}{2SE + 0.4P} = \frac{500(11.437)}{2(15,000)(0.90) + 0.4(500)} \\
 &= 0.210 \text{ in.}
 \end{aligned}$$

Ellipsoidal head, UG-32(d), seamless:

$$E = 1.00$$

$$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P} = \frac{500(23.0)}{2(15,000)(1.0) - 0.2(500)}$$

¹See UG-16(d); manufacturing under tolerance specified in the material specification is 12½%.

$$= 0.385 \text{ in.}$$

Hemispherical head, UG-32(f), attached with fully radiographed Type No. 1 butt joint:

$$E = 1.0$$

$$t = \frac{PR}{2SE - 0.2P} = \frac{500(11.75)}{2(15,000)(1.0) - 0.2(500)} = 0.196$$

Sump (seamless pipe) circumferential stress, UG-27(c)(1):

$$E = 1.0$$

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} = \frac{500(6.0)}{15,000(1.0) - 0.6(500)} = 0.204$$

Sump (seamless pipe) longitudinal stress, UG-27(c)(2); full radiography required [UW-11(a)(4)] on a Type No. 2 joint:

$$E = 0.9$$

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} = \frac{500(6.0)}{2(15,000)(0.90) + 0.4(500)} = 0.110$$

Sump torispherical head, 1-4(d), seamless:

$$E = 1.0$$

$$\frac{L}{r} = \frac{12.125}{1.625} = 7.45; M = 1.43 \text{ (from Table 1.4.2)}$$

$$t = \frac{PLM}{2SE - 0.2P} = \frac{500(12.125)(1.43)}{2(15,000)(1.0) - 0.2(500)} = 0.290$$

(2) Given. Vessel for general service with the following radiography selected:

Category A, head to shell: full

Category B, head to shell: spot, meets UW-11(a)(5)(b)

Category B, sump to head: none

Shell, circumferential stress, UG-27(c)(1), seamless pipe:

$$E = 1.00$$

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} = \frac{500(11.437)}{15,000(1.0) - 0.6(500)} = 0.389 \text{ in.}$$

Shell, longitudinal stress, UG-27(c)(2), on a Type No. 2 joint with spot:

$$E = 0.80$$

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} = \frac{500(11.437)}{2(15,000)(0.80) + 0.4(500)} = 0.236 \text{ in.}$$

Ellipsoidal head, UG-32(d), seamless:

$$E = 1.00$$

$$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P} = \frac{500(23.0)}{2(15,000)(1.0) - 0.2(500)} = 0.385 \text{ in.}$$

Hemispherical head, UG-32(f), on a Type No. 1 fully radiographed joint:

$$E = 1.0$$

$$t = \frac{PR}{2SE - 0.2P} = \frac{500(11.75)}{2(15,000)(1.0) - 0.2(500)} = 0.196$$

Sump seamless pipe circumferential stress, UG-27(c)(1):

$$E = 0.85 \text{ [UW-12(d)]}$$

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} = \frac{500(6.0)}{15,000(0.85) - 0.6(500)} = 0.241 \text{ in.}$$

Sump longitudinal stress, UG-27(c)(2), on a Type No. 2 joint:

$$E = 0.65$$

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} = \frac{500(6.0)}{2(15,000)(0.65) + 0.4(500)} = 0.153$$

Sump torispherical head, 1-4(d), seamless:

$$E = 0.85 \text{ [UW-12(d)]}$$

$$\frac{L}{r} = \frac{12.125}{1.625} = 7.45; M = 1.43 \text{ (from Table 1.4.2)}$$

$$t = \frac{PLM}{2SE - 0.2P} = \frac{500(12.125)(1.43)}{2(15,000)(0.85) - 0.2(500)} = 0.341 \text{ in.}$$

(3) Given. Vessel for general service with visual examination only.

Shell, circumferential stress, UG-27(c)(1), seamless pipe:

$$E = 0.85 \text{ [UW-12(d)]}$$

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} = \frac{500(11.437)}{15,000(0.85) - 0.6(500)} = 0.459 \text{ in.}$$

Shell, longitudinal stress, UG-27(c)(2), on a Type No. 2 joint:

$$E = 0.65$$

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} = \frac{500(11.437)}{2(15,000)(0.65) + 0.4(500)} = 0.290 \text{ in.}$$

Ellipsoidal Head, UG-32(d), seamless:

$$E = 0.85 \text{ [UW-12(d)]}$$

$$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P} = \frac{500(23.0)}{2(15,000)(0.85) - 0.2(500)}$$

$$= 0.453 \text{ in.}$$

Hemispherical head, UG-32(f), on a Type No. 1 joint:

$$E = 0.7$$

not good $t = \frac{PR}{2SE - 0.2P}$

$$= \frac{500(11.75)}{2(15,000)(0.70) - 0.2(500)}$$

$$= 0.281 > 0.25$$

Head must either be thicker or attachment butt joint must be spot radiographed. Use same head with spot radiography.

$$E = 0.85$$

$$t = \frac{PR}{2SE - 0.2P} = \frac{500(11.75)}{2(15,000)(0.85) - 0.2(500)} = 0.231$$

Sump seamless pipe circumferential stress, UG-27(c)(1):

$$E = 0.85 \text{ [UW-12(d)]}$$

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} = \frac{500(6.0)}{15,000(0.85) - 0.6(500)} = 0.241 \text{ in.}$$

Sump longitudinal stress, UG-27(c)(2), on a Type No. 2 joint:

$$E = 0.65$$

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} = \frac{500(6.0)}{2(15,000)(0.65) + 0.4(500)} = 0.153$$

Sump torispherical head, 1-4(d), seamless:

$$E = 0.85 \text{ [UW-12(d)]}$$

$$\frac{L}{r} = \frac{12.125}{1.625} = 7.45; M = 1.43 \text{ (from Table 1.4.2)}$$

$$t = \frac{PLM}{2SE - 0.2P} = \frac{500(12.125)(1.43)}{2(15,000)(0.85) - 0.2(500)}$$

$$= 0.341 \text{ in.}$$

(4) Given. Vessel for use as unfired steam boiler with full radiography required for all joints [UW-2(c) and UW-11(a)(3)] including sump to head joint [UW-11(a)(4)].

NOTE: In the following examples, shell has a Type No. 1 butt welded longitudinal joint.

Radiography: Full [UW-11(a)(3)] all joints including sump to head [UW-11(a)(4)].

Shell, circumferential stress, UG-27(c)(1):

$$E = 1.00$$

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} = \frac{500(11.437)}{15,000(1.0) - 0.6(500)}$$

$$= 0.389 \text{ in.}$$

Shell, longitudinal stress, UG-27(c)(2), on a Type No. 2 joint:

$$E = 0.9$$

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} = \frac{500(11.437)}{2(15,000)(0.90) + 0.4(500)}$$

$$= 0.210 \text{ in.}$$

Ellipsoidal head, UG-32(d), seamless:

$$E = 1.00$$

$$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P} = \frac{500(23.0)}{2(15,000)(1.0) - 0.7(500)}$$

$$= 0.385 \text{ in.}$$

Hemispherical head, UG-32(f), Type No. 1 fully radiographed joint:

$$E = 1.0$$

$$t = \frac{PR}{2SE - 0.2P} = \frac{500(11.75)}{2(15,000)(1.0) - 0.2(500)} = 0.196$$

Sump (seamless pipe) circumferential stress, UG-27(c)(1):

$$E = 1.0$$

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} = \frac{500(6.0)}{15,000(1.0) - 0.6(500)} = 0.204$$

Sump (seamless pipe) longitudinal stress, UG-27(c)(2), joint:

$$E = 0.9$$

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} = \frac{500(6.0)}{2(15,000)(0.90) + 0.4(500)} = 0.110$$

Sump torispherical head, 1-4(d), seamless:

$$E = 1.0$$

$$\frac{L}{r} = \frac{12.125}{1.625} = 7.45; M = 1.43 \text{ (from Table 1.4.2)}$$

$$t = \frac{PLM}{2SE - 0.2P} = \frac{500(12.125)(1.43)}{2(15,000)(1.0) - 0.2(500)} = 0.290$$

A89 (5) *Given.* Vessel for general service with the following radiography selected:

Category A, long joint: full

Category A, head to shell: full

Category B, head to shell: spot, meets UW-11(a)(5)(b)

Category B, sump to head: spot, meets UW-11(a)(5)(b)

Shell, circumferential stress, UG-27(c)(1), Type No. 1 fully radiographed:

$$E = 1.00$$

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} = \frac{500(11.437)}{15,000(1.0) - 0.6(500)} = 0.389 \text{ in.}$$

Shell, longitudinal stress, UG-27(c)(2), on a Type No. 2 joint with spot:

$$E = 0.80$$

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} = \frac{500(11.437)}{2(15,000)(0.80) + 0.4(500)} = 0.236 \text{ in.}$$

Ellipsoidal Head, UG-32(d), seamless:

$$E = 1.00$$

$$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P} = \frac{500(23.0)}{2(15,000)(1.0) - 0.2(500)} = 0.385 \text{ in.}$$

Hemispherical head, UG-32(f), on a Type No. 1 fully radiographed joint:

$$E = 1.0$$

$$t = \frac{PR}{2SE - 0.2P} = \frac{500(11.75)}{2(15,000)(1.0) - 0.2(500)} = 0.196$$

Sump seamless pipe circumferential stress, UG-27(c)(1):

$$E = 1.00 \text{ [UW-12(d)]}$$

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} = \frac{500(6.0)}{15,000(1.0) - 0.6(500)} = 0.204 \text{ in.}$$

Sump longitudinal stress, UG-27(c)(2), on a Type No. 2 joint:

$$E = 0.65$$

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} = \frac{500(6.0)}{2(15,000)(0.65) + 0.4(500)} = 0.153$$

Sump torispherical head, 1-4(d), seamless:

$$E = 1.00 \text{ [UW-12(d)]}$$

$$\frac{L}{r} = \frac{12.125}{1.625} = 7.45; M = 1.43 \text{ (from Table 1.4.2)}$$

$$t = \frac{PLM}{2SE - 0.2P} = \frac{500(12.125)(1.43)}{2(15,000)(1.0) - 0.2(500)} = 0.290 \text{ in.}$$

(6) *Given.* Vessel for general service with spot radiography selected for all joints. The requirements of UW-11(a)(5)(b) have been met.

Shell, circumferential stress, UG-27(c)(1):

$$E = 0.85$$

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} = \frac{500(11.437)}{15,000(0.85) - 0.6(500)} = 0.459 \text{ in.}$$

Shell, longitudinal stress, UG-27(c)(2), on a Type No. 2 joint:

$$E = 0.80$$

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} = \frac{500(11.437)}{2(15,000)(0.8) + 0.4(500)} = 0.236 \text{ in.}$$

Ellipsoidal head, UG-32(d), seamless:

$$E = 1.00$$

$$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P} = \frac{500(23.0)}{2(15,000)(1.0) - 0.2(500)} = 0.385 \text{ in.}$$

Hemispherical head, UG-32(f), on a Type No. 1 joint:

$$E = 0.85$$

$$t = \frac{PR}{2SE - 0.2P} = \frac{500(11.75)}{2(15,000)(0.85) - 0.2(500)} = 0.231$$

Sump seamless pipe circumferential stress, UG-27(c)(1):

$$E = 1.0$$

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} = \frac{500(6.0)}{15,000(1.0) - 0.6(500)} = 0.204$$

Sump longitudinal stress, UG-27(c)(2), on a Type No. 2 joint:

$$E = 0.8$$

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} = \frac{500(6.0)}{2(15,000)(0.8) + 0.4(500)} = 0.124$$

Sump torispherical head, 1-4(d), seamless:

$$E = 1.0$$

$$\frac{L}{r} = \frac{12.125}{1.625} = 7.45; M = 1.43 \text{ (from Table 1.4.2)}$$

$$t = \frac{PLM}{2SE - 0.2P} = \frac{500(12.125)(1.43)}{2(15,000)(1.0) - 0.2(500)} = 0.290$$

L-2 THICKNESS CALCULATION FOR SHELLS UNDER INTERNAL PRESSURE WITH SUPPLEMENTAL LOADINGS

(a) *Example of the Use of UG-27(c) for Vertical Vessels*

GIVEN: A process column is to be fabricated with several shell sections. The vessel is supported at the bottom head to shell joint. The longitudinal (Category A) welds in each shell section are Type No. 1. The circumferential welds (Category B) between the shell courses are Type No. 2. The longitudinal welds are spot radiographed in accordance with UW-52. The circumferential welds are not radiographed. Given the following parameters, determine the required shell thickness at the bottom of the shell:

vessel I. D. = 24 in.

vessel height H = 43 ft

A89

internal design pressure, $P = 200$ psi
 design temperature = 200°F
 stress value $S = 13,800$ psi
 weight of vessel = 3200 lb
 density of contents $g = 70$ lb/ft³
 weight of contents $W_c = 9500$ lb
 joint efficiency E (circumferential stress) = 0.85
 joint efficiency E (longitudinal stress) = 0.65
 bending moment due to wind load = $665,000$ in.-lb
 material chart for compressive stress = Fig. 5-UCS-28.2

SOLUTION: Three cases must be investigated to determine the minimum shell thickness:

(1) *Tensile Stress*

(a) circumferential [UG-27(c)(1)];

(b) longitudinal [UG-27(c)(2)].

(2) *Compressive Stress* [UG-23(b)]

Case (1)(a) Circumferential Tensile Stress. The following equation accounts for the stress due to internal pressure plus stress imposed due to the static head of the contents of the vessel:

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} + \frac{\frac{Hg}{144} R}{SE - 0.6 \left(\frac{Hg}{144} \right)}$$

$$= \frac{(200)(12)}{13,800(0.85) - 120} + \frac{\frac{43(70)}{144} (12)}{13,800(0.85) - 0.6 \frac{(43)(70)}{144}}$$

$$= 0.207 + 0.021$$

$$= 0.228 \text{ in.}$$

Case (1)(b) Longitudinal Tensile Stress. The general form of the equation for thickness due to longitudinal stress is

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} \pm \frac{M}{\pi R^2 SE} - \frac{W + W_c}{\pi DSE}$$

In the case under investigation, the most severe condition at the bottom of the shell occurs under full pressure with the vessel full of contents. Consequently, the general equation reduces to

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} + \frac{M}{\pi R^2 SE} - \frac{W + W_c}{\pi DSE}$$

$$(W_c = 0 \text{ above support line})$$

Use $13,800 \times 1.2 = 16,560$ (footnote 2).

$$t = \frac{200(12)}{2(16,560)(0.65) + 0.4(200)} + \frac{665,000}{\pi 12^2(16,560)(0.65)} - \frac{3200}{\pi (24)(16,560)(0.65)}$$

$$= 0.111 + 0.137 - 0.004$$

$$= 0.244 \text{ in.}$$

NOTE: Joint efficiency of circumferential weld applies to all three terms of the above equation when the total resultant stress is tensile.

Case (2) Compressive Stress. The general equation is the same as for longitudinal tensile stress; however, for the case under investigation, the most severe condition occurs with no pressure and the vessel full of contents.

Check allowable compressive stress per UG-23(b).

$$A = \frac{0.125}{R_o/t} = \frac{0.125}{12.294/0.244} = 0.00248$$

$$B = 15,500 > 13,800$$

Use $13,800 \times 1.2 = 16,560$ (footnote 2).

$$t = \frac{M}{\pi R^2 SE \text{ (footnote 3)}} \pm \frac{W}{\pi DSE \text{ (footnote 3)}}$$

$$= \frac{665,000}{\pi (12^2)(16,560)(1.0)} \pm \frac{3200}{\pi (24)(16,560)(1.0)}$$

$$= 0.089 \pm 0.003$$

$$= 0.092 \text{ in.}$$

Required design thickness (exclusive of corrosion allowance) = 0.244 in. governed by longitudinal tensile stress.

² See UG-23(d).

³ $E = 1.0$ for all butt welds when investigating longitudinal compression [UG-23(b)].

(b) Example of the Use of UG-27(c) for Horizontal Vessels

A89 GIVEN: A horizontal vessel 60 ft long fabricated using 6 rings 10 ft long. The vessel is supported by 120 deg. saddles located 2 ft 6 in. from each head joint. The heads are ellipsoidal attached using Type No. 2 butt joints. The shell courses have Type No. 1 longitudinal joints which are spot radiographed in accordance with UW-52. The circumferential welds joining the courses are Type No. 2 with no radiography. Given the following parameters, determine the required shell thickness.

vessel O.D. = 120 in.
 internal design pressure P including static head = 60 psi
 design temperature = 100°F
 shell thickness $t = 0.3125$ in.
 shell length $L = 720$ in.
 joint efficiency (long seams) = 0.85
 joint efficiency (circumferential seams) = 0.65
 weight of vessel $W = 30,000$ lb
 weight of contents $W_c = 320,000$ lb
 total weight = 350,000 lb
 reaction at each saddle $Q = 175,000$ lb
 head depth $H = 30$ in.
 saddle to tangent line $A = 30$ in.
 material to chart for compressive stress = Fig. 5-UCS-28.2

SOLUTION: Here again three cases must be investigated:

- (1) Circumferential stress due to internal pressure.
- (2) Longitudinal tensile stress due to bending must be added to the longitudinal stress due to internal pressure.
- (3) Longitudinal compressive stress due to bending.

Case 1 Circumferential Tensile Stress. In this horizontal vessel, the equation in UG-27(c)(1) is used.

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} = \frac{60(59.6875)}{13,800(0.85) - 0.6(60)} = 0.306 \text{ in.}$$

Case 2 Longitudinal Tensile Stress. The following equation combines the longitudinal tensile stress due to pressure with the longitudinal tensile stress due to bending at the midpoint between the saddles.⁴

⁴ See "Stresses in Large Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports," p. 959, *Pressure Vessels and Piping: Design and Analysis, A Decade of Progress, Volume Two*, ASME, New York.

$$\begin{aligned} t &= \frac{PR}{2SE + 0.4P} \pm \frac{QL}{4\pi R^2 SE} \\ &\times \left[\frac{1 + \frac{2(R^2 - H^2)}{L^2}}{1 + \frac{4H}{3L}} - \frac{4A}{L} \right] \\ &= \frac{60(59.6875)}{2(13,800)(0.65) + 0.4(60)} \\ &\pm \frac{175,000(720)}{4\pi (59.6875)^2(13,800)(0.65)} \\ &\times \left[\frac{1 + \frac{2(59.6875^2 - 30^2)}{720^2}}{1 + \frac{4(30)}{3(720)}} - \frac{4(30)}{720} \right] \\ &= 0.199 \pm 0.31376 (0.79043) \\ &= 0.199 \pm 0.248 = 0.447 \text{ in.} \end{aligned}$$

This is greater than actual thickness so we must either thicken the shell or increase the efficiency of the welded joint by changing the weld type or the amount of radiography.

Action. Spot radiograph the circumferential joint.

NOTE: The quantity in brackets will remain the same. Joint efficiency will change to 0.8.

$$\begin{aligned} t &= \frac{60(59.6875)}{2(13,800)(0.8) + 0.4(60)} \\ &+ \frac{175,000(720)}{4\pi (59.6875)^2(13,800)(0.8)} (0.79043) \\ &= 0.162 + 0.255 (0.79043) \\ &= 0.162 + 0.202 = 0.364 \text{ in.} \end{aligned}$$

Still not good and by inspection it can be seen that the joint efficiency will need to be greater than 0.9.

Action. Change circumferential seam to Type No. 1 fully radiographed.

$$\begin{aligned} t &= \frac{60(59.6875)}{2(13,800)(1.0) + 0.4(60)} \\ &+ \frac{175,000(720)}{4\pi (59.6875)^2(13,800)(1.0)} (0.79043) \end{aligned}$$

$$= 0.162 + 0.204 (0.79043)$$

$$= 0.130 + 0.161 = 0.291 \text{ in. Good}$$

Conclusion. Circumferential joint at center of vessel must be Type No. 1 fully radiographed. This is at the point of maximum positive moment. Maximum negative moment is at supports but there is no joint there. Other circumferential joint must be investigated using moment at the joint in calculating the combined stresses. It should be noted that many other areas of stress due to saddle loadings exist and should be investigated (see Appendix G).

Case 3 Longitudinal Compressive Stress. First determine the allowable compressive stress [see UG-23(b)]

$$A = \frac{0.125}{R_o/t} = \frac{0.125}{60/0.3125} = 0.000651$$

$$B = AE/2$$

where

E = modulus of elasticity

$$B = 9446 \text{ psi (from Fig. 5-UCS-28.2)}$$

The general equation for thickness is the same as for longitudinal tensile stress except the pressure portion drops out since the most severe condition occurs when there is no pressure in the vessel.

$$t = \frac{QL}{4\pi R^2 SE} \left[\frac{1 + \frac{2(R^2 - H^2)}{L^2}}{1 + \frac{4H}{3L}} - \frac{4A}{L} \right]$$

$$= \frac{175,000(720)}{4\pi (59.6875)^2(9446)(1.0)(\text{footnote 3})}$$

$$\times \left[\frac{1 + \frac{2(59.6875^2 - 30^2)}{720^2}}{1 + \frac{4(30)}{3(720)}} - \frac{4(30)}{720} \right]$$

$$= 0.29795 (0.79043) = 0.237 \text{ in.}$$

VESSELS UNDER EXTERNAL PRESSURE

NOTE: The lines on Fig. 5-UGO-28.0 express a geometrical relationship between L/D_o and D_o/t for cylindrical shells and tubes which is common for all materials. This chart is used only for determining the factor A when factor A is not obtained by formula in the special case when $D_o/t < 10$.

The remaining charts in Appendix 5 are for specific material or classes of materials and represent pseudo stress-strain diagrams containing suitable factors of safety relative both to plastic flow and elastic collapse.

L-3

(a) *Cylindrical Shell Under External Pressure.*
[An example of the use of the rules in UG-28(c)]

GIVEN: fractionating tower 14 ft I.D. by 21 ft long, bend line to bend line, fitted with fractionating trays, and designed for an external design pressure of 15 psi at 700°F. The tower to be constructed of SA-285 Gr. C Carbon Steel. Design length is 39 in. **A8**

REQUIRED:

shell thickness t

SOLUTION:

Step 1. Assume a thickness $t = 0.3125$ in. Assumed outside diameter $D_o = 168.625$ in.

$$\frac{L}{D_o} = \frac{39}{168.625} = 0.231$$

$$\frac{D_o}{t} = \frac{168.625}{0.3125} = 540$$

Steps 2, 3. Enter Fig. 5-UGO-28.0 at the value of $L/D_o = 0.231$; move horizontally to the D_o/t line of 540 and read the value A of 0.0005.

Step 4, 5. Enter Fig. 5-UCS-28.2 at the value of $A = 0.0005$ and move vertically to the material line for 700°F. Move horizontally and read B value of 6100 on ordinate.

Step 6. The maximum allowable external working pressure for the assumed shell thickness of 0.3125 in. is **A89**

$$P_o = \frac{4B}{3(D_o/t)} = \frac{4(6100)}{3(540)} = 15.1 \text{ psi}$$

Since P_o is greater than the external design pressure P of 15 psi, the assumed thickness is satisfactory.

(b) *Spherical Shell Under External Pressure.* [An example of the use of the rules in UG-28(d)]

A89 GIVEN: a spherical vessel having an inside diameter of 72 in., made of an aluminum alloy conforming to SB-209 Alloy 3003-0 to withstand an external design pressure of 20 psi at 100°F.

REQUIRED:
shell thickness t

SOLUTION:

Step 1. Assume a shell thickness $t = 0.50$ in. Then

$$R_o = \frac{72}{2} + 0.5 = 36.5$$

$$A = \frac{0.125}{R_o/t} = \frac{0.125}{36.5/0.50} = 0.00171$$

Steps 2, 3. Enter Fig. 5-UNF-28.2 at $A = 0.00171$ and move vertically to the material line of 100°F; move horizontally and read B value of 1780.

A89 *Step 4.* The maximum allowable external working pressure for the assumed shell thickness of 0.50 in. is:

$$P_o = \frac{B}{R_o/t} = \frac{1780}{36.5/0.5} = 24.4 \text{ psi}$$

Since P_o is greater than the external design pressure P of 20 psi, the assumed shell thickness of 0.50 in. is satisfactory.

L-4 MAXIMUM OUT-OF-ROUNDNESS PERMITTED FOR VESSELS UNDER EXTERNAL PRESSURE

[An example of the use of the rules in UG-80(b)]

GIVEN: the same vessel considered in L-3(a).

REQUIRED: maximum out-of-roundness permitted.

SOLUTION: By the requirement in UG-80(b)(1), the difference between the maximum diameter D_{\max} and the minimum diameter D_{\min} (see Fig. UG-80.2) in any plane perpendicular to the longitudinal axis of the ves-

sel shall not exceed 1% of the nominal diameter; that is, $0.01 \times 168 = 1.68$ in.

By the requirement in UG-80(b)(2) the maximum deviation from a circular form of $D_o/t = 540$ and $L/D_o = 0.231$, as determined from Fig. UG-80.1 is

$$e = 0.87t = 0.87 \times 0.3125 = 0.272 \text{ in.}$$

From Fig. UG-29.2, for the same values of D_o/t and L/D_o the arc length is found to be $0.053 D_o$. The reference chord then becomes

$$2 \times 0.053 \times 168.625 = 17.87 \text{ in.}$$

Thus, in a chord length of 17.87 in., the maximum plus-or-minus deviation from the true circular form shall not exceed 0.272 in.

L-5 DESIGN OF CIRCUMFERENTIAL STIFFENING RING FOR A CYLINDRICAL SHELL UNDER EXTERNAL PRESSURE

[An example of the rules in UG-29(a)]

GIVEN:

outside diameter $D_o = 169$ in.
shell thickness $t = 0.3125$ in.
support distance $L_s = 40$ in.
external design pressure $P = 15$ psi
design temperature = 700°F
material: shell, SA-285 Gr. C
ring, SA-36

A89

To illustrate the procedure, a channel section is selected and attached to the shell by the channel legs. The channel selected is an American Standard Channel Member (C-6 + 8.2) having a value $A_s = 2.39$ sq in. The quantity

$$1.1 \sqrt{D_o t} = 1.1 \sqrt{(169)(0.3125)} \\ = 8 \text{ in.}$$

using this value, the combined ring-shell moment of inertia is approximately 3 in.⁴

The factor B [UG-29(a)] is

$$B = \frac{3}{4} \left[\frac{P D_o}{t + A_s/L_s} \right]$$

$$= 0.75 \left[\frac{(15)(169)}{0.3125 + (2.39/40)} \right] = 5107$$

Enter the right-hand side of Fig. 5-UCS-28.2 at a value $B = 5107$ and move horizontally to the left to the material line for 700°F. Move vertically downwards and read value $A = 0.0004$. Then,

$$I'_s = \frac{D_o^2 L_s (t + A_s/L_s) A}{10.9}$$

$$= \frac{(169)^2 (40) \left(0.3125 + \frac{2.39}{40} \right) (0.0004)}{10.9} = 15.61 \text{ in.}^4$$

This required value of the moment of inertia $I'_s = 15.61 \text{ in.}^4$ is larger than provided by the channel section selected; therefore, a new shape must be selected, or the method of attaching the channel to the shell can be changed. For illustration purposes, a bar of rectangular cross section is chosen, 2 in. \times 3.75 in. This shape provides an $A_s = 7.50 \text{ sq in.}$ With the 3.75 in. dimension in the radial direction, the combined ring-shell moment of inertia is 16.57 in.⁴. Then,

$$B = \frac{0.75(15)(169)}{0.3125 + (7.5/40)} = 3803$$

Enter the right-hand side of Fig. 5-UCS-28.2 at a value $B = 3803$ and move horizontally to the left to the material line for 700°F. Move vertically downwards and read value $A = 0.00031$. Then,

$$I'_s = \frac{(169)^2 (40) \left(0.3125 + \frac{7.5}{40} \right) (0.00031)}{10.9}$$

$$= 16.25 \text{ in.}^4$$

The required moment of inertia of 16.25 in.⁴ for the combined ring-shell section is less than the value of 16.57 in.⁴ provided by the shell-ring section with a 2 in. \times 3.75 in. bar; therefore, this stiffening ring is satisfactory.

Attachment welds, UG-30(e):

Radial pressure load $PL_s = 15 \times 40 = 600 \text{ lb/in.}$

Radial shear load $0.01 PL_s D_o = 0.01 \times 15 \times 40 \times 169 = 1014 \text{ lb}$

There are no external design loads to be carried by the stiffener. Weld shear flow due to radial shear load equals VQ/I_s , where Q is the first moment of area, and V is the radial shear load.

$$I_s = 16.57 \text{ in.}^4 \quad A_s = 7.50 \text{ in.}^2$$

$$Q = 7.50 \times 3.75/2 = 14.06 \text{ in.}^3$$

$$VQ/I_s = 1014 \times 14.06/16.57 = 860 \text{ lb/in.}$$

$$\text{combined weld load} = (600^2 + 860^2)^{1/2} = 1049 \text{ lb/in.}$$

The allowable weld stress = 0.55S [see UW-18(d)]. $S = 13.3 \text{ ksi}$ (700°F, SA-285 Grade C). The allowable weld load = $0.55 \times 13.3 = 7.32 \text{ ksi}$. The minimum fillet weld leg size = $1/4 \text{ in.}$ [see UG-30(f)]. The minimum intermittent weld on each side of the stiffener [see UG-30(c)] is clear spacing = $8t = 8 \times 0.3125 = 2.5 \text{ in.}$ Check strength of 5 in. long weld segments at $2\frac{1}{2} \text{ in.}$ spacing on each side of the stiffener ring. The weld allowable = $0.25 \times 7320 = 1830 \text{ lb/in.}$ which exceeds the calculated load of 1049 lb/in.

**A89
A90**

L-6 REQUIRED THICKNESS FOR FORMED HEADS WITH PRESSURE ON THE CONVEX SIDE

(a) *Ellipsoidal Head.* [An example of the use of the rules in UG-33(d)]

GIVEN: the same vessel considered in L-3(a); the head to have a major-to-minor axis ratio of 2:1.

REQUIRED:
head thickness t

SOLUTION:

equivalent spherical radius $R_o = K_1 D_o \text{ in.}$
from Table UG-37 ($D/2h = 2$), $K_1 = 0.90$
outside diameter $D_o = 169 \text{ in.}$

$$R_o = 0.90(169) = 152.1 \text{ in.}$$

Step 1. Assume a head thickness t of 0.5625 in., and calculate the value of factor A :

$$A = \frac{0.125}{(R_o/t)} = \frac{0.125}{(152.1/0.5625)} = 0.000462$$

Steps 2, 3. Enter Fig. 5-UCS-28.2 at A value of 0.000462 and move vertically to material line for

700°F. Move horizontally to the right and read B value of 5100.

- A89** *Step 4.* The maximum allowable external working pressure for the assumed thickness of 0.5625 in. is:

$$P_a = \frac{B}{(R_o/t)} = \frac{5100}{(152.1/0.5625)} = 18.9 \text{ psi}$$

Since P_a of 18.9 psi is greater than the external design pressure of 15 psi, the assumed thickness is satisfactory.

(b) *Torispherical Head.* [An example of the use of the rules in UG-33(e)]

GIVEN: the same vessel considered in L-3(a). The head to have a crown radius equal to the diameter of the vessel and a knuckle radius equal to 6% of the vessel diameter.

REQUIRED:
head thickness t

SOLUTION:

spherical radius $R_o = D_o = 169$ in.

Step 1. Assume a head thickness t of 0.50 in. and calculate value of factor A :

$$A = \frac{0.125}{(R_o/t)} = \frac{0.125}{(169/0.50)} = 0.00037$$

Steps 2, 3. Enter Fig. 5-UCS-28.2 at A value of 0.00037 and move vertically to material line for 700°F. Move horizontally to the right and read B value of 4300.

- A89** *Step 4.* The maximum allowable external working pressure for the assumed thickness of 0.50 in. is:

$$P_a = \frac{B}{(R_o/t)} = \frac{4300}{(169/0.50)} = 12.7 \text{ psi}$$

Since P_a of 12.7 psi is less than the external design pressure P of 15 psi, it is necessary to assume a greater value for the thickness. As a second trial, investigate $t = 0.5625$ in. Then, $D_o = 169.125$ in., and $R_o = D_o = 169.125$ in. Then:

$$A = \frac{0.125}{(169.125/0.5625)} = 0.00042$$

This value of A , referred to Fig. 5-UCS-28.2 corresponds to a B value of 4700 at 700°F. Then:

$$P_a = \frac{4700}{(169.125/0.5625)} = 15.6 \text{ psi}$$

This value of P_a of 15.6 psi is greater than the external design pressure P of 15.0 psi; therefore, a head thickness of 0.5625 in. is satisfactory.

(c) *Hemispherical Head.* [An example of the use of the rules in UG-33(c)]

GIVEN: The same vessel considered in L-3(a). The head to have a hemispherical shape.

SOLUTION:

spherical radius $R_o = D_o/2 = 169/2 = 84.5$ in.

Step 1. Assume a head thickness t of 0.3125 in. and calculate the value of factor A :

$$A = \frac{0.125}{(R_o/t)} = \frac{0.125}{(84.5/0.3125)} = 0.00046$$

Steps 2, 3. Enter Fig. 5-UCS-28.2 at A value of 0.00046 and move vertically to material line for 700°F. Move horizontally to the right and read B value of 5200.

Step 4. The maximum allowable external working pressure for the assumed head thickness of 0.3125 in. is: **A89**

$$P_a = \frac{B}{(R_o/t)} = \frac{5200}{(84.5/0.3125)} = 19.23 \text{ psi}$$

Since P_a of 19.23 psi is greater than the external design pressure P of 15.0 psi, the assumed head thickness of 0.3125 in. should be satisfactory.

(d) *Conical Head.* [An example of the use of the rules in UG-33(f)(1)]

GIVEN: The same vessel considered in L-3(a). The head to be of conical shape with a 45 deg. included (apex) angle. There are to be no stiffening rings in the head.

REQUIRED:
head thickness t

SOLUTION:

outside diameter $D_o = 169.5$ in.

one-half the included angle = 22.5 deg.

$$\text{Length } L = \frac{D_o/2}{\tan \alpha} = \frac{84.75}{0.4142} = 204.6 \text{ in.}$$

$$\frac{D_i}{t_e} = \frac{169.13}{0.52} = 326$$

$$\begin{aligned} L_e &= \frac{L}{2} (1 + D_s/D_i) \\ &= \frac{204.6}{2} + \frac{0}{169.5} = 102.3 \end{aligned}$$

Step 1. Assume a head thickness t of 0.75 in.

$$t_e = t \cos \alpha = 0.75 (0.92) = 0.69$$

$$L_e/D_i = \frac{102.3}{169.5} = 0.60$$

$$D_i/t_e = \frac{169.5}{0.69} = 246$$

Steps 2, 3. Enter Fig. 5-UGO-28.0 at $L_e/D_i = 0.60$ and move horizontally to the D_i/t_e line of 246. From this intersection move vertically downwards and read the value of factor A of 0.0006.

A89 Steps 4, 5. Enter Fig. 5-UCS-28.2 at value A of 0.0006 and move vertically to the material line for 700°F. Move horizontally to the right and read value of B of 6900. The maximum allowable external working pressure is then:

$$P_a = \frac{4(6900)}{3(169.5/0.69)} = 37.5 \text{ psi}$$

This value of P_a of 37.5 is greater than the external design pressure P of 15 psi; therefore, the assumed value of the head thickness of 0.75 in. is satisfactory. In this case, 0.75 in. may be too uneconomical, thus a thinner wall thickness can be investigated.

Assume a new value t of 0.563 in. Then $D_i = 169.13$ in. and:

$$L = \frac{84.56}{0.4142} = 204.2 \text{ in.}$$

$$L_e = \frac{204.2}{2} \left(1 + \frac{0}{169.13} \right) = 102.1$$

$$\frac{L_e}{D_i} = \frac{102.1}{169.13} = 0.60$$

$$t_e = 0.563 (0.92) = 0.52$$

From Fig. 5-UGO-28.0 for $L_e/D_i = 0.60$ and $D_i/t_e = 326$, the value of factor A is 0.00038.

From Fig. 5-UCS-28.2 for $A = 0.00038$ and using the material line for 700°F, $B = 4500$ and:

$$P_a = \frac{4(4500)}{3(169.13/0.52)} = 18.45 \text{ psi}$$

Since P_a of 18.45 psi is greater than the external design pressure of 15.0 psi, the assumed thickness of 0.563 in. is satisfactory.

OPENINGS AND REINFORCEMENTS

L-7 WELDED CONNECTIONS

A91

NOTE. The value of F has been taken as 1.0 for all planes through openings in cylindrical shells although UG-37 permits smaller values of a magnitude dependent upon the plane under consideration. The numerical figures, except for nominal dimensions in fractions of an inch, used in the following examples are rounded off to three significant figures or, for values less than one, to three decimal places.

Example 1

A89

A 4 in. I.D., $\frac{1}{4}$ in. wall, nozzle conforming to a specification with an allowable stress of 15,000 psi is attached by welding to a vessel that has an inside diameter of 30 in. and a shell thickness of $\frac{1}{2}$ in. The shell material conforms to a specification with an allowable stress of 13,700 psi. The internal design pressure is 250 psi at a design temperature of 150°F. There is no allowance for corrosion. The longitudinal joint meets the spot examination requirements of UW-52. The opening does not pass through a vessel Category A joint (see UW-3). There are no butt welds in the nozzle. Check the construction for full penetration groove-weld and for the $\frac{3}{8}$ in. fillet cover-weld shown in Fig. L-7.1.

Wall thicknesses required:

$$\begin{aligned} \text{Shell } t_r &= \frac{PR}{SE - 0.6P} \\ &= \frac{250 \times 15}{13,700 \times 1.0 - 0.6 \times 250} \\ &= 0.277 \text{ in.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nozzle } t_m &= \frac{PR_n}{SE - 0.6P} \\ &= \frac{250 \times 2}{15,000 \times 1.0 - 0.6 \times 250} \\ &= 0.034 \text{ in.} \end{aligned}$$

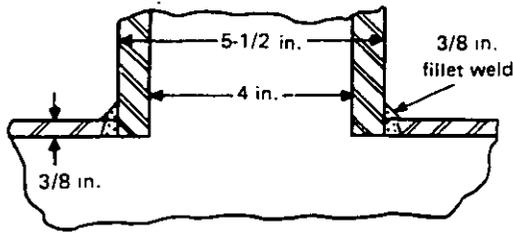


Fig. L-7.1 EXAMPLE OF REINFORCED OPENING

Size of weld required [UW-16(c), Fig. UW-16.1 sketch (c)]:

$$t_c = \text{not less than the smaller of } \frac{1}{4} \text{ in. or } 0.7t_{\min}$$

where

$$t_{\min} = \text{lesser of } \frac{3}{4} \text{ in. or the thickness less corrosion allowance of the thinner part joined} \\ = \text{lesser of } \frac{3}{4} \text{ in. or } \frac{3}{8} \text{ in.}$$

$$t_c \text{ (minimum)} = \text{lesser of } \frac{1}{4} \text{ in. or } 0.7 \left(\frac{3}{8}\right), \\ \text{i.e., } \frac{1}{4} \text{ in. or } 0.263 \text{ in.}$$

$$t_c \text{ (actual)} = 0.7 (0.375) = 0.263 \text{ in.} \\ 0.263 \text{ in.} > 0.25 \text{ in.}$$

Cover weld is satisfactory. Strength calculations for attachment welds are not required for this detail which conforms with Fig. UW-16.1 sketch (d) [see UW-15(b)].

$$f_{r1} = f_{r2} = 15.0 / 13.7 > 1.0;$$

$$\text{therefore, use } f_{r1} = f_{r2} = 1.0$$

Area of reinforcement required

$$A = dt_r F + 2t_n t_r F(1 - f_{r1}) \\ = (4 \times 0.277 \times 1) + 0 = 1.11 \text{ sq in.}$$

Area of reinforcement available

$$A_1 = \text{larger of following} \\ = d(E_1 t - Ft_r) - 2t_n (E_1 t - Ft_r)(1 - f_{r1}) \\ = (1 \times 0.375 - 1 \times 0.277) 4 - 0 \\ = 0.392 \quad 0.392 \text{ sq in.}$$

or

$$= 2(t + t_n)(E_1 t - Ft_r) \\ - 2t_n (E_1 t - Ft_r)(1 - f_{r1})$$

$$= (1 \times 0.375 - 1 \times 0.277) \\ \times (0.75 + 0.375) 2 - 0 \\ = 0.220$$

$A_2 = \text{smaller of following}$

$$= 5(t_n - t_m) f_{r2} t \\ = (5)(0.75 - 0.034)(1)(0.375) \\ = 1.34 \quad 1.34 \text{ sq in.}$$

or

$$= 5(t_n - t_m) f_{r2} t_n \\ = (5)(0.75 - 0.034)(1.0)(0.75) \\ = 2.69$$

$$A_{d1} = 2 \times 0.5 \times (0.375)^2 (1.0) = 0.141 \text{ sq in.}$$

$$\text{Area provided by } A_1 + A_2 + A_{d1} = 1.88 \text{ sq in.}$$

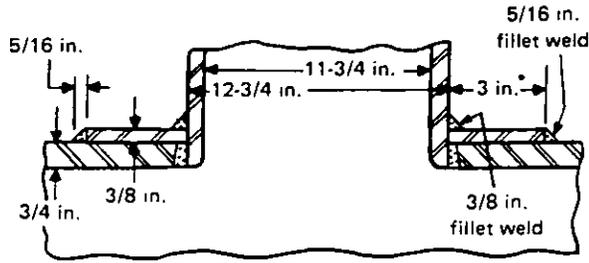
This is greater than the required area so a reinforcing element is not needed.

Example 2

An 11½ in. I.D., ½ in. wall, nozzle conforming to a specification with an allowable stress of 16,600 psi is attached by welding to a vessel that has an inside diameter of 60 in.; shell thickness ¾ in.; reinforcing element thickness ⅝ in.; shell plate to conform to a specification with an allowable stress of 14,300 psi and the reinforcing element, if needed, to conform to a specification with an allowable stress of 13,200 psi. The longitudinal joint meets the spot examination requirements of UW-52. The opening does not pass through a vessel Category A joint (see UW-3). The vessel's internal design pressure is 250 psi at a design temperature of 700°F. There is to be no allowance for corrosion. Check the adequacy of the reinforcing element and the attachment welds shown in Fig. L-7.2.

Wall thicknesses required:

$$\text{Shell } t_r = \frac{PR}{SE - 0.6P} \\ = \frac{250 \times 30}{14,300 \times 1.0 - 0.6 \times 250} \\ = 0.530 \text{ in.}$$



* 3 in. must become 3-1/8 in. to be acceptable

FIG. L-7.2 EXAMPLE OF REINFORCED OPENING

$$\begin{aligned} \text{Nozzle } t_n &= \frac{PR_n}{SE - 0.6 \times P} \\ &= \frac{250 \times 5.875}{16,600 \times 1.0 - 0.6 \times 250} \\ &= 0.089 \text{ in.} \end{aligned}$$

Size of weld required [UW-16(c), Fig. UW-16.1, sketch (h)]:

Inner (reinforcing element) fillet weld:

$$\begin{aligned} t_n &= 0.7 t_{\min} \\ &= 0.7 \times 0.375 \\ &= 0.263 \text{ in. (minimum throat required)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_n &= 0.7 \times \text{weld size} \\ &= 0.7 \times 0.375 \\ &= 0.263 \text{ in. (actual)} \end{aligned}$$

Outer (reinforcing element) fillet weld:

$$\begin{aligned} \text{Throat} &= \frac{1}{2} t_{\min} \\ &= 0.5 \times 0.375 \\ &= 0.188 \text{ (minimum throat required)} \\ &= 0.7 \times \text{weld size} \\ &= 0.7 \times 0.3125 \\ &= 0.219 \text{ (actual)} \end{aligned}$$

Weld sizes are satisfactory.

Check without reinforcing element (plate)

$$\begin{aligned} f_{r1} = f_{r2} &= S_n / S_v = 16.6 / 14.3 > 1.0; \\ \text{therefore, use } f_{r1} &= f_{r2} = 1.0 \end{aligned}$$

Area of reinforcement required:

$$\begin{aligned} A &= dt_r F + 2t_n t_r F (1 - f_{r1}) \\ &= (11.75)(0.530)(1) + 0 = 6.23 \text{ sq in.} \end{aligned}$$

Area available in shell:

$$\begin{aligned} A_1 &= \text{larger of following} \\ &= d(E_1 t - Ft_r) - 2t_n(E_1 t - Ft_r)(1 - f_{r1}) \\ &= (1.0 \times 0.75 - 1.0 \times 0.530)11.75 - 0 \\ &= 2.59 \qquad \qquad \qquad 2.59 \text{ sq in.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{or} \\ &= 2(t + t_n)(E_1 t - Ft_r) - 2t_n(E_1 t - Ft_r) \\ &\quad \times (1 - f_{r1}) \\ &= (1.0 \times 0.75 - 1.0 \times 0.530) \\ &\quad \times (0.5 + 0.75)2 - 0 \\ &= 0.550 \end{aligned}$$

Area available in nozzle:

$$\begin{aligned} A_2 &= \text{smaller of following} \\ &= 5(t_n - t_{rn}) f_{r2} t \\ &= 5(0.5 - 0.089)(1.0)(0.75) \\ &= 1.54 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{or} \\ &= 5(t_n - t_{rn}) f_{r2} t_n \\ &= 5(0.5 - 0.089)(1.0)(0.5) \\ &= 1.03 \qquad \qquad \qquad 1.03 \text{ sq in.} \end{aligned}$$

Area available in outside fillet welds:

$$A_{41} = (\text{leg})^2 f_{r2} = (0.375)^2 (1.0) = 0.141 \text{ sq in.}$$

$$\text{Area provided by } A_1 + A_2 + A_{41} = 3.75 \text{ sq in.}$$

Area provided less than area required; try adding plate
 $A_{\text{reqd}} = 6.23 \text{ sq in.} > A_{\text{avail.}} = 3.75 \text{ sq in.}$

Check with reinforcing element (plate) added

$$A_1 + A_2 + A_{41} + A_{42} = 4.14 \text{ sq in.}$$

Area of reinforcement required:

$$A_5 = (19.0 - 11.75 - 1.0)$$

$$A = 6.23 \quad 6.23 \text{ sq in.}$$

$$\times 0.375 \times 0.923 = \underline{2.16 \text{ sq in.}}$$

Area available in shell:

Total area available by increasing reinforcing element O.D. $\frac{1}{4}$ in. = 6.30 sq in.

$$A_1 = 2.59 \quad 2.59 \text{ sq in.}$$

Load to be carried by welds [Fig. UG-41.1 sketch (a)]:
Per UG-41(b)(2):

Area available in outer nozzle:

$$\begin{aligned} W &= [A - (d - 2t_n)(E_1t - Ft_n)] S_v \\ &= [6.23 - (11.75 - 2 \times 0.5)(1.0 \times 0.75 \\ &\quad - 1.0 \times 0.530)] \times 14,300 \\ &= 55,200 \text{ lb} \end{aligned}$$

$A_2 =$ smaller of following

$$\begin{aligned} &= 5(t_n - t_{rn}) f_{r2} t \\ &= 1.54 \end{aligned}$$

or

$$\begin{aligned} &= 2(t_n - t_{rn})(2.5t_n + t_r) f_{r1} \\ &= 2(0.5 - 0.089)(2.5 \times 0.5 + 0.375)1.0 \\ &= 1.34 \quad 1.34 \text{ sq in.} \end{aligned}$$

Per UG-41(b)(1):

$$\begin{aligned} W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42})S_v \\ &= (1.34 + 2.16 + 0.13 + 0.09) \times 14,300 \\ &= 53,200 \text{ lb} \end{aligned}$$

Area available in outward nozzle-to-plate fillet weld:

$$\begin{aligned} A_{41} &= (\text{leg})^2 f_{r3} \text{ where } f_{r3} = S_p / S_v = 13.2 / 14.3 \\ &= 0.923 \\ &= (0.375)^2(0.923) = 0.130 \text{ sq in.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} \\ &\quad + 2t_n f_{r1})S_v \\ &= (1.34 + 0 + 0.13 + 0 \\ &\quad + 2 \times 0.50 \times 0.75 \times 1.0) \times 14,300 \\ &= 31,800 \text{ lb} \end{aligned}$$

Area available in outer plate fillet weld:

$$\begin{aligned} A_{42} &= (\text{leg})^2 f_{r4} \text{ where } f_{r4} = 0.923 \\ &= (0.3125)^2(0.923) = 0.090 \text{ sq in.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{3-3} &= (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} \\ &\quad + A_{43} + 2t_n f_{r1})S_v \\ &= (1.34 + 0 + 2.16 + 0.13 + 0.09 \\ &\quad + 0 + 2 \times 0.50 \times 0.75 \times 1.0) \times 14,300 \\ &= 63,900 \text{ lb} \end{aligned}$$

Area available in reinforcing plate:

$$\begin{aligned} A_5 &= (D_p - d - 2t_n) t f_{r4} \\ &= (18.75 - 11.75 - 1.0)(0.375)(0.923) \\ &= \underline{2.08 \text{ sq in.}} \end{aligned}$$

Area provided by $A_1 + A_2 + A_{41} + A_{42} + A_5 = 6.22 \text{ sq in.}$

This is less than area required; therefore the opening is not adequately reinforced.

The size of the reinforcing element must be increased.

Since the weld load W calculated by UG-41(b)(2) is smaller than weld load W_{3-3} calculated by UG-41(b)(1), W may be used in place of W_{3-3} for comparing the weld capacity to the weld load.

Unit stresses [UW-15(c) and UG-45(c)]:

Outer fillet weld shear

$$= 0.49 \times 13,200 = 6470 \text{ psi}$$

Inner fillet weld shear

$$= 0.49 \times 13,200 = 6470 \text{ psi}$$

Groove weld tension

$$= 0.74 \times 14,300 = 10,600 \text{ psi}$$

Nozzle wall shear

$$= 0.70 \times 16,600 = 11,600 \text{ psi}$$

Strength of connection elements:

Inner fillet weld shear

$$= \pi / 2 \times \text{nozzle O.D.} \times \text{weld leg} \times 6470$$

$$= 1.57 \times 12.75 \times 0.375 \times 6470$$

$$= 48,600$$

Nozzle wall shear

$$= \pi / 2 \times \text{mean nozzle diam.} \times t_n \times 11,600$$

$$= 1.57 \times 12.25 \times 0.5 \times 11,600$$

$$= 112,000 \text{ lb}$$

Groove weld tension

$$= \pi / 2 \times \text{nozzle O.D.} \times t \times 10,600$$

$$= 1.57 \times 12.75 \times 0.75 \times 10,600$$

$$= 159,000 \text{ lb}$$

Outer fillet weld shear

$$\begin{aligned} &= \pi / 2 \times \text{reinforcing element O.D.} \\ &\quad \times \text{weld leg} \times 6470 \\ &= 1.57 \times 19.0 \times 0.312 \times 6470 \\ &= 60,200 \text{ lb} \end{aligned}$$

Check strength paths:

$$1-1 \quad 112,000 + 60,200 = 172,000 \text{ lb}$$

$$2-2 \quad 48,600 + 159,000 = 208,000 \text{ lb}$$

$$3-3 \quad 159,000 + 60,200 = 219,000 \text{ lb}$$

All paths are stronger than the required strength of 55,200 lb [see UG-41(b)(2)].

The design strength of the outer fillet weld attaching the reinforcing element to the shell is 60,200 lb or greater than the reinforcing element strength of $2.16 \times 13,200 = 28,600 \text{ lb}$.

A89 Example 3

An $11\frac{3}{4}$ in. I.D., $\frac{1}{2}$ in. wall, nozzle conforming to a specification with an allowable stress of 16,600 psi is attached by welding to a vessel that has an inside diameter of 60 in. The nozzle passes through the longitudinal joint on which the spot examination requirements of UW-52 are to be met. The $\frac{3}{4}$ in. thick shell plate and $\frac{1}{2}$ in. thick reinforcing element to conform to a specification with an allowable stress of 14,300 psi. The vessel's internal design pressure is 250 psi at a design temperature of 700°F. There is to be no allowance for corrosion. Check the adequacy of the reinforcing element and the attachment welds shown in Fig. L-7.3.

Wall thicknesses required (from Example 2):

$$t_r = 0.530 \text{ in.} \quad t_{rn} = 0.089 \text{ in.}$$

Size of welds required [UW-16(c); Fig. UW-16.1 sketch (h)]:

Inner (reinforcing element) fillet weld:

$$t_w = 0.7 t_{min}$$

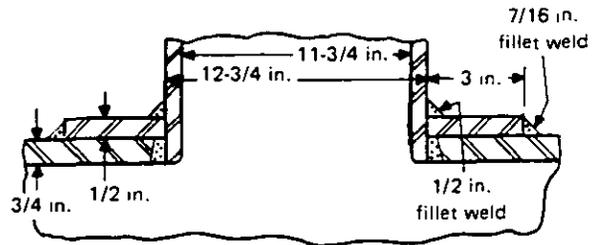


FIG. L-7.3 EXAMPLE OF REINFORCED OPENING

$$= 0.7 \times 0.5$$

$$= 0.35 \text{ in. (minimum throat required)}$$

$$t_w = 0.7 \times \text{weld size}$$

$$= 0.7 \times 0.50$$

$$= 0.35 \text{ in. (actual)}$$

Outer (reinforcing element) fillet weld:

$$\text{Throat} = \frac{1}{2} t_{min}$$

$$= 0.5 \times 0.5$$

$$= 0.25 \text{ in. (minimum throat required)}$$

$$\text{Throat} = 0.7 \times \text{weld size}$$

$$= 0.7 \times 0.4375$$

$$= 0.306 \text{ in. (actual)}$$

The weld sizes used are satisfactory.

$$f_{r1} = f_{r2} = 16.6 / 14.3 > 1.0;$$

$$\text{use } f_{r1} = f_{r2} = 1.0$$

$$f_{r3} = f_{rn} = 14.3 / 14.3 = 1.0$$

Area of reinforcement required:

$$A = dt_r F + 2t_{rn} t_r F (1 - f_{r1})$$

$$= (11.75 \times 0.530 \times 1) + 0 = 6.23 \text{ sq in.}$$

Area of reinforcement available:

$$A_1 = \text{larger of following}$$

$$\begin{aligned}
 &= d(E_1t - Ft_r) - 2t_n(E_1t - Ft_r)(1 - f_{r1}) \\
 &= (0.85 \times 0.75 - 1 \times 0.530)11.75 - 0 \\
 &= 1.26 \qquad \qquad \qquad 1.26 \text{ sq in.}
 \end{aligned}$$

or

$$\begin{aligned}
 &= 2(t + t_n)(E_1t - Ft_r) - 2t_n(E_1t - Ft_r) \\
 &\quad \times (1 - f_{r1}) \\
 &= (0.85 \times 0.75 - 1 \times 0.530) \\
 &\quad \times (0.5 + 0.75) 2 - 0 \\
 &= 0.269
 \end{aligned}$$

 A_2 = smaller of following

$$\begin{aligned}
 &= (t_n - t_m) 5t_f r_2 \\
 &= (0.5 - 0.089)(5)(0.75)(1.0) \\
 &= 1.54
 \end{aligned}$$

or

$$\begin{aligned}
 &= (t_n - t_m)(2.5t_n + t_r) 2f_{r2} \\
 &= (0.5 - 0.089)(2.5 \times 0.5 + 0.5) 2 (1.0) \\
 &= 1.44 \qquad \qquad \qquad 1.44 \text{ sq in.}
 \end{aligned}$$

 $A_{41} +$

$$\begin{aligned}
 A_{42} &= 2 \times 0.5(0.4375^2 + 0.5^2)(1.0) \\
 &= 0.441 \qquad \qquad \qquad \underline{0.441} \text{ sq in.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Area provided by } A_1 + A_2 + A_{41} + A_{42} &= \\
 &= 3.14 \text{ sq in.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_5 &= (D_p - d - 2t_n) t_f r_4 \\
 &= (18.75 - 11.75 - 1)0.5(1.0) = \underline{3.0} \text{ sq in.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total area available} &= 6.14 \text{ sq in.}
 \end{aligned}$$

Opening is not adequately reinforced.

Size of reinforcing element must be increased.

$$\begin{aligned}
 A_1 + A_2 + A_{41} + A_{42} &= 3.14 \text{ sq in.} \\
 A_5 &= (19.00 - 11.75 - 1)0.5 = \underline{3.12} \text{ sq in.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total area available by increasing O.D. of reinforcing} \\
 \text{element } \frac{1}{4} \text{ in.} &= 6.27 \text{ sq in.}
 \end{aligned}$$

Load to be carried by weld [Fig. UG-41.1 sketch (a)]:
Per UG-41(b)(2):

$$\begin{aligned}
 W &= [A - (d - 2t_n)(E_1t - Ft_r)]S_v \\
 &= [6.23 - (11.75 - 2 \times 0.5) \\
 &\quad \times (0.85 \times 0.75 - 1 \times 0.530)] \times 14,300 \\
 &= 72,600 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

Per UG-41(b)(1):

$$\begin{aligned}
 W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) S_v \\
 &= (1.44 + 3.13 + 0.441) 14,300 \\
 &= 71,600 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2t_n t_f r_1) S_v \\
 &= [1.44 + 0 + 0.5^2 + 0 + 2(0.5)(0.75)(1.0)] \\
 &\quad \times 14,300 \\
 &= 34,900 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{3-3} &= (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + 2t_n t_f r_1) \\
 &\quad \times S_v \\
 &= [1.44 + 0 + 3.125 + 0.5^2 + 0.438^2 + 0 \\
 &\quad + 2(0.5)(0.75)(1.0)] 14,300 \\
 &= 82,300 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

Since W is smaller than W_{3-3} , W may be used in place of W_{3-3} for comparing weld capacity to weld load.

Unit stresses [UW-15(b) and UG-45(c)]:

$$\begin{aligned}
 \text{Fillet weld shear} &= 0.49 \times 14,300 \\
 &= 7010 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Groove weld tension} &= 0.74 \times 14,300 \\
 &= 10,600 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Nozzle wall shear} &= 0.70 \times 16,600 \\
 &= 11,600 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

Strength of connection elements:

$$\begin{aligned}
 \text{Inner (reinforcing element) fillet weld shear} \\
 &= \pi / 2 \times \text{nozzle O.D.} \times \text{weld leg} \times 7010 \\
 &= 1.57 \times 12.75 \times 0.5 \times 7010 \\
 &= 70,200 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

Nozzle wall shear

$$\begin{aligned}
 &= \pi / 2 \times \text{mean nozzle diam.} \times t_n \times 11,600 \\
 &= 1.57 \times 12.25 \times 0.5 \times 11,600
 \end{aligned}$$

Area of reinforcement available:

This is greater than area required; therefore, the opening is adequately reinforced.

$$\begin{aligned} \text{A89 } A_1 &= \text{larger of following} \\ &= (E_1 t - F t_r) d - 2 t_n (E_1 t - F t_r) (1 - f_{r1}) \\ &= (1.0 \times 1.937 - 1 \times 1.83) \\ &\quad \times 16.125 - 0 \\ &= 1.68 \qquad \qquad \qquad 1.68 \text{ sq in.} \end{aligned}$$

or

$$\begin{aligned} &= (E_1 t - F t_r) (t_n + t) 2 \\ &\quad - 2 t_n (E_1 t - F t_r) (1 - f_{r1}) \\ &= (1.0 \times 1.937 - 1 \times 1.83) \\ &\quad \times (1.687 + 1.937) 2 - 0 \\ &= 0.753 \end{aligned}$$

Check for t_e :

$$\tan \Theta = \frac{(26 - 19.5)}{2} \div 3.5 = 0.9286$$

$$\Theta = 43 \text{ deg.}$$

$$43 \text{ deg.} > 30 \text{ deg.}$$

Therefore, Fig. UG-40 sketch (d) applies and $t_e = 3.5$.

$$\begin{aligned} A_2 &= \text{smaller of following} \\ &= (t_n - t_{rn}) 5 t_{r2} \\ &= (1.687 - 0.292)(5)(1.937)(1.0) \\ &= 13.5 \qquad \qquad \qquad 13.5 \text{ sq in.} \end{aligned}$$

or

$$\begin{aligned} &= (t_n - t_{rn})(2.5 t_n + t_e) 2 t_{r2} \\ &= (1.687 - 0.292)(2.5 \times 1.687 + 3.5) 2(1.0) \\ &= 21.5 \end{aligned}$$

$$A_{41} = 2 \times 0.5 \times 0.75^2 (1.0) = \underline{0.562} \text{ sq in.}$$

$$\text{Area provided by } A_1 + A_2 + A_{41} = 15.8 \text{ sq in.}$$

$$A_5 = (D_p - d - 2 t_n) \times \text{average thickness of reinforcement} \times f_{r4} \text{ (see footnote 5)}$$

$$= (26.0 - 16.125 - 3.375)(2.75)(1.0) = \underline{17.9} \text{ sq in.}$$

$$\text{Total area available} \qquad \qquad \qquad 33.6 \text{ sq in.}$$

Load to be carried by welds [Fig. UG-41.1 sketch (b)]:

Per UG-41(b)(1):

$$\begin{aligned} W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) S_w \\ &= (13.5 + 17.9 + 0.562 + 0) 11,400 \\ &= 364,000 \text{ lb} \end{aligned}$$

Per UG-41(b)(2):

$$\begin{aligned} W &= (A - A_1) S_w \\ &= (29.6 - 1.68) 11,400 \\ &= 318,000 \text{ lb} \end{aligned}$$

Since W is smaller than W_{1-1} , W may be used in place of W_{1-1} for comparing weld capacity to weld load.

Unit stresses [UW-15(c)]:

$$\begin{aligned} \text{Fillet weld shear} &= 0.49 \times 11,400 \\ &= 5590 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Groove weld shear} &= 0.60 \times 11,400 \\ &= 6840 \text{ psi} \end{aligned}$$

Strength of connection elements:

$$\begin{aligned} \text{Fillet weld shear} \\ &= \pi / 2 \times \text{nozzle O.D.} \times \text{weld leg} \times 5590 \\ &= 1.57 \times 26.0 \times 0.75 \times 5590 \\ &= 171,000 \text{ lb} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Groove weld shear} \\ &= \pi / 2 \times \text{mean diam. of weld} \times \text{weld } t_w \\ &\quad \times 6840 \\ &= 1.57 \times 16.9 \times 0.812 \times 6840 \\ &= 148,000 \text{ lb} \end{aligned}$$

Check strength path:

$$1-1 \quad 171,000 + 148,000 = 319,000 \text{ lb}$$

exceeds the strength of 318,000 lb required by UG-41(b)(2).

Example 5

A89

A nozzle with an outside diameter of 16 in. is fabricated by welding from $\frac{3}{4}$ in. plate. It is attached by welding to a vessel that has an inside diameter of 83 in.

⁵ Average thickness of reinforcing element = $(3.5 + 2)/2 = 2.75$.

$$\begin{aligned}
 &= 2(t + t_n)(E_1 t - F t_r) - 2t_n(E_1 t - F t_r) \\
 &\quad \times (1 - f_{r1}) \\
 &= (1 \times 1.75 - 1 \times 1.56)(0.5 + 1.75)2 - 0 \\
 &= 0.864
 \end{aligned}$$

A_2 = smaller of following

$$\begin{aligned}
 &= (t_n - t_m) 5 t f_{r2} \\
 &= (0.5 - 0.280)(5)(1.75)(1.0) \\
 &= 1.93
 \end{aligned}$$

or

$$\begin{aligned}
 &= (t_n - t_m)(2.5 t_n + t_r) 2 f_{r2} \\
 &= 1.21 \qquad \qquad \qquad 1.21 \text{ sq in.}
 \end{aligned}$$

$A_{41} +$

$$A_{42} = 2 \times 0.5(0.875^2 + 0.375^2)(1.0) = \underline{0.906} \text{ sq in.}$$

$$\text{Area provided by } A_1 + A_2 + A_{41} + A_{42} = 5.0 \text{ sq in.}$$

$$\begin{aligned}
 \text{A89} \quad A_5 &= (D_p - d - 2t_n)t_n f_{r4} \\
 &= (28.25 - 15 - 1)1.5(1.0) \\
 &= 18.4 \qquad \qquad \qquad \underline{18.4} \text{ sq in.}
 \end{aligned}$$

$$\text{A89} \quad \text{Total area available} = 23.4 \text{ sq in.}$$

This is equal to the required area; therefore, opening is adequately reinforced.

Load to be carried by welds [Fig. UG-41.1(a)]:
Per UG-41(b)(1):

$$\begin{aligned}
 \text{A89} \quad W_{1.1} &= (A_5 + A_2 + A_{41} + A_{42}) S_v \\
 &= (18.4 + 1.21 + 0.906) 13,700 \\
 &= 281,000 \text{ lb} \\
 W_{2.2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2t_n t f_{r1}) S_v \\
 &= [1.21 + 0 + 0.375^2 + 0 \\
 &\quad + 2(0.5)(1.75)(1.0)] 13,700 \\
 &= 42,500 \text{ lb} \\
 \text{A89} \quad W_{3.3} &= (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} \\
 &\quad + 2t_n t f_{r1}) S_v \\
 &= [1.21 + 0 + 18.4 + 0.906 + 0 \\
 &\quad + 2(0.5)(1.75)(1.0)] 13,700 \\
 &= 305,000 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

Per UG-41(b)(2):

$$\begin{aligned}
 W &= [A - (d - 2t_n)(E_1 t - F t_r)] S_v \\
 &= [23.4 - (15 - 2 \times 0.5)(1.0 \times 1.75 - 1.0 \\
 &\quad \times 1.56)] 13,700 \\
 &= 283,000 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

Since W is smaller than $W_{3.3}$, W may be used in place of $W_{3.3}$ for comparing weld capacity to weld load.

Unit stresses [UW-15(c) and UG-45(c)]:

$$\begin{aligned}
 \text{Fillet weld shear} &= 0.49 \times 13,700 \\
 &= 6710 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Groove weld tension} &= 0.74 \times 13,700 \\
 &= 10,100 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Groove weld shear} &= 0.60 \times 13,700 \\
 &= 8220 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Nozzle wall shear} &= 0.70 \times 13,700 \\
 &= 9590 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

Strength of connection elements:

$$\begin{aligned}
 &\text{Upper fillet or cover weld} \\
 &= \pi / 2 \times \text{nozzle O.D.} \times \text{weld leg} \times 6710 \\
 &= 1.57 \times 16.0 \times 0.375 \times 6710 \\
 &= 63,200 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Nozzle wall shear} \\
 &= \pi / 2 \times \text{mean nozzle diam.} \times t_n \times 9590 \\
 &= 1.57 \times 15.5 \times 0.5 \times 9590 \\
 &= 117,000 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Lower groove weld tension} \\
 &= \pi / 2 \times \text{nozzle O.D.} \times \text{weld leg} \times 10,100 \\
 &= 1.57 \times 16.0 \times 0.375 \times 10,100 \\
 &= 95,500 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Outer (reinforcing element) fillet weld} \qquad \qquad \qquad \text{A89} \\
 &= \pi / 2 \times \text{reinforcing element O.D.} \times \text{weld} \\
 &\quad \text{leg} \times 6710 \\
 &= 1.57 \times 28.25 \times 0.875 \times 6710 \\
 &= 260,000 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Upper groove weld tension} \\
 &= \pi / 2 \times \text{nozzle O.D.} \times \text{weld leg} \times 10,100
 \end{aligned}$$

$$= 1.57 \times 16.0 \times 0.375 \times 10,100$$

$$= 95,600 \text{ lb}$$

A89 Check strength paths per UG-41(b)(1):

$$1-1 \quad 260,000 + 117,000 = 377,000 \text{ lb}$$

$$> W_{1-1} = 281,000 \text{ lb} \therefore \text{OK}$$

$$2-2 \quad 63,200 + 95,500 + 95,500 = 254,000 \text{ lb}$$

$$> W_{2-2} = 42,500 \text{ lb} \therefore \text{OK}$$

$$3-3 \quad 260,000 + 95,500 = 356,000 \text{ lb}$$

$$> W_{3-3} = 305,000 \text{ lb} \therefore \text{OK}$$

Check strength paths by UG-41(b)(2). Paths 1-1 and 3-3 are stronger than total weld load, $W = 283,000 \text{ lb}$ and are acceptable. Path 2-2 does not have sufficient strength to resist load W but the weld is acceptable by UG-41(b)(1).

A89 The outer fillet weld strength of 260,000 lb is greater than the reinforcing element strength of $18.4 \times 13,700 = 252,000 \text{ lb}$.

A89 Example 6

An NPS 8 Schedule 20 nozzle is attached by welding to the center of a seamless 2:1 ellipsoidal head that has an inside diameter of $23\frac{5}{8} \text{ in.}$ and a thickness of $\frac{1}{16} \text{ in.}$ The allowable stress of the nozzle material is 12,000 psi and the head material is 17,500 psi. The vessel internal design pressure is 150 psi at a design temperature of 400°F . There is no corrosion allowance and no radiography is performed on the vessel. Check the adequacy of the opening reinforcement and attachment welds as shown in Fig. L-7.6.

Determine if the opening and its reinforcement in the ellipsoidal head are located entirely within a centrally located circle which has a diameter equal to 80% of the shell diameter [see UG-37(a)].

$$0.8 \times 23.625 = 18.9 \text{ in.}$$

$$2d = 2 \times 8.125 = 16.25 \text{ in.}$$

Therefore, the required head thickness for reinforcement calculations are to be determined by the hemispherical head formula using a radius of $K_1 D$ where $K_1 = 0.9$ for a 2:1 ellipsoidal head.

Required head thickness:

$$t_r = \frac{PK_1 D}{2SE - 0.2P}$$

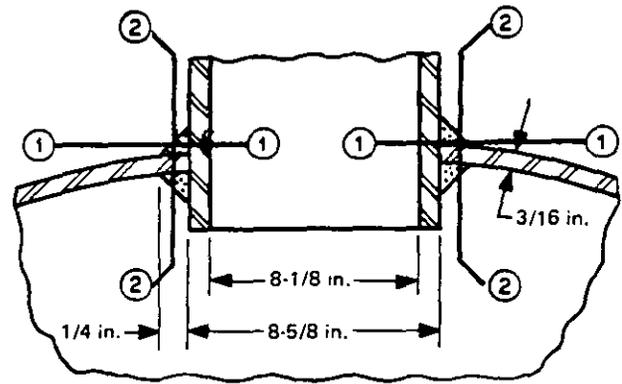


FIG. L-7.6 EXAMPLE OF REINFORCED OPENING

$$= \frac{150 \times 0.9 \times 23.625}{2(17,500) \times 1.0 - 0.2 \times 150}$$

$$= 0.091 \text{ in.}$$

$$\text{Nozzle } t_n = \frac{PR_n}{SE - 0.6P}$$

$$= \frac{150 \times 4.062}{12,000 \times 1.0 - 0.6 \times 150}$$

$$= 0.051 \text{ in.}$$

Size of weld required [UW-16(d), Fig. UW-16.1 sketch (i)]:

$$t_1 \text{ or } t_2 = \text{not less than the smaller of } \frac{1}{4} \text{ in. or } 0.7t_{\min}$$

$$= 0.7 \times 0.188 = 0.132 \text{ in.; therefore throat must be at least } 0.132 \text{ in.}$$

$$= 0.7 \times \text{weld size}$$

$$= 0.7 \times 0.250$$

$$= 0.175 \text{ in. (actual)}$$

$$t_1 + t_2 \geq 1\frac{1}{4}t_{\min}$$

$$0.175 + 0.175 \geq 1.25 \times 0.132$$

$$0.350 \geq 0.165$$

Cover weld satisfactory.

$$f_{r1} = f_{r2} = S_n / S_v = 12,000 / 17,500 = 0.686$$

Area of reinforcement required:

$$A = dt_r F + 2t_n t_r F(1 - f_{r1})$$

$$\begin{aligned}
 &= (8.125 \times 0.091 \times 1) + 2 \times 0.25 \\
 &\quad \times 0.091(1 - 0.686) \\
 &= 0.754 \qquad \qquad \qquad 0.754 \text{ sq in.}
 \end{aligned}$$

Area of reinforcement available:

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \text{larger of the following} \\
 &= d(E_1 t - Ft_r) - 2t_n(E_1 t - Ft_r) \\
 &\quad \times (1 - f_{r1}) \\
 &= 8.125(1 \times 0.188 - 1 \times 0.091) \\
 &\quad - 2 \times 0.25(1 \times 0.188 - 1 \times 0.091) \\
 &\quad \times (1 - 0.686) (1.0) \\
 &= 0.773 \qquad \qquad \qquad 0.773 \text{ sq in.}
 \end{aligned}$$

or

$$\begin{aligned}
 &= 2(t + t_n)(E_1 t - Ft_r) - 2t_n(E_1 t - Ft_r) \\
 &\quad \times (1 - f_{r1}) \\
 &= 2(0.25 + 0.188)(1 \times 0.188 - 1 \times 0.091) \\
 &\quad - 2 \times 0.25(1 \times 0.188 - 1 \times 0.091) \\
 &\quad \times (1 - 0.686) \\
 &= 0.070
 \end{aligned}$$

A_2 = smaller of following with adjustment for differences in allowable stresses of vessel nozzle [see UG-41(a)]

$$\begin{aligned}
 &= (t_n - t_{rn})5t_f r_2 \\
 &= (0.25 - 0.051)(5)(0.188)(0.686) \\
 &= 0.128 \qquad \qquad \qquad 0.128 \text{ sq in.}
 \end{aligned}$$

or

$$\begin{aligned}
 &= (t_n - t_{rn})(5t_n + 2t_e)f_{r2} \\
 &= (0.25 - 0.051)(5 \times 0.25 + 0)(0.686) \\
 &= 0.171
 \end{aligned}$$

$$A_3 = (t_n - c)2hf_{r2}$$

$$\begin{aligned}
 h &= \text{smaller of } 2.5t \text{ or } 2.5t_n \\
 &= 2.5(0.188) \text{ or } 2.5(0.250)
 \end{aligned}$$

$$h = 0.47$$

$$A_3 = (0.250 - 0)2 \times 0.47 \times 0.686 = 0.161 \text{ sq in.}$$

$A_{41} +$

$$A_{43} = 4 \times 0.5 \times 0.25^2 \times 0.686 = 0.086 \text{ sq in.}$$

$$\text{Area provided by } A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} = 1.15 \text{ sq in.}$$

This is greater than the required area so a reinforcing element is not needed.

Load to be carried by welds [Fig. UG-41.1 sketch (a)]:
Per UG-41(b)(2):

$$\begin{aligned}
 W_{1-1} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{42}) S_v \\
 &= (0.128 + 0 + 0.043 + 0) \times 17,500 \\
 &= 2990 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2t_n t f_{r1}) S_v \qquad \text{A89} \\
 &= [0.128 + 0.161 + 0.086 + 2(0.25 \times 0.188 \\
 &\quad \times 0.686)] \times 17,500 \\
 &= 7690 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

Per UG-41(b)(2):

$$\begin{aligned}
 W &= [A - (d - 2t_n)(E_1 t - Ft_r)] S_v \\
 &= [0.754 - (8.125 - 2 \times 0.25)(1 \times 0.188 \\
 &\quad - 1 \times 0.091)] 17,500 \\
 &= 252 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

Since W is smaller than W_{1-1} and W_{2-2} , W may be used in place of W_{1-1} and W_{2-2} for comparing weld capacity to weld load.

Unit stresses [UW-15(c), UG-45(c)]:

$$\begin{aligned}
 \text{Fillet weld shear} &= 0.49 \times 12,000 \\
 &= 5880 \text{ psi} \\
 \text{Nozzle wall shear} &= 0.7 \times 12,000 \\
 &= 8400 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

Strength of connection elements:

$$\begin{aligned}
 \text{Fillet weld shear} \\
 &= \pi / 2 \times \text{nozzle O.D.} \times \text{weld leg} \times 5880 \\
 &= 1.57 \times 8.625 \times 0.250 \times 5880 \\
 &= 19,000 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

Nozzle wall shear

$$= \pi / 2 \times \text{mean nozzle diam.} \times t_n \times 8400$$

$$\begin{aligned}
 &= 1.57 \times 8.375 \times 0.250 \times 8400 \\
 &= 27,600 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

Check strength paths:

$$\begin{aligned}
 1-1 & 19,900 + 27,600 = 47,500 \text{ lb} \\
 2-2 & 19,900 + 19,900 = 39,800 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

All paths are stronger than the required strength of 252 lb [UG-41(b)(2)].

A89 Example 7

A 4 in. I.D., $\frac{1}{2}$ in. wall "hill-side" nozzle is attached by welding to a cylindrical vessel that has an inside diameter of 30 in. and a shell thickness of $1\frac{1}{2}$ in. The vessel's internal design pressure is 1000 psi at a design temperature of 150°F. The nozzle and shell materials conform to specifications with allowable stresses of 15,000 psi and 13,800 psi, respectively, at the operating temperature. There is no allowance for corrosion. Category A joints (see UW-3) are to be fully radiographed. There are no butt welds in the nozzle and the nozzle does not pass through a shell Category A joint. Check the opening for reinforcement and check the adequacy of the attachment welds shown in Fig. L-7.7.

Wall thickness required:

$$\begin{aligned}
 \text{Shell } t_r &= \frac{PR}{SE - 0.6P} \\
 &= \frac{1000 \times 15}{13,800 \times 1.0 - 0.6 \times 1000} \\
 &= 1.14 \text{ in.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Nozzle } t_m &= \frac{PR_n}{SE - 0.6P} \\
 &= \frac{1000 \times 2}{15,000 \times 1.0 - 0.6 \times 1000} \\
 &= 0.139 \text{ in.}
 \end{aligned}$$

Size of weld required [UW-16(b), Fig. UW-16.1 sketch (a)]

Outward nozzle fillet weld:

$$t_c = \text{smaller of } \frac{1}{4} \text{ in. or } 0.7t_{\min}.$$

$$t_{\min} = \text{smaller of } \frac{3}{4} \text{ in. or thinner of thicknesses joined.}$$

$$= 0.5 \text{ in.}$$

$$0.7 t_{\min} = 0.7 \times 0.5 = 0.35 \text{ in.}$$

$$t_c = 0.25 \text{ in. (minimum throat required)}$$

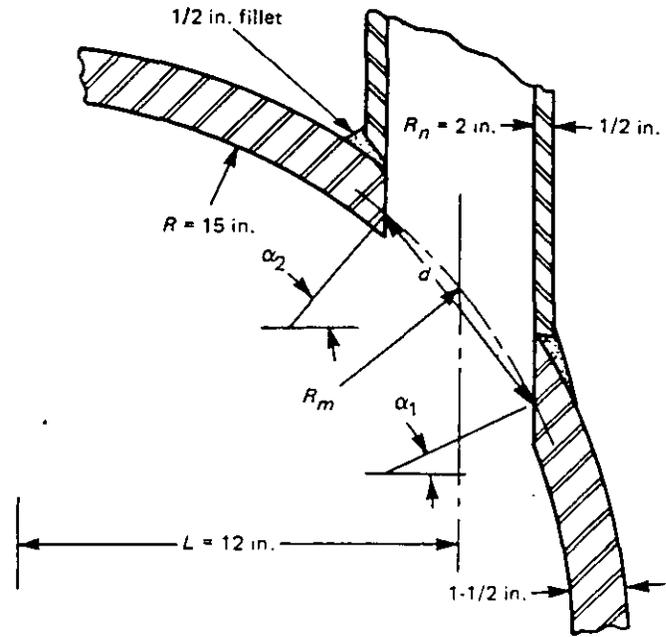


FIG. L-7.7 EXAMPLE OF REINFORCED OPENING

$$\text{weld throat} = 0.7 \times 0.5 = 0.35 \text{ in.}$$

Weld size is satisfactory.

Calculate the strength reduction factor:

$$f_{r1} = 1.0$$

$$f_{r2} = S_n / S_v = 15.0 / 13.8 > 1.0 \quad f_{r2} = 1.0$$

Calculate the opening chord length at midsurface of the required shell thickness as follows:

$$R_m = R + t_r / 2 = 15 + 1.14 / 2 = 15.6 \text{ in.}$$

$$L = 12 \text{ in.}$$

$$\alpha_1 = \cos^{-1} \left(\frac{L + R_n}{R_m} \right)$$

$$= \cos^{-1} \left(\frac{12 + 2}{15.6} \right)$$

$$= 26.0 \text{ deg.}$$

$$\alpha_2 = \cos^{-1} \left(\frac{L - R_n}{R_m} \right)$$

$$= \cos^{-1} \left(\frac{12 - 2}{15.6} \right)$$

$$= 50.0 \text{ deg.}$$

$$\begin{aligned}\alpha &= \alpha_2 - \alpha_1 \\ &= 50.0 - 26.0 \\ &= 24.0 \text{ deg.} \\ d &= 2R_m \sqrt{1 - \cos^2(\alpha/2)} \\ &= 2(15.6) \sqrt{1 - \cos^2(24.0/2)} \\ &= 6.5 \text{ in.}\end{aligned}$$

Per UG-37(b) and Fig. UG-37, $F = 0.5$.

A89 Area of reinforcement required:

$$\begin{aligned}A &= dt_r F + 2t_n t_r F (1 - f_{r1}) \\ &= 6.5 \times 1.14 \times 0.5 + 0 = 3.69 \text{ sq in.}\end{aligned}$$

Area of reinforcement available:

Area available in shell:

$$\begin{aligned}A_1 &= \text{larger of the following} \\ &= d(E_1 t - Ft_r) - 2t_n(E_1 t - Ft_r)(1 - f_{r1}) \\ &= 6.5(1.0 \times 1.5 - 0.5 \times 1.14) - 0 \\ &= 6.06\end{aligned}$$

or

$$\begin{aligned}&= 2(t + t_n)(E_1 t - Ft_r) - 2t_n(E_1 t - Ft_r) \\ &\quad \times (1 - f_{r1}) \\ &= 2(1.5 + 0.5)(1.0 \times 1.5 - 0.5 \\ &\quad \times 1.14) - 0 \\ &= 3.73\end{aligned}$$

6.06 sq in.

Area available in nozzle:

$$\begin{aligned}A_2 &= \text{smaller of following} \\ &= 5(t_n - t_{rn})f_{r2}t \\ &= 5(0.5 - 0.139)(1.0)(1.5) \\ &= 2.71\end{aligned}$$

or

$$\begin{aligned}&= 5(t_n - t_{rn})f_{r2}t_n \\ &= 5(0.5 - 0.139)(1.0)(0.5) \\ &= 0.903\end{aligned}$$

0.903 sq in.

Area available in outward nozzle weld:

$$A_{41} = (\text{leg})^2 f_{r2}$$

$$= (0.5)^2(1.0) = 0.25 \text{ sq in.}$$

Area provided by $A_1 + A_2 + A_{41}$

$$= 6.06 + 0.903 + 0.25 = 7.21 \text{ sq in.}$$

This is greater than the required reinforcing area of 3.69 sq in. Therefore the opening is adequately reinforced in the plane considered.

Load to be carried by welds [UG-41(b) and UW-15(b)]:

Since the nozzle neck abutts the vessel wall and the available reinforcement A_1 in the shell is larger than the required reinforcement, the strength of the attachment welds is adequate. Detail is also exempted from weld strength calculation by UW-15(b).

Since the plane under consideration requires only 50% ($F = 0.5$) of the required reinforcement in the plane parallel to the longitudinal shell axis, the opening may not be adequately reinforced in the other planes. A check for reinforcement in plane parallel to the longitudinal shell axis is needed.

$$d = 4 \text{ in.}$$

$$F = 1.0$$

Area of reinforcement required:

$$\begin{aligned}A &= dt_r F + 2t_n t_r F (1 - f_{r1}) \\ &= 4 \times 1.14 \times 1.0 = 4.54 \text{ sq in.}\end{aligned}$$

Area available in shell:

$$\begin{aligned}A_1 &= \text{larger of following} \\ &= d(E_1 t - Ft_r) - 2t_n(E_1 t - Ft_r)(1 - f_{r1}) \\ &= 4(1.0 \times 1.5 - 1.0 \times 1.14) - 0 \\ &= 1.46\end{aligned}$$

or

$$\begin{aligned}&= 2(t + t_n)(E_1 t - Ft_r) - 2t_n(E_1 t - Ft_r) \\ &\quad \times (1 - f_{r1}) \\ &= 2(1.5 + 0.5)(1.0 \times 1.5 \\ &\quad - 1.0 \times 1.14) - 0 \\ &= 1.46\end{aligned}$$

$$= 1.46$$

1.46 sq in.

Area available in nozzle:

$$A_2 =$$

0.903 sq in.

Area available in outward nozzle weld:

$$A_{41} = \underline{0.25} \text{ sq in.}$$

$$\begin{aligned} \text{Area provided by } A_1 + A_2 + A_{41} \\ = 1.46 + 0.903 + 0.25 = 2.61 \text{ sq in.} \end{aligned}$$

This is less than the required reinforcing area of 4.544 sq in.; therefore, the opening is not adequately reinforced.

The approach of adding a separate reinforcing plate will change the F correction factor from 0.5 to 1.0 for the plane under consideration as shown in Fig. L-7.7. Since the opening is adequately reinforced in that plane, a better approach is to increase the nozzle wall thickness from $\frac{1}{2}$ in. to $\frac{3}{8}$ in. The available reinforcing area becomes 5.2 sq in., which is greater than the required reinforcing area of 4.54 sq in. Therefore, the opening is adequately reinforced in all planes with a $\frac{3}{8}$ in. nozzle wall. Recalculating

$$\begin{aligned} A_1 &= 2(1.5 + 0.875)(1.0 \times 1.5 \\ &\quad - 1.0 \times 1.14) - 0 = 1.73 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_2 &= 5(0.875 - 0.139)0.875 \\ &= 3.22 \text{ in.}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_1 + A_2 + A_{41} \\ = 1.73 + 3.22 + 0.25 = 5.2 \text{ in.}^2 \end{aligned}$$

which is greater than required.

Check outside fillet weld:

$$\begin{aligned} t_{\min} &= \text{smaller of } \frac{3}{4} \text{ in. or } \frac{7}{8} \text{ in.} \\ &= \frac{3}{4} \text{ in.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_c &= \text{smaller of } \frac{1}{4} \text{ in. or } 0.7t_{\min} \\ &= \frac{1}{4} \text{ in. (minimum throat required)} \end{aligned}$$

Weld throat of $0.7 \times 0.5 = 0.35$ in. is satisfactory. Weld strength calculations are not required. See UW-15(b).

LIGAMENTS

L-8 EFFICIENCY OF LIGAMENTS

Example 1

GIVEN: Pitch of tube holes in a cylindrical shell, as shown in Fig. UG-53.1, = $5\frac{1}{4}$ in.; diameter of tube = $3\frac{1}{4}$ in.; diameter of tube holes = $3\frac{9}{32}$ in.

REQUIRED: Efficiency of the ligament.

$$\begin{aligned} \text{SOLUTION: } &= \frac{p - d}{p} = \frac{5.25 - 3.281}{5.25} \\ &= 0.375 \text{ or } 37.5\% \end{aligned}$$

Example 2

GIVEN: Spacing of tube holes in a cylindrical shell as shown in Fig. UG-53.2. Diameter of tube holes = $3\frac{3}{32}$ in.

REQUIRED: Efficiency of the ligament

$$\begin{aligned} \text{SOLUTION: } &= \frac{p - nd}{p} = \frac{12 - 2 \times 3.281}{12} \\ &= 0.453 \text{ or } 45.3\% \end{aligned}$$

Example 3

GIVEN: Spacing of tube holes in a cylindrical shell as shown in Fig. UG-53.3. Diameter of tube holes = $3\frac{3}{32}$ in.

REQUIRED: Efficiency of the ligament

$$\begin{aligned} \text{SOLUTION: } &= \frac{p - nd}{p} = \frac{29.25 - 5 \times 3.281}{29.25} \\ &= 0.439 \text{ or } 43.9\% \end{aligned}$$

Example 4

GIVEN: Diagonal pitch of tube holes in a cylindrical shell, as shown in Fig. UG-53.4 = 6.42 in. Diameter of holes = $4\frac{1}{32}$ in. Longitudinal pitch of tube holes = $11\frac{1}{2}$ in. = $p = p_1$.

REQUIRED: Diagonal ligament efficiency

SOLUTION:

$$\begin{aligned} \text{Longitudinal efficiency} &= \frac{p - d}{p} = \frac{11.5 - 4.031}{11.5} \\ &= 0.649 \text{ or } 64.9\% \end{aligned}$$

$$\frac{p'}{p_1} = \frac{6.42}{11.5} = 0.558$$

From the diagram in Fig. UG-53.5, the efficiency is 33.3%.

Example 5

GIVEN: Diagonal pitch of tube holes = $6\frac{3}{4}$ in.
Diameter of tube holes = $4\frac{1}{4}$ in. Longitudinal pitch

of tube holes = $6\frac{1}{2}$ in. = $p = p_1$.

$$\frac{p'}{p} = \frac{6.547}{6.5} = 1.006$$

$$\begin{aligned} \text{Longitudinal efficiency} &= \frac{p - d}{p} = \frac{6.5 - 4.0156}{6.5} \\ &= 0.3825 \text{ or } 38.25\% \end{aligned}$$

From the diagram in Fig. UG-53.5, it can be seen that the vertical line representing the longitudinal efficiency intersects the p' / p_1 value of 1.006 above the curve representing equal longitudinal and diagonal efficiencies. Thus it can be seen that the longitudinal efficiency is less and is the value to be used.



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

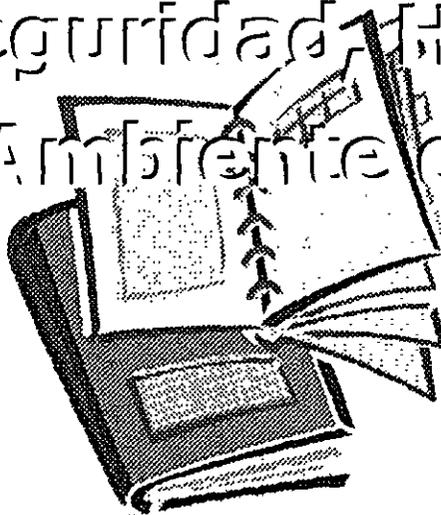
MÓDULO III: DISEÑO DE RECIPIENTES A PRESIÓN, PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS Y VÁLVULAS DE SEGURIDAD.

**TEMA:
REGLAMENTO FEDERAL DE SEGURIDAD, HIGIENE Y
MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO.**

**EXPOSITOR: ING. DANIEL F. RAMIRO
SEDE: PALACIO DE MINERÍA
MARZO- ABRIL: 2003**



Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo



Publicado el 21. de Enero de 1997
(Entró en vigor el 21. de Abril del mismo año)



Unifica diversas disposiciones en materia de seguridad, higiene y medio ambiente laboral

Reglamento de Labores Peligrosas e Insalubres para las Mujeres y Menores

Reglamento de Medidas Preventivas de Accidentes de Trabajo

Reglamento para la Inspección de Generadores de Vapor y Recipientes Sujetos a Presión

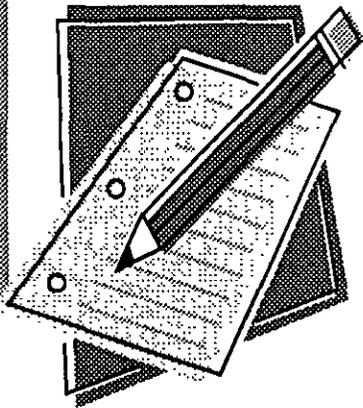
Nuevo Reglamento de Higiene en el Trabajo

Reglamento de Seguridad en el Trabajo de las Minas

Reglamento General de Seguridad e Higiene en el Trabajo

Se reducen
de 1,353
artículos
a 168

Se eliminan 20 trámites administrativos



- Licencias para operadores de montacargas y grúas
- Certificados para fogoneros, operadores de planta
- Autorización, etc.

Innovaciones

- Actividades específicas
- Unidades de Verificación
- Agentes biológicos
- Ergonomía
- Programas de Seguridad e Higiene en el Trabajo





Título Primero

Disposiciones generales y obligaciones de los patrones y trabajadores

Capítulo Primero

Disposiciones Generales

Art. 1º. Observancia del Reglamento

Art. 2º. Definiciones

Art. 3º. La aplicación corresponde a la STPS

Art. 4º. Expedición de Normas en materia de Seguridad e Higiene

Art. 5º. El cumplimiento de estas disposiciones corresponde a los patrones y trabajadores

Art. 6º. Del resultado de los análisis que lleva a cabo la Secretaría, se expedirán normas de acuerdo a la naturaleza de las actividades

Art. 7º. Las Normas que expida la STPS tomarán en cuenta los objetivos y finalidad a cumplir

Art. 8º. El uso de métodos alternativos

Art. 9º. Estudios e investigaciones para actualizar las normas

Art. 10º. Expedición de las autorizaciones en materia de seguridad e higiene

Art. 11º. Cumplimiento de las normas a través de los dictámenes de las Unidades de Verificación



Art. 12°. Programas de asesoría y orientación

Art. 13°. Obligación de los patrones de adoptar las medidas de seguridad e higiene establecidas en este reglamento

Art. 14°. Responsabilidad del patrón de realizar exámenes médicos

Art. 15°. El patrón está obligado a informar acerca de los riesgos a los que se exponen los trabajadores

Art. 16°. Para el trabajo de explotación de minerales, el patrón deberá realizar un estudio antes del inicio de las actividades de extracción

Capítulo Segundo

Obligaciones de los patrones

Artículo 17

- 
- ☀ Cumplir con este Reglamento y las Normas
 - ☀ Permitir la inspección
 - ☀ Capacitar a los trabajadores

Capítulo Tercero

Obligaciones de los trabajadores

Artículo 18

- Observar las medidas de **seguridad**
- Participar en la integración de la Comisión de Seguridad e Higiene
- Someterse a los **exámenes médicos**
- Usar el equipo proporcionado



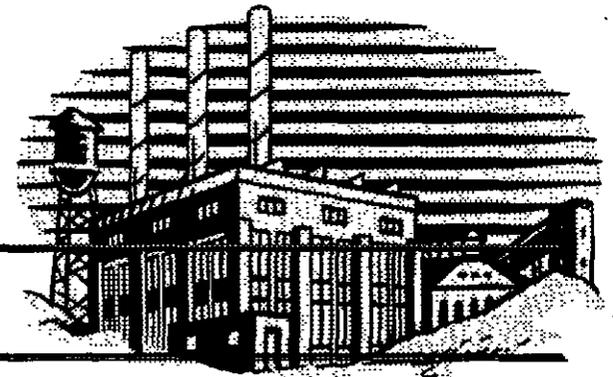
Título Segundo

Condiciones de Seguridad

Capítulo Primero

Edificios y locales

Art. 19 al 25



Establecen los requisitos con que deben cumplir los edificios, locales y áreas en los centros de trabajo

(cuenten con drenajes, delimitar pasillos de tránsito peatonal y vehicular).

Capítulo Segundo

Prevención, protección y combate contra incendios

Art. 26 al 28



Establecen las medidas de seguridad para prevenir y combatir un incendio. De acuerdo al grado de riesgo de incendio en el centro de trabajo.

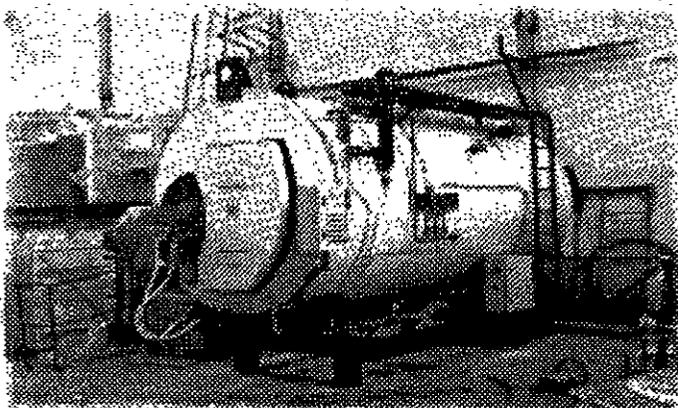
Capítulo Tercero

Del equipo, maquinaria, recipientes sujetos a presión
y generadores de vapor o calderas

Sección I.

Funcionamiento de los Recipientes Sujetos a Presión y los
Generadores de Vapor o Calderas

Art. 29 al 34.



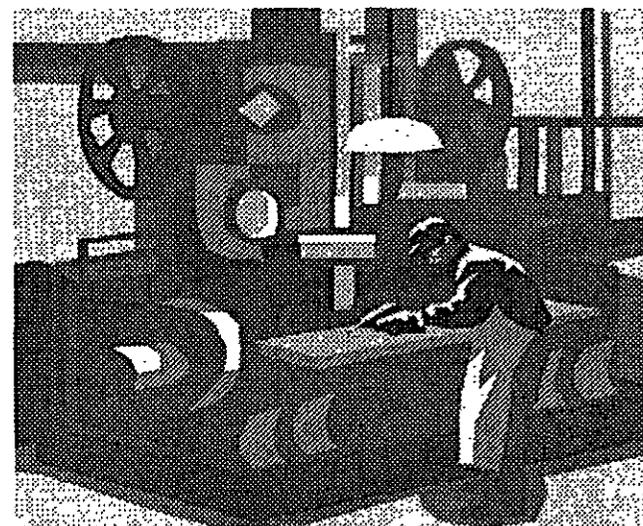
Establece los requisitos y procedimientos para la autorización de los Recipientes Sujetos a Presión y Generadores de Vapor.

Sección II.

Operación y mantenimiento de maquinaria y equipo

Art. 35 al 39

Establece los requisitos para el mantenimiento seguro de la maquinaria y equipo, capacitación a los trabajadores que realicen estas actividades, establecimiento de programas de mantenimiento, así como los dispositivos de paro automático

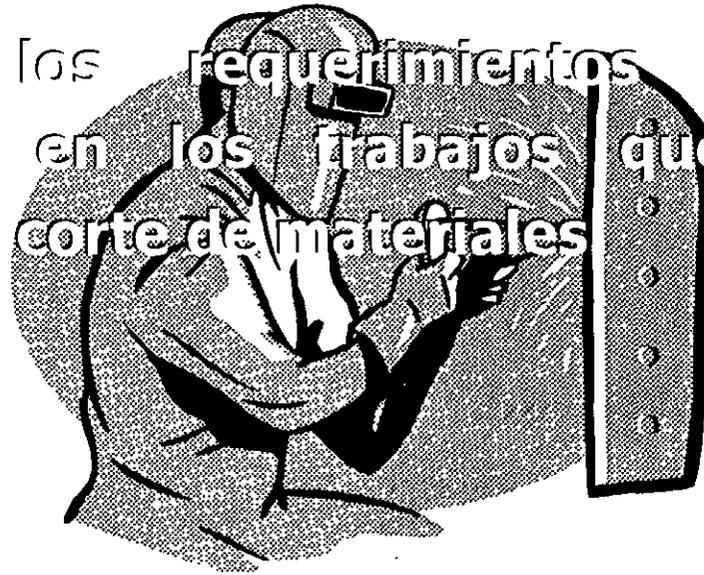


Sección III.

Equipos para soldar y cortar

Art. 40 al 46

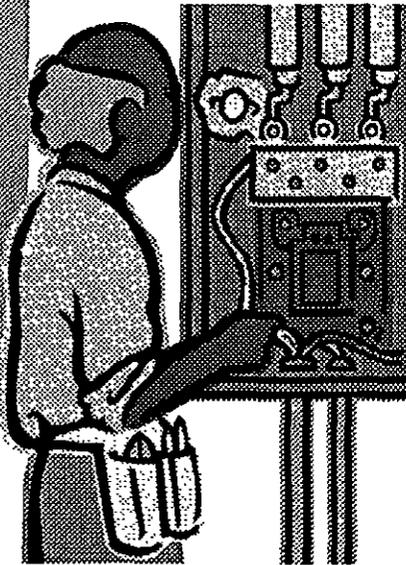
Establece los requerimientos que deben observarse en los trabajos que involucren soldadura o corte de materiales



Capítulo Cuarto

Art. 47 al 51.

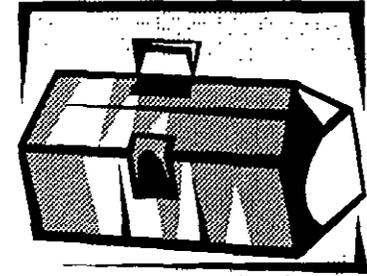
Instalaciones eléctricas



Menciona los requerimientos de seguridad que se deben observar en las instalaciones eléctricas como estar identificados, y aislados de las áreas que puedan representar peligro de incendio o explosión

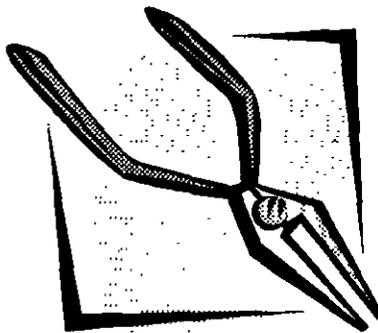
Capítulo Quinto

Art. 52 y 53



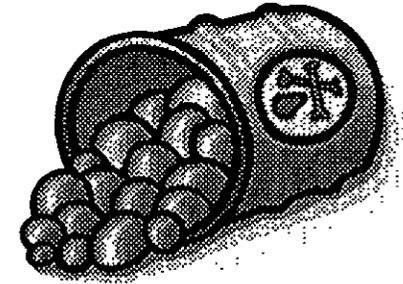
De las herramientas

Verificar su mantenimiento y funcionamiento, forma de transportarlas y proporcionar instrucciones por escrito para su utilización



Capítulo Sexto

Art. 54 y 75



Manejo, transporte y almacenamiento de materiales en general, materiales y sustancias químicas peligrosas

Establece los requerimientos de seguridad para el manejo, transporte y almacenamiento de materiales y sustancias químicas peligrosas.

Entre las medidas de seguridad se encuentran:

- Señalizar las áreas
- Trabajos en espacios confinados
- Relación del personal que maneja sustancias peligrosas
- Manejo de sustancias radioactivas

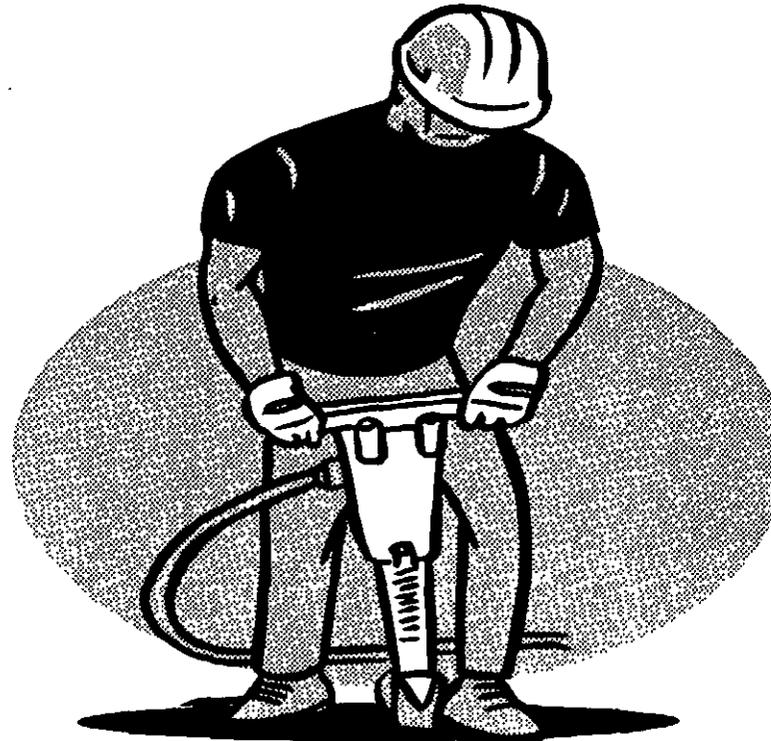


Título Tercero

Condiciones de higiene

Capítulo Primero

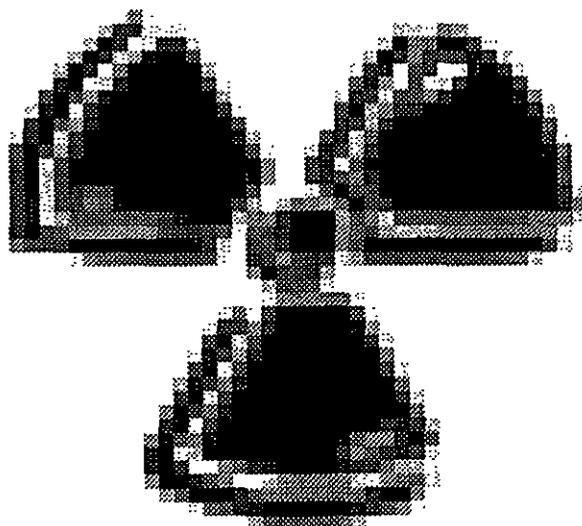
Ruido y vibraciones *(art. 19 al 25)*



Capítulo Segundo

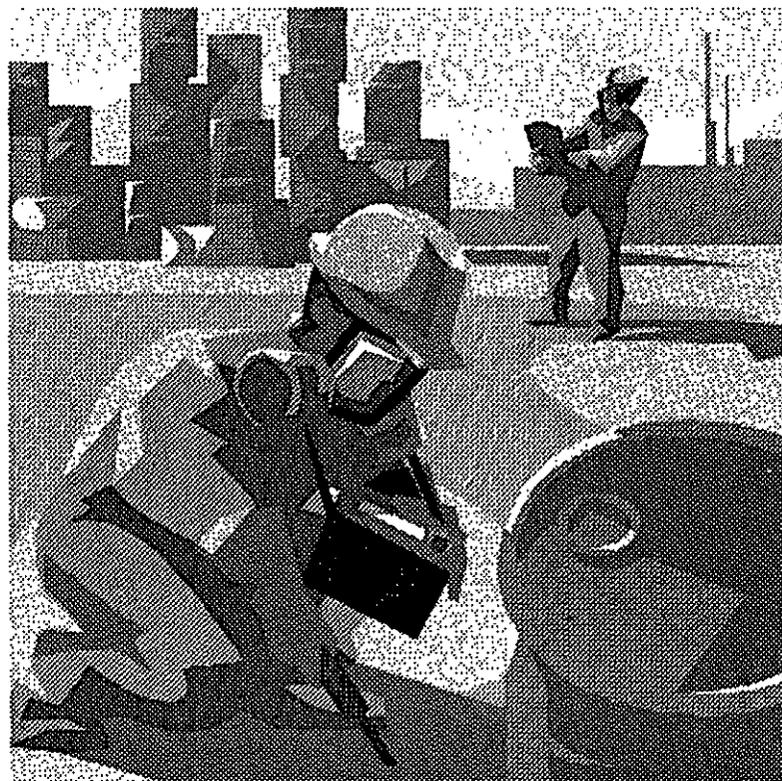
Radiaciones ionizantes

(art. 79 al 81)



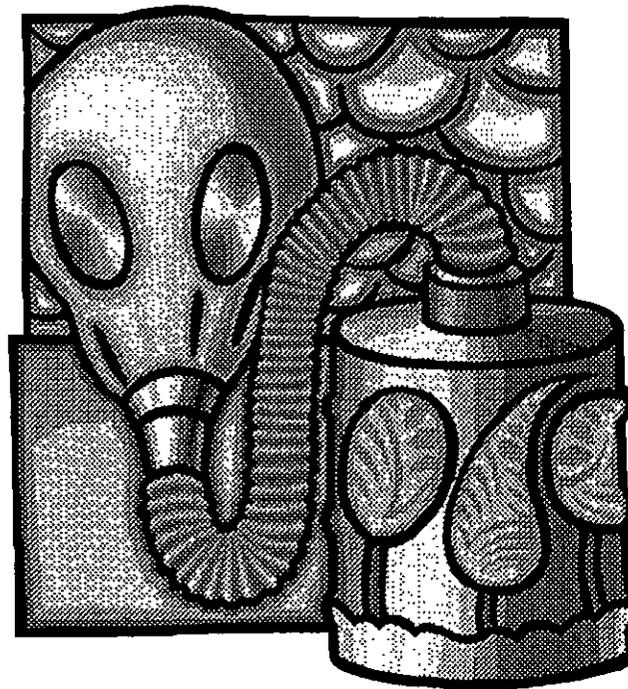
Capítulo Tercero

Sustancias químicas contaminantes
(art. 82 al 84)



Capítulo Cuarto

Agentes contaminantes biológicos
(art. 85 al 89)



Capítulo Quinto

Presiones ambientales anormales
(art. 90 al 92)



Capítulo Sexto

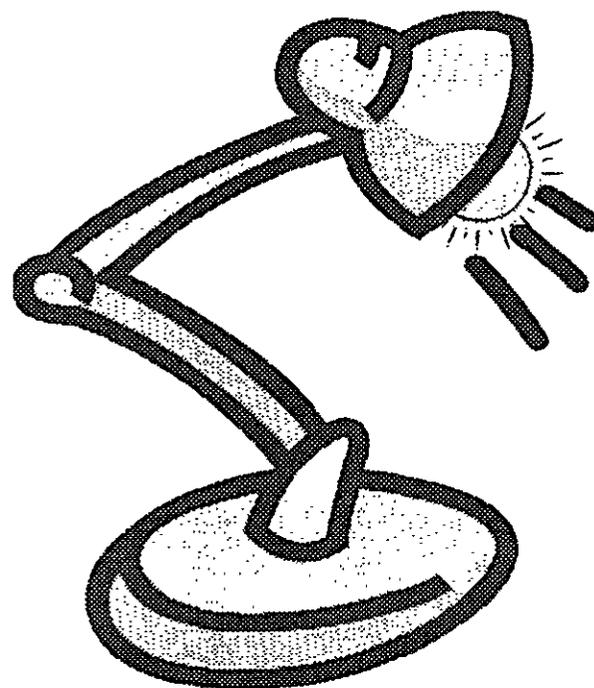
Condiciones térmicas del medio ambiente de trabajo

(art. 93 y 94)



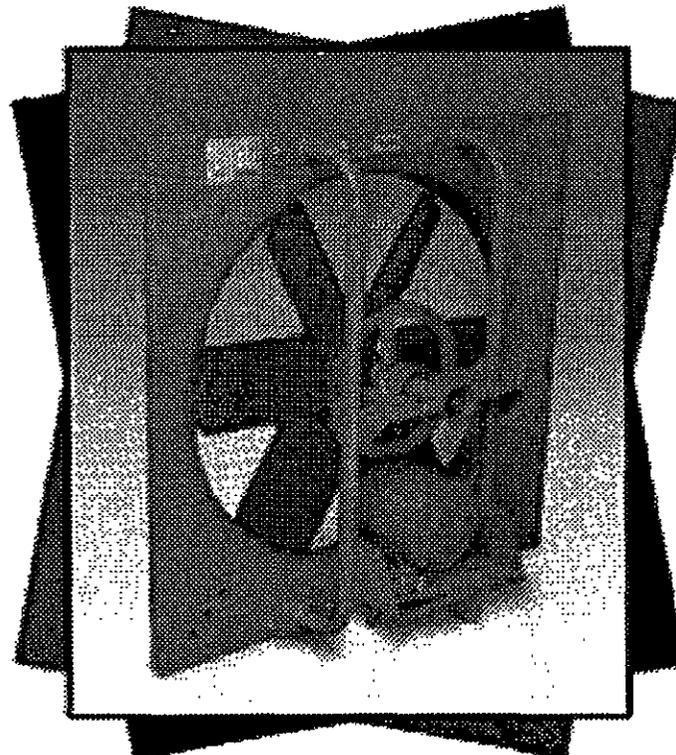
Capítol Séptim

Iluminación
(art. 95 al 98)



Capítulo Octavo

Ventilación
(art. 99 y 100)



En los 8 capítulos anteriores se establecen como obligaciones principales



La cuantificación del contaminante en el medio ambiente de trabajo

En caso de rebasar los límites máximos permisibles de exposición, elaborar un programa de control

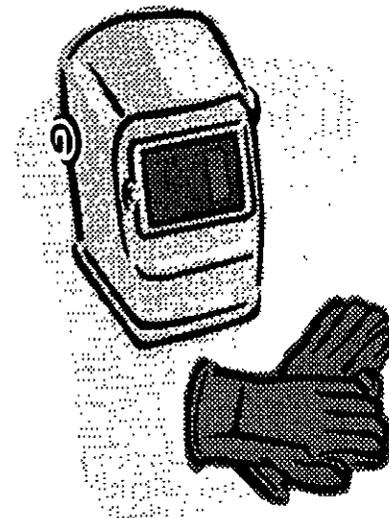
Practicar exámenes médicos a los trabajadores expuestos

Capítulo Noveno

Art. 101.

Equipos de protección personal

Proporcionar equipo de protección a los trabajadores expuestos, de acuerdo a los riesgos inherentes a sus labores

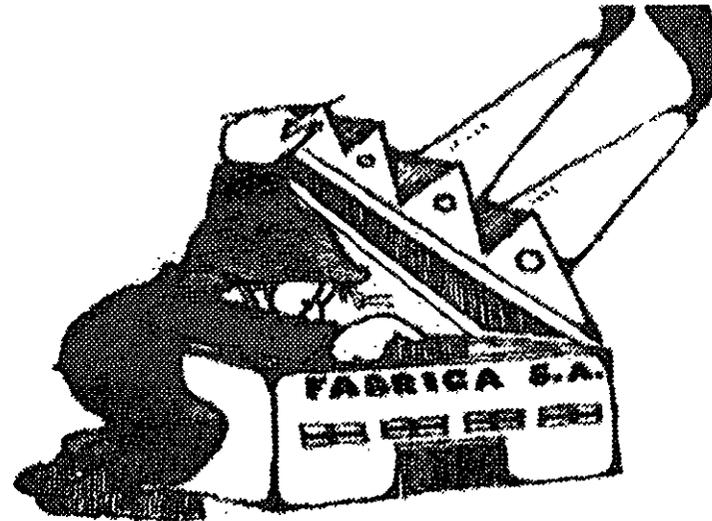


Capítulo Décimo

Art. 102

Ergonomía

Promoción de la ergonomía en los centros de trabajo

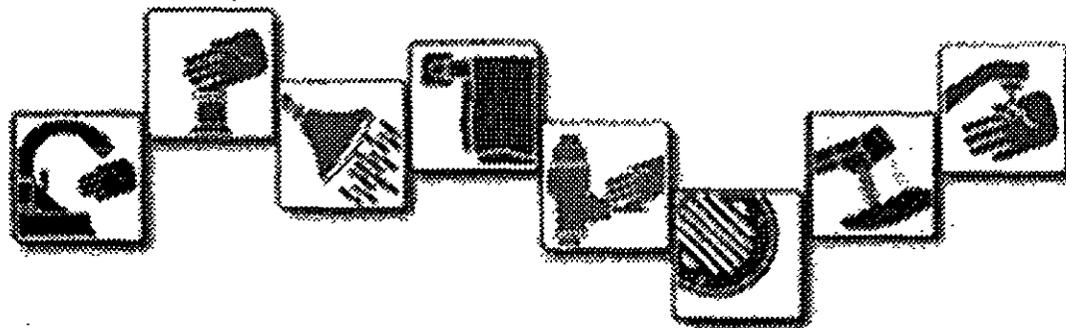


Capítulo Décimo Primero

Art. 103 al 106

Servicios para el personal

Establece la obligación del patrón en proporcionar a los trabajadores, según la naturaleza de sus actividades los servicios de vestidores, casilleros, lugares para toma de alimentos y servicios sanitarios

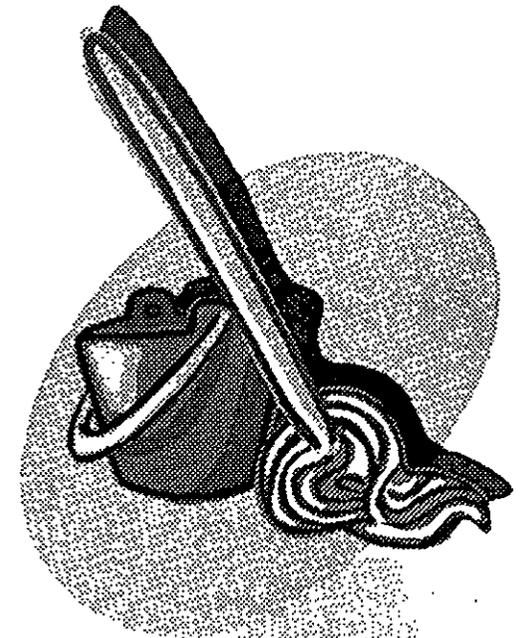


Capítulo Décimo Segundo

Art. 1.07 al 1.10

Del orden y la limpieza

Establece los requisitos que se deben observar en las áreas de trabajo respecto a la limpieza que debe prevalecer en las mismas



Título Cuarto

Organización de la Seguridad e Higiene en el Trabajo

Art. 1.11.
al 1.22

Establecen las características para la integración y funcionamiento de las Comisiones Consultivas Nacionales, Estatales y del Distrito Federal

Secciones I. y II.

Sección III.

Comisiones de Seguridad e Higiene en los centros de trabajo

Art. 1.23 al 1.26

Menciona los requisitos para la integración y funcionamiento de las Comisiones de Seguridad e Higiene, en los centros de trabajo



Capítulo Tercero

Avisos y estadísticas de accidentes y enfermedades de trabajo

Art. 127
al 129



Establece la obligación del patrón de dar aviso a la Secretaría cuando ocurra un accidente o enfermedad en el centro de trabajo

Además, obliga a la Secretaría a llevar una estadística nacional sobre los accidentes y enfermedades de trabajo

Capítulo Cuarto

Programas de Seguridad e Higiene

Art. 130
al 134.



Obligación del patrón de llevar a cabo un programa de seguridad e higiene o relación de medidas, de acuerdo al número de trabajadores que laboran en el centro de trabajo

Así como, difundir y capacitar a los trabajadores en la aplicación del programa o relación de medidas

Capítulo Quinto

Capacitación

Art. 135
al 141.

Establece la obligación en capacitar a sus trabajadores sobre la manera segura de llevar a cabo sus actividades, principalmente a los que se exponen al manejo de sustancias peligrosas y a los que manejen grúas, montacargas y equipos, cuya operación pueda dañar a los trabajadores o al centro de trabajo

Capítulo Sexto

Servicios preventivos de medicina del trabajo

Art. 142
al 149

Establece los requisitos que debe observar el patrón para prestar los servicios de medicina del trabajo, ya sea interna o externa



Capítulo Séptimo

Servicios preventivos de seguridad e higiene



Establece los requerimientos y las actividades a desarrollar por los encargados de los servicios preventivos de seguridad e higiene en el trabajo, así como la obligación del patrón de capacitar a los responsables de dichos servicios, cuando estos se presten de forma interna

Título Quinto

De la protección del trabajo de menores y de las mujeres en período de gestación y lactancia



Capítulo Primero

Trabajo de mujeres gestantes y en período de lactancia

Art. 153
al
157

Establece las restricciones para el trabajo de mujeres en período de gestación o lactancia, con la finalidad de proteger al producto de la concepción



Capítulo Segundo

Del trabajo de menores

Art. 1.58
al
1.60

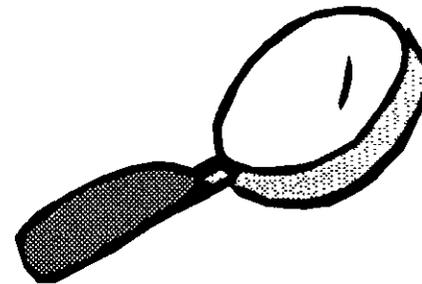
Menciona las actividades en donde queda prohibido el trabajo de mayores de 14 y menores de 18 años



Título Sexto

Vigilancia, Inspección y Sanciones Administrativas

Art. 1.61.
al 1.68



Establece a cargo de quién estará la vigilancia, la inspección y sanciones a que se hará acreedor el patrón en caso de incumplir las disposiciones de este Reglamento

Gracias por su
atención



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

MÓDULO III: DISEÑO DE RECIPIENTES A PRESIÓN, PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS Y VÁLVULAS DE SEGURIDAD.

**TEMA:
REGLAMENTO FEDERAL DE SEGURIDAD, HIGIENE Y
MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO.
“ANEXO”**

**EXPOSITOR: ING. DANIEL F. RAMIRO
SEDE: PALACIO DE MINERÍA
MARZO- ABRIL: 2003**

NOM-020-STPS-2002

Antecedentes

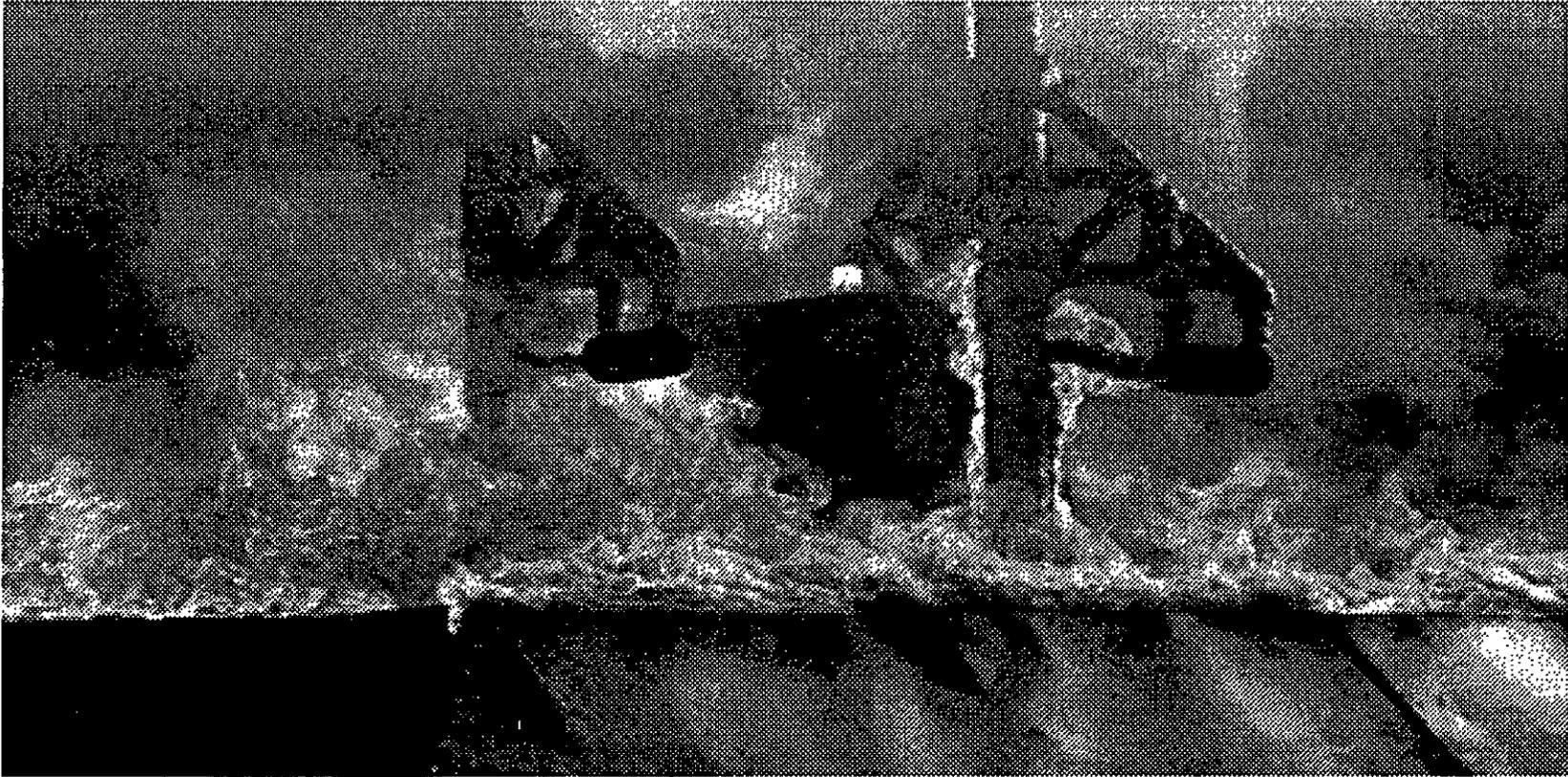
Se publicó como proyecto de modificación de la NOM-122-STPS-1996 el 4 de mayo del 2001.

El 7 de junio del 2002 se publicaron las respuestas a los comentarios vertidos por diversos promoventes interesados en la Norma.

Finalmente, el 28 de agosto del 2002 se publicó la NOM-020-STPS-2002.

Entrando en vigor el 27 de octubre del 2002.

Objetivo

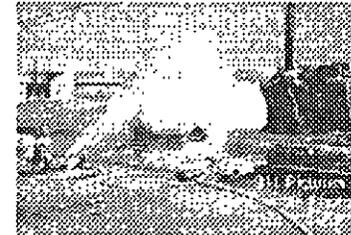


Campo de Aplicación

Excepciones

**R.S.P.
y
Calderas**

Exceptuados del cumplimiento de esta norma.



Que no requieren de autorización de funcionamiento.



Que requieren de autorización de funcionamiento.



STPS STPS

STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS

STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS STPS

Obligaciones del patrón

Contar con un listado de todos los equipos instalados.

Contar con personal capacitado.

Demostrar la seguridad de los equipos y de sus dispositivos.

Notificar la baja de los equipos.

STPS is a registered trademark of the U.S. Department of Labor, Bureau of Labor Statistics.

Obligaciones de los trabajadores



Participar en la capacitación.

Operar, revisar y dar mantenimiento.

Notificar anomalías y condiciones inseguras.

Procedimiento para obtener la autorización de Funcionamiento

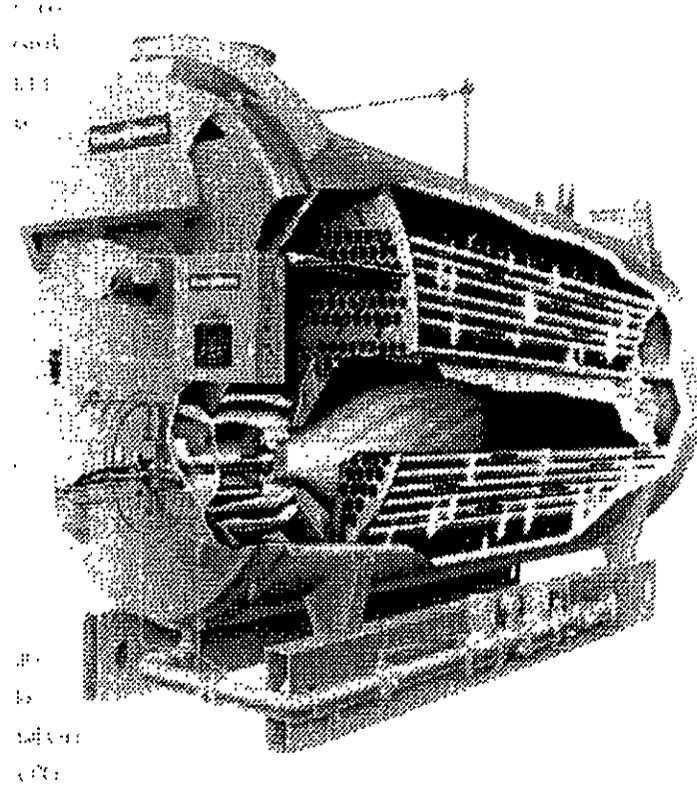
Participación STPS	Participación UV
Presenta Solicitud (FN020)	Presenta aviso (FN020)
Anexa croquis de ubicación	Adjunta dictamen de la UV
La STPS otorga número de autorización provisional	La STPS otorga número de control definitivo
Realiza la visita	
Si es satisfactoria otorga número de control	

Tipos de Inspección

Inicial

Extraordinaria

Comprobación



Resultados no satisfactorios durante la inspección

ATENCION

EQUIPO NO AUTORIZADO PARA SU FUNCIONAMIENTO

Secretaría del Trabajo y Previsión Social

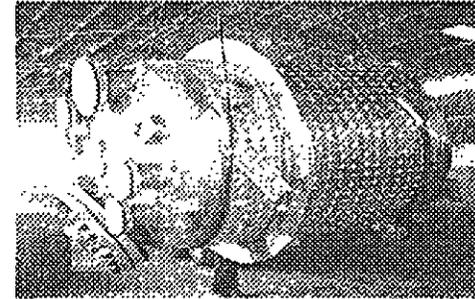
Delegación Federal del Trabajo en el Estado de _____

La operación del presente equipo queda bajo la exclusiva responsabilidad del patrón. La Secretaría no autoriza su funcionamiento. Esta medida se toma de acuerdo al acta No. _____ de fecha _____ con fundamento en los artículos 32 y 34 del Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo.

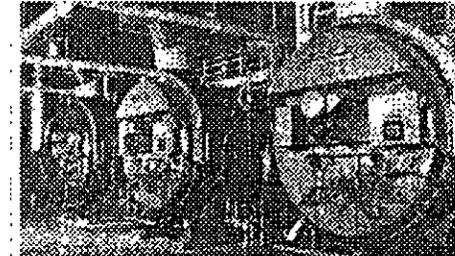
Unidades de Verificación

Tipo de Dictámenes

Por equipo



Por conjunto de equipos



Por todos los equipos instalados en el centro de trabajo



