

**INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA
VICERRECTORIA DE DOCENCIA**

**ESCUELA DE CIENCIA E ING. DE LOS MATERIALES
PRACTICA DE ESPECIALIDAD**

**DISEÑO, E INSPECCION DE RECIPIENTES A PRESION Y
FICHA TÉCNICA**

VERNON JIMÉNEZ FONSECA

CARTAGO

21 DE NOVIEMBRE DEL 2001

TRIBUNAL

Firma

Handwritten signature of José Luis DeBriones B. in black ink, featuring a stylized 'J' and 'L' followed by 'DeBriones B.' and a horizontal flourish.

Ing. José L. DeBriones B.

Profesor Guía

Handwritten signature of Jorge D. Muñoz A. in black ink, featuring a stylized 'J' and 'M' followed by 'A.' and a horizontal flourish.

Ing. Jorge D. Muñoz A.

Handwritten signature of Guido Hernández M. in black ink, featuring a stylized 'G' and 'H' followed by 'M.' and a horizontal flourish.

Ing. Guido Hernández M.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a DIOS todopoderoso por ayudarme a concluir con éxito mis estudios en el tecnológico. También quiero agradecer a todas las personas que de un modo u otro contribuyeron a la realización de este trabajo.

Puntualmente agradezco por su valiosa instrucción a todos los Profesores del Departamento de Ciencia e Ing. De los Materiales, en especial al Ing. Jorge Muños Araya y al Ing. José Luis DeBriones Botella, quienes guiaron mi proyecto y aconsejaron oportunamente cuando fue necesario.

A mi amigo y compañero Herberth Fernando Madrigal, le agradezco mucho por las traspasadas en la realización del software de diseño, el cual fue todo un éxito. *Espero que duerma bien "Yogurto"*.

A mis compañeros de carrera que siempre estuvieron atentos con mi proyecto y siempre me incentivaron, muchas gracias muchachos, espero topármelos en nuestra futura vida profesional.

A mi novia Graciela Solano le agradezco por todos los favores y mandados en los cuales me ayudó, y por tenerme tanta paciencia en el transcurso de mi tesis. *Gracias Chelita*.

A mi papá por todos los consejos que durante toda la vida me dió y que fueron determinantes en mi periodo de practica de especialidad.

Al personal de la empresa SARET Metalmecánica, en especial a Don Rolando Dulzaides, Cesar Carcache y Evelyn Fun, por su ayuda y consejos.

Todo aquel que se me quedó por fuera quiero que sepa que igual le agradezco mucho.

INTRODUCCIÓN

Dada la importancia de contar con sistema que permita la obtención de diseños de recipientes a presión es que se presenta este trabajo, con el fin que se convierta en una herramienta útil para el ingeniero a cargo del diseño de estos aparatos.

Asimismo se toma en cuenta la necesidad de realizar la inspección de los recipientes, por ello, es que se desarrollaran los procedimientos necesarios para la inspección de los recipientes fabricados.

Encontraremos aquí los procedimientos o técnicas necesarias, para la obtención, del diseño de recipientes a presión que contienen Gas Licuado de Petróleo, LPG, y su posterior inspección por ensayos no destructivos.

Para la comprensión de este proyecto se añadirá manuales de procedimiento, tablas de fabricantes, reportes de ensayos no destructivos, normas y otros documentos que se utilicen durante el desarrollo del mismo.

INDICE DE CONTENIDOS

I.	MARCO DE REFERENCIA	1
A.	DEFINICIONES INTRODUCTORIAS	17
B.	DISEÑO	19
C.	FACTOR DE SEGURIDAD	20
D.	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.	21
E.	ESFUERZOS EN RECIPIENTES A PRESIÓN	22
F.	RECIPIENTES A PRESIÓN	23
G.	CIRCULO DE MOHR	27
H.	ESFUERZOS EN RECIPIENTES HORIZONTALES GRANDES	30
I.	ASPECTOS A TOMAR EN CUENTA EN EL DISEÑO DE RECIPIENTES	32
J.	SOLDADURA DE RECIPIENTES SOMETIDOS A PRESIÓN	33
K.	FÓRMULAS PARA EL DISEÑO DE RECIPIENTES A PRESIÓN	37
L.	CLASIFICACIÓN DE ESPESORES EN RECIPIENTES A PRESIÓN	39
M.	CLASIFICACIÓN DE PRESIONES EN RECIPIENTES A PRESIÓN	40
N.	PESO TOTAL DEL RECIPIENTE	42
O.	VOLUMEN DE LA CAPACIDAD DE AGUA EN EL RECIPIENTE	44
P.	FÓRMULA DE ENTRADA	45
Q.	CARGA EN UNA DE LAS SILLETAS	45
R.	FÓRMULAS DE ESFUERZOS EN RECIPIENTES CON DOS SILLETAS	45
S.	DISEÑO DE SILLETAS	53
T.	EXPANSIÓN Y CONTRACCIÓN DE RECIPIENTES HORIZONTALES	59
U.	DISEÑO DE REGISTROS	60
V.	BOQUILLAS DE CONEXIÓN.	63
W.	ESPEJOR REQUERIDO DE PARED DE TUBERÍA .	65
V.	ACCESORIOS PARA IZAJE	66

W.	PINTURA APLICADA PARA SUPERFICIES DE ACERO	70
X.	CALCULO DE LONGITUD DE SOLDADURA	76
III.	RESULTADOS OBTENIDOS	77
	EJEMPLO DE DISEÑO DE UN RECIPIENTE A PRESIÓN	77
IV.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	100
V.	CONCLUSIONES PRIMERA PARTE	114
VI.	RECOMENDACIONES PRIMERA PARTE	117
VII.	SEGUNDA PARTE, INSPECCIÓN DE RECIPIENTES	118
A.	INSPECCION	
	VISUAL	13421
B.	INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO	123
C.	INSPECCION RADIOGRAFICA	130
D.	PRUEBA HIDROSTATICA	135
E.	INSPECCIÓN CON LÍQUIDOS PENETRANTES	142
VIII.	RESULTADOS OBTENIDOS REPORTE DE LOS ENSAYOS	151
A.	REPORTE INSPECCIÓN ULTRASONICA	153
B.	REPORTE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES	155
C.	REPORTE INSPECCIÓN VISUAL	159
D.	REPORTE MEDICION DE ESPESORES	163
E.	REPORTE PRUEBA HIDROSTATICA	166
IX.	ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS POR END	169
X.	CONCLUSIONES SEGUNDA PARTE	177
XI.	RECOMENDACIONES SEGUNDA PARTE	178
XII	TERCERA PARTE FICHA TÉCNICA PARA RECIPIENTES NUEVO	179

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Esfuerzo circunferencial y longitudinal	24
Fig.2 Esfuerzo circunferencial	25
Fig. 3 Esfuerzo longitudinal	26
Fig.4 Círculos de Mohr, característico de un recipiente a presión horizontal	29
Fig. 5 Esquema de esfuerzos de un recipiente a partir del circulo de Mohr	29
Fig.6 Circulo de Mohr en tres dimensiones para un recipiente horizontal	30
Fig. 7 Tipo de soldaduras en recipientes a presión	34
Fig. 8 Ubicación de los diferentes tipos de juntas	36
Fig. 9 Casco, y sus medidas internas	38
Fig. 10 Cabeza elipsoidal y sus medidas internas	38
Fig. 11 Cabeza elipsoidal y sus medidas internas	39
Fig. 12 Cabeza elipsoidal y sus medidas externas	39
Fig. 13 Detalles de medidas en recipients horizontales	46
Fig. 14 Silleta de un recipiente Horizontal	54
Fig. 15 Silleta y su área efectiva	55
Fig. 16 Placa de desgaste de la silleta	56
Fig. 17 Medidas de la placa de desgaste	56
Fig. 18 Alma de la silleta	57
Fig. 19 Medidas del alma de la silleta	57
Fig.20 Placas laterales	58
Fig. 21 Esquema de calculo de la altura de la silleta “Z”	58
Fig. 22 Placa de la base de la silleta	59

Fig. 23 Medidas de la placa base de la silleta	59
Fig. 24 Corte transversal de un registro	61
Fig. 25 Detalle de las medidas de un tubo de registro	62
Fig. 26 Detalle del área de la placa de refuerzo del registro	63
Fig. 27 Partes del registro, y soldaduras en su sección transversal, tubo y bridas.	64
Fig. 28 Distintas formas de soldar un cople completo	65
Fig. 29 Medio cople	65
Fig. 30 Detalle de la soldadura de filete para la oreja de izaje	67
Fig. 31 Soldadura transversal a la fuerza	68
Fig. 32 Detalle de la oreja de izaje, y dimensiones	70
Fig.33 Detalle del radio y diámetro interno de la oreja de izaje	70
Fig. 34 Ejemplo de diseño Circulo de Mohr	86
Fig. 35 Ejemplo de diseño, esfuerzos obtenidos del circulo de Mohr	87
Fig. 36 Ejemplo de diseño, Círculo de Mohr	87
Fig. 37 Ejemplo, dimensiones placa de desgaste	93
Fig. 38 Ejemplo, dimensiones, alma de la silleta	94
Fig. 39 Dimensiones, placa laterales	94
Fig. 40 Dimensione, placa de base	95
Fig. 41 Dimensiones, tapa de brida, establecidas por ASME	95
Fig. 42 Dimensiones de la Brida, establecidas por ASME	96
Fig. 43 Dimensiones del tubo del registro y placa de refuerzo	96
Fig. 44 dimensiones del medio cople roscado	97
Fig. 45 detalle del desarrollo del casco cilíndrico y las láminas a utilizar para construirlo	98

Fig. 46 Dimensiones de las virolas del recipiente a construir	99
Fig. 47 Dimensiones de la oreja de izaje diseñada	101
Fig. 48 Esquema de discontinuidades encontradas en el examen ultrasónico	157
Fig. 49 Discontinuidad C	157
Fig 50 Discontinuidad B y C	157
Fig 51 Discontinuidad D	157
Fig. 52 Discontinuidad A	157
Fig. 53 Tipo de remoción de pintura	157
Fig. 54 Tipo de marcas en las discontinuidades	157
Fig. 55 Esquema del examen de líquidos penetrantes, vista frontal	158
Fig. 56 Poros encontrados en V7 V8 V9	158
Fig. 57 Poro en V6	158
Fig 58 Detalle de V9	158
Fig. 59 Detalle de V8	158
Fig. 59 Detalle de V8	158
Fig. 61 Detalle de V1	158
Fig. 62Detalle de Rasgadura lateral	160
Fig. 63 Detalle de Rasgadura lateral	160
Fig. 64 Placa del recipiente	161
Fig 65 Detalle de la técnica de carboncillo para obtener datos de placa borrosos	161
Fig. 66 Esquema de examen de medición de espesores por ultrasonido	164

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades Químicas del propano	6
Tabla 2 Aplicaciones de los ensayos no destructivos.	13
Tabla 3, Aplicación de los métodos	14
Tabla 4, Materiales más comunes en recipientes a presión y sus características	22
Tabla 5, Espesor de lámina de refuerzo para cada espesor nominal de placa	36
Tabla 6, Espesor de placa y tamaño mínimo de soldadura	68
Tabla7, Medidas de la oreja de izaje	69
Tabla 8 Rugosidad de superficie y aumento de área	73
Tabla 9, Factor de eficiencia para cada condición aplicación de pintura	75
Tabla 10, Datos del examen de medición de espesores	165
Tabla 11, Tiempo y presión durante la prueba hidráulica	168
Tabla 12, Ficha técnica de recipientes	182

RESUMEN

En la necesidad de fabricar recipientes a presión, la empresa SARET METALMECÁNICA, se dio a la tarea de implementar un proyecto que le permita realizar esta actividad, asegurando la calidad y eficiencia del producto.

Para lograr el desarrollo de este proyecto es necesario realizarlo por **etapas**, cada una de ellas tiene la misma importancia y de igual forma influirán en el buen desempeño que realice el recipiente en condiciones de trabajo.

Diseño del recipiente, es la primera de las etapas, aquí debe incluirse la selección de materiales, el cálculo de los requerimientos técnicos del recipiente, planos del proyecto, y las normas aplicables para cada caso.

Fabricación en donde el corte, armado, soldadura, inspección por ensayos no destructivos, limpieza abrasiva de la superficie metálica y pintura..

Inspección o control de calidad, se realiza en todas la etapas de fabricación tomando como base los procedimientos del manual de Garantía y Calidad de la empresa. Además, se utilizarán los reportes de las pruebas realizadas, para después hacer la evaluación del componente garantizando que el producto salga con la calidad requerida.

Inspección durante servicio, esta sección es la referida a las inspecciones que deberán hacerse, al recipiente que esta en funcionamiento, deberán ejecutarse cada cierto tiempo según reglamento del MINAE, y se realizará mediante ensayos no destructivos.

OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

a) Implementar un sistema que permita el diseño, inspección y seguimiento de los recipientes horizontales a presión que contienen Gas Licuado de Petróleo.

B. OBJETIVOS ESPECIFICOS

a) Realizar un sistema que permita la obtención del diseño de un recipiente a presión para contener Gas Licuado de Petróleo, y que se adecue a las necesidades del cliente.

b) Implementar manuales de procedimiento necesarios para la inspección de los recipientes a presión.

c) Elaborar una ficha técnica para el seguimiento de los recipientes fabricados en la empresa SARET METALMECÁNICA.

I. MARCO DE REFERENCIA

A. ANTECEDENTES

SARET METALMECÁNICA, empresa líder en la fabricación y montaje de estructuras, tanques, calderería y tuberías a presión entre otros, se ha caracterizado por querer trabajar siempre de la mano de la calidad, con lo que ha contribuido enormemente con el desarrollo del país.

Teniendo en cuenta que SARET METALMECANIA, posee la planta más grande de la región y con la mayor capacidad productiva del sector metalmeccánico nacional, hace que esta empresa logre desarrollar sus proyectos en el menor tiempo posible, y con la más alta calidad.

Como toda empresa a la vanguardia en el procesamiento del acero, SARET METALMECANICA, se dispone a ampliar sus productos y servicios, y uno de esos son los recipientes a presión, ya que nuestro país y los mercados internacionales representan potenciales clientes en este tipo de equipos.

Además pensando en la economía del país es que surge la idea de fabricar en Costa Rica los recipientes a presión, ya que así, se asegura un precio competitivo en el mercado nacional y el país se ve beneficiado al poseer personal calificado para este tipo de obras.

Tenemos entonces la necesidad y la capacidad, que es lo justo para iniciar con un nuevo reto, que sin duda traerá enormes beneficios a los involucrados.

Se presenta entonces la justificación de este proyecto y el motivo de su realización.

B. APLICABILIDAD

El desarrollo de recipientes a presión en nuestro país, tiene una gran importancia, por que progresaría el área de producción de la empresa SARET METALMECÁNICA, las empresas nacionales como por ejemplo TROPIGAS, podría comprar estos recipientes en el territorio nacional, contribuiría a la formación profesional de ingenieros en lo referente a construcción y diseño de recipientes a presión y ayudaría al resto de las empresas del país que tienen recipientes a presión y deben obtener su ficha técnica.

La empresa SARET METALMECÁNICA, sin duda es la principal beneficiada con este proyecto, por que con él, podría abarcar un nuevo ámbito de futuros clientes, además aumentaría sus márgenes de producción, al tener un nuevo producto a la venta, y además se consolidaría como la única empresa en Costa Rica con la capacidad profesional y en maquinaria para la fabricación de recipientes a presión. Con todo esto se fortalecería su parte financiera y profesional.

Otro tipo de ventaja que se tendría, será la formación de profesionales en este campo, ya que en todas las etapas del proyecto se requiere una minuciosa investigación y cautela, para asegurar la calidad del mismo. Con esto no solo se beneficia el profesional participante del proyecto, sino que también lo hace nuestro país, al recibir una nueva tendencia de ingeniería.

Pero la importancia de este plan, va más allá, pues recientemente, el presidente de la República Miguel Ángel Rodríguez y sus ministros del Ambiente y Energía y de Salud, decretaron, el Reglamento para el Diseño, Construcción y Operación de Plantas de Almacenamiento y Envasado para LPG; publicado el 18 de mayo del 2000 en el periódico oficial La Gaceta, (Nº 95 Alcance Nº 32), y con esto se da un tiempo de gracia de un año, para que las empresas que operan en alguna forma con este tipo de recipientes obtenga la ficha técnica del mismo, para poder seguir teniendo en operación su recipiente de LPG, tomando cuenta lo anterior, la empresa SARET METALMECÁNICA, podrá brindar el servicio de inspección a los recipientes LPG del país, para que las empresas donde éstos operan, obtengan su ficha técnica, contribuyendo así a la seguridad nacional.

INFORMACIÓN TEÓRICA

1. HIDROCARBUROS

a) INTRODUCCIÓN

Hidrocarburos, en química orgánica significa , familia de compuestos orgánicos que contienen carbono e hidrógeno. Son los compuestos orgánicos más simples y pueden ser considerados como las sustancias principales de las que se derivan todos los demás compuestos orgánicos. Los hidrocarburos se clasifican en dos grupos principales, de cadena abierta y cíclicos. En los compuestos de cadena abierta que contienen más de un átomo de carbono, los átomos de carbono están unidos entre sí formando una cadena lineal que puede tener una o más ramificaciones. En los compuestos cíclicos, los átomos de carbono forman uno o más anillos cerrados. Los dos grupos principales se subdividen según su comportamiento químico en saturados e insaturados.

b) ALCANOS

Los hidrocarburos saturados de cadena abierta forman un grupo homólogo denominado alcanos o parafinas. La composición de todos los miembros del grupo responde a la fórmula C_nH_{2n+2} , donde n es el número de átomos de carbono de la molécula. Los cuatro primeros miembros del grupo son el metano, CH_4 , el etano, C_2H_6 , el propano, C_3H_8 y el butano, C_4H_{10} . Todos los miembros alcanos son inertes, es decir, no reaccionan fácilmente a temperaturas ordinarias con reactivos como los ácidos, los álcalis o los oxidantes. Los primeros cuatro miembros del grupo son gases a presión y temperatura ambiente; los miembros intermedios son líquidos, y los miembros más pesados son semisólidos o sólidos. El petróleo contiene una gran variedad de hidrocarburos saturados, y los productos del petróleo como la gasolina, el aceite combustible, los aceites lubricantes y la parafina consisten principalmente en mezclas de estos hidrocarburos que varían de los líquidos más ligeros a los sólidos.

c) GAS LICUADO DE PETROLEO (LPG)

Mezcla de gases licuados, sobre todo propano o butano. El LPG se obtiene a partir de gas natural o petróleo, se licua para el transporte y se vaporiza para emplearlo como combustible de calderas y motores o como materia prima en la industria química.

d) PROPANO

Gas incoloro e inodoro de la serie de los alcanos de los hidrocarburos, de fórmula C_3H_8 . Se encuentra en el petróleo en crudo, en el gas natural y como producto derivado del refinado del petróleo. El propano no reacciona vigorosamente a temperatura ambiente; pero sí reacciona a dicha temperatura al mezclarlo con cloro y exponerlo a la luz. A temperaturas más altas, el propano arde en contacto con el aire, produciendo dióxido de carbono y agua, por lo que sirve como combustible.

Utilizado como combustible industrial y doméstico, el propano se separa de sus compuestos afines: el butano, etano y propano. El butano, con un punto de ebullición de $-0,5\text{ }^\circ\text{C}$, rebaja la velocidad de evaporación de la mezcla líquida. El propano forma un hidrato sólido a baja temperatura, lo que constituye un inconveniente cuando se produce una obstrucción en las tuberías de gas natural. También se emplea en el llamado gas embotellado, como combustible para motores, como refrigerante, como disolvente a baja temperatura y como fuente de obtención del propano y etileno. El punto de fusión del propano es de 86 K y su punto de ebullición de 231 K.

e) BUTANO

Cualquiera de los dos hidrocarburos saturados o alcanos, de fórmula química C_4H_{10} . En ambos compuestos, los átomos de carbono se encuentran unidos formando una cadena abierta. En el *n*-butano (normal), la cadena es continua y sin ramificaciones, mientras que en el *i*-butano (iso), o metilpropano, uno de los átomos de carbono forma una ramificación lateral. Esta diferencia de estructura es la causa de las distintas propiedades que presentan. Así, el *n*-butano tiene un punto de fusión de 135 K y un punto de ebullición de 272.6 K; mientras que el *i*-butano tiene un punto de fusión de 128 K y un punto de ebullición de 262.6 K.

Ambos butanos están presentes en el gas natural, en el petróleo y en los gases de las refineras. Poseen una baja reactividad química a temperatura normal, pero arden con facilidad al quemarse en el aire o con oxígeno. Constituyen el componente más volátil de la gasolina, y a menudo se les añade propano en la elaboración del gas embotellado. No obstante, la mayoría del *n*-butano se transforma en butadieno, que se utiliza para fabricar caucho sintético y pinturas de látex.

Tabla 1 Propiedades Químicas del propano

PROPIEDAD	PROPANO	UNIDADES
Masa Molar	44.097	
Pt Fusión.:	86.15	K
Pt Ebullición .:	231.15	K
Densidad (231K):	582	kg/m ³
Temperatura:	369	° C
Presión:	41,9	atm
Volumen molar:	0.000203	m ³ /mol

2. SOLDADO POR ARCO SUMERGIDO

Este es el proceso de soldado de mecanismo de más amplio uso, un alambre desnudo (con diámetro de 1.6 -- 6.3 milímetros aunque más comúnmente de 3.25 o cuatro milímetros) se alimenta desde una bobina y se mantiene un arco entre el extremo del alambre del metal base. Al derretirse el alambre del electrodo, un motor servo controlado para mantener el arco, igualando la rapidez de alimentación del alambre a la tasa de fusión, a fin de mantener una arco de longitud constante.

La región de la junta se cubre con una capa de fundente granular de unos 25 milímetros de espesor alimentado desde una tolva montada arriba de la cabeza de soldado.

El arco opera de bajo de esta capa (de ahí el nombre de arco sumergido) . Una parte del fundente se derrite para formar una capa protectora arriba del charco de soldadura, y el fundente no derretido se recoge y reutiliza. El alambre de electrodo, la cabeza de soldado, la unidad impulsora del alambre y la tolva de fundente se montan en un sistema de avance transversal que se mueve a lo largo de la pieza de trabajo conforme se deposita del metal de soldadura.

El sistema de avance transversal puede consistir en un carro montado en un aguilón, o puede ser un tractor motorizado que se mueve en rieles o bien libremente, con ajuste manual para seguir la costura soldado. Como alternativa, la cabeza de soldado puede permanecer estacionaria mientras se mueve la pieza de trabajo. Este método se usa para soldado de costuras circunferenciales de un recipiente de presión mientras que éste gira bajo la cabeza de soldado.

a) ALAMBRE DE ELECTRODO

El electrodo para soldado por arco sumergido es un alambre desnudo enrollado entre carretes y por lo regular recubierto de cobre. Se producen dos tipos: alambre sólido o alambre tubular. El primero se utiliza ampliamente para trabajos generales sobre aceros dulces y de baja aleación, aceros inoxidable y metales no ferrosos.

Para soldar aceros dulces y de baja aleación, el alambre es de acero de bajo carbono y ultra bajo silicio o bien un acero sin silicio, con adiciones de manganeso y a veces de baja aleación. La selección de uno de los dos tipos depende del tipo de fundente que se usará con el (un fundente con adiciones del magnesio o de manganeso y aleación o un fundente neutro, respectivamente). El alambre tubular (fabricado moldeando una tira delgada hasta darle forma de tubo) contiene polvos de aleación que permiten la producción económica de una gama más amplia de composiciones de soldadura que la que sería posible usando alambres sólidos. Los alambres tubulares se usan mucho para la aplicación de recubrimientos duros.

En el caso de los electrodos manuales recubiertos, el alambre y la cobertura son una unidad, por lo que tales electrodos se pueden clasificar según el tipo de cobertura y su efecto sobre las propiedades mecánicas de la soldadura.

En el soldado por arco sumergido, se puede usar cualquier alambre con varios fundentes distintos, obteniéndose resultados muy diferentes en cuanto a calidad de la soldadura y propiedades mecánicas. También se pueden clasificar combinaciones de alambre y fundente de acuerdo con la resistencia a la tensión y al impacto que se logran en el metal de soldadura.

Están a la venta varios alambres tubulares, sobre todo para el tratamiento de superficies y la aplicación de recubrimientos duros. Estos alambres contienen polvos de aleación que producen metales de soldadura que consisten en aceros de baja aleación, aceros inoxidable martensíticos y austeníticos, carburos de cromo y tungsteno, y diversas aleaciones a base de cobalto y níquel resistentes al calor y a la corrosión.

Algunas aleaciones resistentes a la corrosión, incluido el acero inoxidable, están disponibles en forma de tiras enrolladas de 100 milímetros a 15 milímetros de ancho y una espesor de 0.5 milímetros para la aplicación de recubrimientos con alta tasa de deposición empleando un proceso de soldado por arco sumergido denominado revestimiento por tiras.

b) FUNDENTES

Se producen dos tipos principales de fundentes: fusionados y aglomerados. Los fundentes fusionados se fabrican por fusión de una mezcla de minerales finamente molinos, seguido de solidificación, triturado y tamizado de las partículas hasta del tamaño del grano requerido. Los fundentes fusionados no se deterioran durante el transporte y almacenamiento, y no absorben humedad.

Los fundentes aglomerados se fabrican mediante el mezclado de materias primas finamente molidas con agentes adhesivos como silicato de sodio o potasio seguido de cocción para eliminar la humedad. Este tipo de fundente es sensible a la absorción de humedad y puede ser necesario secarlo antes de usarlo. Los fundentes aglomerados son más propensos a daños mecánicos que pueden causar la segregación de algunos de los constituyentes.

Los fundentes se clasifican como ácidos, neutros y básicos: estos últimos se subdividen en semibásicos, o altamente básicos. Las características principales de los fundentes son:

FUNDENTES ÁCIDOS: alto contenido de óxidos como sílice o alúmina. Adecuados para corrientes de soldado elevadas y velocidades del recorrido altas. Resistentes a la porosidad al soldar placas oxidadas. Baja tenacidad de muesca. No adecuado para el soldado con múltiples pasadas de materiales gruesos.

FUNDENTES NEUTRALES: alto contenido de silicato de calcio o alúmina--rutilo. Adecuado para corrientes de soldado y velocidades del recorrido moderadamente altas y también para soldado múltiple.

FUNDENTES BÁSICOS: alto contenido de compuestos químicamente alcalinos como óxido de calcio, óxido de magnesio y fluoruro de calcio. Máxima calidad del metal de soldadura en lo que respecta a la hermeticidad radiográfica y resistencia al impacto. Con corrientes de soldadura y velocidades del recorrido bajas, son adecuados para soldado por múltiples pasadas de secciones gruesas.

c) APLICACIÓN

En virtud que de que el proceso ópera como un rollo continuo de alambre de electrodo, es posible realizar, con un mínimo de paradas y reinicios, soldaduras a tope en la posición plana que requieren múltiples pasadas para llenar la junta. Así, es posible soldar las juntas circunferenciales de cuerpos cilíndricos como recipientes a presión, tuberías, etcétera. Con una sola parada y reinicio por cada revolución de la pieza de trabajo.

La parada es necesaria para restablecer la posición de la cabeza de soldado. En consecuencia, se minimiza la posibilidad de defectos causados por el paro y reinicio; esto es una consideración muy importante cuando se requiere bajar los costos. Aunque la aplicación más extendida es el soldado de junta en acero dulce, aceros del baja aleación y alta resistencia a la tensión, aceros resistentes a la plastodeformación y, en menor grado, aceros inoxidable, también se usa ampliamente para trabajos de relleno, sea para la recuperación por reemplazo del metal base defectuoso o para la aplicación de un recubrimientos duro.

El soldado por arco sumergido es apropiado para soldar material de 5 milímetros a 300 milímetros y aún más grueso, pero las placas de menos de 10 milímetros de espesor generalmente se sueltan con los procesos de soldado por arco con escudo de gas o con núcleo de fundente. Existe una variante semiautomática del proceso en la que el soldador manipula manualmente una pistola de soldar en la que esta montada una pequeña tolva que contiene el fundente. El alambre del electrodo se alimenta a la pistola desde un carrete mediante una unidad de alimentación de alambre. Este proceso que sólo tiene aplicación limitada, y se conoce como soldado "squirt".

Otras variaciones del proceso de arco sumergido buscan principalmente aumentar las tasas de deposición y por ende la rapidez de soldado y la productividad. Entre ellas están:

- Aumentar la extensión del electrodo que sobresale del porta electrodos hasta 150 milímetros mediante un tubo de guía aislado. La resistencia del alambre incrementa la tasa de fusión por el efecto de calentamiento.
- Adición de polvo de hierro a la junta, lo que aumenta el volumen de la soldadura.
- Empleo de técnicas de alambre múltiple en las que se usan dos o más alambres con dos o tres fuentes de potencia individuales.
- Soldado de placas demás de 100 milímetros de espesor en el que se usa una separación paralela de 14 -- 20 milímetros entre los bordes cuadrados de las placas en lugar de un surco en V o en U. El ahorro en la cantidad de metal de soldadura utilizado es considerable, con el consiguiente aumento de la productividad.

3. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Los métodos de ensayo no destructivos se encuentran entre los elementos más útiles de la industria moderna. El aseguramiento y control de la calidad están estrechamente asociados con los métodos de prueba no destructivos. La confiabilidad de las piezas manufacturadas, las estructuras para puentes, los oleoductos y partes críticas de los aviones dependen de los ensayos no destructivos. Los métodos de inspección ultrasónica, los rayos X y los métodos de partículas magnéticas y de líquidos penetrantes se han usado durante décadas.

Cuando las máquinas o componentes se construyen con altos factores de seguridad, no es muy necesario realizar ensayos no destructivos. Sin embargo, muchos productos que se utilizan en la industria de la aviación, en la tecnología espacial y en otras industrias, requieren de un alto nivel de confiabilidad. Ésta se logra mediante la inspección al fabricarlas y, en algunos casos, por una inspección continua durante la vida de servicio del componente. Los tipos más comunes de exámenes no destructivos son: de inspección superficial, inspección volumétrica y de integridad como: partículas magnéticas, líquidos penetrantes, radiografía, Corrientes de Eddy, ensayo visual, entre otros.

Los ensayos no destructivos pueden definirse como métodos de ensayo que permiten detectar y evaluar discontinuidades y propiedades de estructuras y materiales, sin que se modifiquen sus condiciones de uso y de aptitud de servicio. Lo que se busca con los ensayos no destructivos es localizar defectos o discontinuidades.

La idea de utilizar los ensayos no destructivos,(en adelante END), es implementar un sistema técnico administrativo que asegure que el sistema se desenvuelve de manera tal que cualquier falta de conformidad en el producto pueda ser: Detectada oportunamente, identificada en la etapa en que se originó, determinar su causa y aplicar una medida correctiva.

El examen mediante END debe ser considerado desde el diseño, aquí se establece todas las necesidades del examen desde el material hasta el componente en operación para efectuar estos exámenes se recurre a análisis químicos y metalográficos, ensayos mecánicos y END.

Los END cubren un amplio campo de aplicaciones que se pueden reunir en la siguiente tabla.

Tabla 2 Aplicaciones de los ensayos no destructivos.

APLICACIONES	
DEFECTOLOGIA	EVALUACIONES
Discontinuidades	Composición química
Anomalías Estructurales	Propiedades Físicas y Mecánicas
Heterogeneidades	Dimensiones
Anomalías Dimensionales	Ubicación de Insertos

Claro está, que no toda discontinuidad o anomalía estructural, es considerada como defecto, los defectos se pueden clasificar en:

Planares y Volumétricos, los cuales a su vez pueden ser : Superficiales, Subsuperficiales e Internos

Los defectos planares son aquellos los cuales una de sus dimensiones no es significativa respecto a las otras dos, (fisuras, laminaciones, etc), defectos volumétricos son aquellos que sus tres dimensiones resultan significativas para la detección de poros, contracciones, sopladuras, etc. Se consideran defectos superficiales aquellos que están en la superficie o que están conectados a la superficie; subsuperficiales son aquellos que están cerca de la superficie pero no la afectan.

Tabla 3, Aplicación de los métodos

Métodos que se aplican en defectología	Superficial	Internas	Planar	Volumétrica
Ensayo Visual	X		X	X
Líquidos Penetrantes	X		X	X
Métodos aplicados en defectología y evaluaciones				
Radiografía Industrial	X	X	X	X
Ultrasonido	X	X	X	X
Corrientes Inducidas	X	X	X	X

a) ENSAYO VISUAL

Consiste en la observación detallada de un espécimen en condiciones especificadas, efectuada a ojo desnudo o con ayuda instrumental auxiliar, que mejoran la capacidad de percepción del sentido de la vista, esta basado en las Leyes fundamentales de la óptica y en las propiedades de la radiación luminosa. Con el objetivo de determinar defectos que afloran a la superficie en diferentes tipos de piezas y estructuras. Es requerido un entrenamiento para la identificación de discontinuidades. Para intensificar la resolución se utilizan otros aditamentos como lupas y equipos de iluminación, para posibilitar la observación en lugares de difícil acceso se usan espejos, periscopios endoscopios, etc.

b) ENSAYO CON LÍQUIDOS PENETRANTES

El ensayo con líquidos penetrantes se emplea para la detección de discontinuidades abiertas a la superficie, como grietas, poros, erosiones, y es aplicado en materiales metálicos como no metálicos, pero densos, que no sean porosos ni presenten escamado ni rugosidad excesiva. Este método se fundamenta en la acción capilar de los líquidos, los cuales pueden penetrar en las cavidades de una discontinuidad abierta a la superficie, y posterior a una adecuada limpieza y gracias al poder absorbente del revelador, se extrae el exceso del penetrante acumulado y se deja visible su presencia sobre la superficie del espécimen analizado.

c) ENSAYO ULTRASONICO

El ensayo ultrasónico de los materiales esta basado en los fenómenos que se producen en la propagación de vibraciones mecánicas, con frecuencias entre 0.25 y 25 MHz. Este intervalo de frecuencias se inscribe muy por encima de lo que constituye el sonido del ser humano y no siendo detectadas por el oído se les designa como Ultrasonido, por la ultra frecuencia a la que trabajan.

Las frecuencias son generadas por cristales o cerámicos piezo eléctricos, que se encuentran dentro de un transductor o palpador. Este componente tiene la propiedad de transformar la energía eléctrica en energía mecánica y viceversa.

Al ser excitado eléctricamente, por el efecto piezo eléctrico, el transductor vibra a altas frecuencias generando ondas ultrasónicas, que son a su vez ondas mecánicas las cuales son trasladadas al material a inspeccionar mediante el uso de un liquido o material de acople.

Estas ondas ultrasónicas sufrirán una atenuación proporcional a la distancia de recorrido y/o se reflejaran cuando encuentren una frontera o región con una impedancia acústica diferente. Las señales ultrasónicas recibidas pueden ser captadas por el mismo u otro transductor, el cual transforma las ondas mecánicas en señales eléctricas que son enviadas a un osciloscopio de rayos catódicos, donde se interpretan.

En equipos más avanzados, la señal eléctrica puede ser enviada un sistema de graficado, donde se obtiene un perfil acústico de la pieza o enviada a una computadora para realizar el análisis matemático o de imagen de la información obtenida.

d) ENSAYO RADIOGRÁFICO

La inspección por radiografía industrial se aplica en el examen volumétrico para la detección de discontinuidades internas en un material. Al aplicar esta técnica se obtiene una imagen de la estructura interna de la pieza o del componente, esto debido a que la radiación utilizada sea rayos X o gamma, es capaz de penetrar los materiales sólidos, sufriendo una atenuación en función de la densidad, espesor y configuración del material inspeccionado.

Las radiaciones que logran traspasar el objeto, pueden ser registradas por medio de una placa o papel fotosensible, que posteriormente se somete a un proceso de revelado para poder obtener la imagen del área inspeccionada, de esta forma se obtienen registros permanentes que permitan el estudio y evaluación de las discontinuidades encontradas.

e) CORRIENTES DE EDDY

Con esta técnica se pueden probar solamente los materiales que son conductores eléctricos. Una corriente alterna en una bobina produce un campo magnético correspondiente. Las corrientes parásitas, las cuales fluyen en dirección opuesta a la de la corriente principal, se producen en el material que se examina si la bobina se coloca cerca de o alrededor de él. Entonces, las corrientes parásitas producen un cambio en la impedancia del campo magnético, el cual se convierte en un voltaje y se puede leer en un voltímetro o en un osciloscopio. Este método se utiliza para detectar costuras o variaciones en el espesor y para clasificar aleaciones en diversas composiciones y tratamientos térmicos. También pueden detectarse diferencias físicas en masa, dimensión y forma.

Además de las Corrientes de Eddy, se puede trabajar con otros tipos de ensayos más recientes como termografía, que analiza el calor producido en las zonas más propensas a fallar, o el ensayo de emisión acústica, que detecta ondas elásticas que se producen cuando se ha deformado un material plásticamente, o elásticamente. Se pueden mencionar entre otros, Difracción láser, perfilaje gamma, trazadores, etc.

II. PRIMERA PARTE
DISEÑO DE RECIPIENTES A PRESIÓN, HORIZONTALES MONTADOS EN
SILLETAS

A. DEFINICIONES INTRODUCTORIAS

Carga; las cargas son los resultados de la aplicación de distintas fuerzas. Las cargas que se deben usar al diseñar un recipiente son: presión interna, cargas del impacto, peso del recipiente, carga de viento y sismo, carga local y efectos de los gradientes de temperatura.

Casco, elemento estructural hecho para circundar un espacio. En la terminología de este proyecto, casco se refiere a la parte cilíndrica del recipiente.

Eficiencia de la junta; valor numérico expresado como la relación de la resistencia de una junta, a la resistencia del metal base.

Esfuerzo; Fuerza interna ejercida por cualquiera de las dos partes adyacentes de un cuerpo sobre la otra a través de un plano de separación imaginario. Cuando las fuerzas son paralelas al plano del esfuerzo se llama cortante; cuando las fuerzas son normales el plano el esfuerzo se llama normal; cuando el esfuerzo normal está dirigido hacia la parte sobre la cual actúa se llama esfuerzo de compresión y cuando está dirigido alejándose de la parte sobre la cual actúa se llama esfuerzo de tensión.

Esfuerzo de impacto; fuerza por unidad de área que actúa sobre el material súbitamente.

Espesor de pared del recipiente.

- **El espesor requerido;** es el calculado por fórmula, antes de agregar el margen de corrosión.
- **El espesor de diseño;** es la suma del espesor requerido y el margen por corrosión.
- **El espesor nominal;** es el espesor seleccionado por estar disponible comercialmente, este es mayor que el espesor de diseño.

Factor de seguridad la relación de la carga que ocasionaría la falla de una estructura a la carga que se pone en servicio.

Presión de diseño, presión que se usa para determinar el espesor mínimo permitido o las características físicas de las diferentes partes del recipiente.

Presión interna

Esta es la presión requerida por el proceso del que el recipiente forma parte, a la cual trabaja el recipiente normalmente.

Presión de operación; la presión a la que está sometido normalmente un recipiente y que se localiza en su parte superior, no debe exceder la presión máxima de trabajo permitida y, generalmente, debe mantenerse a un adecuado nivel inferior al de ajuste de los dispositivos de alivio de presión para evitar su frecuente apertura.

Presión máxima de trabajo; la presión manométrica máxima que se permite en la parte superior de un recipiente en su posición de trabajo a una temperatura dada.

Prueba hidrostática; el recipiente, una vez lleno con agua, debe someterse a una presión de prueba igual a una y media veces la presión máxima de trabajo permitida, la cual debe marcarse en el recipiente, o una y media veces la presión de diseño, según acuerden el usuario y fabricante.

Punto de cedencia; esfuerzo mínimo al que aumenta la deformación sin aumentar el esfuerzo. También llamado punto de fluencia.

Recipiente; envolvente estructural en el que se procesan, tratan o almacenan materiales; por ejemplo, recipientes a presión, recipiente de agitación y recipientes, (tanques) de almacenamiento.

B. DISEÑO

Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad. Todo diseño tiene un propósito concreto; la obtención de un resultado final al que se llega mediante una acción determinada o por la creación de algo que tiene una realidad física.

El diseño mecánico de objetos y sistemas de naturaleza mecánica, en su mayor parte hace uso de las matemáticas, las ciencias de los materiales y las ciencias mecánicas aplicadas a la ingeniería.

1. CONSIDERACIONES O FACTORES DE DISEÑO

A veces, la resistencia de un elemento es un asunto muy importante para determinar la configuración geométrica y las dimensiones que tendrá dicho elemento. En tal caso se dice que la resistencia es un factor importante de diseño.

La expresión factor de diseño significa alguna característica o consideración que influye en el diseño de un elemento o, quizá, en todo el sistema. Por lo general se tienen que tomar en cuenta varios de esos factores en un caso de diseño determinado. En ocasiones, alguno de esos factores será crítico y, si se satisfacen sus condiciones, ya no será necesario considerar los demás. Por ejemplo, suelen tenerse los factores siguientes:

Resistencia	Confiabilidad	Peso
Forma y tamaño	Condiciones térmicas	Flexibilidad
Corrosión	Rigidez	Desgaste
Acabado superficial	Costo	Mantenimiento
Seguridad	Volumen	

Algunos de estos factores se refieren directamente a las dimensiones, al material, al proceso de fabricación, o bien, a la unión o ensamble de los elementos del sistema. Otros se relacionan con la configuración total del sistema.

C. FACTOR DE SEGURIDAD

La resistencia mecánica es una propiedad de un material o de un elemento mecánico. La resistencia de un elemento depende de la clase, tratamiento y procesamiento del material. La aplicación de fuerzas externas al elemento originan los esfuerzos, entre los cuales se tienen el esfuerzo normal y cortante.

El término factor de seguridad se aplica al factor utilizado para evaluar la condición segura de un elemento. Para evitar una falla estructural, las cargas que una estructura es capaz de soportar deben ser mayores que las cargas a la que estará sometida en servicio. La capacidad de una estructura para resistir cargas, a esto se llama **resistencia**; entonces se dice que la resistencia verdadera de una estructura debe exceder la resistencia requerida. La razón de la resistencia verdadera a la resistencia requerida se llama **factor de seguridad n**.

Por supuesto, el factor de seguridad debe ser mayor que uno, para que no ocurra la falla. Según las circunstancias se usan factores seguridad con valores desde ligeramente mayores a uno hasta mayores a diez. Las normas y especificaciones pretenden proporcionar niveles razonables de seguridad sin que se incurra en costos demasiado altos.

Los factores de seguridad se definen y ponen en práctica de diversas maneras. En muchas estructuras es importante que el material permanezca dentro del intervalo elástico lineal para evitar deformaciones permanentes cuando las cargas actúan, en éstas condiciones, el factor de seguridad se establece con respecto al punto de fluencia de la estructura. Por tanto, al aplicar un factor de seguridad con respecto al esfuerzo de fluencia, (o resistencia a la fluencia), obtenemos un esfuerzo permisible, que no debe excederse en ninguna parte de la estructura entonces: **el esfuerzo permisible será la relación entre la resistencia a la fluencia y el factor de seguridad n**.

D. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.

En lo referente a materiales, se debe ser claro en que los valores de la tabla siguiente son validos para su utilización a una temperatura máxima de 340 °C o 615 Kelvin. Además los materiales seleccionados en la siguiente tabla corresponden a materiales de uso más frecuente tomados de las normas ASME, secciones II y VII. Factor de seguridad $n= 2.2$

Tabla 4, Materiales más comunes en recipientes a presión y sus características

Forma	Composición	Especificación	Aplicación Condiciones de servicio	Esfuerzo permitido MPa
Placa	C	SA 283 C	Estructural,	87.56
	C	SA 285 C	Usado en calderas	95.14
	C-Si	SA 515- Gr 55	En temperaturas medias y altas	95.14
	C-Si	SA 515- Gr 60		103.42
	C-Si	SA 515- Gr 65		112.38
	C-Si	SA 515- Gr 70		120.65
	C-Si	SA 516- Gr 55	En temperaturas medio bajas	95.14
	C-Si	SA 516- Gr 60		103.42
	C-Mn-Si	SA 516- Gr 65		112.38
	C-Mn-Si	SA 516- Gr 70		120.65
Bridas y accesorios	C-Mn-Si	SA 105	En temperaturas altas	120.65
	C-Si	SA 181 -Gr I	Servicio general	103.42
	C-Mn	SA 350 –Gr B LF1	En temperaturas bajas	103.42
	C-Mn-Si	SA 350 –Gr B LF2		120.65
Tubería	C-Mn	SA 53- Gr-B	Servicio general	103.42
	C-Mn	SA 106- Gr-B	En temperaturas altas	103.42
Tortillería	1Cr 0.5Mn	SA 193- Gr B7	En temperaturas altas	172.36
		SA 194 Gr H	En temperaturas altas, TUERCAS	-
		SA 307 Gr B	Tornillo de máquina	-

E. ESFUERZOS EN RECIPIENTES A PRESIÓN

Los recipientes a presión están sujetos a diversas cargas, que causan esfuerzos de diferentes intensidades en los componentes del recipiente. El tipo e intensidad de los esfuerzos es una función de la naturaleza de las cargas, de la geometría del recipiente y de su construcción.

Tenemos entonces varios tipos de cargas a saber:

- Presión interna o externa , en MPa
- Masa del recipiente y de su contenido, en kg.
- Reacciones estáticas del equipo auxiliar, tubería, revestimiento, aislamiento, piezas internas, apoyos.
- Reacciones cíclicas debidas a la presión o a las variaciones térmicas.
- Presión del viento y fuerza sísmica.
- Reacciones por impacto debido choque hidráulico.
- Gradientes de temperatura y expansión térmica diferencial.

Los tipos de esfuerzos son:

- Esfuerzo a la tensión.
- Esfuerzo longitudinal a la compresión.
- Esfuerzo primario general de membrana inducido por combinación de cargas.
- Esfuerzo primario general de membrana inducido por combinación de sismos o de presión del viento con otras cargas.

F. RECIPIENTES A PRESIÓN

Recipientes cilíndricos a presión con sección transversal circular que se encuentran, en instalaciones industriales, en casas de habitación, y en granjas. Las tuberías forzadas para el suministro de agua también se clasifican como recipientes cilíndricos a presión.

Se deben determinar los esfuerzos normales en un tanque de pared delgada sometido a presión interna. Sobre la pared del recipiente se presenta un elemento de esfuerzo con sus cargas paralelas y perpendicular que salen del mismo. Los esfuerzos normales σ_1 y σ_2 que actúan sobre las cargas laterales de este elemento son los esfuerzos de membrana en la pared. Ningún esfuerzo cortante actúa sobre dichas caras debido a la simetría del recipiente y sus cargas, por lo tanto, los esfuerzos σ_1 y σ_2 son los esfuerzos principales. Debido a sus direcciones, el esfuerzo σ_1 se llama esfuerzo circunferencial y el esfuerzo σ_2 se llama esfuerzo longitudinal; el valor de los esfuerzos se pueden calcular por equilibrio usando los diagramas de cuerpo libre apropiados.

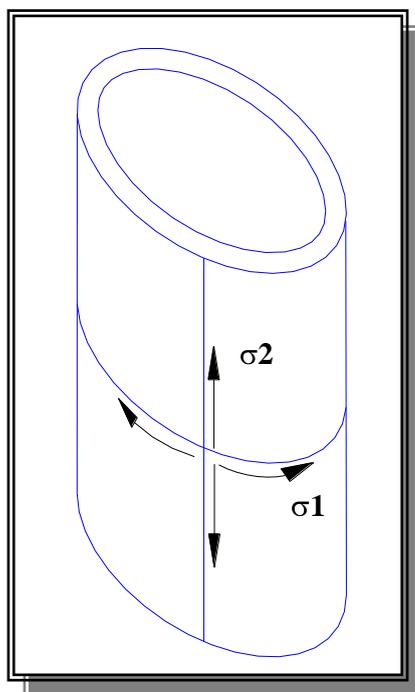


Fig. 1 Esfuerzo circunferencial y longitudinal

1. Para determinar el esfuerzo circunferencial σ_1

Practicamos dos cortes, (*ad* y *bc*) perpendiculares al eje longitudinal y separados una distancia (*B*), luego efectuamos un tercero en un plano vertical a través del eje longitudinal del recipiente, lo cual resulta el diagrama del cuerpo libre. Este cuerpo libre consiste no sólo en la pieza semicircular del recipiente, sino también en el fluido contenido dentro los cortes. Los esfuerzos circunferenciales σ_1 y la presión interna *P* actúan sobre el corte longitudinal, (*plano abcd*) para el equilibrio despreciaremos el peso del recipiente y su contenido.

Los esfuerzos circunferenciales σ_1 que actúan en la pared del recipiente tiene una resultante igual a ($2 B t \sigma_1$), donde *t* es el espesor de la pared. La fuerza resultante P_1 de la presión interna es igual a ($2 p B R$), donde *R* es el radio interior del cilindro, y *t*, el espesor requerido, tenemos entonces la siguiente ecuación de equilibrio.

$$\sigma_1(2Bt) - 2P \times B \times R = 0$$

De esta ecuación obtenemos la siguiente fórmula para el esfuerzo circunferencial del cilindro.

$$\sigma_1 = \frac{P \times R}{t}, MPa$$

Este esfuerzo se distribuye de manera uniforme sobre el espesor de la pared, siempre que espesor sea pequeño respecto al radio.

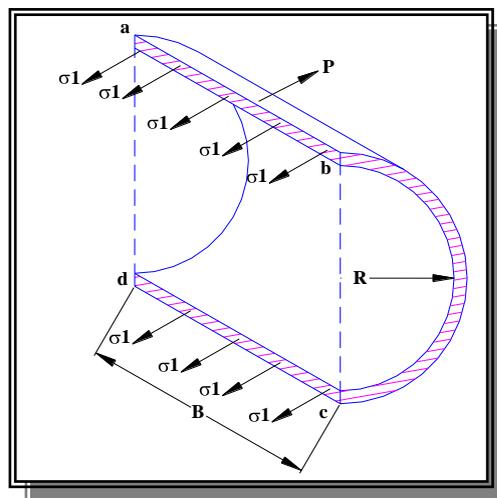


Fig.2 Esfuerzo circunferencial

2. El esfuerzo longitudinal σ_2 :

Se obtiene del equilibrio de un cuerpo libre de la parte del recipiente al izquierda de la sección transversal. De nuevo, el cuerpo libre incluye no sólo parte del recipiente, sino también su contenido. Los esfuerzos σ_2 actúan en sentido longitudinal y tiene una fuerza resultante igual a $\sigma_2 (2\pi R t)$. Como en el caso anterior se utiliza en radio interior y P , es la presión en MPa.

La fuerza resultante P_2 de la presión interna es una de fuerza igual a $(P\pi R^2)$. La ecuación de equilibrio para el cuerpo libre es

$$\sigma_2(2\pi R \times t) - P\pi \times R^2 = 0$$

Despejando σ_2 de esta ecuación tenemos la siguiente fórmula para el esfuerzo longitudinal de un recipiente presión cilíndrico.

$$\sigma_2 = \frac{P \times R}{2t}, MPa$$

Este esfuerzo es igual al esfuerzo de membrana en un recipiente esférico, al comparar las ecuaciones vemos que el esfuerzo circunferencial en un recipiente cilíndrico es igual al doble del esfuerzo longitudinal.

$$\sigma_1 = 2 \times \sigma_2$$

En este resultado notamos que un cordón de soldadura longitudinal en un tanque a presión debe ser dos veces tan fuerte como un cordón circunferencial.

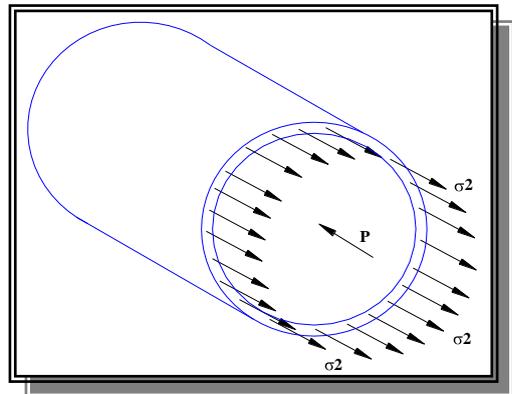


Fig. 3 Esfuerzo longitudinal

3. Esfuerzos en la superficie exterior del recipiente

Los esfuerzos principales σ_1 y σ_2 de la superficie externa de un recipiente cilíndrico se muestran sobre el elemento de esfuerzo. Puesto que el tercer esfuerzo principal es cero, el elemento está en esfuerzo biaxial.

Los *esfuerzos máximos cortantes en el plano* ocurren sobre planos que están girados 45° respecto al eje Z. estos esfuerzos son

$$\boxed{\boxed{(ejeZ) T_{\max} = \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \right) = \frac{\sigma_1}{4} = \frac{P \times R}{4t}}}$$

Los esfuerzos cortantes fuera del plano máximo se obtienen por rotaciones a 45° respecto de los ejes X y Y respectivamente, entonces

$$\boxed{\boxed{(ejeX) T_{\max} = \frac{\sigma_1}{2} = \frac{P \times R}{2t}}}$$

$$\boxed{\boxed{(ejeY) T_{\max} = \frac{\sigma_2}{2} = \frac{P \times R}{4t}}}$$

Al comparar los resultados anteriores vemos que el esfuerzo cortante máximo absoluto es:

$$\boxed{\boxed{(ejeX) T_{\max} = \frac{\sigma_1}{2} = \frac{P \times R}{2t}}}$$

Este esfuerzo se presenta en un plano inclinado a 45° respecto del eje X.

4. Esfuerzos en la superficie interior

Condiciones de esfuerzo en la superficie interior, los esfuerzos principales son:

$$\boxed{\boxed{\sigma_1 = \frac{P \times R}{t}}}$$

$$\boxed{\boxed{\sigma_2 = \frac{P \times R}{2t}}}$$

$$\boxed{\boxed{\sigma_3 = -P}}$$

Los tres esfuerzos cortantes máximos, obtenidos por rotaciones respecto a los ejes X, Y, y Z, serán los mismos que para la superficie externa del recipiente.

G. CIRCULO DE MOHR

En los cuadros siguientes, podemos observar como sería el círculo de Mohr, típico para recipientes a presión interna, el cual es un método gráfico muy eficaz para visualizar el estado de esfuerzo en un punto y tener en cuenta la dirección de los diversos componentes asociados al esfuerzo plano. Se establece entonces un sistema de coordenadas donde los esfuerzos normales se presentan como abscisas y los cortantes como las ordenadas. En el eje de las abscisas los esfuerzos normales de tensión (positivos), se marcan a la derecha del origen O, y los esfuerzos normales de compresión (negativos), a la izquierda.

En el eje de las ordenadas los esfuerzos cortantes en el sentido del reloj,(SR), se trazan arriba, y los esfuerzos cortantes en sentido contrario al reloj,(SCR), se trazan abajo.

Si se desea mostrar la relación de esfuerzos normales con esfuerzos cortantes en tres dimensiones entonces se utilizará en círculo de Mohr en tres dimensiones y se tendrá que tomar en cuenta (σ_3) y (T_{\max} absoluto), como se ve en los diagramas siguientes:

1. Diagramas del Círculo de Mohr, para un recipiente Horizontal.

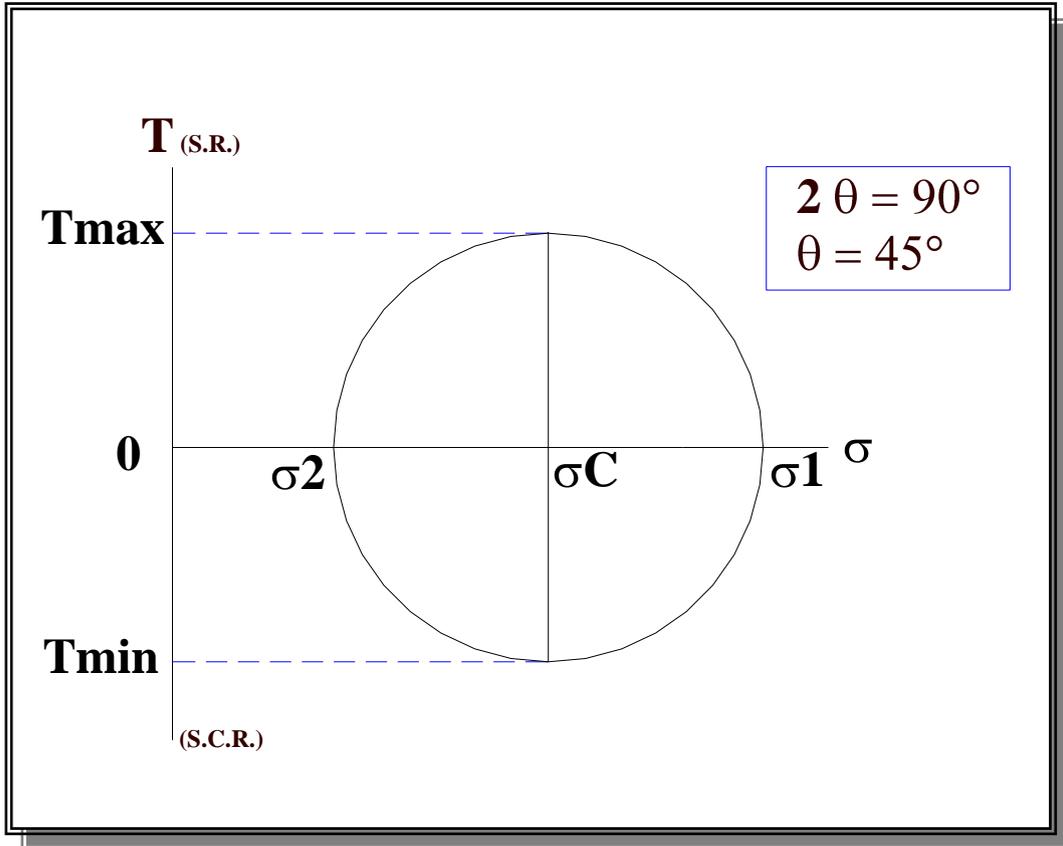


Fig.4 Círculos de Mohr, característico de un recipiente a presión horizontal

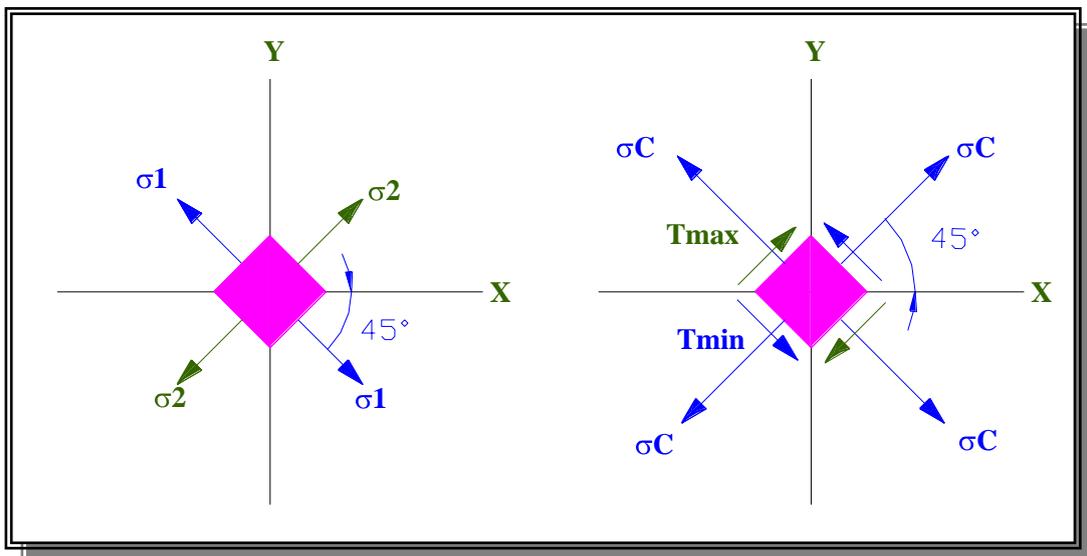


Fig. 5 Esquema de esfuerzos de un recipiente a partir del círculo de Mohr

2. Diagrama del círculo de Mohr en Tres dimensiones

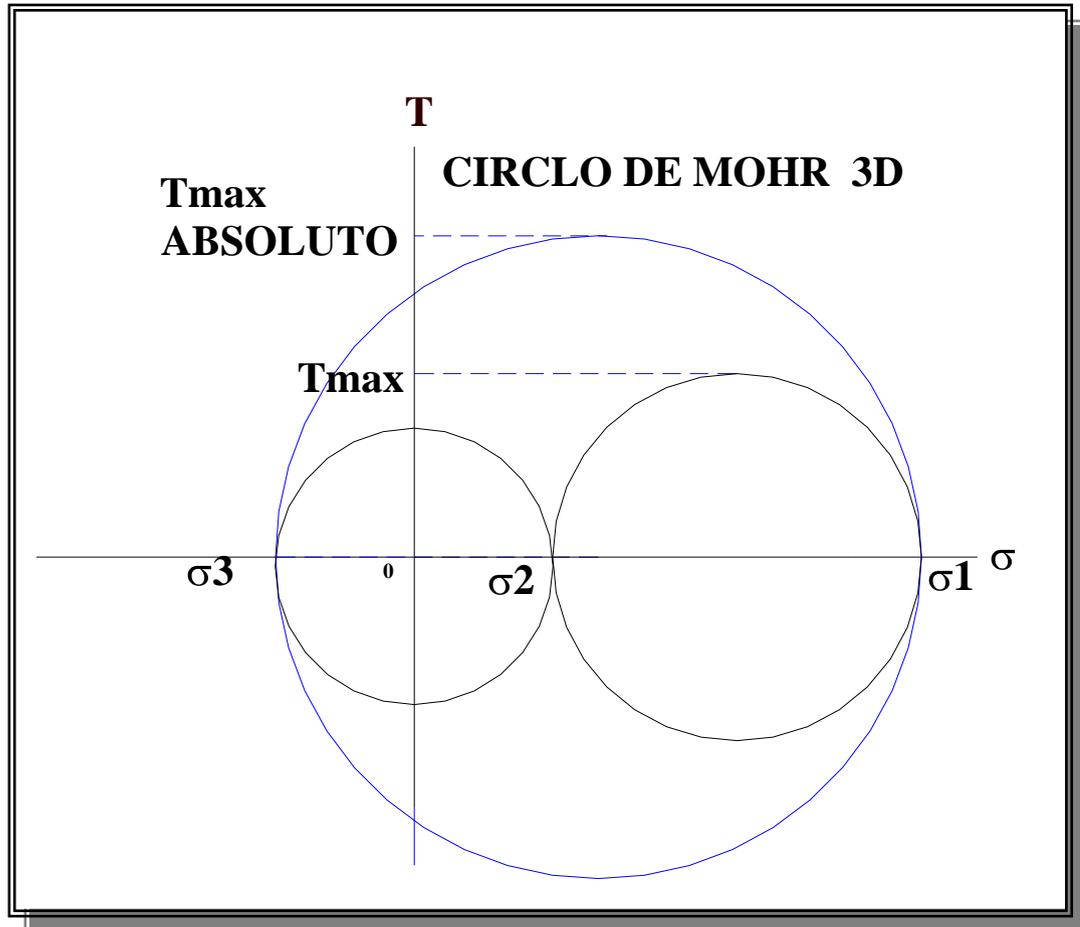


Fig.6 Círculo de Mohr en tres dimensiones para un recipiente horizontal

H. ESFUERZOS EN RECIPIENTES HORIZONTALES GRANDES

Los métodos de diseño de los soportes para recipientes horizontales se basan en el análisis presentado en 1951 por L.P. Zick, como práctica recomendada. Muchas normas hacen referencia al trabajo de Zick para el diseño de recipientes horizontales, tales como la ASME, la 2150 de la API, la Británica BS 1515, además este trabajo se ha usado en numerosos estudios publicados en libros y revistas técnicas.

El método de diseño de este capítulo se basa en el análisis del trabajo de Zick, revisado por la ASME, (Pressure Vessel and Piping Design), en 1972.

Un recipiente horizontal montado sobre soportes de silleta actúa como una viga, con las siguientes diferencias:

- Las condiciones de carga son diferentes para el recipiente total o parcialmente lleno.
- Los esfuerzos sobre el recipiente varían según el ángulo formado por las silletas.

1. CARGAS:

a) REACCIÓN DE LA SILLETAS

La práctica recomendada es diseñar el recipiente para una carga completa de agua por lo menos. Pues los hidrocarburos presentan menor densidad que la misma.

b) CARGA DE VIENTO:

Los recipientes largos con relaciones pequeñas t/R , están sujetos a deformación por presión del viento. Según Zick “la experiencia indica que un recipiente diseñado para presión externa de 6.8 kPa, (1 lb/in²), puede resistir satisfactoria mente las cargas externas que se presenten en el servicio normal.”

c) CARGA DE IMPACTO

La experiencia demuestra que, durante el transporte, se producen cargas de impacto difícilmente estimables que pueden dañar los recipientes. Al diseñar el ancho de las silletas y los tamaños de las soldaduras, debe tomarse en cuenta esta circunstancia.

Los recipientes soportados por silletas están sujetos a:

2. ESFUERZO FLEXIONANTE LONGITUDINAL

Este esfuerzo actúa flexionando el recipiente al aplicar una determinada carga sobre este, la carga es producida por el peso del recipiente mismo y el peso de su contenido interior; tendiendo a crear una panza en la mitad del claro del recipiente.

3. ESFUERZO CORTANTE TANGENCIAL

El esfuerzo cortante tangencial, actúa sobre las silletas cuando la carga producida por el peso del recipiente y su contenido actúan con dirección al centro de la tierra provocada por la gravedad terrestre, entonces la silleta aplica en dirección opuesta, otra fuerza de igual magnitud.

Lo que se trata de evitar es que la fuerza del peso sea tal que al empujar trate de cortar la pared del recipiente, por el empuje que siente desde las silletas.

4. ESFUERZO CIRCUNFERENCIAL

El esfuerzo circunferencial, actúa sobre la silleta del recipiente, en la sección transversal del recipiente y depende tanto del diámetro del recipiente como de su longitud, pues no va a ser lo mismo para una silleta de un mismo tamaño resistir el peso de un recipiente de gran diámetro y longitud, que un recipiente de medidas de diámetro y longitud menores.

Se dice entonces que la silleta debe tener las indicaciones de diseño, (dimensiones, material, etc), tales que soporten la carga del peso total del recipiente lleno, ya que de no ser de esta manera el recipiente tenderá a presentar “panzas”, en la parte baja del diámetro del recipiente al lado frontal de las silletas; o dicho de otra manera tenderá de achatar la curvatura de la circunferencia del círculo en la parte inferior del recipiente, visto desde su sección transversal.

I. ASPECTOS A TOMAR EN CUENTA EN EL DISEÑO DE RECIPIENTES A PRESIÓN

1. CORROSIÓN

Los recipientes o partes de los mismos que estén sujetos a corrosión, erosión o abrasión mecánica deben tener un margen de espesor para lograr la vida deseada, aumentando convenientemente el espesor del material respecto al determinado por las fórmulas de diseño, o utilizando algún método adecuado de protección.

Para el efecto de este trabajo se utilizará un margen de corrosión de 3 mm, para asegurar la vida útil de servicio de 20 años. O en su defecto debe darse un margen de corrosión de 2 mm, para una vida de servicio de 12 años. No necesita aplicarse el mismo margen de corrosión a todas las partes del recipiente si se esperan diferentes grados de ataque para las distintas partes.

Todos los recipientes de presión sujetos a corrosión erosión o abrasión mecánica interiores deberán ser provistos con abertura de inspección, sea un registro o una entrada humana.

También para eliminar la corrosión se utilizan materiales resistentes, ya sea pinturas como recubrimientos únicamente, o aceros inoxidable para fabricar todo el recipiente. Un recipiente puede protegerse contra abrasión mecánica por medio de parches de placa, los cuales se sueldan o se unen por otros medios al área expuesta del recipiente.

J. SOLDADURA DE RECIPIENTES SOMETIDOS A PRESIÓN

Existen varios métodos para hacer juntas soldadas. En cada caso particular, la elección de un tipo de método y las numerosas alternativas, depende de:

- Las circunstancias en que ha de realizarse la soldadura
- Los requisitos del código
- Los aspectos económicos

1. ECONOMÍA DE LA SOLDADURA

Consideraciones relativas a la economía de soldaduras:

- La preparación de bordes V, que puede hacerse a soplete, es siempre más económica que la preparación para juntas en J o en U.
- La preparación en V doble requiere sólo de la mitad del metal de soldadura depositada de la que requiere la preparación en V sencilla.
- Al aumentar el tamaño de una soldadura de filete, su resistencia aumenta en proporción directa, mientras que el metal de soldadura depositado aumenta en proporción al cuadrado de su tamaño.
- La soldadura de baja calidad hace necesaria la utilización de placa de mayor espesor para el recipiente. El que sea más económico utilizar soldadura de mayor resistencia y placa más delgada o lo contrario, depende del tamaño del recipiente, del equipo de soldadura, etc. Esto debe decirse en cada caso particular.

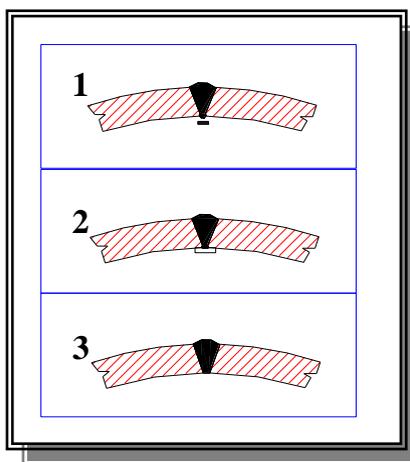


Fig. 7 Tipos de soldaduras en recipientes a presión

2. TIPO 1

Juntas a tope hechas por doble cordón de soldadura o por otro medio que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositada sobre las superficies interior y exterior de la pieza. Si se emplea placa de respaldo, debe quitarse al terminar la soldadura.

Limitaciones: Ninguna

Eficiencia: 1.00 Radiografiado totalmente.

0.85 Radiografiada por zonas.

0.70 No examinada.

3. TIPO 2

Junta a tope hecha de un solo cordón con tira de respaldo que queda en su lugar después de soldar.

Limitaciones: Ninguna.

Eficiencia: 0.90 Radiografiado totalmente.

0.80 Radiografiada por zonas.

0.65 No examinada.

4. TIPO 3

Junta a tope de un solo cordón sin tira de respaldo.

Limitaciones: Para uniones circunferenciales únicamente, no más de 1.6 cm de espesor y no más de 61 cm de diámetro exterior.

Eficiencia: 0.60 No examinada, radiográficamente

Notas:

- La forma de los bordes debe ser tal que permita una fusión y penetración completas.
- Estas juntas deben estar libres de socavaciones, traslapes, lomos y valles bruscos. Para asegurarse que se llenen completamente de soldadura las ranuras, el metal de soldadura puede acumularse como refuerzo.
- El espesor del refuerzo no debe exceder de las siguientes medidas:

Tabla 5, Espesor de lámina de refuerzo para cada espesor nominal de placa

Espesor nominal de placa	Espesor de refuerzo máximo
Hasta 1.3 cm	0.24 cm
De 1.3 a 2.6 cm	0.30 cm
Más de 2.6 cm	0.48 cm

- Antes de soldar el segundo lado de una junta a tope de doble cordón, las impurezas de la soldadura del primer lado deben separarse a esmeril, o por fusión para que haya metal firme para penetración y fusión completas.
- Las máximas eficiencias que se dan según el tipo de junta, al hacer las uniones por los procedimientos de soldadura por arco o con gas.

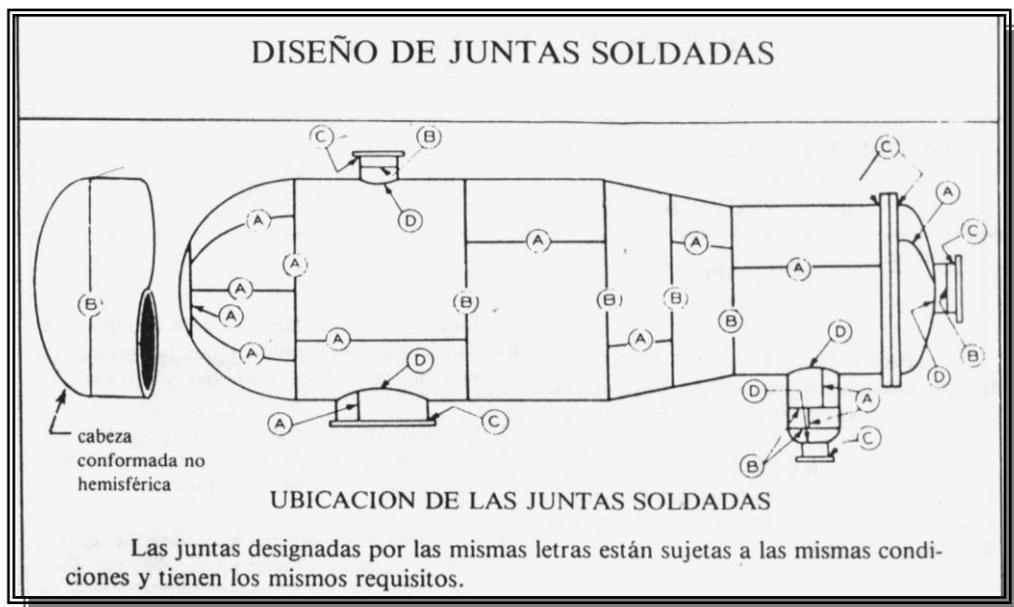


Fig. 8 Ubicación de los diferentes tipos de juntas

5. DISEÑO DE JUNTAS SOLDADAS EN RECIPIENTES CON EXAMEN RADIOGRÁFICO TOTAL

- Las juntas A y D tendrán examen radiográfico total, eficiencia de junta, $E = 1$.
- Las juntas B y C deben ser a tope, tendrán examen radiográfico parcial, eficiencia de junta
- $E = 0.85$ para el tipo 1 y 2
- Para todas las juntas el tratamiento térmico lo definirá la norma UCS-56.

6. DISEÑO DE JUNTAS SOLDADAS EN RECIPIENTES EN LOS QUE EL EXAMEN RADIOGRÁFICO NO ES OBLIGATORIO

- Todas las juntas a tope deben ser del tipo 1 y 2,
- Las juntas a tope serán examinadas por zonas, eficiencia de junta,
- $E = 0.85$ para el tipo 1 y 2.
- Las secciones de recipientes sin costura y las cabezas con juntas B, C o D, deben diseñarse para un esfuerzo circunferencial con un valor del 85 % del esfuerzo del material,
- Para todas las juntas el tratamiento térmico lo definirá la norma UCS-56

7. DISEÑO DE JUNTAS SOLDADAS EN CIERRES FINALES DE RECIPIENTES

- Se usará cualquier tipo de soldadura,
- Las juntas serán examinadas completamente, o realizar el examen de ultrasonido cuando la construcción impida el radiografiado, eficiencia de junta, será de $E = 1$ para el tipo 1 y $E = 0.90$ para el tipo 2
- Para todas las juntas el tratamiento térmico lo definirá la norma UCS-56

K. FÓRMULAS PARA EL DISEÑO DE RECIPIENTES A PRESIÓN

1. ESPESOR Y PRESIÓN DE DISEÑO

a) Fórmulas expresadas en función de las dimensiones internas.

Pd = Presión de diseño, MPa

S = Esfuerzo permitido del material, MPa

E = Eficiencia de la junta

R = Radio interior, m

D = Diámetro interior, m

t = Espesor requerido de pared, m

td = Espesor de diseño, m

tn = Espesor nominal, m

tc = Espesor requerido de pared de la cabeza, m

CA = Margen por corrosión, m

Dm = Diámetro medio, m

Presión y espesor requerido en el casco cilíndrico, (junta longitudinal)

$$t = \frac{Pd \times R}{S \times E - 0.6 \times Pd}, m$$

$$Pd = \frac{S \times E \times t}{R + 0.6t}, MPa$$

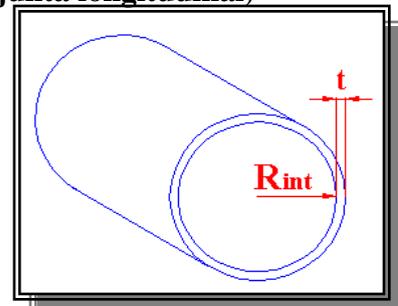


Fig. 9 Casco, y sus medidas internas

Presión y espesor requerido para cabeza elipsoidal

$$tc = \frac{Pd \times D}{2 \times S \times E - 0.2Pd}, m$$

$$Pd = \frac{2 \times S \times E \times tc}{D + 0.2tc}, MPa$$

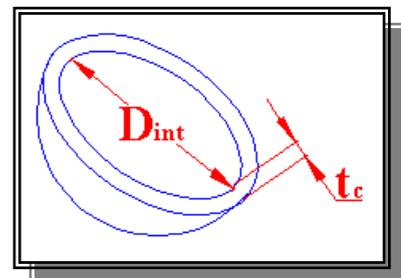


Fig. 10 Cabeza elipsoidal y sus medidas internas

b) Fórmulas expresadas en función de las dimensiones externas.

Pd = Presión de diseño, MPa

S = Esfuerzo permitido del material, MPa

E = Eficiencia de la junta,

R = Radio exterior, m

D = Diámetro exterior, m

t = Espesor requerido de pared, m

td = Espesor de diseño, m

tn = Espesor nominal, m

CA = Margen por corrosión, m

Dm = Diámetro medio, m

Presión y espesor requerido en el casco cilíndrico, (junta longitudinal)

$$t = \frac{Pd \times R}{S \times E + 0.4 \times Pd}, m$$

$$Pd = \frac{S \times E \times t}{R - 0.4t}, MPa$$

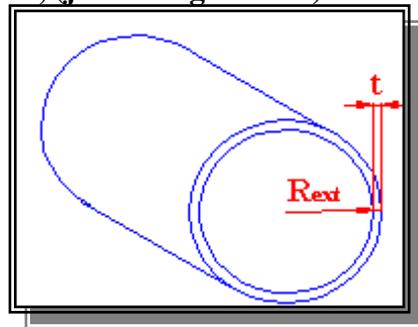


Fig. 11 Cabeza elipsoidal y sus medidas internas

Presión de diseño y espesor requerido para cabeza elipsoidal

$$tc = \frac{Pd \times D}{2 \times S \times E + 1.8Pd}, m$$

$$Pd = \frac{2 \times S \times E \times tc}{D - 1.8tc}, MPa$$

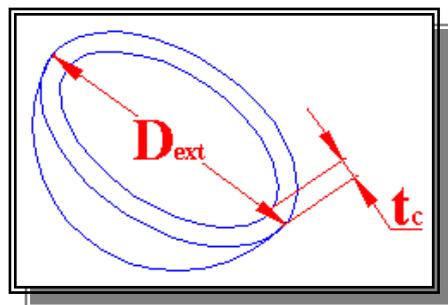


Fig. 12 Cabeza elipsoidal y sus medidas externas

L. CLASIFICACIÓN DE ESPESORES EN RECIPIENTES A PRESIÓN

1. ESPESOR REQUERIDO

Es el calculado en la fórmula anterior, y se debe expresar en centímetros.

2. ESPESOR DE DISEÑO

Al espesor requerido se le debe añadir el margen de corrosión, ya sea espesor de pared del casco o de la cabeza

$$td = t + CA, m \Rightarrow td = t + 0.003, m$$

3. ESPESOR NOMINAL

Este valor, (td) debe ajustarse al espesor de lámina que vende el proveedor, seleccionando la placa de dimensión de espesor inmediatamente mayor, al td ; esto por mayor seguridad.

Entonces este valor de espesor nominal será el espesor con el cual se fabricará el recipiente.

$$tn = td \text{ ajustado}$$

M. CLASIFICACIÓN DE PRESIONES EN RECIPIENTES A PRESIÓN

1. MÁXIMA PRESIÓN PERMITIDA DE OPERACIÓN

Según el reglamento del MINAE 28622, se establece, artículo 10, inciso 3

“El equipo y accesorios que se utilicen para el almacenamiento y el manejo de GLP, deben ser certificados, y tener estampadas las siglas de U.L. o U.L.C.

/ Todos los accesorios y equipos utilizados para el manejo de gas en una planta, deben soportar una presión de trabajo de 2,40 MPa (24,61 kgf/cm²) como mínimo o para la presión de diseño del proyecto, la que resulte mayor.”

Por lo tanto en el caso de Costa Rica esta presión será de 2.4 MPa como mínimo, y se define como la presión interna a la que está sujeto el elemento más débil del recipiente que corresponde al esfuerzo máximo admisible, cuando se supone que el recipiente está:

- En estado de desgaste por corrosión.
- A una temperatura determinada.
- En posición normal de trabajo.
- Bajo efecto de otras cargas, (carga de viento presión hidrostática, etc).

2. PRESIÓN DE DISEÑO

La presión que se emplea para diseñar el recipiente. Se recomienda diseñar un recipiente a una presión de diseño mayor a la de operación. Este requisito se satisface utilizando una presión de diseño de 0.20684 MPa ó 15 % más que la presión máxima permitida de trabajo, la que sea mayor. También debe considerarse la presión del fluido y de cualquier otra sustancia contenida en el recipiente.

$$Pd = \left(P_{\text{máx trab}} \right) + 0.20684 MPa$$

Ó

$$Pd = \left(P_{\text{máx trab}} \right) \times 1.15, MPa$$

3. PRESIÓN DE PRUEBA HIDROSTÁTICA

Esta va a ser una y media veces la presión de diseño.

$$PPH = 1.5 \times \sigma_{\text{max Diseño}}, MPa$$

Si el valor del esfuerzo del material del recipiente a la temperatura de diseño es menor que la temperatura de prueba, la presión debe incrementarse proporcionalmente.

Esta nueva presión será:

$$PPH = 1.5 \times \sigma_{\text{max Diseño}} \times \frac{\text{EsfuerzoTemp Prueba}}{\text{EsfuerzoTemp Diseño}}, MPa$$

4. PRESIÓN DE VÁLVULA PARA ALIVIO DE PRESIÓN

Esta es la presión la cual, el recipiente libera presión en caso de que así lo requiera, como en el caso de días sumamente calurosos, o en caso de incendio; ya que la presión de vapor dentro del recipiente aumentará, y ésta será igual a la presión de diseño del recipiente.

$$PA = Pd, MPa$$

El ajuste de inicio de apertura de la válvula de alivio de presión debe ser igual a la presión de diseño del recipiente. Sin embargo la válvula debe ser adecuada para evitar que la presión interna del recipiente aumente a un 120% de la presión de diseño, bajo condiciones de exposición de fuego. Para asegurarnos de esto se debe calcular la tasa de descarga de la válvula, la cual depende de la superficie total externa del recipiente, las siguiente fórmula, nos dice cual debe ser el valor de la tasa descarga de la válvula.

$$\text{Tasa Descarga} = 1.518689 \times A^{0.82}, m^3 / \text{min}$$

$$As = \left[D_{\text{ext}} \times \pi \times L \right] + \left[0.9 D_{\text{ext}}^2 \right] \times 10.7639, m^2$$

Donde:

As = Área superficial externa del recipiente para cabezas elipsoidales, m^2

L = Longitud del casco cilíndrico del recipiente, m

D_{ext} = Diámetro exterior del recipiente, m

N. MASA TOTAL DEL RECIPIENTE

Para obtener la masa total del recipiente se debe sumar la masa de la carga de agua y la masa del metal total del recipiente y a esta suma multiplicarse por 1.09; este (9%), de más es añadido por la masa del registro, bridas, silletas y/o otros componentes del recipiente acabado.

$$PT = (P_{agua} + P_m) \times 1.12, kg$$

1. MASA TOTAL DEL METAL DEL RECIPIENTE

$$P_m = P_c + P_{cab}$$

2. MASA DEL METAL DE LAS CABEZAS ELIPSOIDALES

Para saber la masa del metal de las cabezas elipsoidales,
En este valor ya está incluido el factor de densidad del acero 7850 kg/m³.

$$P_{cab} = 2 \times D^2 \times 1.308 \times t_{nc} \times 7850, kg$$

3. MASA DEL CUERPO METÁLICO DEL RECIPIENTE

Para calcular la masa del recipiente, se debe calcular primero la masa en el casco, y en las cabezas del recipiente y posteriormente se suman.

Este dato nos ayuda a saber la masa total, que a su vez nos dirá la carga real a la que están sometidas las silletas del recipiente.

$$P_c = 2\pi \times R \times L \times T_n \times 7850, kg$$

Donde:

R = Radio, m

Pc = Masa metálica del casco cilíndrico, Kg.

Pcab = Masa metálica de las cabezas elipsoidales, Kg.

Pm = Masa total del metal del recipiente, Kg.

Tn = Espesor nominal, m

Tcn = Espesor nominal de cabeza, m

L = Longitud del casco cilíndrico, m

δa = densidad del acero 7850 Kg./m³

4. MASA DE LA CARGA DE AGUA

Este corresponde a la masa del agua contenida en el recipiente cuando este se encuentra lleno.

$$P_{agua} = V_t \times \delta, kg$$

O. VOLUMEN DE LA CAPACIDAD DE AGUA EN EL RECIPIENTE

Para calcular el volumen del recipiente, se debe calcular primero el volumen en el casco, y en las cabezas del recipiente y posteriormente se adicionan. Este dato nos ayuda a saber la masa del fluido, a partir de la densidad del agua, que a su vez nos dirá la carga real a la que están sometidas las silletas del recipiente.

1. VOLUMEN INTERNO DEL TOTAL RECIPIENTE

$$V_t = V_c + V_{cab}, m^3$$

2. VOLUMEN DE LAS CABEZAS ELIPSOIDALES

$$V_{cab} = 0.2618 \times D^3, m^3$$

3. VOLUMEN DEL CILINDRO

$$V_c = 0.7854 \times D^2 \times L, m^3$$

P. FÓRMULA DE ENTRADA

Esta fórmula se utilizará para saber cual es la longitud del casco cilíndrico del recipiente que se tiene que fabricar cuando tengo el volumen con el cual necesito trabajar y el diámetro de las cabezas elipsoidales que me proporciona el fabricante.

Para efectos de este proyecto se debe recordar que esta fórmula esta basada en el calculo de longitud, teniendo el valor del diámetro y el volumen de trabajo, ya que los fabricantes de cabezas ya tienen definidas las dimensiones de sus productos, por lo cual usaremos como variable de fabricación la longitud del casco cilíndrico, esta medida si se puede variar en el montaje al fabricar en el recipiente. (ver apéndice A)

$$L = \frac{V_t - (0.2618 \times D^3)}{0.7854 \times D^2}, m$$

Donde:

V_t = Volumen interno total del recipiente o volumen de capacidad de agua, m³

D = Diámetro interno, m

L = Longitud del cilindro sin las cabeza, m

V_c = Volumen cilindro, m³

V_{cab} = Volumen cabezales, m³

δ = densidad del agua, 1000 Kg./m³

Q. CARGA EN UNA DE LAS SILLETAS

La carga soportada en cada una de las silletas será la producida por el peso total del recipiente, dividido entre dos, esta relación se obtiene del diagrama de cuerpo libre del recipiente si lo tomamos como una viga en voladizo. Esta expresión se expresa en kilogramos para facilitar los cálculos, pero según el Sistema internacional debe usarse en Newtons. 1 kg fuerza = 9.8 Newton.

$$Q = \frac{PT}{2}, kg$$

R. FÓRMULAS DE ESFUERZOS EN RECIPIENTES CON DOS SILLETAS

Notación

R = Radio del casco, cm

S = Esfuerzo permitido, MPa

Q = Carga sobre una silleta, Kg.

PT = Masa total del recipiente, Kg.

t = Espesor requerido de lámina del casco (sin margen de corrosión), cm

tc = Espesor requerido de pared de la cabeza (sin margen de corrosión), cm

L = Longitud del casco cilíndrico, cm

K = Constante ver anexo, (ver apéndice B)

θ = Angulo de contacto de la silleta, grados

S₁ = Esfuerzo flexionante longitudinal, MPa

S₂ = Esfuerzo cortante tangencial, MPa

S₃ = Esfuerzo circunferencial, MPa

E = Eficiencia de junta

A = Distancia de la línea tangencial de la cabeza al centro de la silleta, cm

H = profundidad de la concavidad de la cabeza, cm o ($H = 0.25D_{ext}$) en cabeza elip.

b = ancho de la silleta, cm

El factor 0.0980665 es la conversión de kg/cm^2 a MPa

nota:

$$A < 0.2L$$

$$H = 0.25D_{ext}$$

Se aconseja usar un valor de $(A) = 0.1 L$

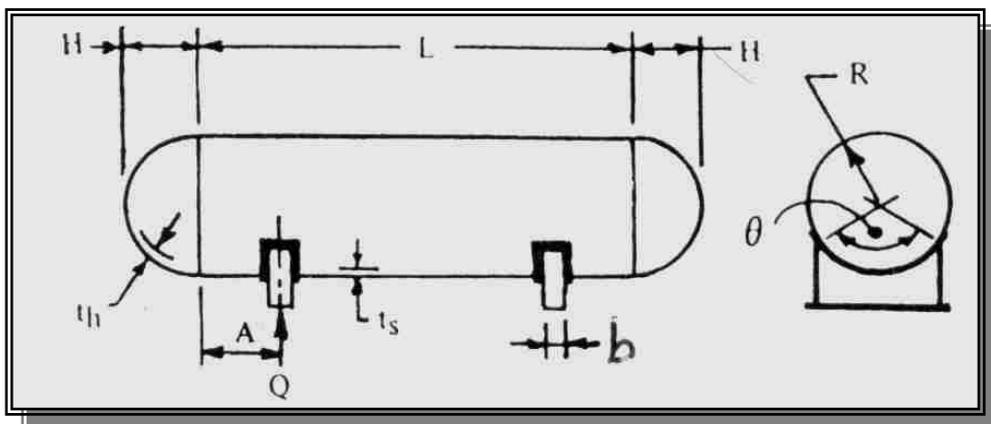


Fig. 13 Detalles de medidas en recipientes horizontales

1. ESFUERZO DE FLEXIÓN LONGITUDINAL

a) Consideraciones:

- Se tiene que el esfuerzo flexionante máximo puede ser de tensión o de compresión, dependiendo del valor de éste, ya sea positivo o negativo, respectivamente.
- Al calcular el esfuerzo de tensión, en la fórmula para S_1 deben usarse los valores de K_1 para el factor K. (ver apéndice B)
- Al calcular el esfuerzo de compresión, en la fórmula para S_1 se deben usarse los valores de K_8 para el factor K. (ver apéndice B)
- Cuando el casco presenta atiesadores $K = 3.14$ en la fórmula para S_1 .
- El esfuerzo de compresión no es factor de importancia en un recipiente de acero en el que (t/R) mayor que 0.005, entonces el recipiente se diseña para soportar el máximo esfuerzo por presión interna.
- Se debe usar anillo atiesador si el esfuerzo S_1 es mayor que el esfuerzo máximo permitido.

Las fórmulas siguientes sirven tanto para un casco atiesado, o casco sin atiesar.

Esfuerzo máximo en las siletas, (tensión en la parte superior compresión en la inferior)

$$S_1 = \pm \frac{Q \times A \left(1 - \frac{1 - \frac{A}{L} + \frac{R^2 + H^2}{2A \times L}}{1 + \frac{4H}{3L}} \right)}{* K \times R^2 \times t}, \times 0.0980665, MPa$$

Esfuerzo máximo en la mitad del claro, (tensión en la parte inferior compresión en la superior)

$$S_1 = \pm \frac{\frac{Q \times L}{4} \left(\frac{1 + 2 \frac{R^2 - H^2}{L^2}}{1 + \frac{4H}{3L}} - \frac{4A}{L} \right)}{\pi \times R^2 \times t}, \times 0.0980665, MPa$$

Sacar el valor de t/R , si es menor que 0.005, el factor de compresión, se debe sacar, tanto en esfuerzo, ($-S_1$), en la mitad del claro como en las siletas.

En tensión (valor de S_1 positivo)

Se toma el valor mayor de S_1 y se debe sumar al esfuerzo debido a la presión interna, $(PR/2t)$, y esta suma, debe ser menor que el esfuerzo del material multiplicado por la eficiencia de la costura circunferencial.

$$S_1 + \frac{P \times R}{2t} \leq S \times E$$

Si cumple con lo anterior, el recipiente soportará el esfuerzo de flexión longitudinal, sino, se debe diseñar de nuevo, cambiando el tipo de material, posición de silletas, etc.

Si el esfuerzo S_1 es mayor que el esfuerzo máximo permitido, se debe usar anillo atiesador

$$|S_1| > S_{casco} \Rightarrow \text{Usar anillo atiesador}$$

b) En compresión, (valor de S_1 negativo)

El valor del esfuerzo debido a la presión interna menos S_1 , debe ser menor que la mitad del valor del punto de fluencia del material.

$$\frac{P \times R}{2t} - S_1 \leq \frac{S_{fluencia \text{ material}}}{2}$$

o S_1 debe ser menor que el siguiente valor

$$|S_1| \leq \left(\frac{E \times t}{29 \times R} \right) \left[2 - \frac{200t}{3R} \right]$$

Donde:

E = modulo de elasticidad del material del casco o del anillo de atiesamiento, MPa;
Si cumple con lo anterior, el recipiente soportará el esfuerzo de flexión longitudinal, sino, se debe diseñar de nuevo, cambiando el tipo de material, posición de silletas, etc.

Si el esfuerzo S_1 es mayor que el esfuerzo máximo permitido, se debe usar anillo atiesador

$$|S_1| > S_{casco} \Rightarrow \text{Usar anillo atiesador}$$

2. ESFUERZO CORTANTE TANGENCIAL

a) Consideraciones:

- Si se usa placa de desgaste, en las fórmulas para S_2 , puede tomarse el espesor (t), como la suma de los espesores del casco y de la placa de desgaste, siempre que esta llegue ($R/10$), cm, arriba del cuerno de la silleta cerca de la cabeza y se extienda entre la silleta y un anillo atiesador adyacente.
- En un casco no atiesado el esfuerzo cortante máximo ocurre en el cuerno de la silleta. Cuando se aprovecha la rigidez de la cabeza para situar las silletas cerca de la cabeza, el esfuerzo cortante tangencial puede originar un esfuerzo adicional (S_3) en las cabezas; este esfuerzo debe sumarse al esfuerzo que actúa en las cabezas debido a la presión interna.
- Cuando se usan anillos atiesadores el esfuerzo cortante máximo ocurre en el ecuador.

b) Esfuerzo cortante tangencial

Para encontrar el valor del esfuerzo cortante, se tienen dos mecanismos, para saber en que caso se debe utilizar cada uno de estos métodos, se debe primero estimar el valor de $(R/2)$, si este valor es mayor a la distancia que existe entre el final del casco y el centro de la silleta (A), se usará el método de “Silleta a una distancia de la cabeza”, pero si el valor $(R/2)$, es menor al valor (A), entonces se utilizará el método “Silletas cercanas a la cabeza”, estos mecanismos se describen a continuación:

c) Silleta a una distancia de la cabeza (A mayor o igual que R/2), todo en cm

Esfuerzo máximo en el casco

- Si el recipiente tiene anillo atiesador utilizar K_3 como valor de la constante K, (ver anexo)
- Si el recipiente no tiene anillo atiesador o esta cercano a la silleta, usar K_2 como valor de la constante K, (ver apéndice B)
- Las medidas de (L, A, H, t, y R), en cm, (Q), en Kg. y (S_2) en MPa

$$S_2 = \frac{K \times Q}{R \times t} \left(\frac{L - 2A}{L + \frac{4H}{3}} \right) \times 0.0980665, MPa$$

Debe cumplir:

$$S_2 < 0.8 \times S$$

De no cumplir con lo anterior se debe rediseñar el recipiente, ya que el recipiente no soportará el esfuerzo cortante en el casco.

d) Silleta cercana a la cabeza (A menor que R/2), todo en cm

Esfuerzo máximo en el casco

- El valor de K_4 , tomarlo de las tablas, (ver apéndice B)
- Las medidas de (t y R), en cm, (Q), en Kg. y (S_2) en MPa

$$S_2 = \frac{K_4 \times Q}{R \times t} \times 0.0980665, MPa$$

Debe cumplir:

$$S_2 < 0.8 \times S$$

De no cumplir con lo anterior se debe rediseñar el recipiente, ya que el recipiente no soportará el esfuerzo cortante en el casco.

Esfuerzo máximo en la cabeza

- El valor de K_4 , tomarlo de las tablas, (ver apéndice B)
- Las medidas de (t_c y R), en cm, (Q), en Kg. y (S_2) en MPa

$$S_2 = \frac{K_4 \times Q}{R \times t_c} \times 0.0980665, MPa$$

Debe cumplir:

$$S_2 < 0.8 \times S$$

De no cumplir con lo anterior se debe rediseñar el recipiente, ya que el recipiente no soportará el esfuerzo cortante en la cabeza.

Esfuerzo adicional en la cabeza

- Este valor de esfuerzo debe calcularse junto al anterior y ambos deben cumplir la indicación anterior.
- El valor de K_5 , tomarlo de las tablas, (ver apéndice B)
- El valor (S), será el esfuerzo a tensión permitido del material de la cabeza.
- Las medidas de (t_c y R), en cm, (Q), en Kg. y (S y S_3) en MPa

$$S_3 = \frac{K_5 \times Q}{R \times t_c} \times 0.0980665, MPa$$

Debe cumplir:

$$S_3 + \frac{P \times R}{2t_c} \leq 1.25 \times S$$

De no cumplir con lo anterior se debe rediseñar el recipiente, ya que el recipiente no soportará el esfuerzo cortante en la cabeza.

3. ESFUERZO CIRCUNFERENCIAL

a) Consideraciones

- Si en las fórmulas para S_4 , se usa placa de desgaste, siempre que ésta llegue ($R/10$), cm arriba del cuerno de la silleta y que (A), sea menor que $R/2$; puede tomarse el espesor (t), como la suma de los espesores del casco y de la placa de desgaste, (espesor = $t + t_{\text{placa}}$), y para t^2 , puede tomarse el valor de $(t^2 + t_{\text{placa}}^2)$.
- Se debe verificar el esfuerzo circunferencial combinado sobre el borde superior de la placa de desgaste, revisando el espesor del casco (t), el ancho de la silleta (b), y el ángulo central de la placa de desgaste, éste no debe ser mayor que 12° más que el ángulo del cuerno de la silleta.
- Si el casco no está atiesado, el esfuerzo máximo ocurre en el cuerno de la silleta. Este esfuerzo no debe sumarse al esfuerzo por presión interna.
- Si el casco está atiesado la máxima compresión de anillo ocurre en la parte inferior del casco.
- Se debe utilizar anillo atiesador si el esfuerzo flexionante circunferencia, (S_4), es mayor al esfuerzo máximo permitido.

b) Si $L \geq 8R$, sin anillo atiesador

Esfuerzo máximo en el cuerno de la silleta

$$S_4 = \left\{ - \left[\frac{Q}{4t \left(1 + 1.56 \sqrt{R \times t} \right)} \right] - \left[\frac{3K_6 \times Q}{2t^2} \right] \right\} \times 0.0980665, MPa$$

Debe cumplir

$$|S_4| < 1.5 \times S$$

- Si cumple con lo anterior, el recipiente resistirá el esfuerzo circunferencial
- Si no cumple con lo anterior, se debe diseñar de nuevo.
- Si el esfuerzo S_4 es mayor que el esfuerzo máximo permitido, se debe usar anillo atiesador

$$|S_4| > S_{\text{casco}} \Rightarrow \text{usar anillo atiesador}$$

c) Si $L < 8R$, sin anillo atiesador

Esfuerzo máximo en el cuerno de la silleta

$$S_4 = \left\{ - \left[\frac{Q}{4t \left(1 + 1.56\sqrt{R \times t} \right)} \right] - \left[\frac{12K_6 \times Q}{2t^2} \right] \right\} \times 0.0980665, MPa$$

Debe cumplir

$$|S_4| < 1.5 \times S$$

- Si cumple con lo anterior, el recipiente resistirá el esfuerzo circunferencial
- Si no cumple con lo anterior, se debe diseñar de nuevo.
- Si el esfuerzo S_4 es mayor que el esfuerzo máximo permitido, se debe usar anillo atiesador.

$$|S_4| > Scasco \Rightarrow \text{usar anillo atiesador}$$

Esfuerzo máximo en la parte inferior de la silleta

Con o sin anillo atiesador

$$S_5 = - \left[\frac{K_7 \times Q}{t \left(1 + 1.56\sqrt{R \times t} \right)} \right] \times 0.0980665, MPa$$

Debe cumplir

$$|S_5| < 0.5 \times S \text{ punto de fluencia en compresión}$$

- Si cumple con lo anterior el recipiente resistirá el esfuerzo circunferencial en la parte inferior de la silleta
- Si no cumple diseño de nuevo, (seleccione otro material, espesor, etc)

S. DISEÑO DE SILLETAS

1. UBICACIÓN DE LAS SILLETAS

Desde los puntos de vista estático y económico, se prefiere el uso de dos sillelas únicamente, en lugar de varios soportes, y esto es válido aun cuando sea necesario usar anillos atiesadores. La ubicación de las sillelas la determina a veces la situación de aberturas, resumideros etc, en el fondo del recipiente. Si no es tal el caso, las sillelas deben situarse en los puntos estáticamente óptimos.

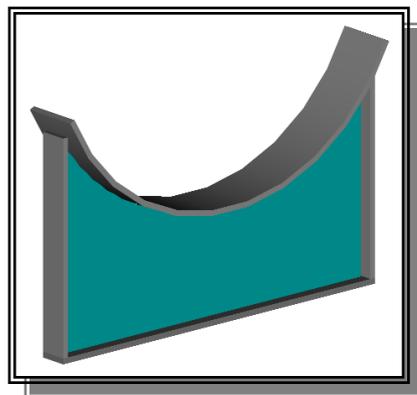


Fig. 14 Sillela de un recipiente Horizontal

Los recipientes de pared delgada y diámetro grande se soportan cerca de las cabezeras, para utilizar el efecto atiesador de las mismas. Respecto a los recipientes de pared gruesa, se aconseja soportarlos en donde el esfuerzo flexionante máximo longitudinal sobre las sillelas sea casi igual al esfuerzo sobre la mitad del claro. Este punto varía con el ángulo de contacto de las sillelas. La distancia, (A) entre la línea tangente a la cabeza y la sillela, en ningún caso debe ser mayor de 0.2 veces la longitud del recipiente (L).

Tabla 6, Valores de la constante K_{11} , respecto al ángulo de la sillela

Valores de la constante K_{11} , respecto al ángulo de la sillela α_1							
Ángulo	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°
K_{11}	0.204	0.222	0.241	0.259	0.279	0.298	0.318

El ángulo de contacto mínimo sugerido por el código ASME, es de 120°, excepto para recipientes muy pequeños, (apéndice del código G-6).

En su sección más baja, la sillela debe resistir la fuerza horizontal (F). La sección transversal eficaz de la sillela que resiste esta carga es igual a la tercera parte del radio del recipiente (R).

Donde:

Q = Carga sobre una silleta, Kg.

K₁₁ = Constante,

R = Radio del recipiente, cm

t = espesor placa de la silleta, cm

S = Esfuerzo permitido del material; MPa

$$F = K_{11} \times Q, kg$$

$$\text{Area Efectiva} = \left(\frac{R \times t}{3} \right), cm^2$$

Se debe cumplir:

$$\frac{0.0980665 \times F}{\text{Area Efectiva}} \leq \left(\frac{2 \times S}{3} \right)$$

- Si cumple la silleta con lo anterior, está bien diseñada.
- Si no cumple con lo anterior, rediseñar la silleta.

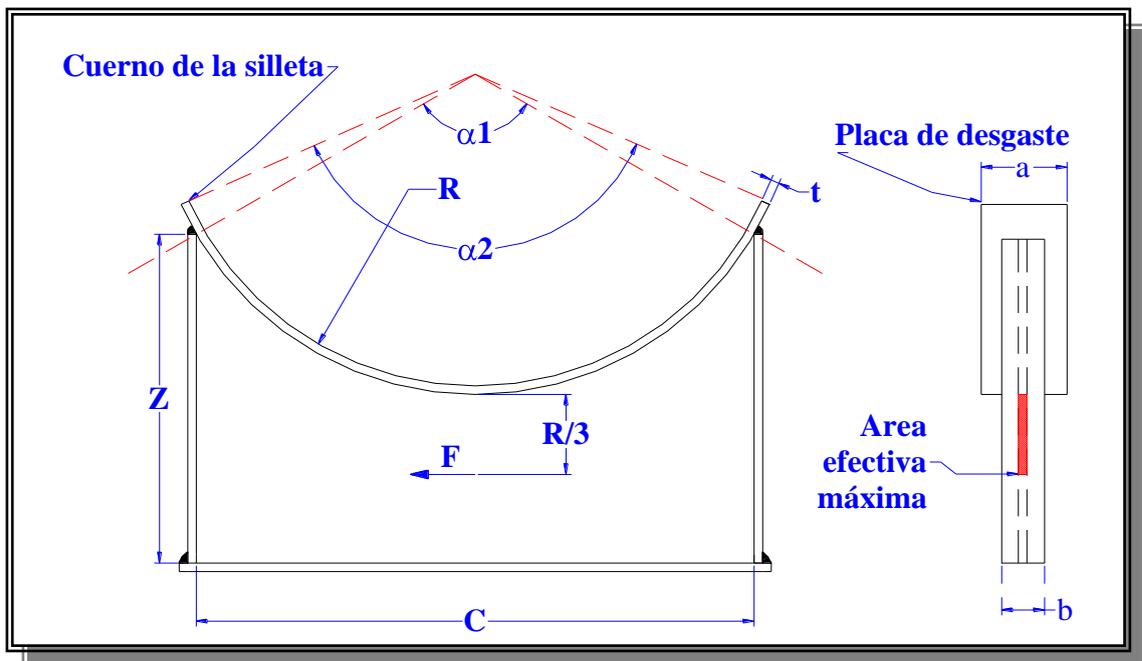


Fig. 15 Silleta y su área efectiva

2. DESPIEZE DE LA SILLETA

a) Paca de desgaste

La longitud de la placa de desgaste es determinada por la longitud del arco que esta posee, para calcular este arco se tiene la siguiente expresión.

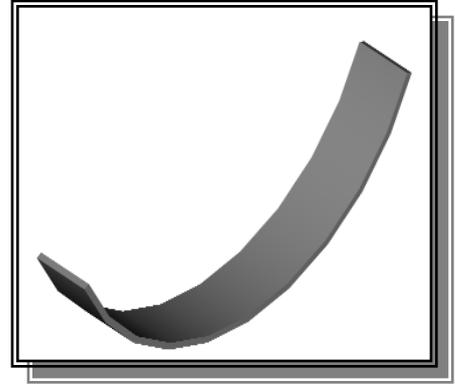


Fig. 16 Placa de desgaste de la silleta

$$Ls = 0.008727 \times \alpha_2 \times Dext, cm$$

$$\alpha_2 = 12^\circ + \alpha_1$$

$$As = 2b$$

Donde:

α_2 = Angulo central de la placa de desgaste, grados

D = Diámetro externo del recipiente, cm

Ls = Longitud del la placa de desgaste, cm

As = Ancho de la placa de desgaste, cm

b = ancho se la silleta, cm

Nota: El material y el espesor recomendado para esta placa de desgaste son los mismos, que para el recipiente. El radio utilizado para realizar la curvatura es el del radio externo del recipiente.

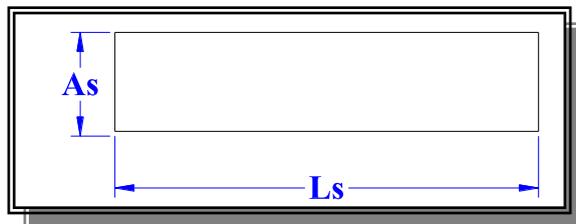


Fig. 17 Medidas de la placa de desgaste

b) Alma de la silleta

La longitud del alma de la silleta, (C) esta determinada por la cuerda que forma el ángulo central de la silleta, (α_1) con la circunferencia de la placa de desgaste.

La altura (Z), debe ser tal que comprenda la sumatoria de la altura del arco del alma, más la altura del (área efectiva máxima), comprendida por ($R/3$), más un adicional de seguridad, si el recipiente lo requiere.

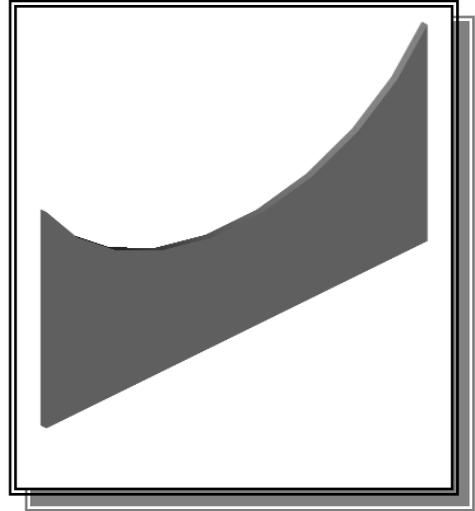


Fig. 18 Alma de la silleta

Para realizar el arco del alma se hará con el radio, (Ra), este comprende el radio exterior del recipiente más el espesor nominal de la placa de desgaste.

Teniendo entonces:

$$C = \left[2 \left(R + t_n \right) \sin \left(\frac{\alpha_1}{2} \right) \right], cm$$

$$Ra = R + t_n, cm$$

Donde:

α_1 = Angulo de la silleta, grados

C = Longitud alma de la silleta, cm

Z = Altura del alma de la silleta, cm

R= Radio externo del recipiente, cm

t_n = Espesor de lámina de la placa de desgaste, cm

Ra = Radio del alma de la silleta, cm

t_l = Espesor de placas laterales de la silleta, cm

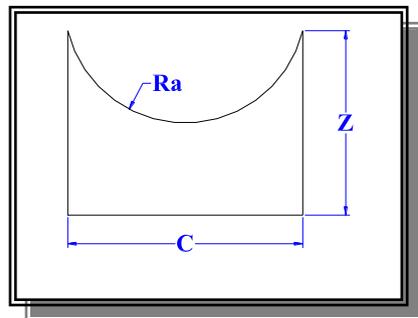


Fig. 19 Medidas del alma de la silleta

Nota: El material y el espesor recomendado para el alma de la silleta son los mismos, que para el recipiente.

c) Placas laterales de la silleta

Placas laterales, son dos idénticas y están definidas básicamente por tres medidas, el ancho de la silleta, (b), su altura, (Z), y su espesor, (t_l). Todas ellas en cm.

La medida del ancho de la silleta es una variable importante en el cálculo del esfuerzo circunferencia como vimos anteriormente, este valor se debe usar en cm.

Por otra parte la medida de la altura de las placas laterales queda en función del radio y del ángulo de la silleta, ya que esta debe ser suficiente para que tome encuenta la altura del arco de curvatura del alma, más la longitud (R/3), y un adicional; este adicional se usa solo en el caso que el recipiente no valla montado en columnas de cemento.

Como se verá en las siguientes fórmulas para el cálculo de la longitud (Z).

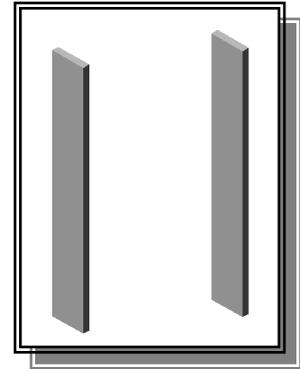
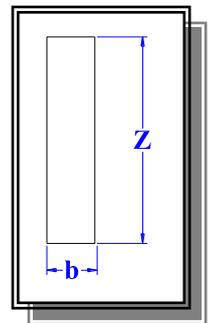


Fig.20 Placas laterales



$$Z = \left[\frac{\tan \left(90 - \frac{80 - \alpha_1/2}{2} \right)}{2} \right] \times C + \left[\frac{R}{3} \right] + \left[60 - \frac{R}{3} \right]$$

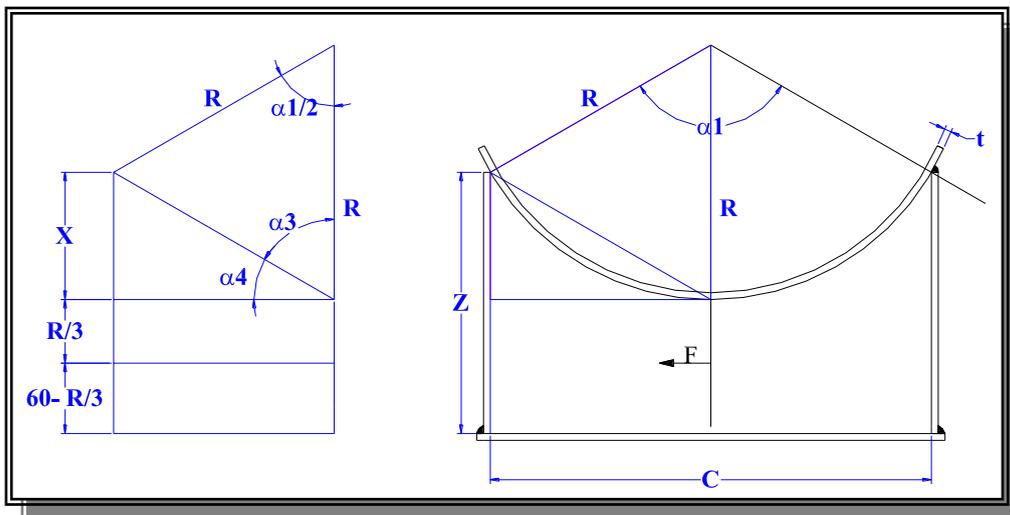


Fig. 21 Esquema de cálculo de la altura de la silleta "Z"

El espesor de estas dos placas se recomienda que sea el mismo que el recipiente, lo mismo se recomienda respecto a su material.

d) Palca de la base



Fig. 22 Placa de la base de la silleta

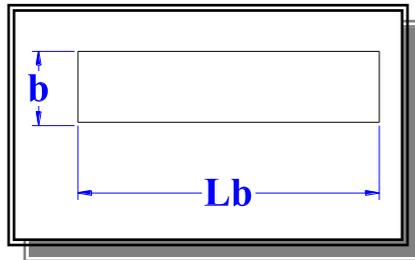


Fig. 23 Medidas de la placa base de la silleta

Donde:

Lb = Longitud de la placa base, cm

B = ancho de la placa, cm

$$Lb = C + 4t_n$$

El espesor de la placa base, se recomienda que sea el mismo que el recipiente, lo mismo se recomienda respecto a su material.

T. EXPANSIÓN Y CONTRACCIÓN DE RECIPIENTES HORIZONTALES

Para absorber la expansión y contracción térmicas, debe permitirse el movimiento de al menos una de las silletas, de preferencia la del lado opuesto al de las conexiones de tuberías. Para esto, se sujeta el recipiente con abrazaderas metálicas que permiten la expansión y contracción térmica; estas abrazaderas van sujetas de la columna de cemento en la cual descansa cada silleta.

También se pueden utilizar agujeros en la placa base de la silleta en forma de ojo chino, en la silleta opuesta a las alimentaciones o tuberías; con lo cual el recipiente se anclará a la columna de cemento por medio de tornillos de anclaje.

U. DISEÑO DE REGISTROS

1. REGISTROS

Todos los recipientes sujetos a presión que contendrán aire comprimido y aquellos sometidos a corrosión interna, erosión o abrasión mecánica, deben proveerse de un registro para entrada humana, un registro para mano u otras aberturas de inspección para ser revisados y limpiados.

2. FORMAS DE LOS REGISTROS

Los registros de inspección en recipientes sujetos a presión deben ser de preferencia circulares, elípticos u oblongos. Un registro oblongo es el formado por dos lados paralelos y extremos semicirculares. Los registros también pueden ser de formas diferentes a las anteriores.

3. TAMAÑO DE LOS REGISTROS

Las aberturas reforzadas correctamente no tienen limitación en cuanto a tamaño, pero cuando un registro en la cabeza de un recipiente sea mayor de la mitad del diámetro interior de la cabeza, se recomienda usar secciones de reducción del casco en el lugar de cabezas.

En los registros de inspección sus medidas se determinarán a partir de las tablas ofrecidas por los principales fabricantes autorizados por ASME, este se compone de un tubo con diámetro y altura apropiadas y acorde con la brida ASME y la brida ciega o tapa, también se compone de pernos y de una placa de refuerzo, si esta es necesaria. .

(ver apéndice C)

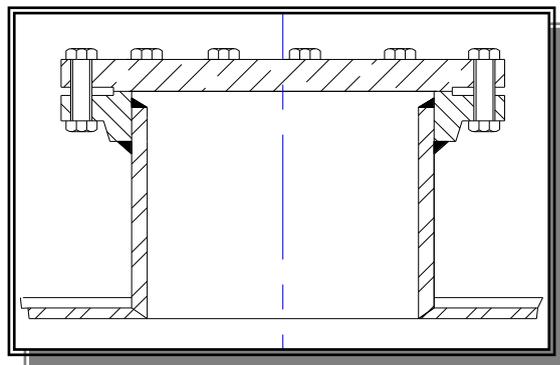


Fig. 24 Corte transversal de un registro

En el caso de entrada humana se establecen medidas mínimas, de diámetro interno las cuales deben ser de 46 cm, 0,91 cm, según, UG-46 (c),

El diseño de las dimensiones del registro es basado en la altura del mismo y en su diámetro; Se tiene entonces:

- Sus dimensiones deben ajustarse a las ofrecidas al proveedor de bridas, ASME.
- Si el diámetro exterior se encuentra entre el rango de (7 y 152) cm, el diámetro de la abertura del registro será de $(\text{Ø}_{\text{ext}} / 2)$, siempre y cuando no sea menor que 38 cm, ni mayor que 50 cm.
- Si el diámetro exterior es mayor a 152 cm, el diámetro de la abertura del registro será de $(\text{Ø}_{\text{ext}} / 3)$, siempre y cuando no sea menor que 38 cm, ni mayor que 1m.
- Loas aberturas de inspección se deberán ubicar en la cabeza o a una distancia cercana a las cabezas, si estas son pequeñas.
- Los registros deben de ser del mismo material que la placa de refuerzo y el recipiente.
- El espesor de la placa con la cual se fabrican los registros y el refuerzo es recomendable que sean igual al espesor del casco cilíndrico recipiente.
- La resistencia de la soldadura será igual a la resistencia del material con que se fabricó registro, el recipiente y la placa refuerzo.
- El valor de la distancia C será: de $0.7 t$ o 6 mm y la distancia (a) será: t , t_n , o 9.5 mm el valor que sea menor.
- El valor para el ángulo α será tal que permita la penetración y fusión completas en la junta, depende del espesor de la placa y de la técnica seleccionada.

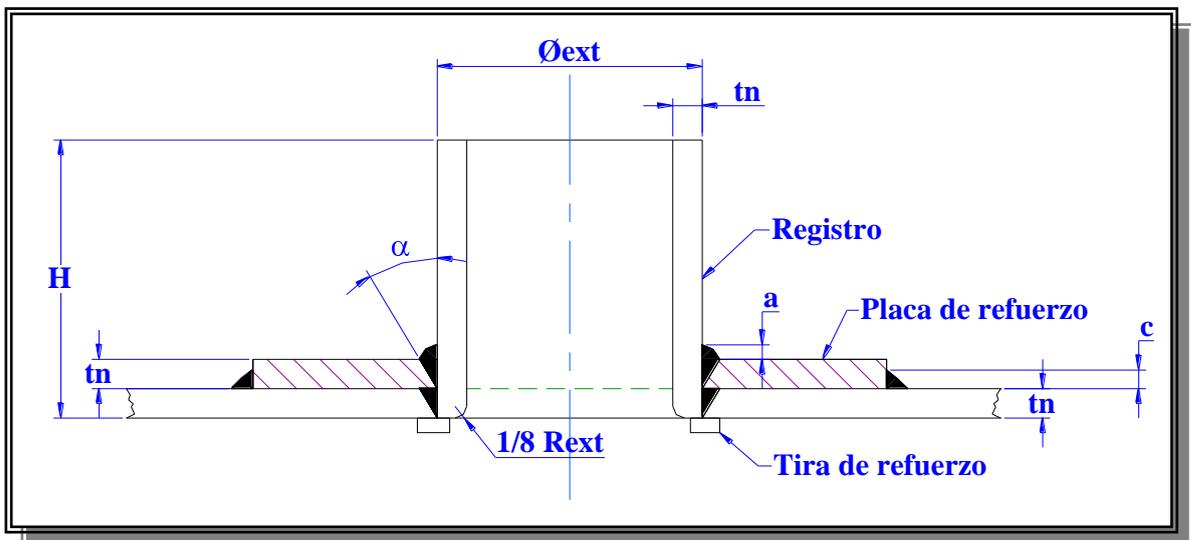


Fig. 25 Detalle de las medidas de un tubo de registro

4. DIÁMETRO DE LA PLACA DE REFUERZO:

$$A_1 = A_2$$

$$\Rightarrow D_{A2} = 2 \times D_{A1}$$

Donde:

. (ver apéndice C)

A_1 = Área transversal del agujero del recipiente, cm^2

A_2 = Área transversal de la placa de refuerzo, cm^2

D_{A1} = Diámetro exterior del registro, cm

D_{A2} = Diámetro del agujero del recipiente, cm

tn = Espesor nominal de lámina, cm

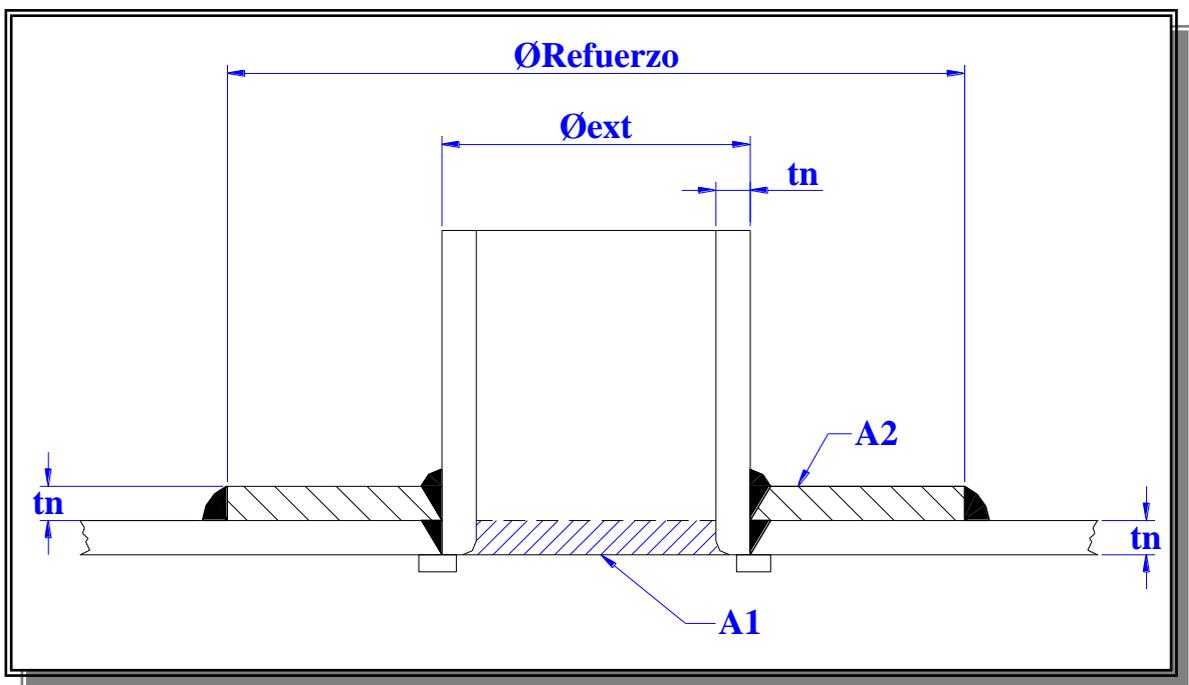


Fig. 26 Detalle del área de la placa de refuerzo del registro

5. ALTURA DEL REGISTRO Y BRIDA DEL RECIPIENTE

La altura del registro será determinada por el fabricante ya que esta medida depende de la presión nominal de la brida, esta y la brida ciega o tapa debe ser pedida a un proveedor certificado por ASME, y este es el que proporciona las medidas y datos técnicos de estas. . (ver apéndice C y D)

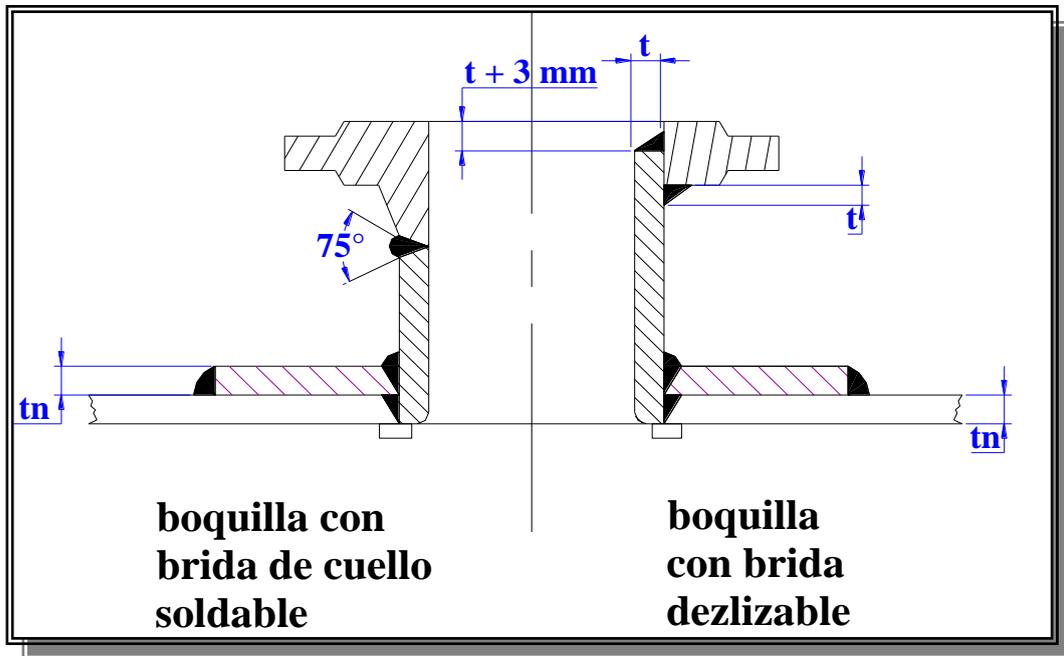


Fig. 27 Partes del registro, y soldaduras en su sección transversal, tubo y bridas.

V. BOQUILLAS DE CONEXIÓN.

1. ESPESOR DEL CUELLO DE UNA BOQUILLA

Para recipientes sujetos a presión interna, el espesor de la pared del cuello de la boquilla o de otra conexión no deberá ser menor que:

- El espesor calculado para las cargas aplicables sobre cuello de la boquilla.
- El valor medio de el espesor de la cabeza o casco, (usando $E = 0.8$, para calcular el espesor de casco o cabeza), donde esté conectada la boquilla, más el margen de corrosión. (Suponiendo $E = 1$),
- El valor medio del espesor de mínimo de la pared del tubo estándar más el margen de corrosión.

2. ACCESORIOS ROSCADOS

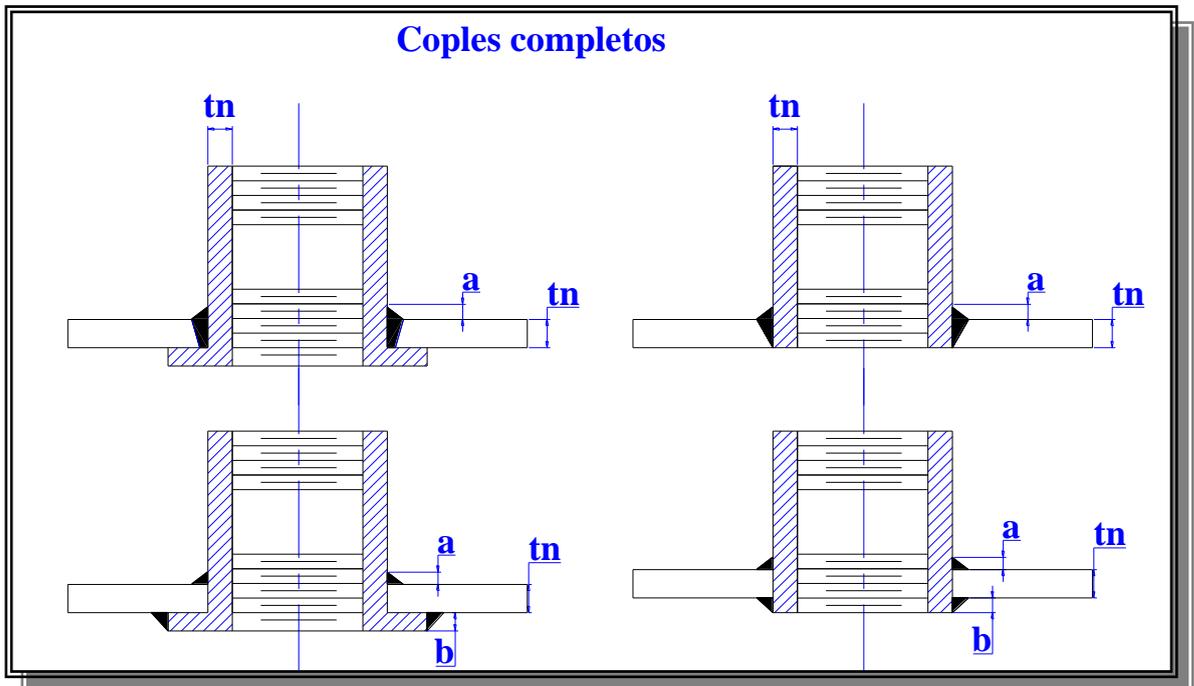


Fig. 28 distintas formas de soldar un cople completo

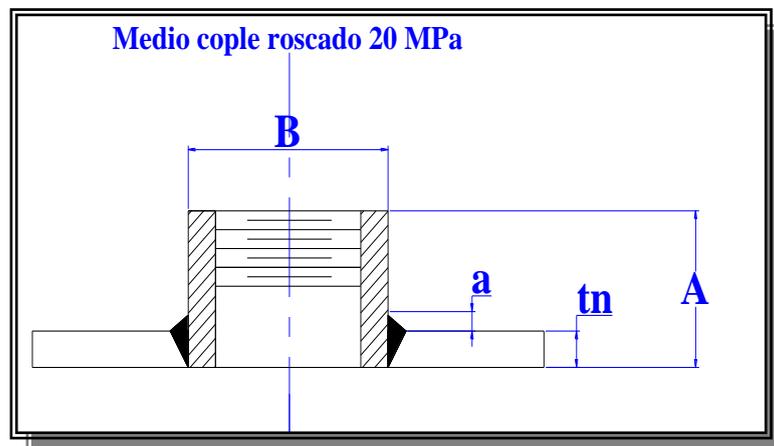


Fig. 29 Medio cople

. (Ver apéndice E)

Donde

a y b = Esta dimensión será igual tn . o bien 9.5 mm, la que resulte menor.

tn = Espesor nominal del recipiente, cm

B = Diámetro del cople o medio cople, cm

A = Altura del cople o medio cople, cm

W. ESPESOR REQUERIDO DE PARED DE TUBERÍA SUJETA A PRESIÓN INTERNA.

Este se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$t = \frac{P \times R}{S \times E - 0.6P}, \text{cm}$$

Donde:

t = espesor de pared mínimo requerido, (sin margen de corrosión), cm

P = Presión interna, MPa, manométrica.

S = 103.42 MPa, valor del esfuerzo de los materiales de uso más común para tubería ASTM A53 B y ASTM A 106 B a temperaturas no mayores que 340 °C

E = Eficiencia de la junta del tubo sin costura E = 1

R = Radio interior de la tubería, cm

Al seleccionar la tubería, deberá tomarse en consideración una tolerancia de 12.5%, en el espesor de pared.

El espesor mínimo de tubo es igual al espesor nominal multiplicado por 0.875.

V. ACCESORIOS PARA IZAJE

Para levantar el recipiente a presión se deberá utilizar sistemas de izaje, como orejas, estas se deben diseñar con mucho cuidado ya que su espesor y otras dimensiones van a depender de la masa del recipiente; las cargas a utilizar serán las ejercidas por el peso del recipiente vacío.

El diseño de la soldadura es de mucha importancia en este tipo de elemento mecánico, por lo cual se define la soldadura de filete:

1. SOLDADURA DE FILETE:

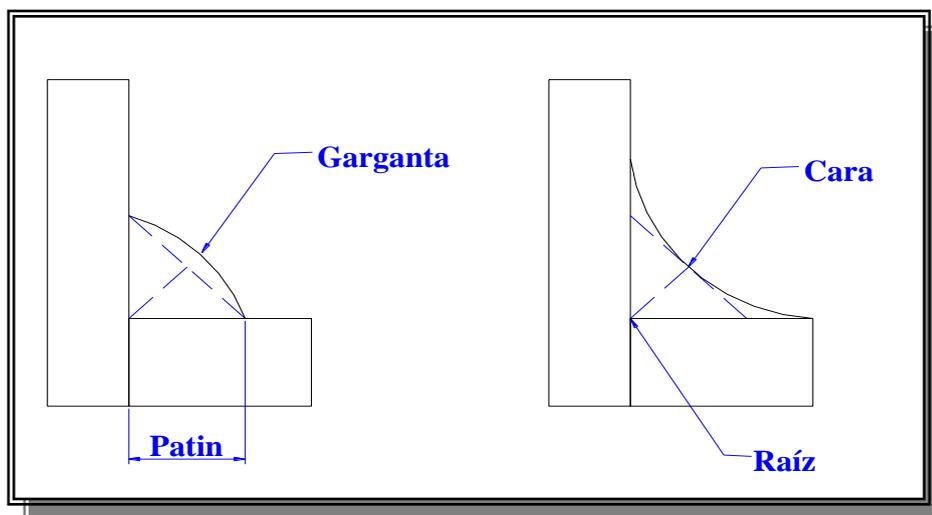


Fig. 30 Detalle de la soldadura de filete para la oreja de izaje

2. DIMENSIÓN DE LA SOLDADURA

- El tamaño de la soldadura de filete de lados iguales es la dimensión del cateto del triángulo rectángulo más grande de 45° que pueda inscribirse en la sección transversal de la soldadura.
- El tamaño de la soldadura de filete de patines desiguales es la distancia más corta de la raíz a la cara de la soldadura.
- La dimensión de la garganta es $= 0.707 \times$ dimensión del patín.

3. TAMAÑO MÍNIMO DE LA SOLDADURA

Tabla 6, Espesor de placa y tamaño mínimo de soldadura

Espesor de la placa más gruesa, mm	13	19	25	57	152.4	Mas de 152
Tamaño mín., de soldadura a filete, mm	5	7	8	10	13	16

El tamaño de la soldadura no necesita ser mayor que el espesor de la parte más delgada que se desee unir.

Indicaciones de la soldadura a filete.

- Se utilizará el tamaño mínimo requerido de soldadura de filete para la resistencia deseada. Ya que al aumentar el tamaño de una soldadura de filete, aumentan el volumen y costo en proporción al cuadrado del tamaño.
- Se colocará de manera que se evite excentricidad, además que sea fácilmente accesible y que pueda soldarse hacia abajo.
- La soldadura de filete debe aplicarse de forma tal que se encuentre transversal a la fuerza para lograr mayor resistencia.

4. CARGA PERMITIDA:

La resistencia de las soldaduras se produce en función del procedimiento de aplicación y del electrodo utilizado. Para juntas de acero al carbono, la máxima carga estática que se permite por lo común es de 66.1896 MPa,

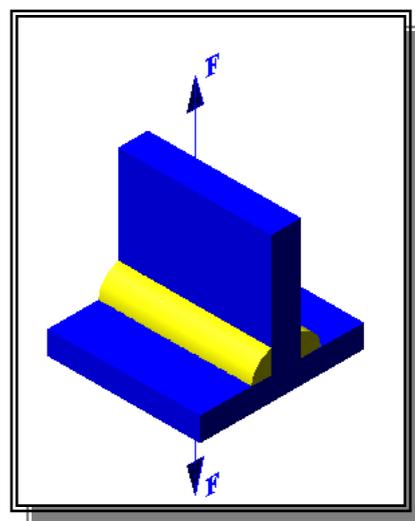


Fig. 31 Soldadura transversal a la fuerza

aplicada

Fórmula para el cálculo de las fuerzas que actúan en la soldadura

Tensión o compresión

$$W = \frac{P}{A_w}, \text{kg/cm lineal}$$

$$w = \frac{W \times 0.0980665}{f}, \text{cm}$$

Donde:

W = Carga sobre la soldadura de filete, Kg. /cm. lineal de soldadura.

w = Dimensión del patín de la soldadura de filete, cm

Aw = Longitud de la soldadura, cm

f = Carga permitida en la soldadura, 66.18 MPa

Todas las medidas en cm, B = borde cortado a cizalla, Bi = corte a gas rolado,

Br = brazo del momento

Tabla7, medidas de la oreja de izaje

Carga Kg.	D	Di	H	A	B	B1	Br
323	0.79	0.95	1.27	1.65			2.13
482	0.95	1.11	1.42	1.85			2.46
727	1.11	1.27	1.6	2.08	2.22	1.9	2.95
986	1.27	1.58	1.75	2.28	2.86	2.22	3.65
1282	1.58	1.9	2.38	3.09	3.17	2.54	4.44
2009	1.9	2.22	2.87	3.73	3.81	2.85	5.38
2897	2.22	2.54	3	3.9	4.44	3.17	5.71
3932	2.54	2.86	3.32	4.32	5.08	3.81	6.58
5136	2.86	3.17	3.81	4.95	5.71	4.12	7.47
6091	3.17	3.5	4.14	5.38	6.19	4.44	7.78
7500	3.5	3.81	4.44	5.79	6.67	4.76	9.19
9091	3.81	4.13	4.77	6.22	7.3	5.08	10.31
10796	4.13	5.1			7.78	5.55	10.64
14705	5.1	5.7	5.71	7.44	9.5	6.67	12
19318	5.7	6.35	6.5	8.46	10.47	7.62	13.33
24545	6.35	6.98	7.14	9.29	11.59	8.25	15.24
30727	6.98	7.62	7.46	9.7	12.7	9	17.8
36818	7.62	8.25			13.81	9.85	21.86
44090	8.25	8.57			15	10.8	24.73

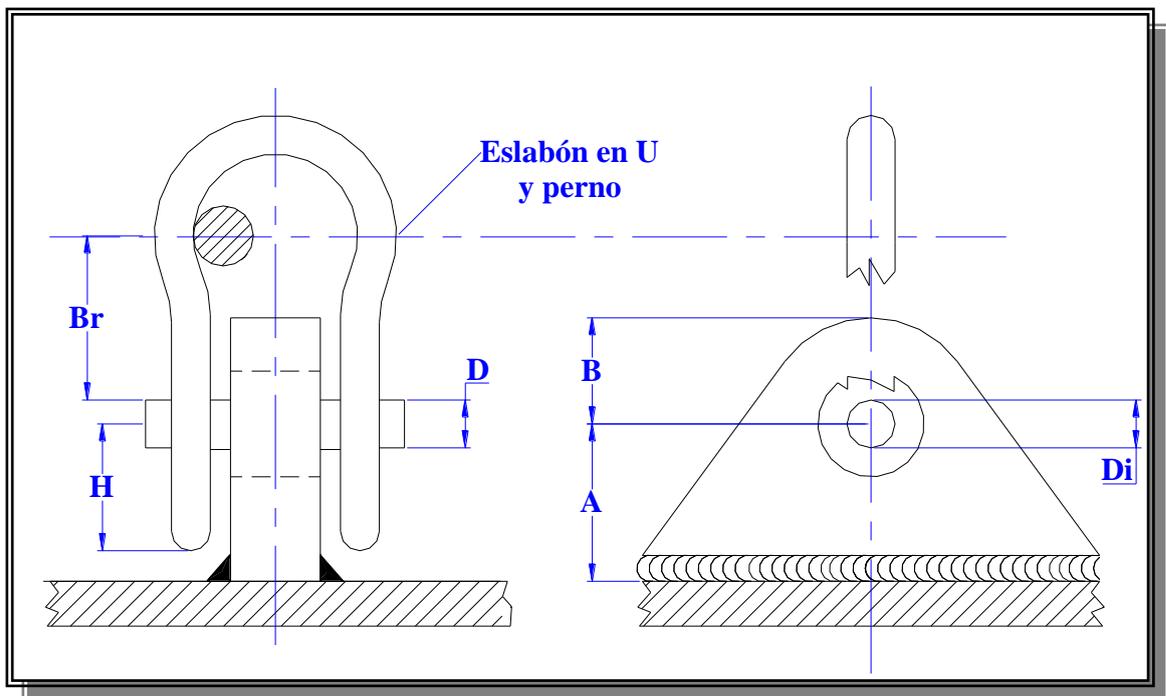


Fig. . 32 Detalle de la oreja de izaje, y dimensiones

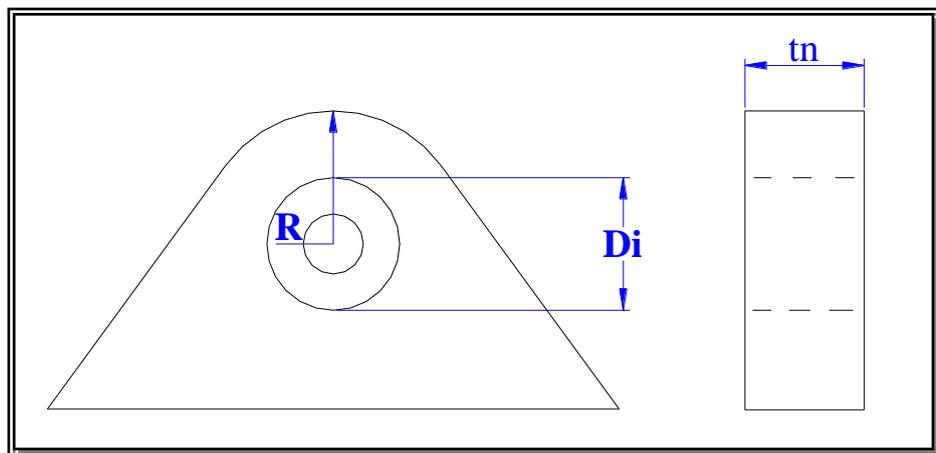


Fig.33 Detalle del radio y diámetro interno de la oreja de izaje

5. FÓRMULA PARA EL ESPESOR DE LA OREJA

Donde:

T = Espesor requerido de la oreja, cm

P = Carga en Kg.

S = Esfuerzo cortante permitido, MPa

$$t = \frac{P \times 0.0980665}{2S(R - D_1 \times 0.5)}, \text{cm}$$

Nota: el material utilizado para la oreja, se recomienda que sea el mismo usado en el recipiente o utilizar ASTM A 515-Gr 70, o ASTM A 302, o equivalente.

W. PINTURA APLICADA PARA SUPERFICIES DE ACERO

El objeto principal de la pintura es la conservación de las superficies de acero. La pintura retarda la corrosión, evitando el contacto de los agentes corrosivos con la superficie del recipiente, por su acción inhibidora de la oxidación debida a las propiedades electroquímicas del material de la pintura. Las pinturas deben ser adecuadas para resistir los efectos del medio, el calor, el impacto, la abrasión y la acción de las sustancias químicas.

1. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE.

El requisito principal para pintar con éxito una superficie es el desprendimiento de las escamas de laminación, el óxido, suciedad, grasa, aceite y la materia extraña.

2. CONSIDERACIONES ECONÓMICAS.

La selección de pintura y la preparación de superficies que van más allá de los aspectos técnicos se convierten naturalmente en un problema de economía. El costo de la pintura está normalmente entre (25 y 30) % o menos del costo que representa pintar una estructura, de donde se deriva la ventaja de utilizar pintura de alta calidad. El 70 por ciento o más del costo total de un trabajo de pintura se encuentra en la preparación de la superficie, y el costo de preparación a diferentes grados varía en proporción de 1 a 10. Por ejemplo, el costo de limpieza con chorro de arena es alrededor de 10 a 1 dos veces mayor que es el de limpieza manual con cepillo de alambre. El costo de preparación de la superficie que debe equilibrarse con el incremento de la vida útil del recipiente.

3. ABRASIÓN

Cuando la pintura debe resistir la abrasión, es importante que tenga buena adhesión. Para lograr la máxima adhesión, la mejor limpieza es la que se hace a chorro de arena, que aunque también es satisfactoria la limpieza por medio de productos químicos.

4. CANTIDAD REQUERIDA DE PINTURA

Teóricamente, un galón de pintura cubre, 148 m² de superficie con una película de (1 mils), 25.4 μm, estando húmeda. El espesor seco se determina por el contenido de sólido (no volátil) de la pintura, el cual puede hallarse en la especificación de la etiqueta o el en las indicaciones del fabricante.

En la práctica, especialmente para el uso con aspersores, no puede utilizarse nunca la pintura al 100%. Las pérdidas debidas al exceso de aspersion (en tuberías, etc.) tiende a disminuir la cobertura real a 40 o 60%, o aún más.

5. EL RENDIMIENTO TEÓRICO

Se define como la superficie que se obtiene al esparcir un galón americano (3785 cc) de pintura sobre una superficie idealmente lisa, en una capa uniforme de una milésima de pulgada de espesor (25,4 micrones) y sin que medien pérdidas de ninguna especie. Equivale a 149,01 m²/gl para un galón 100 por ciento no volátil.

Este valor teórico se basa en el concepto de volumen sólido, es decir, en la cantidad de material útil no evaporable expresado en porcentaje del volumen contenido dentro de un tarro de pintura. Es en consecuencia, un valor matemático perfectamente calculable a partir de la formulación y éste deberá ser afectado de todos los factores de pérdidas acordes a las condiciones de terreno y que denominaremos factor de eficiencia “fe”.

Para llegar del “rendimiento teórico” al “rendimiento práctico”, que es el finalmente obtenido en la faena, se deberá considerar el factor de eficiencia “fe”, que se determina en función de las siguientes variables:

6. PÉRDIDAS INHERENTES AL PROCESO

Por ejemplo, pérdidas por goteo, derrames y material que queda dentro del tarro y en los elementos de aplicación (brochas, rodillos, equipo de pintar, etc.)

7. CALIDAD DE LA SUPERFICIE

Una superficie rugosa y áspera, indudablemente, requerirá una mayor cantidad de pintura que una superficie lisa. Tiene en este aspecto mucha importancia la granulometría del material empleado en una limpieza mediante chorro abrasivo. Un abrasivo de grano grueso y duro deja un perfil de corte mucho más burdo y áspero que uno de grano fino y blando.

La rugosidad nos provoca un considerable aumento de la superficie real o topográfica con respecto a la superficie proyectada. Este aspecto debe necesariamente ser considerado a objeto de no inducir a error en los cálculos. Para formar una idea de la importancia de este punto se indica a continuación el aumento de la superficie (topográfica) en función de la rugosidad media en micrones.

Tabla 8 Rugosidad de superficie y aumento de área

RUGOSIDAD	%AUMENTO
<u>(Micrones)</u>	2. SUPERFICIE
30	26
40	36
50	46
60	54
70	61

8. TIPO DE EQUIPO

El tipo de equipo empleado tiene importancia en el rendimiento ya que, por ejemplo, una aplicación con brocha no tiene pérdida por sobrepulverización. En cambio, una aplicación a pistola pierde grandes cantidades por este concepto, principalmente, cuando se trabaja en altura y con viento. Debe por lo tanto conocerse el tipo y calidad del equipo con el que se efectuará la aplicación.

9. CONDICIONES CLIMÁTICAS

No debe despreciarse la importancia del viento y de las condiciones climáticas imperantes, por cuanto el viento provoca pérdidas por arrastre de la pintura pulverizada y por otra parte, debido a que ésta se seca prematuramente, ella no puede estirarse al espesor especificado, quedando en capas más gruesas, con la consiguiente baja de rendimiento. Además, las pinturas son más viscosas a temperaturas bajas lo que hace aumentar los espesores obtenidos o aumentar por otra parte el consumo de diluyentes.

10. UBICACIÓN DE LA OBRA

Es comprensible que un aplicador en el suelo y en posición cómoda trabaja con mejor rendimiento que uno que está colgando de un andamio en altura.

11. GALONES CON RENDIMIENTO CERO

Este punto constituye otro factor importante de baja de rendimiento y está representado por derrames, sedimentos, robos, 'favores', etc.

En resumen, dada la gran diversidad de los factores que inciden en este aspecto, es prácticamente imposible determinar a priori cuál va a ser el rendimiento práctico y real de la pintura. La experiencia ha demostrado no obstante, que el factor de eficiencia oscila entre los siguientes valores.

Tabla 9, factor de eficiencia para cada condición aplicación de pintura

FACTOR EFICIENCIA (fe)	CONDICIONES
0,6	Óptimas
0,5	Normales
0,4	Adversas

Termino medio y valor recomendado para efectos de cubicación es asumir un factor de 0.5 lo que equivale a un 50 % de aprovechamiento real.

Para obtener los valores correspondientes de galones necesarios para pintar un área determinada se tienen las siguientes fórmulas.

$$At = 2 \times \left[P_{ext} \times \pi \times L \right] + \left[0,09 \times D_{ext}^2 \right] \times 1,2, m^2$$

Nota: El área se multiplica por 1.2 que corresponde al área de los registros y siletas, además se multiplica por 2, ya que el recipiente será pintado por dentro y por fuera.

$$Rt = \left[\%Sólidos \text{ volumétrico} \right] \times 1,5 \left[n^2/gl \right] \text{ a } 1 \text{ mils seco}$$

$$Rp = Rt \times fe \left[n^2/gl \right] \text{ a } 1 \text{ mils seco}$$

$$Rpf = \frac{Rp}{n} \left[n^2/gl \right] \text{ a } 1 \text{ mils seco}$$

$$N^{\circ}Galones = \frac{At}{Rpf}, \text{ gl USA}$$

Donde:

At = Área total superficial del recipiente.

Rt = Rendimiento teórico en m²/galón/25,4 micrones (1 mils) seco.

% Sol.volumétrico = fracción sólida en volumen de la pintura.

1,5 = factor constante que proviene de la aproximación de 149,01 m² que pueden recubrirse con una pintura 100 % sólida a un espesor de 1 mils o 25,4 micrones.

Rp = Rendimiento práctico estimado en m²/gl/25,4 micrones (1 mils) seco.

fe = Factor de eficiencia estimado (0,5 - 0,6 ó 0,4 según el caso)

n = Espesor seco mínimo en mils, (25.4 micras)

D_{ext} = Diámetro externo del recipiente, m

L = Longitud del casco del recipiente, m

Se pueden unir las fórmulas anteriores para calcular la cantidad de galones de pintura, en una sola más fácil de usar, usando (factor de eficiencia 0.5), como sigue:

$$\text{Numero de Galones} = \left(\frac{At \times n}{\% \text{ SolVol} \times 1.5 \times 0.5} \right)$$

X. CALCULO DE LONGITUD DE SOLDADURA

La longitud total de soldadura se puede calcular realizando la suma de las siguientes expresiones:

- Soldadura circunferencial y longitudinal total

$$L_{sold} = L + (\#Virolas + 1) \times \pi \times R$$

- Soldadura total de las silletas

$$0.017454 \times \alpha_2 \times D_{ext} + 6b$$

$$\left(4(R + R_{ext}) \times \sin\left(\frac{\alpha_1}{2}\right) + 4Z + 0.017454 \times \alpha_1 \times 2(R_{ext} + t_n) \right)$$

- Soldadura total de registro

$$4 \times \pi \times R_r + H_{regis} + 2 \times \pi \times R_{pr}$$

- Soldadura total de aberturas del recipiente.

$$\#aberturas \times 2 \times \pi \times R_{abertura}$$

Donde:

R_{pr} = Radio exterior de la placa de respaldo, cm

R_r = Radio externo del registro, cm

tn = Espesor nominal, cm

L = Longitud del cilindro, cm

R y R_{ext} = Radio externo del recipiente, cm

a1 = Angulo de la silleta, grados

b = ancho lateral de la silleta, cm

Z = altura de la silleta, cm

D = Diámetro externo del recipiente, cm

El resultado se expresa en cm

III. RESULTADOS OBTENIDOS
EJEMPLO DE DISEÑO DE UN RECIPIENTE A PRESIÓN

A. EJEMPLO DE DISEÑO

Datos iniciales:

Se necesita realizar el diseño de un recipiente a presión que va a contener Gas Licuado de Petróleo, este recipiente será de tipo horizontal y básicamente contendrá propano comercial, para el cual es necesario utilizar una presión de diseño de 2.4 MPa, para una capacidad de agua de 12.77 m³, no utilizará columnas de cemento para su instalación, y trabajará a temperatura ambiente.

El cliente de este recipiente necesita que se realice el diseño respectivo así como la selección de materiales, la pintura y además requiere que el recipiente tenga un registro para hombre.

P. diseño: 2.4 MPa

P: (presión en adelante)

Volumen 12.77 m³

Solución:

Necesitamos definir las presiones del recipiente; aplicando las fórmulas respectivas tendremos:

B. P. MÁXIMA DE TRABAJO

$$P_{\max Trab} = P_{\text{diseño}} - 0.20684 \text{ MPa}$$

$$P_{\max Trab} = 2.4 - 0.20684, \text{ MPa}$$

$$P_{\text{máx. Trabajo}} = 2.1931 \text{ MPa}$$

ó

$$P_{\max Trab} = P_{\text{diseño}} \times 0.85, \text{ MPa}$$

$$P_{\max Trab} = 2.4 \times 0.85, \text{ MPa}$$

$$P_{\text{máx. trabajo}} = 2.04 \text{ MPa}$$

Se tomará como presión máxima permitida la menor de las dos anteriores,
P máx. trabajo 2.04 MPa

C. P. DE PRUEBA HIDRÁULICA (PPH)

$$PPH = 1.5 \times P_{\text{max Diseño}}, MPa$$

$$PPH = 1.5 \times 2.4, MPa$$

$$PPH = 3.6 \text{ MPa}$$

La presión de prueba Hidráulica será de 3.6 MPa.

D. P. DE VÁLVULA DE ALIVIO (PA)

$$PA = Pd, MPa$$

$$PA = 2.4, MPa$$

La presión de alivio para el recipiente será de 2.4, igual que la presión de diseño.

A partir del volumen de inicio se procede a calcular las dimensiones de diámetro y longitud del casco del recipiente, para este caso se debe recordar que el diámetro de la cabeza se debe seleccionar entre los dados por el fabricante.

Diámetro interno de la cabeza seleccionada partir del procedimiento tamaño óptimo. (Ver apéndice A)

$$D_{\text{int}} = 1.50 \text{ m}$$

Tenemos la fórmula para el cálculo de la longitud:

$$L = \frac{V_t - 0.2618 \times D^3}{0.7854 \times D^2}, m$$

$$L = \frac{12.77 - 0.2618 \times 1.5^3}{0.7854 \times 1.5^2}, m$$

$$L = 6.73 \text{ m}$$

La longitud del cilindro del recipiente será de 6.73m

Con esta información ya tenemos las dimensiones del recipiente que nos servirá para el cálculo del espesor de lámina a utilizar.

E. ESPEORES DE LÁMINA

Para poder calcular el espesor de lámina a utilizar en las paredes del casco y de la cabeza es necesario antes definir el tipo de material a utilizar, ya que con esto obtendremos el valor del esfuerzo del material. También debemos seleccionar cual será la eficiencia de junta a utilizar, se tiene entonces:

1. MATERIAL SELECCIONADO ASMT 515 GR 70

Utilizando un factor de seguridad de 2.17 y teniendo el valor del Esfuerzo de fluencia

$S_y = 262$ MPa, (de la norma) se obtiene el valor de esfuerzo permitido, $S_{\text{permitido}} = 120.65$ MPa, con el diseñaremos.

$$S_{\text{permitido}} = \frac{S_{\text{fluencia}}}{n} = \frac{262 \text{ MPa}}{2.17} = 120.65, \text{ MPa}$$

Para un rango de temperatura de 253 K a 610 K

2. EFICIENCIA DE JUNTA

$E = 0.85$, eficiencia junta en el casco, examinado por zonas.

$E = 1$, eficiencia para cabezas sin costura.

3. Calculo para el espesor requerido de lámina del casco a partir de medidas internas (t)

$$t = \frac{Pd \times R}{S \times E - 0.6 \times Pd}, m$$

$$t = \frac{2.4 \times 0.75}{120.65 \times .85 - 0.6 \times 2.4}, m$$

$t = 0.0178$, m ó $t = 1.78$ cm

El espesor requerido de lámina será de 17.8 mm.

a) Espesor de diseño del caso (td)

$$td = t + \text{margen de corrosión}, \Rightarrow Td = 17.8 + 3, mm$$

$$td = 20.8 \text{ mm}$$

b) Espesor nominal del caso (tn)

El espesor nominal será el espesor inmediatamente posterior que ofrezca el proveedor, para este caso será lámina de espesor de 2.2 cm.

$$tn = 22.2 \text{ mm}$$

4. Calculo para el espesor requerido de cabeza elipsoidal a partir de medidas internas (tc)

$$tc = \frac{Pd \times D}{2 \times S \times E - 0Pd}, m$$

$$tc = \frac{2.4 \times 1.5}{2 \times 120.65 \times 1 - 0.2 \times 2.4}, m$$

$$tc = 0.0149, m \text{ ó } tc = 14.95 \text{ mm}$$

El espesor requerido de lámina para cabeza elipsoidal será de 14.95 mm.

a) Espesor de diseño de cabeza elipsoidal (tcd)

$$Tcd = t + \text{margen de corrosión}, \Rightarrow Td = 14.9 + 3, mm$$

$$Tcd = 17.95 \text{ mm}$$

b) Espesor nominal de cabeza elipsoidal (tcn)

El espesor nominal será el espesor inmediatamente posterior que ofrezca el proveedor, para este caso será cabeza elipsoidal con espesor de 19.05 mm.

$$tcn = 19.05 \text{ mm}$$

F. MASA METÁLICA DEL RECIPIENTE

1. Masa de las dos cabezas elipsoidales (Pcab)

$$P_{cab} = 2 \times D^2 \times 1.308 \times t_{nc} \times 7850, kg$$

$$P_{cab} = 2 \times 1.5^2 \times 1.308 \times 0.019 \times 7850, kg$$

Masa de las cabezas, Pcab = 877 Kg.

2. Masa del casco metálico del recipiente (Pc)

$$P_c = 2\pi \times R \times L \times T_n \times 7850, kg$$

$$P_c = 2\pi \times 0.75, m \times 6.73, m \times 0.022, m \times 7850 \frac{kg}{m^3}, kg$$

Masa del casco metálico, Pc = 5 477 Kg.

3. Masa metálica total del recipiente (Pm)

$$P_c + P_{cab} = P_m$$

Masa metálica total Pm = 6 354 kg

4. Masa de la capacidad de agua del recipiente

$$P_{agua} = Vt \times \delta, kg$$

$$P_{agua} = 12.77 m^3 t \times \frac{1000 lt}{m^3} \times 1 \frac{kg}{lt}, kg$$

Masa de agua, Pagua = 12 770 Kg.

5. MASA TOTAL DEL RECIPIENTE PT

$$PT = (P_{agua} + P_m) \times 1.09, kg$$

$$PT = (2770 + 6354) \times 1.09, kg$$

Masa total, PT = 20 845kg.

G. CARGA EN CADA UNA DE LAS SILLETAS (Q)

$$Q = \frac{PT}{2}, kg$$

$$Q = \frac{20845}{2}, kg$$

Q = 10 422 Kgf.,

Nota: por facilidad en los cálculos se usará kgf, en lugar de Newton, como unidad de carga.

H. ESFUERZOS NORMALES Y CORTANTES

1. CALCULO DE ESFUERZOS σ_1 σ_2 y σ_3

$$\sigma_1 = \frac{P \times R}{t}, MPa$$

$$\sigma_1 = \frac{2.4 \times 0.77}{0.022}, MPa$$

$\sigma_1 = 84$ MPa

$$\sigma_2 = \frac{P \times R}{2t}, MPa$$

$$\sigma_2 = \frac{2.4 \times 0.77}{2 \times 0.022}, MPa$$

$\sigma_2 = 42$ MPa

$$\sigma_3 = -P$$

$\sigma_3 = - 2.4$ MPa

2. ESFUERZOS CORTANTES Tmax y Tmax absoluto

$$T_{\max} = \frac{2.4 \times 0.77}{4 \times 0.019}$$

$$T_{\max} = \frac{P \times R}{4t}$$

$$T_{\max} = 21 \text{ MPa}$$

Tmax Absoluto

$$T_{\max} = \frac{P \times R}{2t}$$

$$T_{\max} = \frac{2.4 \times 0.77}{2 \times 0.019}$$

$$T_{\max} \text{ absoluto} = 42 \text{ MPa}$$

I. DIAGRAMAS DE MOHR

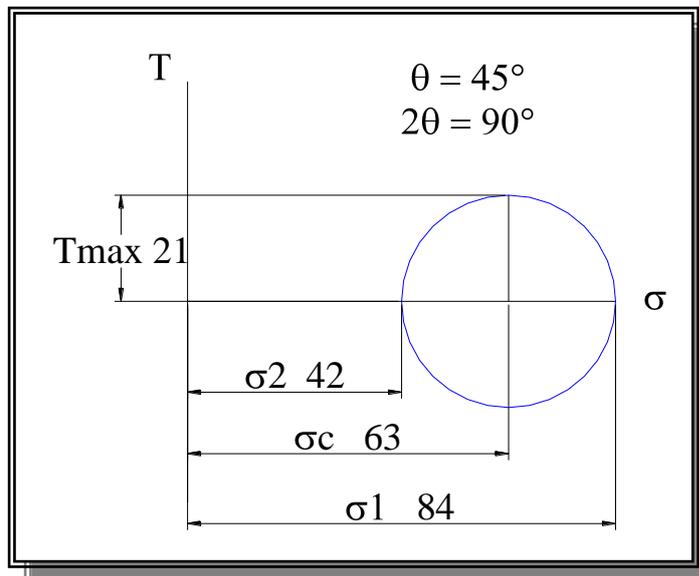


Fig. 34 Ejemplo de diseño Círculo de Mohr

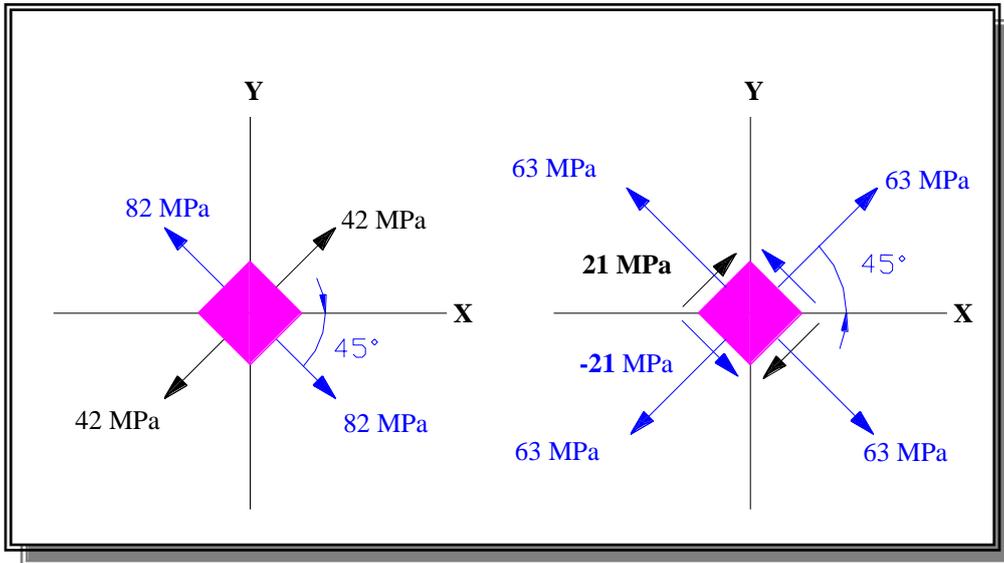


Fig. 35 Ejemplo de diseño, esfuerzos obtenidos del círculo de Mohr

DIAGRAMA DE MOHR EN TRES DIMENSIONES

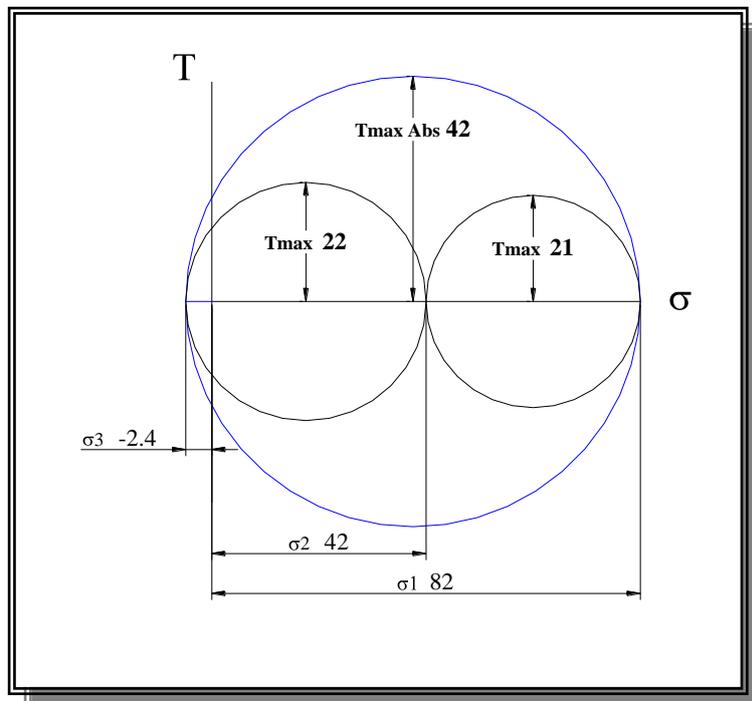


Fig. 36 Ejemplo de diseño, Círculo de Mohr

J. ESFUERZOS EN RECIPIENTES MONTADOS SOBRE SILLETAS

Para realizar los cálculos de esfuerzos se deben definir los valores siguientes

1. Distancia de la línea tangencial de la cabeza al centro de la silleta, (A)

$$(A) = 0.1 L$$

$$A = 0.1 \times 6.73 \text{ m}$$

$$A = 0.673 \text{ m } \text{ ó } \text{ 67.3 cm}$$

2. Profundidad de la concavidad de la cabeza elipsoidal (H)

$$H = 0.25 D_{ext}$$

$$H = 0.25 \times 1.54$$

$$H = 0.386 \text{ m } \text{ ó } \text{ 38.6 cm}$$

3. Constante (K)

$$K_1 = 0.335 \text{ para un ángulo de } 120^\circ$$

4. Angulo de la silleta (α_1)

$$(\alpha_1) = 120^\circ$$

5. Esfuerzo flexionante (S_1)

$t/R > 0.005$ como $17.8/77.2 = 0.0230 > 0.005$, el esfuerzo a compresión no es factor de importancia, por lo tanto trabajamos con el S_1 a tensión.

Esfuerzo máximo en las silletas

$$S_1 = \pm \frac{Q \times A \left(1 - \frac{1 - \frac{A}{L} + \frac{R^2 + H^2}{2A \times L}}{1 + \frac{4H}{3L}} \right)}{* K \times R^2 \times t}, \times 0.0980665, MPa$$

$$S_1 = \pm \frac{10422 \times 67.3 \left(1 - \frac{1 - \frac{67.3}{673} + \frac{77.2^2 + 38.6^2}{2 \times 67.3 \times 673}}{1 + \frac{4 \times 38.5}{3 \times 673}} \right)}{* 0.335 \times 77.2^2 \times 1.78}, \times 0.0980665, MPa$$

$$S_1 = 1.66 \text{ MPa}$$

Esfuerzo máximo a la mitad del claro

$$S_1 = \pm \frac{\frac{Q \times L}{4} \left(\frac{1 + 2 \frac{R^2 - H^2}{L^2}}{1 + \frac{4H}{3L}} - \frac{4A}{L} \right)}{\pi \times R^2 \times t} \times 0.0980665, MPa$$

$$S_1 = \pm \frac{\frac{10422 \times 673}{4} \left(\frac{1 + 2 \frac{77.2^2 - 38.6^2}{673^2}}{1 + \frac{4 \times 38.6}{3 \times 673}} - \frac{4 \times 67.3}{673} \right)}{\pi \times 77.2^2 \times 1.78} \times 0.0980665, MPa$$

$$S_1 = 2.744 \text{ MPa}$$

Tomamos el S_1 , mayor de los anteriores, ósea $S_1 = 2.74 \text{ MPa}$, (en la mitad del claro), y como estamos trabajando a tensión se debe cumplir la siguiente condición:

$$S_{\text{permitido}} = 120.65 \text{ MPa ASTM 515 Gr 70}$$

$$S_1 + \frac{P \times R}{2t} \leq S_y \times E$$

$$2.74 + \frac{2.4 \times 77.2}{2 \times 1.78} \leq 120.65 \times .85$$

$$54.78, MPa \leq 102 MPa$$

Si cumple por lo tanto las dimensiones de diseño no provocarán flexión en el recipiente.

Además como el S_1 es menor al $S_{\text{permitido}}$ del material, entonces el recipiente no necesita anillo atiesador.

6. Esfuerzo cortante Tangencial (S_2)

Estimar $R/2$ respecto a A

$$77.2 / 2 < 67.3$$

Como $R/2 < A$, utilizamos el método de silletas a una distancia de la cabeza.

No se tiene anillo atiesador por lo tanto el valor de la constante, será $K = K_2$

$K_2 = 1.171$ para un ángulo de 120°

$$S_2 = \frac{K \times Q}{R \times t} \left(\frac{L - 2A}{L + \frac{4H}{3}} \right) \times 0.0980665, MPa$$

$$S_2 = \frac{1.171 \times 10422}{76.5 \times 1.78} \left(\frac{673 - 2 \times 67.3}{673 + \frac{4 \times 38.6}{3}} \right) \times 0.0980665, MPa$$

$$S_2 = 6.23 \text{ MPa}$$

Debe cumplir con la siguiente expresión:

$S_{\text{permitido}} = 120.65 \text{ MPa}$ ASTM 515 Gr 70

$$S_2 < 0.8 \times S_y$$

$$6.23 < 0.8 \times 120.65$$

$$6.23 \text{ MPa} < 96.52 \text{ MPa}$$

Si cumple por lo tanto las dimensiones de diseño no provocarán un esfuerzo cortante que perjudique la integridad del recipiente.

7. Esfuerzo circunferencial (S_4)

Para realizar el cálculo para el esfuerzo circunferencial debemos antes definir los siguientes parámetros:

Ancho de la silleta (b)

Utilizaremos un $B = 15 \text{ cm}$

Valor de la constante K . (ver apéndice B)

$K_6 = 0.047$ para un ángulo de silleta de 120° y una relación A/R de 0.88

$K_7 = 0.760$ para un ángulo de silleta de 120°

Relación de L respecto a R

como $673 \geq 8 \times 77.2$

ósea $673 \geq 617.6$, se utilizará el método de $L \geq 8R$,

El esfuerzo máximo ocurre en el cuerno de la silleta.

$$S_4 = \left\{ - \left[\frac{Q}{4t \left(5 + 1.56\sqrt{R \times t} \right)} \right] - \left[\frac{3K_6 \times Q}{2t^2} \right] \right\} \times 0.0980665, MPa$$

$$S_4 = \left\{ - \left[\frac{10422}{4 \times 1.78 \left(5 + 1.56\sqrt{77.2 \times 1.78} \right)} \right] - \left[\frac{3 \times 0.047 \times 10422}{2 \times 1.78^2} \right] \right\} \times 0.0980665, MPa$$

$$S_4 = - 25.84 \text{ MPa}$$

Debe cumplir:

$$|S_4| < 1.5 \times S_y$$

$$S_{\text{permitido}} = 120.65 \text{ MPa ASTM 515 Gr 70}$$

$$28.84 \text{ MPa} < 1.5 \times 120.65, \text{ MPa}$$

$$25.84 \text{ MPa} < 180, \text{ MPa}$$

Si cumple por lo tanto las dimensiones de diseño no provocarán un esfuerzo circunferencial que perjudique la integridad del recipiente y de las silletas.

Además como el S_4 es menor al $S_{\text{permitido}}$ del material, entonces el recipiente no necesita anillo atiesador.

Calculo del Esfuerzo máximo en la parte inferior de la silleta (S_5)

$$S_5 = - \left[\frac{K_7 \times Q}{t \left(5 + 1.56 \sqrt{R \times t} \right)} \right] \times 0.0980665, MPa$$

$$S_5 = - \left[\frac{0.76 \times 10422}{1.78 \left(5 + 1.56 \sqrt{77.2 \times 1.78} \right)} \right] \times 0.0980665, MPa$$

$$S_5 = -12.55, MPa$$

Debe cumplir

$$S_{Cedencia} = 262 \text{ MPa ASTM 515 Gr 70}$$

$$|S_5| < 0.5 \times S \text{ punto de fluencia en compresión}$$

$$12.55, MPa < 262, MPa$$

Si cumple con lo anterior por lo tanto el recipiente resistirá el esfuerzo circunferencial en la parte inferior de la silleta.

K. DISEÑO DE SILLETAS

Para el diseño de silletas primero se debe calcular el área efectiva, la cual soportará el la fuerza horizontal (F)

$$F = K_{11} \times Q, kg$$

1. Valor de la Constante (K). (Ver apéndice B)

El valor de la constante K_{11} , será de 0.204 para un ángulo de silleta de 120°

$$F = 0.204 \times 9950, kg$$

$$F = 2030, kg$$

2. Área efectiva

$$\text{Area Efectiva} = \left(\frac{R \times t}{3} \right), cm^2$$

$$\text{Area Efectiva} = \left(\frac{77.2 \times 1.78}{3} \right), cm^2$$

$$\text{Area Efectiva} = 45.39, cm^2$$

Debe cumplir la siguiente expresión:

Como el material y el espesor son los mismos que para el casco sus valores se mantendrán en el diseño de silletas

$$\frac{0.0980665 \times F}{\text{Area Efectiva}} \leq \left(\frac{2 \times S_{\text{permitido}}}{3} \right)$$

$$S_{\text{permitido}} = 120.65 \text{ MPa ASTM 515 Gr 70}$$

$$\frac{0.0980665 \times 2030, \text{ Kg}}{45.39, \text{ cm}^2} \leq \left(\frac{2 \times 120}{3} \right)$$

$$4.38, \text{ MPa} \leq 80, \text{ MPa}$$

Si cumple, por lo tanto si se puede fabricar la silleta con este material y con este espesor requerido de lámina.

3. Diseño de placa de desgaste

Valor del ángulo α_2

$$\alpha_2 = 12^\circ + \alpha_1$$

$$\alpha_2 = 12^\circ + 120^\circ$$

$$\alpha_2 = 132^\circ$$

a) Longitud de placa de desgaste (Ls)

$$L_s = 0.008727 \times \alpha_2 \times D_{ext}, \text{ cm}$$

$$L_s = 0.008727 \times 132^\circ \times 154, \text{ cm}$$

$$L_s = 176.25, \text{ cm}$$

b) Ancho de la placa de desgaste (As)

$$A_s = 2b$$

$$A_s = 2 \times 15, \text{ cm}$$

$$A_s = 30, \text{ cm}$$



Fig. 37 Ejemplo, dimensiones placa de desgaste

4. Alma de la silleta

Para el calculo de las dimensiones del alma de la silleta se utilizará el espesor nominal de la placa de desgaste el cual será el mismo para el espesor nominal del casco del recipiente, $t_n = 1.58, \text{ cm}$

$$C = \left[2 \left(r_n + R \right) \times \text{sen} \left(\frac{\alpha_1}{2} \right) \right], \text{ cm}$$

$$C = \left[2 \left(77.2 + 77.2 \right) \times \text{sen} \left(\frac{120}{2} \right) \right], \text{ cm}$$

$$C = 137.5, \text{ cm}$$

Radio de curvatura del alma de la silleta

$$Ra = \left(r_n + t_n \right), \text{ cm}$$

$$Ra = \left(77.2 + 2.2 \right), \text{ cm}$$

$$Ra = 79.4, \text{ cm}$$

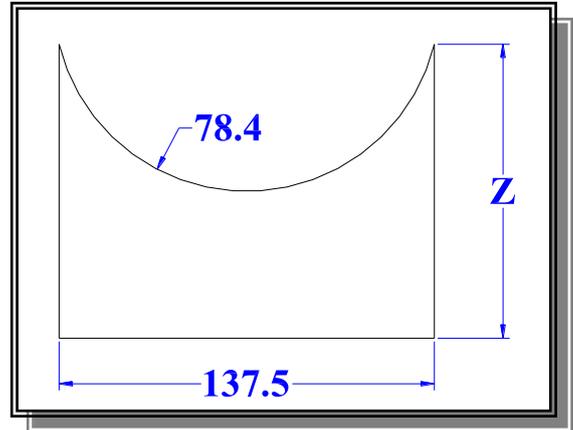


Fig. 38 ejemplo, dimensiones, alma de la silleta

5. Placas laterales de la silleta

Altura de las placas laterales de la silletas (Z)

$$Z = \left[\frac{\tan \left(90 - \frac{80 - \alpha_1/2}{2} \right)}{2} \right] \times C + \left[\frac{R}{3} \right] + \left[60 - \frac{R}{3} \right]$$

$$Z = \left[\frac{\tan \left(90 - \frac{80 - 120/2}{2} \right)}{2} \right] \times 137.5 + \left[\frac{77.2}{3} \right] + \left[60 - \frac{77.2}{3} \right]$$

$$Z = 99.69, \text{ cm}$$

Ancho de las placas laterales (b)

Este valor ya se estimó como $b = 15 \text{ cm}$

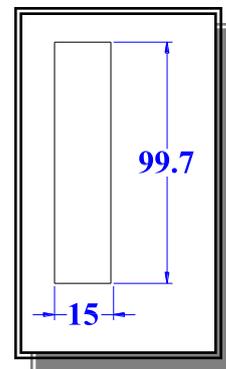


Fig. 39 dimensiones, placa laterales

6. Palca base

Longitud de la placa base (Lb)

$$Lb = C + 4t_n$$

$$Lb = 137.5 + 4 \times 2.2, \text{ cm}$$

$$Lb = 146.3, \text{ cm}$$

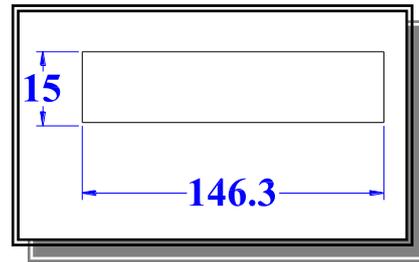


Fig. 40 dimensioe, placa de base

L. DISEÑO DEL REGISTRO PARA HOMBRE. (Ver apéndice C y D)

Material a utilizar en la brida y tapa; acero ASTM 181 esfuerzo permitido 103 MPa

1. Diámetro del registro.

Registro compuesto por una brida y tapa de, 2.75 MPa de presión nominal de trabajo

De un tamaño nominal de tubo de 40.64 cm

Sus dimensiones las da la norma ANSI B 16.5, y todas están en cm.

Como el diámetro externo del recipiente es 1.54 m, se tiene que el diámetro del registro será de 45.72 cm

2. Altura del registro para hombre (ver apéndice C y D)

Altura de 25.34 cm.

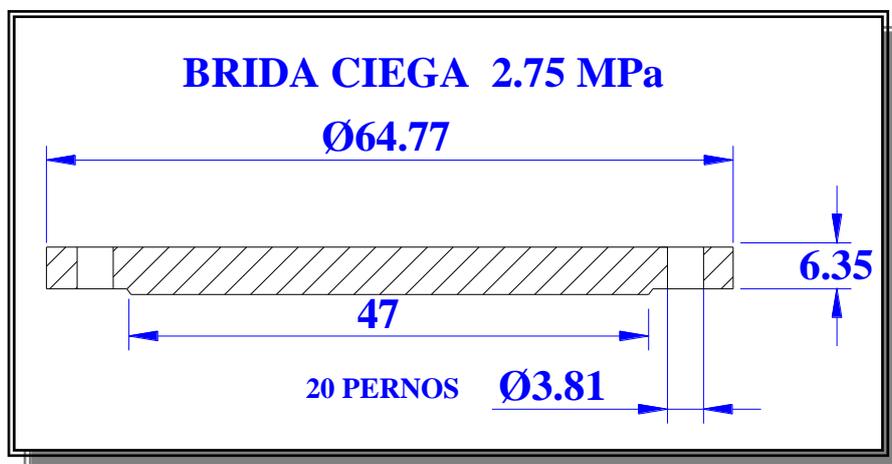


Fig. 41 Dimensiones, tapa de brida, establecidas por ASME

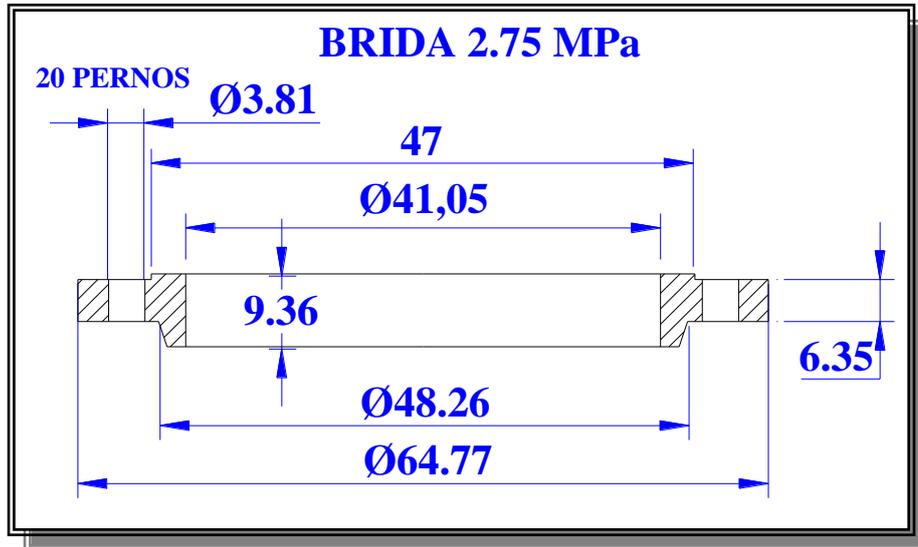


Fig. 42 Dimensiones de la Brida, establecidas por ASME

3. Otras dimensiones:

20 pernos con longitud de 22.8 cm y un diámetro de 3.49cm,

Los barrenos para los pernos tienen un diámetro de 3.81cm

4. Para calcular el diámetro de la placa de refuerzo se tiene:

$$A_1 = A_2$$

$$\Rightarrow D_{A2} = 2 \times D_{A1}$$

$$D_{A2} = 2 \times 41$$

$$D_{A2} = 82, \text{cm}$$

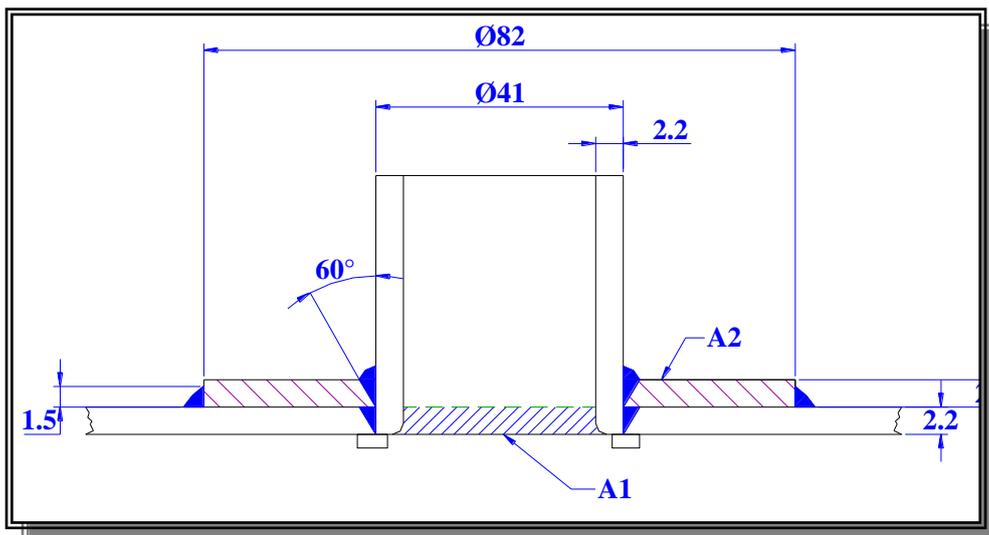


Fig. 43 Dimensiones del tubo del registro y placa de refuerzo

La placa de refuerzo tendrá el mismo espesor nominal y será del mismo material que la lámina del casco del recipiente.

M. BOQUILLAS DE CONEXIÓN. (Ver apéndice E)

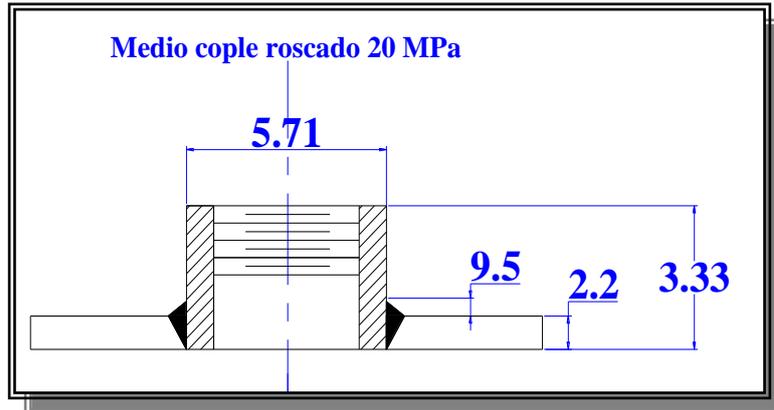


Fig. 44 dimensiones del medio cople roscado

El espesor nominal de la boquilla será el mismo que el casco del recipiente y del mismo material

El recipiente tendrá 6 boquillas de conexión, estas utilizaran medios coples roscados, para una presión nominal de 20 MPa como se muestra en la figura.

- 2 en la parte superior cada una en un extremo a 50 cm de la línea final del casco, que serán la entrada de y salida de LPG, con diámetro nominal e tubería de 5.08 cm,
- La tercera y cuarta corresponden al manómetro ubicado a una distancia de 1 m desde la línea final del casco, y en el otro extremo otra que será la conexión de la válvula de alivio; estos tendrán un tamaño nominal de tubería de 3.17 cm.
- Las ultimas dos corresponden a las boquillas de conexión para válvulas de desagüé , estas se ubicarán en la parte inferior del recipiente, con un tamaño nominal de tubería de 3.17 cm.
- Tanto las boquillas como el registro no deben pasar por los cordones de soldadura.

N. AREA SUPERFICIAL (AS)

$$D_{ext} = D_{int} + 2 \times 0.022 \text{ m}$$

$$D_{ext} = 1.544 \text{ m}$$

$$A_s = \left[D_{ext} \times \pi \times L \right] + \left(0.09 D_{ext}^2 \right) \times 10.7639, m^2$$

$$A_s = \left[1.54 \times \pi \times 6.73 \right] + \left(0.09 \times 1.54^2 \right) \times 10.7639, m^2$$

$$A_s = 378.29 \text{ m}^2$$

O. CANTIDAD DE PINTURA NECESARIA

Espesor de pintura, $n = 2$ mils, (50 micras)

Porcentaje de sólidos de pintura 60 %

$$\text{Numero de Galones} = \left(\frac{At \times n}{\% \text{ SolVol} \times 1.5 \times 0.5} \right)$$

$$\text{Numero de Galones} = \left(\frac{378 \times 2}{60 \times 1.5 \times 0.5} \right)$$

Nº de galones = 16.81, redondeado = 17 galones.

Pero como se utiliza 50 micras, para el primario, y para el acabado este valor debe multiplicarse por dos ósea 34 galones de pintura, 17 de primario y 17 de acabado.

P. LONGITUD TOTAL DE SOLDADURA

Realizamos el desarrollo del casco del recipiente para saber cuantas láminas serán necesarias y sus dimensiones, (largo y ancho). Como vemos en la figura el área sombreada representa el desarrollo del casco cilíndrico, y superpuestas se encuentran las laminas escogidas para fabricar el casco, se utilizará entonces dos laminas de 2.44 x 6.09 m y una de 1.83 x 6.09 m, todas con un espesor nominal de 1.9 cm.

La dimensión 4.81 representa la circunferencia y la dimensión 6.71 el largo del casco.

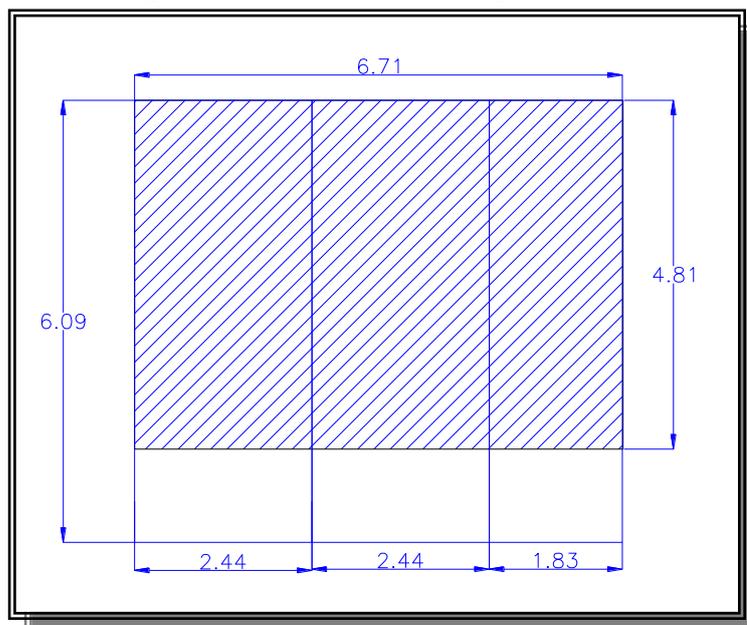


Fig. 45 detalle del desarrollo del casco cilíndrico y las láminas a utilizar para construirlo

Por lo cual será necesario fabricar tres virolas, de las cuales dos tendrán una longitud de 2.44 m y la otra 1.83 m; finalmente las tres tendrán un diámetro exterior 1.53 m.

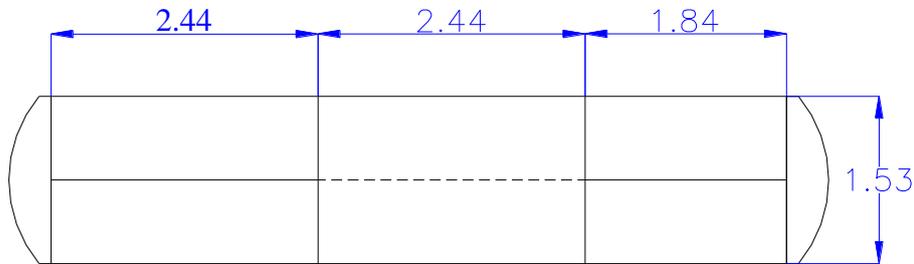


Fig. 46 Dimensiones de las virolas del recipiente a construir

Con lo cual ya tenemos los datos necesarios para realizar el cálculo de la longitud total de soldadura.

$$L_{sold} = \left(73 + 1 \right) \times \pi \times 77.2 + \left(0.017454 \times 132 \times 154 \right) \times 6 \times 15$$

$$\left(4 \times 2 + 77.2 \right) \times \sin\left(\frac{120}{2}\right) + 4 \times 99.7 + \left(0.017454 \times 120 \times 2 \times (7.2 + 2.2) \right) +$$

$$4 \times \pi \times 20.5 \times 25.3 + 2 \times \pi \times 41 + 4 \times 2 \times \pi \times 2.85 + 2 \times \pi \times 3.81$$

Longitud total de soldadura = 4 999 cm, 500 m

Q. TASA DE DESCARGA DE LA VÁLVULA DE ALIVIO

$$\boxed{\text{Tasa Descarga} = 1.518689 \times A^{0.82}, m^3 / \text{min}}$$

$$\text{Tasa Descarga} = 1.518689 \times 378.3^{0.82}, m^3 / \text{min}$$

$$A_s = 197.34 m^3 / \text{min}$$

R. ACCESORIO DE IZAJE.

Para una carga de 10796 Kg., según la tabla anterior $D_1 = 5.1$ cm, y $R = 7.78$ cm,

$$t = \frac{P \times 0.0980665}{2S(R - D_1 \times 0.5)}, cm$$

$$t = \frac{10422 \times 0.0980665}{2 \times 120(7.78 - \frac{5.1}{2})}, cm$$

$$t = 0.81 \text{ cm,}$$

El espesor que se utilizará será el de lámina que es mayor al requerido $t = 1.9$ cm

Longitud de la mensula

Carga 10 422 Kg., longitud de soldadura 32 cm, (13.8cm de longitud y 2.2 cm de espesor)

$$W = \frac{P}{A_w}, kg/cm \text{ lineal}$$

$$W = \frac{10422}{32}, kg/cm \text{ lineal}$$

$$W = 326, kg/cm$$

$$w = \frac{W \times 0.0980665}{f}, cm \quad f = 66.1896 \text{ MPa}$$

$$w = \frac{310 \times 0.0980665}{66.1896}, cm$$

$$w = 0.48, cm$$

Utilizar patín de soldadura de 0.8 cm (esto por el espesor de la oreja = 2.2 cm

Garganta = $0.8 \times 0.707 = 0.56$ cm de longitud.

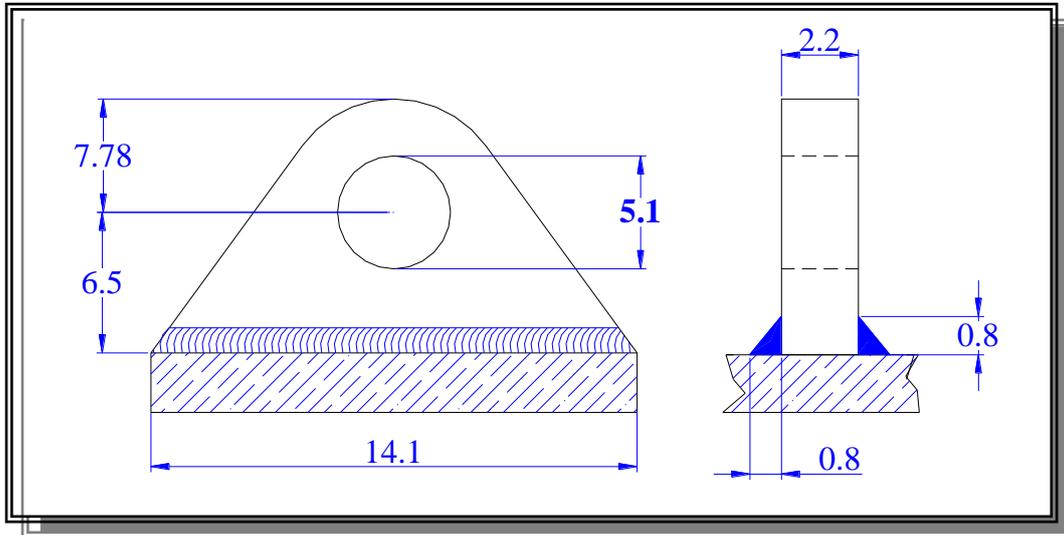


Fig. 47 dimensiones de la oreja de izaje diseñada

**IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS
DISEÑO DE RECIPIENTES MONTADOS SOBRE
SILLETAS**

El propósito de este proyecto es lograr la obtención de un sistema que permita la producción de recipientes a presión, que trabajen horizontalmente montados en silletas, este debe ser lo suficiente ágil como para adecuarse a los requerimientos de volumen, dimensiones, o presión de diseño que se requiera; además los diseños que resulten de este proyecto deben cumplir satisfactoriamente las reglamentaciones nacionales vigentes así como los estándares internacionales, que rijan para recipientes a presión, como ASME, ANSI, NFPA y otros, sin que esto signifique un desperdicio de recursos que perjudican a la empresa en el aspecto económico.

El diseño de recipientes horizontales que se pretende realizar, depende de datos iniciales que se deben tener para iniciar el establecimiento de la totalidad de características del recipiente, factores como, presión de diseño, y volumen, se deben tener para obtener los datos restantes por los métodos matemáticos que aquí se expondrán.

Una vez que se tienen los datos de presión de trabajo o de diseño y el volumen o las dimensiones del recipiente se procede a establecer el material a utilizar, el factor de seguridad, la eficiencia de la junta y las dimensiones si es que tenemos parte de ellas o el volumen interno del recipiente.

Para establecer el material a utilizar lo primero que se debe hacer es seleccionar aquel que cumpla con las exigencias mecánicas para su uso en recipientes a presión, para ello seleccionamos el acero de las cabezas, del casco cilíndrico, del registro, y de las silletas de un mismo material, para así aprovechar mejor la materia prima y reducir los gastos iniciales, este material es seleccionado de una lista de materiales que recomienda el código ASME, sección VIII división 1, y los categoriza como de uso más frecuente para las diferentes partes del recipiente, como vemos en la tabla 4, de aquí tomamos el dato del punto de fluencia para el acero ASMT 515 Gr 70, el cual es de 260 MPa, como se puede verificar en la norma. Con este dato ya podemos establecer el valor del esfuerzo permitido del material, que se constituye dividiendo el esfuerzo de fluencia entre el factor de seguridad, para nuestro caso se utilizará el mismo factor de seguridad que recomienda el manual de recipiente a presión el cual es de 2.17, se debe decir en este punto que con el esfuerzo permitido es con el cual se realizarán

todos los cálculos de esfuerzos en adelante, esto por que este valor es menor al de fluencia y con esto se asegura que el recipiente no va a llegar a deformarse al aplicársele la carga de servicio, el recipiente en si soportará una carga mayor que a la que realmente va estar expuesto.

El criterio para seleccionar el factor de seguridad debe tenerse claro, ya que este va a tener repercusiones en el tamaño, peso y costo del recipiente, pues al dar un valor alto de seguridad así también va a ser el espesor requerido, y se encarecerá el proyecto por mucho; el factor de seguridad utilizado en este proyecto es optimo para trabajar con recipientes a presión ya que no incurre en altos costos de material y aun así esta por encima del factor utilizado en otros países, por ejemplo Argentina que en ciertas empresas se usa un factor de 1.91.

Las normas nacionales dejan abierto el criterio de escogencia del factor de seguridad, por ello se podrá variar las dimensiones, (espesores, diámetros), de un recipiente o su peso para una misma presión de diseño, que si está definida en la norma nacional publicada como el reglamento 28622, del MINAE, el cual establece una presión de diseño o de trabajo permitida de 2.4 MPa, como mínimo tanto para el equipo como para los accesorios.

También se debe mencionar que en el ejemplo realizado la selección de materiales se escogió un mismo material para el diseño de casco, silletas, cabezas y registros, esto por la economía que presenta el comprar un mismo tipo de material, además que facilita los cálculos y se puede aprovechar el material sobrante de una sección del recipiente en la fabricación de otra.

Analizando las cargas presentes en los recipientes a presión, tenemos la presencia de los esfuerzos normales como el circunferencial σ_1 y el longitudinal σ_2 , donde uno es perpendicular al otro. Como se vio en el ejemplo, el esfuerzo circunferencial, ($\sigma_1 = 97$ MPa), es el doble que el longitudinal, ($\sigma_2 = 48$ MPa), y como σ_1 , es el mayor de los dos no, debe ser menor al esfuerzo permitido del material del casco cilíndrico, ($S_{\text{permitido}} = 120$ MPa), y se puede concluir que el recipiente soportará sin problema los esfuerzos circunferencial y longitudinal, siendo el menor de los

anteriores el de más riesgo, pues en la longitud del recipiente es donde se espera una falla si es que esta ocurre.

En el diagrama de Mohr, observamos que los esfuerzos cortantes tanto el máximo como el máximo absoluto no juegan un papel de riesgo importante en estos recipientes, esto por la forma de ubicación de las juntas en el recipiente.

En el análisis de cargas que ocasionan esfuerzos en los recipientes horizontales, se tiene grades estudios realizados; y uno de ellos es el de L.P. Zick, el cual se toma como práctica recomendada por las distintas normas que rigen el diseño de esta clase de recipientes, en vista de ello, es que este proyecto, se basa en este sistema para determinar los esfuerzos a los que estarán sometidos los recipientes horizontales montados sobre silletas.

Un recipiente montado sobre silletas para su análisis debe tomarse como una viga en voladizo, pero tomando en cuenta que las condiciones del recipiente van a variar si este está lleno o parcialmente, lleno. Por este motivo vamos a tomar la carga ejercida por el peso del recipiente como si el recipiente estuviera totalmente lleno de agua.

El ángulo formado por las silletas, también es un factor de importancia en el análisis de los esfuerzos, por esta razón tenemos, que las fórmulas varían la constante “K”, en función al ángulo escogido.

Tenemos otras cargas como la producida por el viento pero esta se toma en cuenta únicamente para recipientes muy largos con relaciones de espesor entre radio pequeñas, por lo cual, se trata de casos poco comunes y no es un factor que valla a afectar al recipiente en servicio. Pero si es el caso, el recipiente se deberá diseñar para soportar una presión de externa de 6.8 kPa, para que satisfaga las condiciones de cargas por viento.

Otros aspectos que se tienen que tomar en cuenta en el diseño de recipientes es el valor dado al ancho de las silletas y los tamaños de las soldaduras ya que durante el transporte en los recipientes se pueden ocasionar cargas que afecten la integridad del recipiente.

Una vez analizadas las principales cargas en un recipiente horizontal, se puede discutir ahora los esfuerzos producidos por esas cargas, y entre ellos tenemos los principales que son “flexionante longitudinal”, “cortante tangencia”, y “circunferencial”.

Estos esfuerzos, se toman en cuenta para saber si el recipiente está bien diseñado para soportar las cargas aplicadas sin que se produzca alguna deformación. Analizando por separado cada uno de estos esfuerzos tenemos que el esfuerzo flexionante longitudinal, actúa queriendo formar una flexión en forma de panza en la parte inferior del recipiente, esta varía dependiendo de la posición de las silletas, si éstas, están más cerca o lejos de las cabezas, este esfuerzo se analiza en dos puntos de importancia, en las silletas y en la mitad del claro.

En los puntos donde se ubican las silletas tendremos en la parte superior esfuerzos de tensión, y en la inferior serán de compresión; En cambio en la mitad del claro tendremos lo opuesto, en la parte superior predominan los esfuerzos de compresión, y en la inferior de tensión, esto por la acción del esfuerzo flexionante, en dirección positiva.

Para poder apreciar como se desarrolla el esfuerzo flexionante se debe ver el recipiente en su longitud, se debe comparar el mayor que se presente ya sea en la ubicación de las silletas o en la mitad del claro, con el esfuerzo permitido sumado al esfuerzo ejercido por la presión interna, y para así saber si las dimensiones del recipiente y el material seleccionando soportarán el esfuerzo flexionante.

Para el ejemplo realizado tenemos que el mayor valor de S_1 , se localizó en la mitad del claro, y este es menor que el esfuerzo permitido multiplicado por la eficiencia de junta, con éste cálculo sabemos que este diseño no tendrá problemas de flexión en funcionamiento.

El esfuerzo cortante tangencial actúa propiamente en las silletas del recipiente ya que el peso provoca una fuerza en dirección al centro de la tierra y la silletas otra en dirección opuesta, pero paralela a la anterior, con lo que tenemos las condiciones que pueden ocasionar una falla por esfuerzo cortante.

Para disminuir dicho efecto se toman las previsiones de diseño en la distancia de la silleta a la cabeza, “A” en el ancho de la placa de desgaste, “b” en el ángulo de contacto “ α_1 ” y en el radio del recipiente; En el ejemplo mostrado tenemos que es el caso de un recipiente que utiliza una distancia, (A), apropiada ósea 0.1 veces la longitud del casco del recipiente, y en los resultados se muestra que al comparar el resultado S_2 , con el esfuerzo permitido multiplicado por 0.8, no se tendrán problemas de esfuerzo cortante en el recipiente.

En el tercer análisis de esfuerzos se presenta el esfuerzo circunferencial, el cual depende del ángulo de la silleta, del ancho de la placa de desgaste, de la longitud del recipiente y de su radio. Este a diferencia de los esfuerzos anteriores se debe analizar en la vista lateral del recipiente ya que este actúa queriendo formar un achatamiento del recipiente hacia los lados, por eso es importante el seleccionar un ángulo de silleta no menor de 120° .

Analizando los tres esfuerzos, propios de un recipiente horizontal, se observa que se tiene una selección apropiada de factor de seguridad, material, y dimensiones, ya que estos esfuerzos son menores y por mucho respecto al esfuerzo permitido lo que da una mayor seguridad al poner en funcionamiento este recipiente después de fabricarlo.

Para asegurar la vida útil del recipiente se tiene que prever la protección del mismo no solo de las cargas aplicadas sino también de los agentes químicos, en particular de la corrosión, para el ejemplo utilizado y para los posteriores el margen de corrosión utilizado será de 3 milímetros para asegurar la vida del recipiente durante 20 años, claro está que dicha protección se debe complementar con uso de primarios anticorrosivos y un acabado acorde con el tipo de clima donde se ubicará el recipiente.

Con el uso de margen de corrosión obtenemos el espesor de diseño, y este es el que se debe ajustar al inmediato espesor mayor que ofrezca el proveedor de láminas para la construcción del recipiente, el valor obtenido será el espesor nominal del recipiente, y como puede ser ligeramente mayor que el espesor de diseño, entonces tenemos un sobredimensionamiento que no es mal visto, si de seguridad se discute.

En el caso de aceros inoxidable, se puede obviar el uso del margen de corrosión, entonces la selección del espesor se hará desde el espesor requerido obtenido por la fórmula, y esto es aplicable para todas las partes del recipiente.

En las inspecciones de medición de espesor por ultrasonido, se espera examinar si la corrosión ha disminuido o no el espesor original de las partes del recipiente, esto se realiza mejor con una inspección en la parte interior, por ello es la recomendación de diseñar el recipiente con registro para hombre, ya que, si bien la teoría de gases licuados de petróleo, dice que estos gases, (butano, propano, etc), no reaccionan con el metal para dar corrosión, nadie nos asegura, que los gases están suministrándose puros, y que no van mezclados con otros compuestos que a largo plazo si son corrosivos.

Uno de los aspectos de mayor importancia en el diseño y fabricación de recipientes es, el método y tipo de soldadura utilizada, en cuanto al método de soldadura, será por medio de arco sumergido, Submerged Arc Welding, (SAW), este sistema en lo referente a velocidad, cantidad y calidad del metal depositado, se dice que el óptimo para realizar la soldadura de este tipo de recipientes, presenta variantes interesantes como el que se puede trabajar sin bisel hasta 16 mm de espesor. Entre las características metalúrgicas, se tiene que el fundente en polvo protege muy bien el arco eléctrico y el metal fundido, de la atmósfera, por lo que se reduce la posibilidad de porosidad en el cordón de soldadura, se obtienen soldaduras limpias y exentas de porosidad, y se puede trabajar a grandes penetraciones lo cual es beneficioso para la unión de laminas gruesas.

En cuanto al tipo de soldadura el código ASME, presenta algunas de uso más común, para este proyecto se manejarán los tres tipos que se presentaron anteriormente en el marco teórico, con esto se logra la facilidad en los cálculos, de diseño además que son fáciles de realizar y son adecuadas para este tipo de componentes.

Al escoger el tipo de soldadura, paralelamente se toma en cuenta la eficiencia de la junta, la cual abarca la resistencia del tipo de soldadura utilizada respecto al metal base y si ésta es examinada por radiografía totalmente, por zonas o sin examinación. Lo que nos da seguridad para confiar en los resultados obtenidos en las fórmulas.

Se recomienda utilizar bordes en forma de “V”, dado que es fácil de realizar, permiten la penetración y fusión completas del cordón y se adaptan bien a la soldadura por arco sumergido.

Se debe tener en cuenta que la posición de la soldadura, “circunferencial o longitudinal, de registro, etc”, es la que define el tipo de soldadura y su eficiencia, como se ve en el grafico “Diseño de juntas soldadas”.

Las cabezas elipsoidales sin costura usan un factor de eficiencia uno, y esto debe tomarse en cuenta en el momento de realizar los cálculos de espesor de este tipo de cabezas.

Entrando en detalle en los métodos matemáticos, para los recipientes a presión se tiene que para el calculo del espesor requerido y de la presión de diseño, tanto en el casco del recipiente como en las cabezas, se pueden utilizar las medidas internas del recipiente o las externas, pero con el cuidado que estamos hablando del espesor requerido, (espesor menor), y de la presión de diseño, (presión mayor); y que al usar el esfuerzo permitido y la eficiencia de la junta, estamos asegurando la calidad del recipiente tanto en lo pertinente al material de lámina, como a la junta utilizada.

El uso de medidas internas o externas dependerá en parte de los datos que se tengan en un principio, pues si tenemos que iniciar el diseño con el dato de volumen, es mejor utilizar las fórmulas con medidas internas, y si estamos comprobando que el espesor que se tiene es el adecuado lo mejor es usar las fórmulas para medidas externas.

La presión de diseño; sin duda uno de los datos de mayor importancia en el diseño de recipientes que contienen LPG, según la NFPA, la presión de diseño del recipiente debe ser el 80%, de la presión de vapor del gas a contener, lo cual para el propano que tiene la mayor presión de vapor de los LPG, se tiene que el valor de presión de diseño es de 1.723 MPa.

Para diseñar un recipiente horizontal, se debe tener el dato de la presión de diseño, este dato lo suministra el responsable del diseño mecánico general, y por lo tanto el cliente lo debe de tener muy claro. Este dato también se puede establecer por fórmula a partir de la presión de trabajo permitida, y viceversa, para el caso de Costa Rica, el valor para las presión de diseño o de trabajo es de 2.4 MPa, Según el reglamento 28622, del MINAE.

Para el ejemplo realizado, como dicho reglamento deja abierta la elección de tomar este 2.4 MPa, como presión de diseño o de trabajo permitida, se tomó por razones de economía como la presión de diseño del recipiente.

Seguidamente se realizaron los cálculos de las presiones de trabajo permitida, (2.04 MPa), y la de prueba hidráulica, la que se establece como una vez y media la presión de diseño, (3.6 MPa), aunque la norma ASMT 1003, deja abierta la posibilidad de que sea una vez y media la P. de diseño o la de trabajo permitida, en el ejemplo se escoge la mayor aunque este dato puede ser discutido entre el cliente y el fabricante.

Entre los accesorios de mayor importancia, se encuentra la válvula de alivio de presión, la cual permite el escape de presión en circunstancias en que la temperatura aumente y con esto se incremente de igual manera la presión de vapor del gas contenido, por lo cual la presión a la que esta válvula se abrirá será a 2.4 MPa, ósea a la presión de diseño, y su función es la de no permitir que la presión interna aumente a un 120% de la presión de diseño, para lograr esto se debe calcular con cuidado la tasa de flujo de salida de la válvula, la cual está en función del área superficial del recipiente, esta válvula es de uso obligatorio y el calculo del flujo se salida debe realizarse con mucha precaución.

El peso del recipiente nos ayudará a conocer el esfuerzo en las silletas, y este se compone de dos partes: el peso de una carga total de agua, y el peso del metal que conforma el recipiente, para ambos casos las fórmulas establecen como se aplican si se está calculando peso en el casco o en las cabezas elipsoidales.

Para el cálculo del peso de la carga de agua, primero se debe calcular el volumen interno del recipiente y multiplicarlo por la densidad del agua, para encontrar el peso del metal del recipiente, se toma el volumen para cada espesor, establecido por fórmula, para las cabezas elipsoidales y el desarrollo geométrico del casco, y se multiplica por la densidad del acero.

La suma del peso metálico y del volumen de agua, establece el peso total del recipiente, pero esta suma se multiplica por 1.09 que corresponde a un 9%, que se trata del peso de los registros, silletas y accesorios, además muestra un valor mayor que el real del peso del recipiente, pero esta consideración es de importancia al utilizar este dato en el cálculo de la carga del peso del recipiente en cada silleta, ya que indirectamente se está dando un sobredimensionamiento a la hora de realizar los cálculos de los esfuerzos, flexionante, cortante y circunferencial.

Respecto al diseño de silletas, se usarán dos y estas deben soportar la carga ejercida por el peso del recipiente, y se componen de una placa de desgaste, dos placas laterales, un alma y una placa base, todas las dimensiones de estas partes dependen del radio externo y el ángulo de la silleta, además deben de estar en los puntos estáticamente óptimos, para estabilizar mejor el recipiente.

Se establece que la distancia "A", no debe ser mayor que 0.2 veces "L", por ello en el ejemplo realizado este valor fue de $A = 0.1 L$, y resultó satisfactorio, y se evidencia en el cálculo de los esfuerzos, ya que ninguno de ellos presentó un valor que obligara a cambiar el dimensionamiento, o el material.

Se debe prestar principal atención a las dimensiones “A”, “L”, “b” y α_1 , ya que de la selección correcta de estas medidas se deriva todo el diseño de las silletas y el valor de los esfuerzos, entonces es recomendable que si alguno de los esfuerzos, esta por encima del valor que debiera dar, se considere el variar estas dimensiones, con esto se esperar corregir el problema de calculo.

Se tiene que la selección del ángulo de las silletas influye sobremanera el diseño de las silletas, que según el código ASME debe estar entre un rango de 120° a 180° , para lograr su efectividad, inclusive esto se nota en el hecho de que el valor de las constantes “K”, dependen del valor asignado al ángulo α_1 , en nuestro caso seleccionamos un ángulo de 120° por razones de economía, pues un ángulo mayor significará un ancho mayor en las silletas y un requerimiento mayor de material.

Otro de los factores que influyen en el diseño de las silletas, es la ubicación del recipiente en el proyecto general, ya que si este va montado sobre columnas de cemento, entonces la altura de las silletas basta con que cumpla el área efectiva, $(R \times t / 3)$, con esta consideración se estará ahorrando material sin originar esfuerzos perjudiciales para el recipiente.

En cambio si el recipiente no tiene columnas de cemento en el proyecto original, es necesario dar al recipiente el suficiente espacio para que un hombre pueda dar mantenimiento al mismo cómodamente en la parte inferior del recipiente, para este proyecto la altura desde el cuadrante inferior del recipiente hasta el suelo, se fijó en 60 cm, independientemente del radio del recipiente, con lo que se asegura que esta altura no afecte la esbeltez de la silleta y no incurra en un desperdicio de material, la fórmula para el calculo de la altura de la silleta se muestra por la composición de triángulos, como se muestra en la sección de “placas laterales de la silleta”.

El material y espesor de la silleta puede ser diferente al del recipiente, pero se recomienda utilizar el mismo, por economía en el aprovechamiento de material y para facilitar los cálculos al diseñar.

Entre las características propias del acero, se encuentra la expansión y contracción térmicas, por lo cual el sistema de anclaje del recipiente a la columna de cemento se debe prever para que una de las silletas tenga libertad de movimiento en el sentido longitudinal, ya sea por ojos chinos, por placas de retención u otros mecanismos, preferiblemente la silleta que permite la expansión o contracción es la opuesta a las conexiones de tuberías.

Para realizar inspecciones periódicas se utilizan los registros para hombre, estas aberturas también tienen la función de permitir el acceso durante los ensayos no destructivos de los recipientes, por lo tanto no está de más el agregarlos al diseño del recipiente.

El diámetro de los registros va en función del diámetro del recipiente, en el caso de entrada humana se establecen medidas mínimas como las descritas en la parte de diseño de registros, estos se van a ubicar en la parte superior, cuidando que la placa de respaldo y el registro, no coincidan con alguno de los cordones de soldadura del recipiente. Además las bridas y las tapas se deben seleccionar de acuerdo con la especificación del fabricante, ya que estos productos se deben adquirir por separado, y se piden por la presión nominal la cual soportan.

Para el diseño del ejemplo, esta presión es mayor a la presión interna del recipiente, para mayor seguridad en cuanto al uso de las mismas, estas partes van unidas por medio de pernos, y la brida va soldada al tubo del registro el cual tiene el mismo espesor que la placa del casco cilíndrico, el registro también se puede diseñar con el uso de cuellos soldables largos pero, por la capacidad de equipo de la empresa SARET, se recomienda el fabricarlo en sus instalaciones.

En cuanto a la placa de refuerzo, esta debe tener en su sección transversal un área igual al área que se elimino para realizar la abertura del registro, y para su material y su espesor es recomendado usar el mismo que el del casco del recipiente.

En los anexos se muestran los detalles en cuanto a materiales, dimensiones, pernos para las bridas, las tapas y los cuellos soldables de más uso en recipientes a presión, que recomienda la norma ANSI B- 16.5.

Entre las normas consultadas para el diseño de los registros se tienen:

- UG – 36, para registros dispuestos en la cabeza del recipiente y formas de registros.
- UG – 46, opciones permitidas para registros.
- UW – 16.1, registros con y sin parche de refuerzo.
- Apéndice al código 1-7, condiciones de los registros en recipientes de más de 1.52m de diámetro.

Las conexiones para tuberías, manómetros y válvulas, se realiza por medio de coples o medios coples, existen diversas maneras de realizar la junta en este tipo de conexiones, las cuales se muestran en las figuras de la sección “boquillas de conexión” (código, UG – 45).

La especificación del número de conexiones, y los diámetros de tubería, los dará el encargado del diseño mecánico general, las dimensiones de las boquillas se pueden observar en los anexos, según lo requisitos de la norma ANSI B2.1 1968.

Los accesorios para izaje, serán diseñados para soportar el peso total del recipiente con una carga completa de agua, esto previendo que se tengan que realizar reparaciones en los cordones de soldadura y que se realice con agua en su interior, para que el recipiente pueda voltearse.

Las dimensiones de cuidado en las orejas de izaje son, el ancho del patín, la garganta y la longitud de la soldadura, donde, para realizar el cálculo se utiliza una carga máxima de 66.18 MPa, la cual se toma como la carga permitida para juntas.

La oreja para izaje debe colocarse de tal forma que la soldadura se encuentre transversal a la fuerza aplicada y cuidando las medidas del diámetro interno y externo de este componente, para el cálculo del ejemplo esta parte del recipiente se diseñó con el mismo espesor de placa del casco y con el mismo material, y según los cálculos realizados, es satisfactorio, puesto que el valor del espesor calculado por fórmula es menor a este.

Para realizar el cálculo de la cantidad de pintura se toma un factor de eficiencia de 0.5, esto por las pérdidas, durante el proceso y la rugosidad después de someter la estructura al Sand Blasting, que le proporciona cierta rugosidad.

Por el reglamento del MINAE, se establece que para la protección del recipiente contra la corrosión se debe utilizar un primario inorgánico, y un acabado acorde con las condiciones climáticas donde el recipiente va a estar en funcionamiento. El espesor de del primario y acabado, (“n”, en mils), se establecerá según acuerdo entre el cliente y el fabricante.

Para finalizar es muy útil saber la longitud de soldadura que se va a utilizar en el montaje del recipiente, para lo cual se realiza la sumatoria de las soldaduras requeridas, este dato sirve para realizar el pedido de soldadura y para poder ajustar mejor el costo del recipiente.

V. CONCLUSIONES

- A. Se tiene una relación proporcional entre el factor de seguridad y las dimensiones y el peso del recipiente, ya que al aumentar el primero los otros también se incrementan
- B. Un factor de seguridad muy elevado, si bien da más confianza en cuanto al uso del recipiente, también va a encarecer el mismo.
- C. Para asegurar que no se producirá deformación en un recipiente a presión, este debe ser diseñado a partir del punto de fluencia del material.
- D. El esfuerzo circunferencial en los recipientes a presión es el factor con el cual se debe partir el diseño, ya que este es el mayor esfuerzo al que está sometido un elemento del recipiente, por lo que este valor debe ser menor que el esfuerzo permitido.
- E. En el estudio de los esfuerzos propios de un recipiente horizontal se tiene que estos van enormemente influidos por el ángulo de silleta que sea seleccionado.
- F. El diseño de las silletas y sus dimensiones están en función del ángulo de la silleta, seleccionado.
- G. La selección del espesor nominal del casco para diseñar las silletas, el registro y las orejas de izaje, siempre va a incurrir en un sobredimensionamiento beneficioso para el recipiente.
- H. El diseño de las conexiones como su cantidad depende del sistema en el cual va a trabajar el recipiente.
- I. La calidad de cualquier diseño de recipientes a presión va a depender del cuidado que se tenga para interpretar los procedimientos y realizar los cálculos respectivos.

VI. RECOMENDACIONES

- A. Durante toda la etapa de diseño es indispensable diseñar pensando en la seguridad de todos los usuarios del recipiente.
- B. Antes de iniciar el diseño de cualquier recipiente a presión recomienda estudiar a fondo los esfuerzos que actúan, procedimientos, y normas respectivas.
- C. Para lograr la efectividad en las características metalúrgicas de los recipientes es recomendable realizar a la materia prima pruebas químicas y mecánicas de comprobación composición química y de esfuerzos de tensión.
- D. Se recomienda usar un factor de seguridad de 2.17, ya que da óptimos resultados en la estructura del recipiente sin incurrir en enormes gastos por sobredimensionamiento
- E. Es recomendable utilizar este sistema de diseño únicamente para trabajar con recipientes horizontales y no para otro tipo.
- F. Se recomienda utilizar el espesor nominal del casco para el diseño de silletas, registros, y orejas de izaje, por razones económicas, y facilidad en la realización de los cálculos.
- G. Por razones jurídicas es recomendable revisar periódicamente las normas aplicadas a este trabajo tanto las internacionales como la nacional y ajustarlo a las actualizaciones respectivas.

VII. SEGUNDA PARTE
INSPECCIÓN DE RECIPIENTES A PRESIÓN.

Para realizar la inspección de los recipientes a presión es necesario instituir una serie de pruebas que muestren la condiciones del mismo, para esto se plantea valerse de los ensayos no destructivos como método de examen.

Los ensayos no destructivos son los más convenientes para esta tarea, por que no es preciso, destruir el componente para indagar la información requerida, y esto es trascendental, ya que para este tipo de estructura no se puede tomar una muestra para realizar el análisis correspondiente a metalografías, ensayos de tracción o fatiga, por ejemplo.

Entre los ensayos no destructivos que se utilizaran podemos citar, ultrasonido, radiografía, líquidos penetrantes y prueba hidrostática; cada uno justificado tanto por la información que suministra como por las discontinuidades a evaluar, sin olvidar que lo que se busca es que todos ellos se complementen para saber si el recipiente va a demandar reparación o si está listo para su uso.

Para aplicar las inspecciones al recipiente se debe seguir un procedimiento lógico, para asegurar que estas son aplicadas de la mejor manera y que puedan reproducirse de la misma forma en el futuro si fuera necesario, para ello se realiza un manual de procedimiento general y otro manual de procedimiento específico, este último solo cuando la situación lo amerite. Estos manuales son referidos a la norma aplicada a este tipo de recipientes y deben ser aplicados por el personal que la norma califique como apto para realizar la prueba.

A continuación se muestra los manuales de procedimientos que se ejecutarán para el examen del recipiente, mostrando a su vez otros documentos complementarios a estos, hojas de calibración de aparatos, reportes de cada ensayo, esquemas etc.



Saret de Costa Rica

División Metalmecánica

Departamento de Control de Calidad

PROCEDIMIENTO GENERAL N°:1

Acorde con ASME. Boiler & Pressure Vessel Code. Sección VIII – 1992

PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN POR ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE RECIPIENTES DE ALMACENAMIENTO DE GAS LICUADO LPG

Alcance General

Metodologías y requisitos a considerar en la selección y desarrollo del procedimiento para inspección de recipientes de almacenamiento de gas licuado LPG, utilizando Inspección visual, y ensayos no destructivos, tales como: radiografía, ultrasonido, prueba hidrostática, para obtener como resultado medición de espesores, examen de partes soldadas, e inspección de fugas.

A. REQUISITOS DE UN PROCEDIMIENTO PARA INSPECCIÓN VISUAL

1. Alcance Especifico

Métodos y requisitos para el examen de recipientes de almacenamiento de LPG, por la técnica de inspección visual.

El procedimiento deberá incluir al menos la siguiente información, para referencia futura, no descartando toda aquella que sea considerada como importante:

- Tipo de Soldadura.
- Tipo de material del recipiente.
- Dimensiones del recipiente.
- Proceso de fabricación del producto, (laminado, forjado, fundido, etc.)
- La(s) superficie(s) donde se inspeccionará.
- Condición de la superficie, oxido, pintura, muy rugosa, con grietas, etc.)
- Limpieza post examinación.

2. Aplicaciones

Este procedimiento será utilizado en la inspección de recipientes de almacenaje de gas licuado LPG, durante su fabricación y posterior a esta.

3. Técnicas del examen

La inspección se realizará, en el exterior del recipiente y de ser posible en su interior, aplicándose en todas las uniones de soldadura, además de la superficie total del recipiente.

4. Interferencias y cuidados al realizar la practica.

Las soldaduras y superficies interiores y exteriores deben estar libres de aceite, grasa, residuos de soldadura, u otro contaminante. Los recipientes nuevos deben examinarse antes de ser pintados.

5. Calificación del personal

Todo personal que realice inspección visual debe poseer un nivel de agudeza visual tal que le permita observar todos los detalles que la inspección requiere, tener certificado que le acredite como inspector, o en su defecto ser Ingeniero o Técnico que por medio de experiencia en labores afines tenga la capacidad de realizar el examen visual, además de ser capaz de interpretar los resultados obtenidos.

6. Reporte del ensayo

Los siguientes datos deben registrarse como un mínimo para la referencia futura en el momento de cada examen:

- Fecha y hora de la inspección
- Identificación y/o número de recipiente
- El nombre del inspector y nivel (si es o no certificado),
- Instrumentos utilizados, con información de, marca modelo y número de serie.
- Tipo de examen (interno, externo, superficial, soldaduras)
- Información detallada de la indicación, adjuntando su respectivo croquis,
- Clasificación, localización y número de discontinuidades.
- Condiciones superficiales del recipiente.
- Limpieza en caso de que fuera necesaria y como se realizó.

7. Interpretación de Resultados

La interpretación de resultados debe ser registrada, todas las discontinuidades, que tienen características que excedan el nivel de rechazo deben ser definidas y se deben dibujar, a menos que estas discontinuidades no vallan a permanecer en el producto.

B. REQUISITOS DE UN PROCEDIMIENTO PARA INSPECCIÓN ULTRASÓNICA

1. Alcance Específico

Metodologías y requisitos para la inspección ultrasónica de recipientes de almacenamiento de gas licuado LPG, por la técnica de pulso-eco usando haz directo de ondas longitudinales y haz inclinado.

El procedimiento deberá incluir al menos la siguiente información, para referencia futura, no descartando toda aquella que sea considerada como importante:

- Tipo de soldadura.
- Tipo de material.
- Dimensiones de espesores.
- Proceso de fabricación del producto, (laminado, forjado, fundido, etc.)
- La(s) superficie(s) donde se inspeccionará.
- Condición de la superficie, (oxido, pintura, muy rugosa, con grietas, etc)
- Gel acoplante, tipo y/o marca.
- Técnica utilizada, (haz directo, haz inclinado)
- Ángulos y modo(s) de propagación de la onda en el material.
- Tipo de unidad, frecuencia y tamaño del transductor.
- Dispositivos especiales, (wedges, shoes)
- Tipo de instrumento ultrasónico.
- Descripción de calibración: bloques y técnicas
- Dirección y extensión del rastreo.
- Dato a ser registrado y método de registro (manual o mecanizado)
- Alarma automática y equipo de registro o ambos.
- Limpieza post examinación.

2. Aplicaciones

Este procedimiento será utilizado en la inspección de recipientes de almacenaje de gas licuado LPG, durante su fabricación y para inspecciones periódicas acorde con su ficha técnica.

3. Técnicas del examen

La Examinación puede ser continua o intermitente, dependiendo de la geometría, aplicación, y requisitos del recipiente a inspeccionar.

a) Examen continuo.

El posicionamiento del dispositivo de exploración debe ser el adecuado para proporcionar un 100% de alcance y una sensibilidad de inspección uniforme de la superficie.

b) Inspección manual

Se debe sostener el transductor en la mano y mover sobre la superficie a inspeccionar, las inspecciones con haz inclinado generalmente son realizadas usando una inclinación del transductor y utilizando onda longitudinal.

c) Haz inclinado / Onda Longitudinal.

Se utiliza cuando la geometría del recipiente u orientación de los defectos requiere un ángulo del haz inclinado de 1 a 40 grados, y se utilizan ondas longitudinales.

En el rango de 1 a 40 grados del ángulo de inclinación del haz, las ondas longitudinales darán amplitudes más altas.

d) Transductor simple,

Cuando el ángulo de la cara reflejada es mayor a la falla esperada, el ángulo del haz de inspección debe ser perpendicular a esa cara. Se debe explorar el material para el haz sea perpendicular a la cara de mayor área de la falla.

e) Haz paralelo

Haz paralelo, transductor Doble, Cuando las distancias del metal al reflector son cortas, puede utilizarse un transductor simple y recibir las señales con un doble transductor, esto para eliminar el ruido de la cuña.

f) Transductor doble.

Haz cruzado, transductor doble, los transductores se juntan para que los haces se crucen directamente bajo la superficie del examen y proporcionan mejor resolución cerca de superficie, pero la profundidad de inspección es limitada, el rango de profundidad depende del tamaño del transductor y ángulo de la onda.

g) Inspección automatizada

La unidad de la búsqueda es sostenida por un dispositivo fijo apropiado y el producto se mueve; o se sostiene fijo, mientras el transductor sigue algún camino mecánicamente predeterminado.

4. Calificación del personal

Todo personal que realice inspecciones, debe poseer certificado de Nivel II en ultrasonido, y el personal que evalué inspecciones debe poseer certificado de Nivel III.

5. Reporte del ensayo

Los siguientes datos deben registrarse como un mínimo para la referencia futura en el momento de cada examen:

- Fecha y hora de la inspección.
- Hoja de calibración.
- Identificación y/o número de recipiente.
- El nombre del inspector y nivel (si es o no certificado).
- Descripción del instrumento, marca, modelo, y número de serie.
- Tipo de acoplante, tipo de cable y longitud.
- Tipo de técnica.
- Descripción del transductor, tamaño, frecuencia, dispositivos especiales, (wedge, modo de vibración de la onda,) etc.
- Normas de la referencia y año.
- Información detallada de la indicación, croquis con las indicaciones detectadas, número,
- Clasificación, y localización de discontinuidades (fusión / falta de fusión) etc.
- Identificación del bloque de calibración.
- Condiciones superficiales del recipiente.
- Deben determinarse posición del reflector, amplitud y ganancia de calibración
- Deben identificarse indicaciones geométricas. Ya que las reflexiones pueden ser causadas por la geometría de la pieza, por ejemplo, las esquinas, concavidad de la superficie o convexidad, y otros contornos de la superficie que reflejan ondas ultrasónicas al transductor.

6. Interpretación de Resultados

La interpretación de resultados debe ser registrada, todas las discontinuidades que tienen características que excedan el nivel de rechazo deben ser definidas y se deben dibujar, a menos que estas discontinuidades no vayan a permanecer en el producto terminado.

7. EL Aparato

El instrumento ultrasónico será capaz de generar, recibir, y amplificar alta frecuencia y pulsos eléctricos a tales frecuencias y a niveles de energía requeridos para realizar un examen y proporcionar una lectura conveniente. El transductor será capaz de transmitir y recibir ultrasonido en el material a las frecuencias requeridas y energía necesario para el descubrimiento de discontinuidades, pueden ajustarse unidades especiales para determinadas aplicaciones como special shoes, wedges etc.

8. Acoplante

- Debe seleccionarse de tal manera que no sea perjudicial al producto o al proceso.
- El acoplante utilizado en la calibración debe ser utilizado en la inspección ultrasónica.
- Este puede ser agua, gel celulosa, o grasa.
- Se pueden utilizar Inhibidores de corrosión.
- Durante la ejecución del examen ultrasónico, la capa del acoplante entre el transductor y material de examinación debe mantenerse tal que el área del contacto se mantenga constante.
- Debe seleccionarse para que su viscosidad sea apropiada para el acabado superficial del material a ser examinado. El examen de superficies ásperas generalmente requiere un acoplante de viscosidad alta.
- La temperatura del examen no debe afectar las propiedades físicas del acoplante

9. Tipos de información que puede obtenerse de la práctica de haz directo, pulso eco son:

- Tamaño de discontinuidad.
- Localidad de profundidad de discontinuidades.
- Propiedades materiales como indicación de atenuación relativa del sonido o cambios de velocidad.
- La magnitud del cordón de soldadura y detalles de discontinuidades como falta de fusión, socavaciones etc.

10. Procedimiento

- La superficie debe ser uniforme y libre de escamas o pintura, además no tener discontinuidades como hoyos y canales poco profundos sobre la superficie, residuos de soldadura u otro material extraño que afecte el resultado del examen.
- Pintura herméticamente adherida, o revestimientos no necesitan quitarse si estos presentan características de atenuación uniformes. La superficie debe ser adecuada para permitir el examen ultrasónico a la sensibilidad específica.
- Las superficies curvas, cóncavas o convexas, pueden ser, examinadas; sin embargo, el sistema de calibración debe compensar el cambio de transductor para que transmita el área entre la referencia normal y el producto a ensayar.
- Si fuera práctico se debe usar la norma que contemple la geometría inspeccionada.
- Las consideraciones siguientes deben ser consideradas al escoger el tamaño de transductor, tipo, y frecuencia.
- El tamaño de transductor se debe escoger de acuerdo con la frecuencia, y considerando la característica acústica de material ser examinado.
- Se debe recordar que la geometría producto, tamaño, y tipo de discontinuidad, son variables para la selección de la frecuencia, ya que a mayor frecuencia, mayor resolución y menor poder penetrante, recíprocamente, la frecuencia más baja, tendrá el mayor el poder penetrante y una baja capacidad de resolución.
- Cuando se utilizan materiales de retardo en el transductor La temperaturas de superficie de examen y de calibración deben estar en un rango de 25 F (14 °C) para evitar altas atenuaciones y desigualdades de velocidad.

11. Durante la evaluación de indicaciones,

- Mantener las mismas sensibilidades relativas entre la referencia normal y el recipiente.
- Hacer evaluación de todas las indicaciones ultrasónicas.
- Trazar los extremos de la discontinuidad más grande que se detecte.
- Si las discontinuidades son más grandes que la unidad de búsqueda o si se trata de superficies redondeadas se puede usar el método de amplitud media.

12. Criterio de Interpretación

Basados en el Código A.S.M.E. Sección VIII Apéndice 12; sin embargo, el criterio de evaluación de los signos ultrasónicos y aceptabilidad del producto podrán ser determinadas por acuerdo de las partes.

13. Norma aplicable

A.S.M.E. Sección VIII

Referido a ASTM E 114 - 94

ASTM E 587 - 94

C. REQUISITOS DE UN PROCEDIMIENTO PARA INSPECCIÓN LA INSPECCION RADIOGRAFICA

1. Evaluación no destructiva:

Desarrollo y aplicación de un método técnico a materiales y componentes sin dañar el material para localizar, detectar, medir, interpretar y evaluar discontinuidades.

2. Calidad Radiográfica

Debe ser del 2% (2 – 2T), en el 2% de nivel de contraste se usará 3 niveles de inspección, (2 – 1T), (2 – 2T) y (2 – 4T). Aunque pueden haber otros, además este nivel de inspección se basará en el requerimiento de servicio.

3. Variables técnicas:

- Material y rango de espesor
- Isótopo utilizado o máximo voltaje de rayos X
- Distancia mínima entre fuente y película
- Tamaño máximo de la fuente
- Marca de la película y designación
- Pantalla utilizada

4. Preparación de la superficie

Materiales: es conveniente limpiar la superficie de tal manera que una irregularidad superficial no sea confundida con discontinuidad durante la interpretación de la placa.

Soldadura: Cualquier irregularidad en la superficie interna y externa de la soldadura debe ser eliminada para que no sea confundida con la imagen de una discontinuidad.

5. Sistema de Identificación

Identificación permanente sobre alguna área de la placa que no interfiera con la imagen. Información relevante: nombre del proyecto o de la pieza y fecha en que se realizó la radiografía.

6. Película

Debe de utilizarse película para radiografía industrial.

7. Facilidades para la visualización de radiografías

Luz de fondo tamizada de una intensidad que no cause problemas de reflexión, sombras o brillo sobre la radiografía. El equipo usado para ver radiografías para su interpretación debe proveer una fuente de luz variable suficiente para observar el agujero o hilos del penetramiento los cuales deben ser visibles de acuerdo al rango de densidad especificado.

8. Calibración

Para fuentes de IR – 192 el tamaño del punto focal está determinado por ASTM E 1114 – 86.

9. Película guía y densitómetro

La densidad de operación de película guía de comparación y la calibración del densitómetro debe ser verificado por la comparación con una película guía trazable a una norma nacional.

10. Evaluación

a) Técnica de la simple pared

La radiación pasa a través de sólo una pared de la soldadura o del material.

b) Técnica de la doble pared

Se utiliza sólo en el caso de diámetros pequeños o que no sea práctico utilizar la técnica de la pared simple.

c) Visualización de pared simple

Para materiales y soldaduras en componentes, una técnica puede ser usada en el cual la radiación pasa a través de dos paredes y sólo la soldadura (material) sobre la pared del lado de la película es vista para aceptar la radiografía. Cuando es necesario cubrir la soldadura circunferencial (material) deben realizarse un mínimo de tres exposiciones tomadas 120 grados una de la otra.

d) Visualización de doble pared

Para materiales y soldaduras en componentes de 31/2 in o menos en diámetro externo nominal, una técnica puede ser usada en la cual la radiación pasa a través de las dos paredes y la soldadura (materiales) para aceptar la radiografía se necesita visualizar en ambas paredes. Debe de ejecutarse con cuidado para asegurar que se obtenga la característica geométrica con la nitidez requerida; si no se lograra esto será necesario utilizar la técnica de visualización de pared simple.

Para soldaduras, el haz de radiación puede ser offset desde el plano de la soldadura con un ángulo suficiente para separar las imágenes del lado de la fuente y del lado de la película para que partes de la soldadura no interfieran con las áreas a ser interpretadas. Cuando se requiera una cobertura completa, deben realizarse un mínimo de dos exposiciones tomadas 90° una de la otra.

Como una alternativa, la soldadura puede ser radiografiada con el haz de radiación posicionado así que las imágenes de ambas paredes sean superpuestas. Cuando se requiere una cobertura completa, un mínimo de tres exposiciones tomadas a 60° o 120° una de otra para cada unión.

Exposiciones adicionales deben de hacerse si la cobertura radiográfica requerida no puede obtenerse utilizando el número mínimo de exposiciones indicadas en los párrafos anteriores.

11. RADIACION GAMMA

Los espesores mínimos recomendados para isótopos radioactivos que deben ser utilizados son los siguientes:

MATERIAL	ESPEORES MINIMOS	
	Iridio 192	Cobalto 60
Acero	19 mm	38.1mm
Cobre o níquel	16.5mm	33.0mm
Aluminio	63.5 mm	-----

La sensibilidad de la radiografía es influenciada primeramente por factores tales como:

- Selección de la película
- Selección de la intensidad de la pantalla
- Falta de nitidez geométrica
- Densidad de la película

El máximo espesor para el uso de isótopos radioactivos es dictado primeramente por el tiempo de exposición, por lo tanto, límites superiores no son mostrados. El espesor mínimo recomendado puede ser menor cuando las técnicas radiográficas utilizadas demuestran que la sensibilidad radiográfica requerida ha sido obtenida.

12. Dirección de radiación

La dirección del haz central de radiación debe ser centrada sobre el área de interés en cualquier práctica.

13. Falta de nitidez geométrica

La falta de nitidez geométrica de la radiografía debe ser determinada de acuerdo con:

$$U_g = Fd/D$$

Donde:

U_g: falta de nitidez geométrica

F: tamaño de la fuente, la máxima dimensión proyectada de la fuente radiactiva (o punto focal efectivo) en el plano perpendicular a la distancia D desde la soldadura o al objeto que va a ser radiografiado.

D: Distancia desde la fuente de radiación a la soldadura o al objeto a ser radiografiado.

d: distancia desde el lado de la fuente de soldadura o el objeto ha ser radiografiado a la película,

D. REQUISITOS DE UN PROCEDIMIENTO GENERAL DE PRUEBA HIDROSTÁTICA

1. Alcance Específico

Metodologías y requisitos para inspección por prueba hidrostática de recipientes de almacenamiento de gas licuado LPG.

El procedimiento deberá incluir al menos la siguiente información, para referencia futura, no descartando toda que sea considerada como importante:

- Esta prueba debe limitarse a encontrar indicaciones de fuga mayores a 0.01 mPa*m³/s.
- Los valores de la prueba declarados en unidades de SI.
- Tipo de soldadura.
- Tipo de material.
- Dimensiones de espesores.
- Proceso de fabricación del producto, (laminado, forjado, fundido, etc.)
- La(s) superficie(s) donde se inspeccionará.
- Condición de la superficie, (con oxido, pintada, muy rugosa, con grietas, etc.)
- Tipo de fluido utilizado, y/o tipo de aditivos.
- Presiones utilizadas durante la prueba, (de funcionamiento, de prueba, etc)
- Tipo de equipo, y tipo de calibrador.
- Temperatura de inspección del fluido y del recipiente
- Limpieza post examinación.

2. Aplicaciones

Este procedimiento será utilizado en la inspección de recipientes de almacenaje de gas licuado LPG, durante su fabricación y para inspecciones periódicas acorde con su ficha técnica.

3. Procedimientos generales

a) Apertura:

- Selle todas las aberturas usando tapas o tapones que pueden resistir la presión de la prueba y pueden quitarse completamente al finalizar.
- La entrada del fluido de prueba debe localizarse en el fondo del recipiente con la abertura de aire atrapado al punto más alto.
- Los componentes que trabajan a presiones inferiores a la presión de prueba, deben ser aislados.
- Deben conectarse un manómetro o más al sistema de prueba. Si se usa más de uno, se puede registrar los datos de solo uno de ellos.
- Al menos un calibrador que se use para la aceptación de la prueba se calibrará dentro de 30 días antes de usarlo.
- El indicador del calibrador debe ser fácilmente visible para el operador que controla la presión a lo largo del ciclo de presurizado.

b) Preinspección

- Antes de que el presuración se inicie, asegurarse que el contenedor esta seco y que las soldaduras y conectores están expuestos a simple vista para la inspección visual.
- Refuerce Firmemente áreas críticas que no pueden poder resistir el peso.

c) Presurización

- Aumente Gradualmente la presión en el sistema al 50% de presión de prueba y haga un chequeo inicial por fugas.
- Después aumente lentamente la presión hasta llegar a la presión de prueba final. La presión de prueba será un 150% de la presión de funcionamiento del recipiente.

d) Prueba de fuga:

- Se debe tomar el tiempo y examinar el sistema por fugas.
- El examen de fugas se hará de en las juntas accesibles y conexiones, en cordones de soldadura y donde hallan goteos.
- Se debe rellenar los agujeros y cordones que presenten fugas. También inspeccionar las áreas alrededor de los sitios de goteo inaccesibles.
- El inspector marcará con un círculo todas las goteras accesibles, para esto se utilizará un marcador permanente o no borrrable.
- Se describirá la magnitud de fuga en términos de: área húmeda, gotas por minuto o chorro firme.

e) Despresurizado

- Se descarga la presión lentamente. Las aberturas deben abrirse para la entrada de aire y evitar derrumbes del recipiente.

Técnicas empleadas

4. Método de caída de presión

- Presurice el sistema de acuerdo a lo referente al punto 3 de este apartado.
- Después de alcanzar la presión de prueba, asegúrese que todo el aire atrapado dentro del recipiente salga al exterior.
- Desconecte la bomba de presión y permita que la presión del sistema se estabilice por un tiempo de 10 minutos o 5% del tiempo de la prueba cualquiera que sea su duración.
- Después de la estabilización, registre la presión exacta y controle durante el periodo de prueba.

Sensibilidad:

La sensibilidad aumenta cuando la resistencia del fluido de la prueba para fluir es disminuida por el uso de un aditivo añadido al agua o un fluido alternativo, como un penetrante.

5. Método de Inspección visual

- Presurice el sistema de acuerdo a lo referente al punto 3 de este apartado.
- Después de alcanzar presión de la prueba, inspeccione las superficies externas por fugas.
- Debe mantenerse la presión de prueba por un mínimo de 6 min/cm de espesor de pared.
- Como mínimo la presión de prueba debe mantenerse durante 10 min y el tiempo máximo debe limitarse a 2 h.
- Si el sistema no es diseñado para trabajar bajo presión constante, pulse la presión en el sistema una o más veces después de cada ciclo de inspección completa dejando caer la presión a 50% de la presión de prueba final y llevándola de nuevo a presión del examen.
- Si el exterior del sistema es cubierto por aislamiento que no se remueve, aumente el tiempo de la prueba por un factor de 10, a un máximo de 4 h.

Sensibilidad:

Puede mejorarse la sensibilidad hasta $0.1 \text{ mPa} * \text{m}^3/\text{s}$, usando productos para reforzar la visibilidad de goteo como por ejemplo:

- Aplicar un revelador al exterior cambie de color al contacto con humedad.
- Añadir un tinte especial al agua de prueba.
- Utilizar tintes fluorescentes para la inspección de prueba.

6. Prueba ultrasónica:

- Use nitrógeno u otro gas no inflamable como medio de prueba.
- Presurice el sistema con el gas graduando al 50% de la presión de prueba, la presión mínima es de 170 kPa, para esta prueba.
- Inspeccione las juntas, conexiones y soldaduras con un detector acústico de fugas capaz de reconocer frecuencias de 45 000 Hz.

7. Calificación del personal

Se recomienda el personal que realiza el ensayo de fuga tengan certificado de aprobación del curso de entrenamiento para Ensayos No Destructivos nivel II y calificado de acuerdo con la Práctica Recomendada No. SNT-TC - 1A de la American Society for Nondestructive Testing o ANSI/ASNT Standard CP-189.

8. Reporte del ensayo

Los siguientes datos deben registrarse como un mínimo para la referencia futura en el momento de cada examen:

- Limpieza en caso de que fuera necesaria y como se realizó, fecha y hora de la inspección
- Hoja de calibración
- Identificación y/o número de recipiente.
- Dimensiones del recipiente, (longitud, diámetro espesor, etc)
- El nombre del inspector y nivel (si es o no certificado).
- Descripción del instrumento, marca, modelo, y número de serie.
- Tipo de líquido, y tipo de aditivos.
- Tipo de técnica utilizada.
- Fecha de calibración del calibrador.
- Numero de calibradores utilizados
- Información detallada de la indicación, croquis con las indicaciones detectadas, y su número.
- Clasificación, y localización de discontinuidades (**húmedo, gotas por minuto, chorro firme**)
- Condiciones superficiales del recipiente.
- Temperatura del recipiente, y del fluido durante la prueba.
- Presiones tomadas en el transcurso de la prueba
- Tiempo de prueba.

9. Interferencias y cuidados al realizar la practica.

- Las soldaduras interiores, exteriores y juntas donde frecuentemente se localizan goteras deben estar libre de aceite, grasa, residuos de soldadura, u otro contaminante que podría sellar temporalmente alguna fuga.
- Los recipientes nuevos deben probarse antes de ser pintados.
- La prueba hidrostática no debe ejecutarse antes de una prueba de la fuga que utiliza aire o el gas para el cual fue diseñado su uso. Ya que el medio liquido puede tapar temporalmente pequeñas fugas, que después causaran pruebas inexactas o errores.
- El líquido de prueba debe estar a una temperatura igual o ligeramente mayor a la temperatura atmosférica o mayor al punto de rocío.
- La temperatura mínima del líquido debe ser 16 °C.
- Si el recipiente a ser probado tiene partes hechas de acero inoxidable, níquel, o aleaciones de cromo, los líquidos o cualquier aditivo usados debe tener un contenido azufre y de halógeno menor que 50 ppm de cada uno. Si se usa agua como fluido de prueba debe ser desionizada.
- La presión de prueba no debe aplicarse hasta que el metal y el fluido de prueba estén aproximadamente a la misma temperatura, para evitar fracturas.
- El metal debe estar mínimo a 16 °C antes de la aplicación de presión.
- Si se utiliza otro líquido diferente de agua su punto de ebullición debe ser 93 °C o superior.
- Cuando el recipiente de prueba tenga componentes de acero con porcentaje de carbono, se debe usar un inhibidor del óxido.

10. Aparato

- El manómetro debe resistir la presión de prueba normal y ser bastante exacto para detectar pequeñas fugas de presión.
- Deben calibrarse los manómetros antes de cada prueba.
- La calibración debe ser exacta dentro de 1% de escala completa. La calibración debe leer al menos 1.5 X pero no más de 4 X que es el máximo de presión de prueba.

11. Resumen de Método de la Prueba

Esta prueba se utiliza para el control de calidad e inspección de sistemas del conducto, tuberías, válvulas, y recipientes que se espera que retenga líquidos. No aplicable en casos de materiales muy Tóxicos o material explosivo bajo presión. La comprobación hidrostática requiere que el componente sea llenado completamente con un líquido, como agua, se aplica lentamente presión al líquido hasta alcanzar la presión requerida; esta presión se mantiene durante el tiempo necesario para localizar goteras o fugas; se toman datos de presión durante la prueba desde el manómetro y luego la caída de presión se usa para medir la fuga total del sistema.

E. REQUERIMIENTOS DE UN PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN CON LÍQUIDOS PENETRANTES

Uno de los métodos más viejos para hacer exámenes no destructivos (END) es el proceso de tintas penetrantes, se originó en la década de 1890 utilizándose en los talleres de mantenimiento de línea férrea.

Los trabajadores notaron que partes cubiertas con aceite como árboles, pines y acoples; exudan el aceite retenido en fisuras u otras aberturas superficiales después de limpiarse completamente. Esto condujo a la prueba del *aceite-blanqueado*.

Las partes se sumergen en aceite por un período de tiempo y después de remover el exceso, se limpia la superficie usando trapos húmedos con queroseno. Se cubre la pieza con polvo de tiza y alcohol (blanqueado). Cualquier aceite atrapado en los defectos se adhiere a la tiza, dejando una indicación visible.

1. Tipos de Penetrantes

Las indicaciones se forman cuando el penetrante emerge a la superficie de la pieza. La cantidad de indicador requerida es muy pequeña. Si las discontinuidades se van a detectar, este indicador debe ser altamente visible. La clasificación de estos penetrantes se basa en el método para obtener visibilidad (por ejemplo: tinte fluorescente o no fluorescente).

a) Tinta Penetrante Fluorescente

Algunos minerales y algunos compuestos químicos tienen la capacidad de emitir luz visible cuando se exponen a luz *negra* o ultravioleta. Los penetrantes fluorescentes contienen tintas fluorescentes adecuadas disueltas en un aceite penetrante y producen brillo o indicaciones visibles cuando se exponen a luz negra o UV.

Este proceso se usó principalmente en la industria espacial y es el más caro ya que requiere de una fuente de luz negra para obtener las marcas indicadoras.

b) Tinta Penetrante Visible

Este tipo de tintas contienen un material brillante disuelto en aceite penetrante. El rojo es el color más usado.

Un paso necesario en el proceso de penetración es la aplicación de revelador. La capa blanca del revelador mejora la visibilidad de la indicación dando un alto contraste con el fondo en la zona teñida.

c) Proceso Básico de Penetración

Los tres pasos siguientes proveen una guía básica del proceso de penetración:

1. La superficie debe estar limpia y seca antes de aplicar el penetrante. Contaminantes sólidos o humedad en la superficie o dentro de la discontinuidad pueden disminuir o evitar que el penetrante entre por la abertura de la discontinuidad, reduciendo el efecto para inspección.
2. Se aplica el penetrante y se deja en la superficie un tiempo denominado *tiempo de remojo*. Este tiempo permite entrar al penetrante y llenar cualquier defecto superficial. Entonces se remueve el penetrante de la pieza. Esta es una operación crítica ya que puede eliminar el penetrante atrapado en los defectos. El solvente limpiador se aplica con trapo húmedo y limpiando el exceso de la superficie.
3. Finalmente se aplica el revelador, el cual ayuda en la extracción del penetrante en las discontinuidades y forma indicaciones visibles en la superficie de la pieza.

2. Cada paso en detalle.

a) Limpieza Previa y Posterior de las Piezas.

La limpieza y condición de las piezas previa a la aplicación del penetrante tienen un efecto significativo en los resultados de inspección.

Los usuarios de este proceso deben estar advertidos de los efectos de la condición superficial. Cualquier contaminante (por ejemplo: aceites pesados o ligeros, partículas sólidas) en las fisuras o discontinuidades causará reducción o anulación total de las indicaciones para inspección.

El aceite se puede remover con un solvente, los sólidos requieren de acción mecánica como limpieza a mano, aire comprimido, agitación en un líquido o vibración ultrasónica. La remoción del penetrante residual después de la inspección así como del revelador no siempre es requerida. La cantidad de penetrante residual es pequeña y consiste en lo atrapado por la discontinuidad.

b) Naturaleza del Proceso Penetrante

El proceso de inspección depende de un líquido que pueda cubrir la superficie de una pieza (capacidad de mojado) y entrar y salir por las aberturas de las discontinuidades (acción capilar).

Las discontinuidades pueden ser estrechas y pequeñas haciendo imposible verlas sin aumento. Como ya se mencionó, hay dos tipos de penetrantes, fluorescentes y tintas visibles. Sin adentrar en detalles, una sustancia presenta fluorescencia cuando tiene una estructura atómica específica. Cuando un fotón de radiación electromagnética de rayos X, luz negra o ultravioleta choca contra un electrón una parte de la energía del fotón se transmite al electrón del material que la libera como radiación electromagnética. Entonces el material brilla.

El término sensibilidad cuando se emplea para describir la capacidad característica significa la habilidad de producir una indicación visible de una pequeñísima fisura. Esta capacidad envuelve tanto el brillo como la capacidad de penetración. Hay cinco (5) niveles de sensibilidad $\frac{1}{2}$, 1, 2,3 y 4 siendo 4 el más alto. Las tintas visibles no fluorescentes no tienen niveles de sensibilidad.

c) Tipos de Reveladores

Los principales tipos son secos, suspensión acuosa (húmedo-acuosa), solubles en agua y no acuosas suspendidos en solvente. Nos concentraremos en los reveladores suspendidos en solvente no acuoso ya que son los más usados en la industria de la soldadura. Provee la más alta sensibilidad que cualquier otro revelador por su acción solvente.

En muchos casos donde los defectos son pequeños y estrechos, los reveladores secos y acuosos no alcanzan el penetrante atrapado en las discontinuidades. Esto resulta en una falla del revelador para extraer el penetrante de la discontinuidad.

Los reveladores no acuosos entran en la discontinuidad y se disuelven en el penetrante, incrementando el volumen atrapado trayéndolo a la superficie. Además reduce la viscosidad lo que acelera la acción capilar. Estos reveladores son convenientes para uso portátil. Están empacados en cilindros aerosol y el solvente es volátil y de secado rápido al expuesto al aire. Cuando la técnica apropiada se usa, se obtiene una capa delgada de revelador cuyo espesor puede ser controlado por el operario. El revelador no acuoso puede ser usado tanto con penetrante fluorescente como visible.

d) Remojo con el revelador

La extracción del penetrante atrapado en las discontinuidades es función del tiempo y del volumen de penetrante disponible. El tiempo debe ser tal que le permita al revelador dibujar parte del penetrante atrapado en la discontinuidad y diluirse para formar la indicación. El período de tiempo varía ampliamente por un sin número de factores que influyen.

Generalmente el tiempo de revelado debe ser la mitad del tiempo de remojo del penetrante, este no debe empezar antes de que la superficie esté libre de humedad y la capa de revelador esté seca.

e) **Discontinuidades**

Hay muchos tipos de discontinuidades. Las siguientes son descripciones generales de las discontinuidades más comunes en la industria de la soldadura. La apariencia de las indicaciones de penetrante está influenciada por el tamaño y forma de la discontinuidad, tipo del penetrante y del revelador y del tiempo de remojo del revelador.

El usuario del revelador debe conocer los tipos potenciales de discontinuidades peculiares del material inspeccionado:

Fracturas por tratamiento térmico: los enfriamientos rápidos envueltos en el temple ya sea con agua o aceite, si no se controlan cuidadosamente, las piezas presentarán fracturas severas. Estas fracturas son profundas, se quiebran en los bordes de la pieza y algunas veces forman un patrón.

Fracturas por mecanizado: estas fracturas, también llamadas marcas, son de origen térmico por sobrecalentamientos localizados durante el mecanizado. Las causas principales son la mala refrigeración, velocidad de alimentación del material o del corte.

Fisuras en soldadura: el proceso de soldadura está sujeto a los mismos esfuerzos térmicos que la fundición, las contracciones también ocurren. Tienen forma de cráter o semejante a las fisuras por mecanizado.

Falta de penetración en tanques: los tanques hechos para contener líquidos se construyen soldando y se inspeccionan por métodos penetrantes para detectar posibles fisuras o falta de penetración. La inspección se hace aplicando el penetrante por un lado de la soldadura y la aplicación del revelador por el lado opuesto.

F. PROCEDIMIENTO ESPECIFICO N° :1

DESCRIPCIÓN: Inspección de Recipientes de Almacenamiento LPG, por Prueba Hidrostática.

Acorde con ASME. Boiler & Pressure Vessel Code. Sección VIII – 1992

PROCEDIMIENTO ESPECÍFICO PARA PRUEBA HIDROSTÁTICA DE RECIPIENTES A PRESIÓN

1. Alcance

Metodologías y requisitos para la inspección por prueba hidrostática de recipientes de almacenamiento de LPG.

2. Disposiciones

- Esta prueba será aplicable para recipientes fabricados por soldadura de láminas que cumplan con las siguientes características.
- Los valores de presión de la prueba serán:
- Presión de funcionamiento 620.5 kPa
- 50% Presión de prueba 465 kPa
- Presión de prueba 930.45 kPa.
- El espesor de recipiente 10.46 mm.
- La superficie deberá estar limpia y seca, libre de oxido, grasa, aceite, etc.
- El fluido de prueba será agua.
- Utilizando manómetro calibrado en el laboratorio LABCAL, de la Universidad de Costa Rica, (ver fecha en la hoja de calibración adjunta)
- Utilizando como equipo de prueba, una bomba de inyección manual.

3. Aplicaciones

Este procedimiento será utilizado en la inspección de recipientes de almacenaje de gas licuado LPG, posterior a su fabricación.

4. PROCEDIMIENTO

Registrar la condición de la superficie del recipiente.

Realizar limpieza de la superficie y cordones de soldadura de ser necesario.

a) Apertura

- Selle todas las aberturas usando tapones o tapas que pueden resistir la presión de prueba y pueden quitarse completamente después de ésta.
- La entrada del fluido de prueba debe localizarse en la parte inferior, o fondo del recipiente, con la abertura de aire atrapado localizada en el punto más alto.
- Los componentes que trabajan a presiones inferiores que la presión de prueba, deben ser aislados.
- Deben conectarse uno o más manómetros al sistema de prueba, pero se registrará los datos de solo uno de ellos.
- Al menos un calibrador se usará para la aceptación de la prueba.
- El manómetro debe ser fácilmente visible para el operador que controla la presión a lo largo del ciclo de presurizado.

b) Preinspección

- Antes de que se inicie la presuración, asegurarse que el recipiente esta seco y que las soldaduras y conectores están expuestos a simple vista para la inspección visual.
- Refuerce firmemente áreas críticas que no pueden poder resistir el peso.

c) Presurización

- Aumente gradualmente la presión en el sistema hasta 465 kPa y haga un chequeo inicial por fugas.
- Después de esto lentamente aumente la presión hasta llegar a 930 kPa (presión de prueba final).
- Debe mantenerse la presión de la prueba por una hora, (máximo 1 ½ horas)

- Después de alcanzar presión de la prueba, inspeccione las superficies externas por fugas.
- El examen de fugas se hará en las juntas accesibles y conexiones, en cordones de soldadura y en toda superficie donde hallan goteos.
- La presión debe tomarse cada 15 minutos y registrarse debidamente.
- El inspector marcará con un círculo todas las goteras accesibles, para esto se utilizará un marcador permanente o no borrrable.
- Se describirá la magnitud de fuga en términos de: **área húmeda, gotas por minuto o chorro firme.**

d) Despresurizado

- Descargar la presión lentamente. Las aberturas deben abrirse para la entrada de aire y evitar derrumbes del recipiente.

5. Calificación del personal

Tener certificado que le acredite como inspector, o ser Ingeniero que por medio de experiencia en labores afines tenga la capacidad de realizar esta prueba, además de ser capaz de interpretar los resultados obtenidos.

6. Interferencias y cuidados al realizar la practica.

- Las soldaduras interiores y exteriores y juntas donde frecuentemente se localizan goteras deben estar libres de aceite, engrase, residuos de soldadura, u otro contaminante que podría sellar temporalmente la fuga.
- Los recipientes nuevos deben probarse antes de ser pintados.

7. Manómetro

El manómetro debe resistir la presión de prueba y lo suficientemente exacto.

La calibración debe ser exacta dentro de 1% de escala completa. La calibración debe leer al menos 1.5 X pero no más de 4 X que es el máximo de la presión de prueba a ser usado.

8. Resumen de Método de la Prueba

Esta prueba se utiliza para el control de calidad e inspección de recipientes de almacenaje de LPG. La comprobación hidrostática requiere que el componente sea llenado completamente con agua, luego se aplica presión lentamente al líquido hasta alcanzar 937 kPa. Esta presión se mantiene por 90 minutos para localizar goteras o fugas, después se toman datos de presión cada 15 minutos desde el manómetro, con esto se logra el control presión para un posterior análisis gráfico.

G. PROCEDIMIENTO ESPECIFICO N°2

DESCRIPCIÓN: Inspección de soldadura de accesorios de recipientes de almacenamiento de LPG, por Líquidos Penetrantes

PROCEDIMIENTO ESPECIFICO PARA LA INSPECCIÓN DE SOLDADURA DE CONACCIONES EN RECIPIENES DE ALMACENAMIENTO DE LPG

1. Alcance

Metodología y requisitos para la inspección de conexiones soldadas por prueba con Líquidos Penetrantes.

2. Disposiciones

Esta prueba será aplicable a recipientes fabricados por soldadura de láminas que cumplan con las siguientes características:

- Las uniones soldadas deben estar libres de pintura y suciedad.
- Se utilizará la misma marca de líquido penetrante, revelador y removedor.
- Se aplicará bajo condiciones de temperatura ambiente, aproximadamente 300 K.
- Se utilizará la cantidad de luz día.

3. Aplicaciones

Este procedimiento será utilizado en la inspección de recipientes de almacenaje de LPG, posterior a su fabricación.

4. PROCEDIMIENTO

a) Preinspección

Realizar una inspección visual preliminar para tomar observaciones importantes del estado del recipiente y sus conexiones, además de su condición de superficie, ect

b) Limpieza inicial de la superficie

- Remueva toda suciedad presente en las soldaduras a inspeccionar, asegurando que no queden rastros de grasa, polvo u otros agentes.
- Remueva la capa de óxido o de pintura que cubre el cordón de soldadura, esta remoción debe ser total y se debe realizar minuciosamente.
- Elimine los residuos producidos durante la eliminación de óxidos o pintura, la superficie debe de quedar perfectamente limpia.

c) Aplicación del penetrante

- Asegurese que el tinte se encuentra en fecha anterior a su caducidad.
- Anote la marca del tinte utilizado en el reporte, respectivo.
- Anote si es removible con agua o con removedor.
- Aplique rociando la superficie a inspeccionar de manera uniforme, de tal forma que cubra la totalidad de la unión soldada.
- Deje que el penetrante actúe durante 20 minutos.

d) Remoción del Penetrante

- Asegurese que el removedor se encuentra en fecha anterior a su caducidad.
- Anote la marca del removedor utilizado en el reporte, si es agua especifique.
- Aplique rociando la superficie con tinte de manera uniforme.
- Con un paño remueva el excedente de penetrante de la superficie, esta parte debe hacerse con extrema paciencia, para eliminar todo el penetrante en exceso, que puede dar resultados falsos.
- Anote el tiempo empleado.

e) Aplicación del revelador

- Asegurese que el revelador se encuentra en fecha anterior a su caducidad.
- Anote la marca del revelador utilizado en el reporte, respectivo.
- Aplique rociando la superficie a inspeccionar de manera uniforme, de tal forma que cubra la totalidad de la unión soldada.
- Deje que el revelador actúe durante 20 minutos.

f) Evaluación de resultados

- Tome nota de las posibles discontinuidades, anote su ubicación, y haga un esquema
- Clasifique las discontinuidades acorde lo establecido en la norma.
- Tome el tiempo de inspección, y anótelo en el reporte

5) Calificación del personal

Tener certificado que lo acredite como inspector, o ser ingeniero que por medio de experiencia en este tipo de prueba, tenga la capacidad de realizar el ensayo, además de ser capaz de interpretar adecuadamente los resultados obtenidos.

6) Interferencias y cuidados al realizar la práctica.

- Las soldadura debes de estar extremadamente limpias antes de aplicar el revelador, por lo que la limpieza del tinte penetrante, se debe de realizar con mucho cuidado para evitar datos falsos en la interpretación d resultados.
- Se debe revisar antes de cada ensaño si se tiene suficiente cantidad de tinte penetrante, removedor y revelador y revisar su fecha de caducidad.
- Si se tiene duda de algún resultado es necesario realizar la prueba nuevamente.

7) Norma aplicada ASTM E 165 – 95

VIII. RESULTADOS OBTENIDOS

REPORTES DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS REALIZADOS

Para la interpretación de los resultados, durante la ejecución de los END, es necesario tener un reporte donde se pueda obtener la información de las pruebas, además que a partir de éste podemos realizar el ensayo nuevamente asegurándonos la reproducción del mismo en las mismas condiciones, y nos permita tener un criterio para determinar si el recipiente necesita o no reparación.

Los reportes que siguen son de pruebas realizadas a un recipiente a presión horizontal, el cual fue sometido a los exámenes por mantenimiento, realizándose pruebas de ultrasonido en un 100% de las soldaduras circunferenciales y longitudinales, medición de espesores por ultrasonido, a lo largo de los cuadrantes del recipiente, líquidos penetrantes a las soldaduras de las conexiones, y finalmente prueba hidráulica.

Donde como se podrá observar en los reportes el recipiente fue sometido a reparaciones en algunas de las costuras circunferenciales y en las soldaduras de algunas de las conexiones.

Estas reparaciones se realizaron en la empresa SARET METALMECÁNICA, y posteriormente se le entregó a la cliente, un reporte con las manuales de procedimientos, reportes, croquis y el tipo de reparación que se le realizó al recipiente.

El examen radiográfico no se realizó puesto que el recipiente es hermético, no tiene entrada humana por lo que no permite este tipo de examen. Por lo tanto no se incluye el reporte del mismo.



ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD
SARET
METALMECANICA

REPORTE DE ULTRASONIDO
ULTRASONIC EXAMINATION REPORT

PROCEDIMIENTO: UT-04-97 **REVISIÓN:** 1
 Procedure UT-04-97 Revision
CLIENTE / PROYECTO: TROPIGAS **O.F. / GRUPO:** METALMECÁNICA
 Client / Project Manufacturer Order / Group
EQUIPO: KRAUTKRAMER **UNIDAD N°:**
 Equipment Unit

CANT. DE PIEZAS EXAMINADAS: 1 RECIPIENTE **DIB.:** ADJUNTO **REV.:** **REF.:**
 Quantity of Examined Pieces Dwg.: Rev. Ref.:
MATERIAL: ASTM 516 Gr 70 **U.S. REQ.:** 100 %
 Material U.T. Required

TRATAMIENTO TÉRMICO: ANTES Before Heat Treatment DESPUÉS After H.T. SIN T.T. Without H.T.
JUNTA SOLDADA **FUNDICIÓN** **FORJA** **LAMINADA** **LÁMINAS**
 Welded Joints Castings Forgings Rolled Plates

EQUIPO – Equipment
APARATO – Apparatus

KRAUTKRAMER USM-2N.° USL-32N.° USK-7B N.° USN - 52
 N.° N.° N.° N.°

UNIDAD DE BÚSQUEDA - Search Unit

FABRICANTE: Manufacturer	ONDAS LONGITUDINALES: Longitudinal Waves	ONDAS TRANSVERSALES: Transversal Waves	FRECUENCIA (MHz) Frequency
KRAUTKRAMER PANAMETRICS	<input type="checkbox"/> B 2 S-N <input type="checkbox"/> MB 2 S-N <input type="checkbox"/> MB4 S-N <input type="checkbox"/> V304 <input type="checkbox"/> SEB 2HO° <input type="checkbox"/> MSEB 2 H	<input type="checkbox"/> 45° <input type="checkbox"/> WB 45 N2 <input type="checkbox"/> MWB45N4 <input type="checkbox"/> 60° <input type="checkbox"/> WB 60 N2 <input type="checkbox"/> MWB60N4 <input type="checkbox"/> 70° <input type="checkbox"/> WB 70 N2 <input type="checkbox"/> MWB 70N4	2 2 4 2.25

TIPO DE CRISTAL **TITANATO DE BARIO**
 Crystal Type Barium Titanate

ESTADO DE SUPERFICIE Surface Condition	ACOPLANTE Coupling	CALIBRACIÓN Calibration
<input checked="" type="checkbox"/> ESMERILADO Grinder <input type="checkbox"/> CEPILLADO Brushed <input type="checkbox"/> MAQUINADO Machined <input type="checkbox"/> ABRASIVO Sand Blasted	<input type="checkbox"/> METIL CELULOSA Cellulose Gum <input type="checkbox"/> AGUA Water <input checked="" type="checkbox"/> ACEITE Oil	<input type="checkbox"/> REFLECTOR Reflector <input type="checkbox"/> MATERIAL Sound Material <input type="checkbox"/> AGUJERO CILIND. Cylindrical Hole Ø= <input checked="" type="checkbox"/> AGUJERO CIEGO Flat Bottom Hole Ø= <input type="checkbox"/> AMPLITUD Amplitude <input type="checkbox"/> ALTURA DE PANTALLA Height of Screen <input type="checkbox"/> DISTANCIA Distance <input checked="" type="checkbox"/> CORR. DE AMPLITUD Amplitude Correction

ELEMENTO:	LOCALIZACIÓN-Localization				%	TIPO Type	Decisión Decision
	ORIENTACIÓN-Orientation		POSICIÓN N	LONGITUD Prof.			
	Circunferencial	Longitudinal	Position (mm)	Length (mm) Depth(mm)			
Recipiente	X		A	100		FF	R
Recipiente	X		B	50		FF	R
Soldadura	X		C	25		FF	R
Recipiente	X		D	70		FF	R
Recipiente	X		E	120		FF	R

LEYENDA – Legend

F-FISURA Crack **I-INCLUSION DE ESCORIA** Slag Inclusion **A-ACEPTABLE** Acceptable
PO-POROSIDAD Porosity **C-CIRCUNFERENCIAL** Circunferencial **R-REPARAR** Repair
FF-FALTA FUSIÓN Lack of Fusion **L-LONGITUDINAL** Longitudinal **I-INTERNA** Internal
FP-FALTA DE PENETRACIÓN Lack of Fusion **E-EXTERNA** External
CROQUIS ANEXADO Sketch Annexed: SI Yes NO No

TÉCNICA DE BARRIDO- Scanning Technique
 INTERNO Internal EXTERNO External ½ PULSO V Path 1 PULSO V Path 1½ PULSO V Path

LEYENDA Legend: **HAZ INCLINADO** Angle Beam **HAZ DIRECTO** Straight Beam

CRITERIO DE ACEPTACIÓN ACORDE CON: ASME SECCION V
 Acceptance criteria in Accordance With
OBSERVACIONES: Reparación se hará en el Taller de SARET SA
 Remark

CONCLUSIÓN **APROBADO:** **RECHAZADO:**
 Conclusion Approved Rejected
INSPECTOR DE CONTROL DE CALIDAD
 inspector or Client
 ALAJUELA, 21 DE AGOSTO DEL 2001.
 of of
 MANUEL VAQUEZ
 INSPECTOR P.N.D. NIVEL III
 NDE Inspector Level II



ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD
SARET
METALMECANICA

REPORTE DE ULTRASONIDO
ULTRASONIC EXAMINATION REPORT

PROCEDIMIENTO: UT-04-97 REVISIÓN: 1

Procedure UT-04-97
PROCEDIMIENTO:
REVISIÓN:
Revision

CLIENTE / PROYECTO: TROPIGAS
Client / Project

O.F. / GRUPO: METALMECÁNICA
Manufacturer Order / Group

EQUIPO: KRAUTKRAMER
Equipment:

UNIDAD N°:
Unit.

CANT. DE PIEZAS EXAMINADAS: 1 RECIPIENTE
Quantity of Examined Pieces

DIB.: ADJUNTO
Dwg.:

REV.:
Rev.

REF.:
Ref.:

MATERIAL: ASTM 516 Gr 70
Material

U.S. REQ.: 100 %
U.T. Required

TRATAMIENTO TÉRMICO: ANTES Before Heat Treatment DESPUÉS After H.T. SIN T.T. Without H.T.
JUNTA SOLDADA FUNDICIÓN FORJA LAMINADA LÁMINAS
Welded Joints Castings Forgings Rolled Plates

EQUIPO – Equipment

APARATO – Apparatus

KRAUTKRAMER USM-2N.° _____ USL-32N.° _____ USK-7B N.° _____ USN - 52 _____
N.° _____ N.° _____ N.° _____ N.° _____

UNIDAD DE BÚSQUEDA - Search Unit

FABRICANTE: Manufacturer	ONDAS LONGITUDINALES: Longitudinal Waves	ONDAS TRANSVERSALES: Transversal Waves	FRECUENCIA (MHz) Frequency	
KRAUTKRAMER PANAMETRICS	<input type="checkbox"/> B 2 S-N <input type="checkbox"/> MB 2 S-N <input type="checkbox"/> MB4 S-N <input type="checkbox"/> V304 <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> SEB 2HO° <input type="checkbox"/> MSEB 2 H <input type="checkbox"/> _____ <input type="checkbox"/> _____ <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> 45° WB 45 N2 <input type="checkbox"/> 60° WB 60 N2 <input type="checkbox"/> 70° WB 70 N2 <input type="checkbox"/> _____ <input type="checkbox"/> _____ <input type="checkbox"/> _____ <input type="checkbox"/> _____	2 2 4 2.25

TIPO DE CRISTAL TITANATO DE BARIO
Crystal Type Barium Titanate

ESTADO DE SUPERFICIE Surface Condition	ACOPLANTE Coupling	CALIBRACIÓN Calibration
<input checked="" type="checkbox"/> ESMERILADO Grinder <input type="checkbox"/> CEPILLADO Brushed <input type="checkbox"/> _____ <input type="checkbox"/> MAQUINADO Machined <input type="checkbox"/> ABRASIVO Sand Blasted	<input checked="" type="checkbox"/> METIL CELULOSA Cellulose Gum <input type="checkbox"/> ACEITE Oil <input type="checkbox"/> AGUA Water	<input type="checkbox"/> REFLECTOR Reflector <input type="checkbox"/> MATERIAL Sound Material <input type="checkbox"/> AGUJERO CILIND. Cylindrical Hole Ø= <input checked="" type="checkbox"/> AGUJERO CIEGO Flat Bottom Hole Ø=

ELEMENTO:	LOCALIZACIÓN-Localization				%	TIPO Type	Decisión Decision
	ORIENTACIÓN-Orientation		POSICIÓN N Position (mm)	LONGITUD Length (mm)	Prof. Depth(mm)		
	Circunferencial	Longitudinal					
Recipiente	X		A	100		FF	A
Recipiente	X		B	50		FF	A
Recipiente	X		C	25		FF	A
Recipiente	X		D	70		FF	A
Recipiente	X		E	120		FF	A

LEYENDA – Legend

F-FISURA Crack I-INCLUSION DE ESCORIA Slag Inclusion A-ACEPTABLE Acceptable
PO-POROSIDAD Porosity C-CIRCUNFERENCIAL Circunferential R-REPARAR Repair
FF-FALTA FUSIÓN Lack of Fusion L-LONGITUDINAL Longitudinal I-INTERNA Internal
FP-FALTA DE PENETRACIÓN Lack of Fusion CROQUIS ANEXADO Sketch Annexed: SI Yes NO No E-EXTERNA External

INTERNO Internal EXTERNO External
TÉCNICA DE BARRIDO- Scanning Technique
1/2 PULSO v Path 1 PULSO v Path 1 1/2 PULSO v Path

LEYENDA Legend: HAZ INCLINADO Angle Beam HAZ DIRECTO Straight Beam

CRITERIO DE ACEPTACIÓN ACORDE CON: ASME SECCION V
Acceptance criteria in Accordance With

CONCLUSIÓN Conclusion APROBADO: Approved RECHAZADO: Rejected ALAJUELA, 9 DE SETIEMBRE DEL 2001.
of of
INSPECTOR DE CONTROL DE CALIDAD MANUEL VAQUEZ
inspector or Client INSPECTOR P.N.D. NIVEL III
NDE Inspector Level II

Hojas de reporte del ensayo de líquidos penetrantes



ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD
SARET
METALMECANICA

REPORTE DE INSPECCION CON LIQUIDOS PENETRANTES

PROCEDIMIENTO:

Procedimiento. ADJUNTO
 CLIENTE / PROYECTO: TROPIGAS
 Client / Project. _____
 EQUIPO: Tintas y Líquidos Marca MAGNAFLUX.
 Equipment. _____

REVISION:

Revision
 O.F / GRUPO: Metalmecánica
 Manufacturer order / Group. _____
 Unidad N° _____
 Unit. _____
 REF.: _____
 Ref.: _____
 REV.: T.P REQ.: 100%
 Rev. _____ P.T. Required: _____

CANT. DE PIEZAS EXAMINADAS: _____ DIB.: ADJUNTO
 Quantity of examined pieces: _____ Dwg.: _____
 MATERIAL: Acero ASTM 516 Gr 70.
 Material

TRATAMIENTO TERMICO: ANTES Before Heat Treatment DESPUES After H.T. SIN T.T Without H.T.
 JUNTA SOLDADA FUNDICION FORJA LAMINADA BICELADA
 Welded Joints Castings Forgings Rolled Groove

PRODUCTOS UTILIZADOS - Utilized Products

FABRICANTE Manufacturer	<input checked="" type="checkbox"/> LAVABLE CON AGUA Water Washable	<input checked="" type="checkbox"/> SOLVENTE REMOVIBLE Solvent Removable	REF. REVELADOR: Developer Ref.
	PENETRANTE REF. Penetrant Ref.	PENETRANTE REF. Penetrant Ref.	
METAL - CHEK MAGNAFLUX GAUSTESTE MAGNATECH	<input type="checkbox"/> VP - 30 <input type="checkbox"/> SKL - WP <input type="checkbox"/> GVP - 42 <input type="checkbox"/> VA - 35 <input checked="" type="checkbox"/> SKL - SP	<input type="checkbox"/> VP - 31 <input type="checkbox"/> SKL - HF/S <input type="checkbox"/> GVP - 40 <input type="checkbox"/> VA - 32 <input checked="" type="checkbox"/> SKL - S	<input type="checkbox"/> D - 70 <input checked="" type="checkbox"/> SKD NF <input type="checkbox"/> GD 31 <input type="checkbox"/> RU - 71

CONDICIONES DE EXAMEN Testing Conditions

ESTADO E SUP. Surface Conditions	TEMPERATURA DE LA PIEZA Part Temperature	LIMPIEZA Cleaning		APLICACION DE PENETRANTE Penetrant Application
ESMERILADO <input type="checkbox"/> Grinded CEPILLADO <input checked="" type="checkbox"/> Brushed MAQUINADO <input type="checkbox"/> Machined ABRASIVO <input type="checkbox"/> Sand Blasted	<u>AMBIENTE 18° C</u>	PROD. USADO Utilized Product	SECADO Drying	ROCIADO <input checked="" type="checkbox"/> Spray BROCHA <input type="checkbox"/> Brush SUMERGIDO <input type="checkbox"/> Immersion TIEMPO DE PENET. MIN Penetration time 20 min.
REM. DE EXCESO Excess Removal	APLIC. REVELADOR Developer Application	THINNER <input type="checkbox"/> REMOVEDOR <input checked="" type="checkbox"/> Cleaner - Remover	NATURAL <input checked="" type="checkbox"/> Natural AIRE F. <input type="checkbox"/> Forced Air TIEMPO MIN. Time. 10 Min.	EVALUACION Evaluation
AGUA <input type="checkbox"/> water THINNER <input checked="" type="checkbox"/> T. DE SECADO Drying time <u>30</u> min.	ROCIADO <input checked="" type="checkbox"/> spray	NATURAL <input checked="" type="checkbox"/> Natural AIRE F. <input type="checkbox"/> Forced Air	ILUMINACION USADA Illumination Used ULTRA - V. <input type="checkbox"/> Ultra Violet ARTIFICIAL <input type="checkbox"/> Artificial NATURAL <input checked="" type="checkbox"/> Natural	TIEMPO Time <u>15 A 30</u> MIN To _____ Min

DISCONTINUIDADES - Discontinuities

N°	CABEZAL A	POS. Position	DIM. Size	DEC - Decision	N°	TIPO - Type	POS. Position	DIM. Size	DEC - Decision
1		V7	0.5 mm	R					
2		V8	0.6 mm	R					
3		V9	0.7 mm	R					
4		V6	1mm	R					

LEGEND - Legend

FL - Fisura Long. - Longitudinal Crack	SO - Sobreposición - Overlap
FT - Fisura Trans. - Transversal Crack	FF - Falta de fusion - Lack of fusion
PO - Porosidad - Porosity	A - Aceptable - Acceptable
S-Socavacion - Undercut	R - Reparar,- Repair
CROQUIS ANEXADO - Sketch Annexed <input checked="" type="checkbox"/> SI yes <input checked="" type="checkbox"/> NO No <input type="checkbox"/>	

OBSERVACIONES:

Remark

CONCLUSION: APROBADO RECHAZADO: X ALAJUELA, 4 DE SETIEMBRE DE 2001
 Conclusion Approved Rejected

RESPONSABLE
ING ROLANDO DULZAIDES

A. ESQUEMAS DE LA INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO

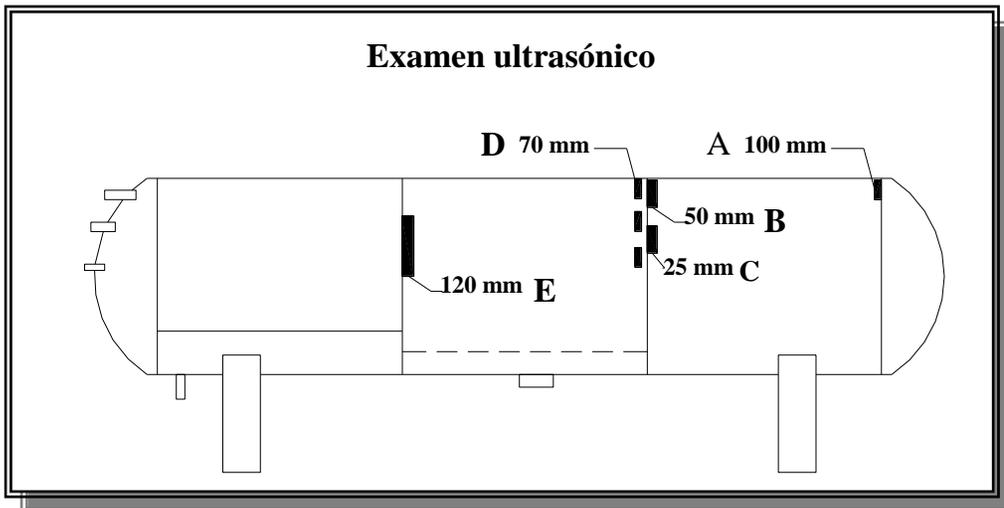


Fig. 48 Esquema de discontinuidades encontradas en el examen ultrasónico



Fig. 49 Discontinuidad C



Fig. 50 Discontinuidad B y C



Fig. 51 Discontinuidad D



Fig. 52 Discontinuidad A



Fig. 53 Tipo de remoción de pintura



Fig. 54 Tipo de marcas en las discontinuidades

B. ESQUEMA DE INSPECCION POR LÍQUIDOS PENETRANTES

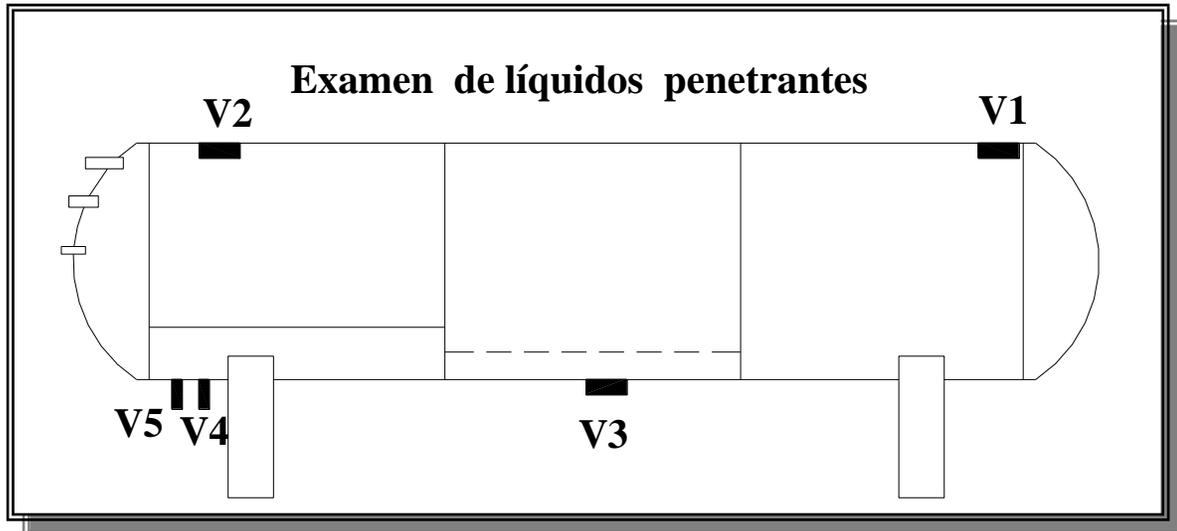


Fig. 55 Esquema del examen de líquidos penetrantes, vista frontal

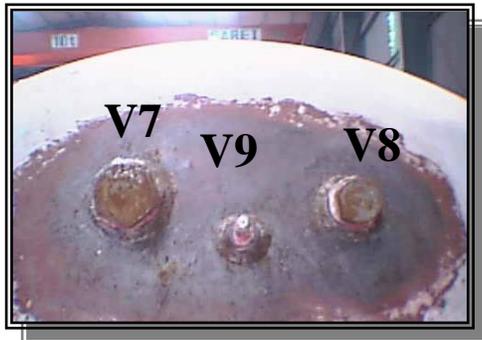


Fig. 56 Poros encontrados en V7 V8 V9



Fig. 57 Poro en V6



Fig 58 Detalle de V9



Fig. 59 Detalle de V8



Fig. 59 Detalle de V8



Fig. 61 Detalle de V1

C. REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL.

Fecha 21/ 08/ 2001 **Hora** 2:30 pm

Realizada a la empresa: TROPIGAS

DATOS DEL RECIPIENTE

Identificación 657

Dibujo Adjunto

Descripción del recipiente

Recipiente Tropigas, horizontal, montado en silletas, ubicado en la parte exterior de la planta, no tiene Manhole, para inspección interna.

Datos de Placa:

- **Recipiente** AMERICAN WELDING TANK 00,
- **Serie:** B2295
- **Largo** 7.31 m
- **Diámetro exterior** 1.52 m
- **Espesor de placa de casco** 10.51 mm
- **Espesor de cabezal** 10.46 mm
- **Presión de vapor en exceso a 37 °C** 1.48 MPa
- **Presión máxima de trabajo a 18 °C** 1.723 MPa
- **Inspector** WAC
- **Capacidad de agua** 12 .775 m³
- **Datos de funcionamiento**
- **Lugar Empresa** Nestle Heredia
- **Tipo de Cabezal** elipsoidal
- **Sustancia contenida** gas licuado de petróleo
- **Identificación:** 657

Temperatura de Trabajo, Temperatura ambiente.

Condición de Superficie

Recipiente se encuentra libre de suciedad excesiva, sin grasa, pintado homogéneamente, no presenta abolladuras ni golpes, sin embargo existe un pequeño rastro de corrosión superficial y dos rasgaduras en la parte frontal del recipiente.



Fig. 62Detalle de Rasgadura lateral

Cordones de soldadura, los cordones de soldadura se muestran sin problemas visibles, y con un espesor homogéneo de $1 \frac{1}{4}$ in, no se presenta fisuras, porosidad ni forma irregular.

Limpieza preinspección, no fue necesaria.

Técnica Utilizada inspección externa.

Tiempo de inspección 30 minutos.

NORMA APLICADA E-1003 -94



Fig. 63 Detalle de Rasgadura lateral

DATOS DE PLACA

Técnica de Carboncillo

AMERICAN WELDING TANK 00

TAMPA

STEM SERIE NO B2295

MAX ALLOW WORK PRES 250 PSI AT 650 °F

INSPECTOR WAC

BUILT 65

LENGTH 288 IN

OUT SIDE DIAMETER 60 IN

HEAD THICK .412 IN

SHELL THICK .414 IN

THIS CONTAINER SHALL NOT CONTAINER

HAVING VAPOR PRESION IN EXCES AT 215 PSI AT 100 °F

UNDERGROUND TYPE AWT – 9A

WATER CAP 3375 GAL



Fig. 64 Placa del recipiente



Fig. 65 Detalle de la técnica de carboncillo para obtener datos de placa borrosos

D. REPORTE DE MEDICIÓN DE ESPESORES.

Fecha 07/ 09/ 2001 **Hora** 8:30 am

Datos del recipiente: Identificación # 657,

Dibujo Adjunto

Descripción del recipiente.

Recipiente Tropigas, horizontal, montado en silletas, ubicado en la parte exterior de la planta, no tiene Manhole, para inspección interna.

Datos de Placa:

- **Recipiente** AMERICAN WELDING TANK 00,
- **Serie:** B2295
- **Largo** 7.31 m
- **Diámetro exterior** 1.52 m
- **Espesor de placa de casco** 10.51 mm
- **Espesor de cabezal** 10.46 mm
- **Presión de vapor en exceso a 37 °C** 1.48 MPa
- **Presión máxima de trabajo a 18 °C** 1.723 MPa
- **Inspector** WAC
- **Capacidad de agua** 12 .775 m³
- **Datos de funcionamiento**
- **Lugar Empresa** Nestle Heredia
- **Tipo de Cabezal** elipsoidal
- **Sustancia contenida** gas licuado de petróleo
- **Identificación:** 657

Temperatura de Trabajo, Temperatura ambiente.

Tiempo de inspección 3 horas

Técnica Utilizada barrido de superficies a lo largo de los cuadrantes longitudinales del recipiente y cabezales

Condición de Superficie

Recipiente se encuentra libre de suciedad excesiva, sin grasa, pintado homogéneamente excepto en las zonas de soldadura que el metal se encuentra sin pintura, no presenta abolladuras ni golpes, sin embargo existen algunas rasgaduras distribuidas en las zonas laterales del recipiente.

Cordones de soldadura los cordones de soldadura se muestran sin problemas visibles, y con un espesor homogéneo de 1 ¼ in, no se presenta fisuras, porosidad ni forma irregular.

Limpieza preinspección, se removió la pintura en los puntos donde se realizó la medición de espesores.

Observaciones: Medición de espesor constante a lo largo del tanque, se adjunta dibujo respectivo.

Prueba No Destructiva Posterior

Ultrasonido

Líquidos Penetrantes

Prueba hidrostática.

NORMA APLICADA E-114-95

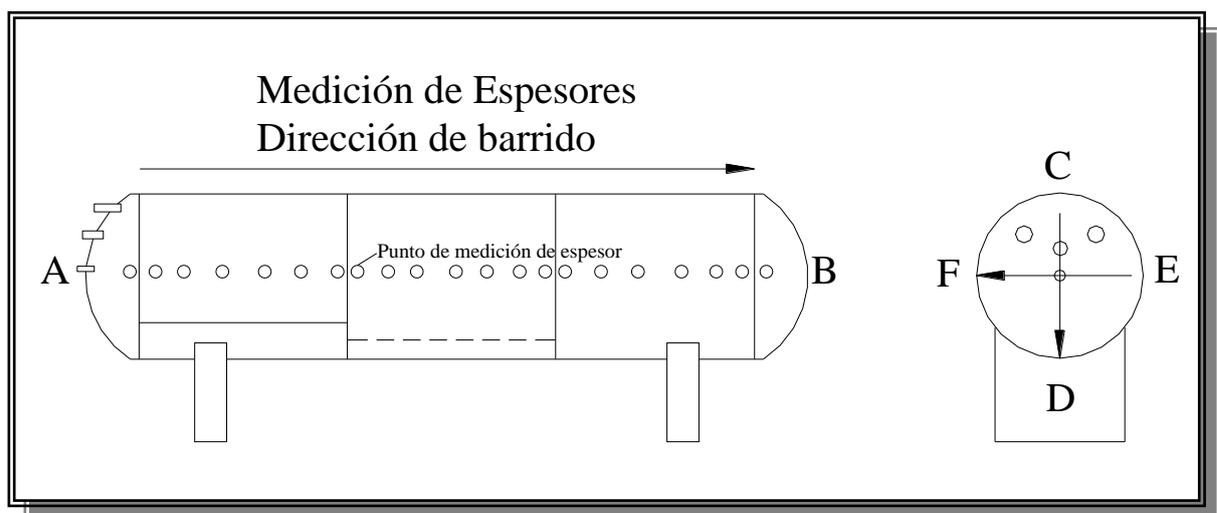


Fig. 66 Esquema de examen de medición de espesores por ultrasonido

Tabla 10, Datos del examen de medición de espesores

	A-B // E		A-B // F
LATERAL	mm	LATERAL	mm
575	14,61	571	14,50
397	10,08	405	10,29
402	10,21	403	10,24
404	10,26	402	10,21
402	10,21	409	10,39
405	10,29	398	10,11
406	10,31	411	10,44
407	10,34	407	10,34
408	10,36	409	10,39
403	10,24	409	10,39
407	10,34	410	10,41
405	10,29	407	10,34
408	10,36	410	10,41
404	10,26	409	10,39
406	10,31	406	10,31
408	10,36	408	10,36
410	10,41	405	10,29
407	10,34	408	10,36
407	10,34	565	14,35
407	10,34		0,00
565	14,35		0,00

	A-B // C		A-B // D
SUPERIOR	mm	INFERIOR	mm
591	15,01	591	15,01
398	10,11	404	10,26
399	10,13	405	10,29
398	10,11	406	10,31
398	10,11	407	10,34
398	10,11	405	10,29
399	10,13	404	10,26
398	10,11	404	10,26
395	10,03	404	10,26
393	9,98	405	10,29
398	10,11	406	10,31
404	10,26	405	10,29
405	10,29	408	10,36
406	10,31	404	10,26
405	10,29	404	10,26
406	10,31	405	10,29
407	10,34	404	10,26
405	10,29	405	10,29
402	10,21	403	10,24
398	10,11	405	10,29
394	10,01	405	10,29
400	10,16	400	10,16
405	10,29	405	10,29
403	10,24	403	10,24
404	10,26	565	14,35
403	10,24		
402	10,21		
590	14,99		

ACOPLANTE VASELINA
 HORA 9:10 AM a 4.30 PM FECHA 4 / 9 / 2001
 Operador Vernon Jiménez, NIVEL 1 ULTRASONIDO
 COLUMNA DERECHA: MEDICIÓN DEL APARATO mils
 COLUMNA IZQUIERDA: MEDICIÓN EN MILÍMETROS
 DIRECCIÓN DE BARRIDO (VER ESQUEMA)
 DETALLE; PARTE SUPERIOR CON MENOR ESPESOR
 CABEZALES PRESENTAN MAYOR ESPESOR
EVALUACIÓN APROBADA

CABEZAL A		CABEZAL A	
C - D	mm	E-F	mm
575	14,61	576	14,63
522	13,26	529	13,44
510	12,95	484	12,29
506	12,85	484	12,29
483	12,27	497	12,62
493	12,52	467	11,86
501	12,73	788	20,02
488	12,40	510	12,95
533	13,54	575	14,61

CABEZAL B		CABEZAL B	
C - D	mm	E-F	mm
565	14,35	567	14,40
534	13,56	496	12,60
483	12,27	506	12,85
494	12,55	491	12,47
491	12,47	485	12,32
482	12,24	475	12,07
512	13,00	479	12,17
521	13,23	488	12,40
573	14,55	573	14,55

Registro de medición de espesores, a recipiente TROPIGAS # 657, instalado en empresa NESTLE SA
 Lugar de prueba SARET METALMECANICA, Alajuela CR. Depto. Garantía y Calidad TEL: 443-00-01 Ext.: 312
 Prueba supervisada por: Ing. Rolando Dulzaides

E. REPORTE DE PRUEBA HIDROSTÁTICA

Fecha 19/ 09/ 2001

Hora 2:50 pm

Realizada a la empresa: TROPIGAS

DATOS DEL RECIPIENTE:

- **Datos de Placa:** La placa se encontraba muy borrosa por lo que requirió utilizar carboncillo para mejorar la visibilidad de los datos. (Adjunto carboncillo)
- **Recipiente** AMERICAN WELDING TANK 00,
- **Serie:** B2295
- **Largo** 7.31 m
- **Diámetro exterior** 1.52 m
- **Espesor de placa de casco** 10.51 mm
- **Espesor de cabezal** 10.46 mm
- **Presión de vapor en exceso a 37 °C** 1.48 MPa
- **Presión máxima de trabajo a 18 °C** 1.723 MPa
- **Inspector** WAC
- **Capacidad de agua** 12 .775 m³
- **Datos de funcionamiento**
- **Lugar Empresa** Nestle Heredia
- **Tipo de Cabezal** elipsoidal
- **Sustancia contenida** gas licuado de petróleo
- **Identificación:** 657

Condición de Superficie uniones de soldadura y puntos de medición de espesores sin pintura y cubiertos con aceite, superficie total del recipiente empolvada.

Limpieza preinspección Si X No ___ **Realizada con** Agua, detergente, trapo y cepillo.

Instrumentos utilizados

- Manómetro Marca adjunto Modelo adjunto
- Bomba de agua manual
- Manguera
- Cronómetro

Fluido utilizado agua **Aditivos** Si No

Temperatura del fluido ambiente 300 K

Temperatura del Recipiente ambiente, 300 K

Fecha de calibración del manómetro: 20 / 08 / 2001

Calibrado en Laboratorio Metrología, Gestión de la Calidad y Gestión Ambiental,
LABCAL – MACNOR, UCR

Cantidad de Manómetros utilizados 1 **localización** parte superior del recipiente

Técnica Utilizada inspección visual y caída de presión

Tiempo de Prueba total una hora y cuarenta minutos

Datos del chequeo inicial a 465 kPa de presión, durante 10 minutos

No se presentaron fugas y/o goteos, en la superficie ni en las uniones soldadas

Datos del Chequeo Durante la Prueba hidrostática durante 90 minutos.

Levantamiento de presión gradual hasta 930 kPa , la presuración se realizó lentamente, inspeccionando la superficie del casco y cabezales además de las uniones de soldadura.

Durante la prueba no se detectó fugas ni goteos en la totalidad del recipiente

Registro de presiones durante tiempo de prueba, con presión inicial de 937 kPa

Tabla 11, Tiempo y presión durante la prueba hidráulica

Tiempo minutos	Presión kPa
0	937.15
15	937.15
30	937.15
45	937.15
60	937.15
75	937.15
90	937.15

Criterio

No se detectaron fugas ni goteos durante la inspección visual, tampoco se detectó caída de presión en el recipiente, por lo tanto este recipiente queda **ACEPTADO, Y CUMPLE CON LAS CONDICIONES Y REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA TRABAJAR A UNA PRESIÓN DE 620.52 kPa.**

NORMA APLICADA E-1003 -94

IX. ANÁLISIS DE RESULTADOS

DISCUSIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS POR END

A. INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO A SOLDADURAS CIRCUNFERENCIALES Y LONGITUDINALES DEL RECIPIENTE

El examen ultrasónico, se realizó en el lugar de funcionamiento del recipiente ya que este ensayo por sus características no representa riesgo de provocar combustión o explosión al recipiente; antes de realizar el examen se vació el contenido del mismo y se le despojó de sus accesorios tales como tubos de alimentación, válvulas de alivio de presión, y su manómetro.

Una vez vacío se procedió al examen aplicándolo a la totalidad de los cordones de soldadura, con lo cual, se detectó defectos en ciertos puntos como se puede observar en el esquema del reporte, Fig. 48.

Antes de realizar el examen fue necesario remover con un cepillo eléctrico, la pintura alrededor de las juntas; las cerdas metálicas del cepillo eran de bronce para no producir chispa durante su uso, esta remoción se hizo a 10 cm de espesor a cada lado de los cordones, esto es necesario para maniobrar el transductor ultrasónico con más facilidad, además que permite observar con más detalle estas zonas. Ver Fig. 54.

Se utilizó jalea de petróleo o Vaselina como acoplante, ya que por su textura es fácilmente aplicable, además es inerte ante el metal por lo que no va a ocasionar alguna reacción química con este, esta aplicación se realizó con brocha de dos pulgadas de ancho.

Se ejecutó la prueba con transductor de haz inclinado, con ángulo de 70°, a una frecuencia de 4 MHz. Tales variables son indicadas por el tipo de discontinuidad que se espera encontrar.

Al detectar los defectos se delimitaron con un marcador permanente de color blanco, indicando el tamaño del defecto y su clasificación.

El inspector de la prueba tiene certificación de ultrasonido nivel III, por lo cual él mismo realizó la inspección, y clasificó los defectos, encontrando cinco puntos con problemas de falta de fusión, como se puede observar en el reporte de ultrasonido, dos de esos defectos están ubicados en la parte superior del recipiente, y los otros en los laterales del mismo, se marcaron con la leyenda FF, (falta de fusión), determinando que el recipiente necesitaba reparación en estos puntos.

El recipiente presenta dos tipos de soldadura a saber, longitudinal y circunferencial, encontrando los defectos en esta última, al parecer defectos en el proceso de fabricación del recipiente, específicamente al momento de realizar la soldadura por arco sumergido. Ver Fig.48, 49,50,51,52.

Para realizar la reparación, se llenó el recipiente con agua, dejando esta en reposo por 5 días, y se bajó el nivel hasta una altura interna que permitiera soldar sin tocar el agua, para evitar choque térmico que puede fragilizar la unión, primero se abrió la zona marcada con la utilización de un esmerilador, luego se procedió a soldar, el soldador es certificado para este tipo de reparación, después de la misma, se aplicó de nuevo el examen ultrasónico, dando como resultado que los cordones ya no tenían defectos.

B. MEDICION DE ESPEORES

La medición de espesores se realiza con el fin de determinar como se encuentra el espesor de un recipiente, con los resultados de la prueba podemos saber si la pared del recipiente ha sufrido alguna disminución a causa de la corrosión.

El examen de espesores se realizó al recipiente de manera distribuida, en el casco cilíndrico, y en las dos cabezas del mismo. Debido a la longitud de casco, 6.5 m, la inspección se realizó en cuatro ejes longitudinales, que vistos desde la vista lateral, son los formados por los cuatro cuadrantes del círculo, en donde a cada punto le designados una letra, “C, D, E, y F”, izquierdo, superior, inferior, y derecho, respectivamente, con una dirección de avance de la cabeza “A” hasta la cabeza “B”, como se puede ver en la figura 66, cada punto de inspección se tomó a una distancia de

separación de 15 cm, uno del otro, con esto aseguramos la uniformidad en la examinación del recipiente.

Las cabezas también fueron examinadas, realizando dos ejes principales en forma de cruz, distanciando los puntos a 15 cm de longitud, llamándolas como “A” y “B”, para diferenciarlas, como se puede apreciar en la figura 66.

El procedimiento de aplicación de la técnica fue relativamente sencillo, aunque demoró varias horas para lograr el barrido total del recipiente, ya que la superficie presentaba varias capas de pintura, por lo que se procedió a removerla, creando puntos distanciados a 15 cm, como ya se mencionó, y con un diámetro aproximado de 5 a 7 cm, que permite un manejo del transductor cómodo.

Una vez que se tenían todos los puntos a inspeccionar libres de pintura, se procedió a cubrir el metal desnudo con jalea de petróleo o Vaselina, como medio acoplante.

Luego se inicio la medición de todos los puntos, con el equipo manual de ultrasonido, el cual fue calibrado con la placa de gradas a 15.87 cm, (5/8 in), tomando las mediciones en todos los puntos del casco y las cabezas, con un total de 135 mediciones, las cuales se corroboraron dos veces cada una para mayor seguridad.

Las mediciones tomadas están en milésimas de pulgada, como se ve en la tabla 10, y a la par se encuentran los correspondientes valores en milímetros, esta tabla muestra en sus columnas superiores las mediciones realizadas a cada cuadrante, y en las columnas inferiores las hechas a las dos cabezas en los dos ejes perpendiculares.

Entre los datos obtenidos del ensayo se puede destacar que se presenta uniformidad en el espesor de pared del recipiente, teniendo un valor máximo de pared de casco de 10.44 mm, en el eje “F”, y un valor mínimo de 9.98 mm, localizado en el eje “C”, los demás valores se mantienen en un rango entre 10.08 a 10.34 mm, de espesor, lo que nos dice que la pared del recipiente tiene un espesor relativamente constante.

Este examen y los demás ensayos tienen el objetivo de determinar si el recipiente puede trabajar a una presión de trabajo de 620 kPa, ósea, saber si este puede trabajar a una presión menor que a la realmente fue diseñado, (1.72368 MPa), por lo que se necesita realizar el cálculo de espesor a partir de las medidas externas para el material A-36, con esfuerzo permitido de 115.2 MPa, 0.76m de radio externo, 0.620 MPa, y un factor de eficiencia de 0.65, $E= 0.65$, se escoge este valor por ser la condición más crítica, ósea sin examen radiográfico.

Aplicando la fórmula de espesor a partir de las medidas externas, tenemos que para estas condiciones se necesita un espesor requerido de 6.27 mm, aplicando el margen de corrosión para 20 años de servicio, el nuevo espesor de diseño será de 9.27 mm, como vemos éste espesor es inferior al menor valor encontrado por la inspección de espesores, por lo que el recipiente puede trabajar a la presión de 620 kPa, sin ningún problema.

En las cabezas del recipiente se obtuvo un valor de espesor de pared mínimo de 12.07 mm, se esperaba fuera menor que el espesor del casco, por lo que se tiene que estas también cumplen para trabajar a 620 kPa. Ver Fig. 53

C. ENSAYO DE LÍQUIDOS PENETRANTES

Este se realizó a las conexiones de la tubería y de accesorios del recipiente, ya que estas partes no se inspeccionaron por los métodos anteriores. En total se tienen nueve conexiones, cuatro en la cabeza “A”, dos en la parte superior, y tres en la inferior.

Se trabajó con productos en spray de marca Magnatech, utilizando tinte penetrante de color rojo no fluorescente, revelador color blanco y el removedor, todos ellos en fecha anteriores a su vencimiento.

Se inspeccionó el 100 % de los cordones de las conexiones y se realizó el ensayo en tres ocasiones para tener más seguridad en los datos obtenidos. Donde primero se quitó toda la pintura que rodeaba a las conexiones con un cepillo eléctrico, de cerdas de bronce, una vez limpio se aplicó removedor para eliminar rastros de polvos y otros

agentes que pudieran interferir durante la prueba, se debe señalar que la preparación de la superficie y la limpieza del exceso de penetrante fueron las partes más laboriosas de la prueba, ya que el relieve del cordón en las distintas conexiones se prestaba para no dejar salir pequeños puntos de pintura, que fueron difíciles de eliminar.

Inmediatamente después que se terminó de limpiar y secar las soldaduras, se aplicó uniformemente el tinte penetrante, dejando que actuara durante 20 minutos, y se procedió a la remoción del tinte en exceso, esta parte como ya dijimos fue bastante laboriosa, pues aunque se aplicó el removedor con un papel húmedo fue muy difícil la extracción del tinte de la superficie de la soldadura. Una vez que el exceso se eliminó y no se tenía rastros de este, se aplicó el revelador rociando una capa uniforme y delgada, la cual se dejó secando al ambiente durante 30 minutos haciendo chequeos periódicos, y así sucesivamente se aplicó el método a las diferentes conexiones del recipiente.

Durante 30 minutos se evaluaron las discontinuidades que en las tres ocasiones fueron las mismas, con iluminación natural, obteniendo poros en las soldaduras marcadas como V6, V7, V8, y V9, correspondiendo todas ellas a la cabeza del recipiente. Ver Fig. 55, 56, 57, 58, 59, 60, y 61.

Estos poros se mandaron a reparar, para esto se utilizó un esmerilador, para rebajar la zona donde se encontraba los poros y se volvió a aplicar la técnica por aquello de encontrar discontinuidades internas, pero éstas no se hallaron, luego se rellenó esta zona con soldadura, y se aplicó nuevamente el examen de líquidos penetrantes, esta vez, se aplicó dos veces y no se encontraron poros ni otras discontinuidades.

Antes de realizar las reparaciones fue necesario llenar el recipiente con agua hasta un nivel que permitiera realizar las reparaciones pertinentes sin que el agua tocara las zonas donde se estaba soldando.

Con esto finaliza este ensayo, aprobando todas las soldaduras de las conexiones como óptimas para servicio, y dejando ver la importancia que tiene la limpieza de la superficie antes de aplicar la técnica, y al remover el exceso de penetrante, ya que el cuidado al realizar la práctica va ser proporcional con los buenos resultados obtenidos.

D. PRUEBA HIDROSTÁTICA

Una vez reparado el recipiente y verificado por ultrasonido y líquidos penetrantes que los defectos anteriores y otros posibles ya no estaban en los cordones de soldadura se inicio con la prueba hidrostática.

Para efectuar esta prueba primero se comprobó el estado de la superficie del recipiente, teniendo que estaba llena de polvo, y acoplante utilizado en ultrasonido y en la medición de espesores, por lo que se lavó el recipiente en la totalidad de la superficie exterior, con detergente, agua, trapo y cepillo.

El recipiente desde antes estaba lleno de agua, una vez que se tenia la superficie limpia y seca se realizó un chequeo inicial, estando todo normal, se conectó al recipiente la bomba manual, la manguera de llenado, y el manómetro.

Desde antes de iniciar todas las pruebas se despojó al recipiente de sus válvulas y demás accesorios colocando en su lugar tapones roscados. Cuando el recipiente se encontraba lleno de agua se colocó el manómetro en la parte superior del recipiente, dicho instrumento se encontraba en perfecto estado y con su hoja de calibración al día, como se puede ver en los anexos, tenia una escala de (0 a 1.37MPa), lo cual permitía realizar la prueba con la seguridad que las presiones de prueba se encontraran dentro de ese rango.

Se conectó la bomba manual al recipiente, por medio de una válvula de paso, localizada en la parte inferior, y a este la manguera de llenado, se adicionó con la bomba una cierta cantidad de agua para verificar que no había aire atrapado internamente, por medio de la salida de agua por otra válvula localizada en la parte superior.

Se cerró la válvula y se inicio con la presurización del sistema, lentamente hasta la mitad de la presión de prueba, 465 kPa, una vez que se llegó a este valor se realizó un chequeo inicial por fugas durante 10 minutos, donde no se presentaron fugas, goteos o zonas húmedas en la superficie del recipiente.

Luego con mucha cautela y paciencia se levantó la presión hasta, 930 kPa correspondiente a la presión de prueba, manteniéndola por 90 minutos, según lo estipulado por la norma ASTM 1003, donde dice que dicha prueba no debe exceder de 2 horas de tiempo, y realizando inspecciones por fugas, goteos o zonas húmedas cada 15 minutos, donde durante todo ese período no se detectó nada que pareciera una fuga, o goteo. Además esto se confirma con el hecho de que la presión se mantuvo constante durante el tiempo de prueba.

Se debe aclarar que la prueba se realizó a 930 kPa, ósea que la presión nueva de trabajo será de 620 kPa, y esta es menor a la presión de máxima de trabajo permitida, de 1.48 kPa, estampada en la placa de datos del recipiente, ya que se trata de una reevaluación del recipiente y se pondrá en funcionamiento a una presión menor a la dispuesta cuando se fabricó.

Con estos resultados se tiene que el recipiente ya se puede poner en funcionamiento nuevamente, asegurando que cumple con los requisitos para que este siga en funcionamiento, con una presión máxima de trabajo de 620 kPa, a una temperatura de 21 °C, (temperatura ambiente).

E. INSPECCIÓN VISUAL

La inspección visual se realiza en cada uno de los ensayos anteriores para la comprobación de la superficie y condiciones para ejecutar las pruebas.

Durante la inspección visual, se tienen detalles de superficie que no están de más en nombrar, como la presencia de dos rasgaduras en los laterales del casco, que desde un inicio, antes de iniciar cualquier inspección fueron detectadas, como se muestran en las figuras, 62 y 63.

Entre otra cosas, durante la inspección preliminar se tomaron los datos de la placa del recipiente, dicha placa se encontraba muy borrosa, y se tuvo que aplicar la técnica de recalcado con papel y carboncillo para poder extraer los datos de placa, como se muestra en las figuras 64 y 65 respectivamente.

Se tomaron las medidas del recipiente y de ancho de soldadura, con lo cual se tiene un largo de extremo a extremo de 7.31 m, un diámetro externo de 1.52 m, y un ancho de soldadura de 3.1 cm.

El recipiente se encontraba trabajando sobre bases de cemento y con placas de sujeción que permiten el movimiento longitudinal para la expansión y contracción térmicas, estaba perfectamente pintado y señalado con los rótulos pertinentes.

Al finalizar las pruebas y reparaciones nos damos cuenta de la importancia que estas tienen para la seguridad de los individuos que laboran cerca de estos recipientes, y la responsabilidad que éste trabajo requiere, por lo cual todo el tiempo que se dedicó cuidando detalles de importancia se recompensa, con la confianza de que el recipiente fue correctamente inspeccionado.

X. CONCLUSIONES

- A. El estudio de los procedimientos antes de realizar cada prueba es absolutamente necesario para obtener resultados confiables.
- B. El ensayo de ultrasonido puede sustituir al ensayo radiográfico, para la inspección de las soldaduras de recipientes, siempre y cuando este no permita el acceso al interior del mismo.
- C. El porcentaje de inspección radiográfica que se realiza a un recipiente a presión la determina el factor de eficiencia y el tipo de junta utilizado.
- D. En la inspección de recipientes a presión los diferentes ensayos son complementos de los otros y no sustitutos.
- E. La medición de espesores, se puede utilizar para saber a que presión de trabajo el recipiente puede funcionar, aplicando la fórmula respectiva.
- F. Para lograr resultados veraces en la prueba de líquidos penetrantes, la total remoción del penetrante en exceso es inevitable.
- G. La inspección visual es útil para verificar características dimensionales, y de superficie en los recipientes a presión.
- H. La prueba hidrostática debe de realizarse al estar seguro que el recipiente ha pasado las otras pruebas no destructivas.

XI. RECOMENDACIONES

- A. Al aplicar cualquier inspección a un recipiente que contiene LPG se recomienda que este haya dejado de prestar servicio una semana antes de la inspección y que sea lavado internamente si esto es posible.

- B. Antes de realizar las inspecciones a un recipiente se recomienda realizar un estudio previo de las características de construcción del mismo así como de las condiciones de funcionamiento.

- C. Se recomienda eliminar rastros de pintura al realizar inspección por ultrasonido y medición de espesores.

- D. La interpretación de los resultados de las inspecciones es recomendable que las realice personal calificado para las mismas.

- E. En la aplicación de la inspección de líquidos penetrantes se recomienda dedicar el tiempo suficiente a la preparación de la superficie, y a la remoción de tinte penetrante en exceso.

- F. Durante la prueba hidrostática se recomienda realizar la presuración lentamente y realizar mediciones de presión en pequeños intervalos de tiempo.

- G. Es recomendable que se verifiquen las características de diseño y construcción de los recipientes durante la inspección visual.

- H. Se recomienda que para los trabajos de reparación de soldaduras en recipientes a presión el soldador sea calificado y que se le realicen pruebas radiográficas, visuales y mecánicas antes de realizar la reparación.

xii. TERCERA PARTE
FICHA TÉCNICA PARA RECIPIENTES NUEVOS

Según el Reglamento para el Diseño, Construcción y Operación de Plantas de Almacenamiento y Envasado para LPG firmado por, el presidente de la República Miguel Ángel Rodríguez y sus ministros del Ambiente y Energía y de Salud, publicado el 18 de mayo del 2000 en el periódico oficial La Gaceta, (N° 95 Alcance N° 32), en la sección 10 “**Recipientes de almacenamiento**” dice textualmente: (inciso 10.3.1, 10.3.2, y 10.3.3)

“10.3.1 Se debe realizar una descripción de los recipientes de almacenamiento y sus accesorios, así como características de los instrumentos de control. Indicar características generales de accesorios , conexiones mangueras, tuberías y válvulas.

Debe incluir copia del certificado de fabricación de recipientes, autorización de uso y de funcionamiento, certificación de prueba de hermeticidad y calca de la placa de certificación.

A. Ficha técnica o certificado de Fabricación Debe incluir como mínimo:

Presión y temperatura de Diseño

Presión y temperatura de trabajo

Indicar presión de prueba Hidráulica

Material de fabricación

Espesores de diseño.

Tolerancias de corrosión

Norma y edición bajo la cual se diseñó

Año de fabricación

Volumen

Peso del recipiente

Radiografiado

Tratamiento térmico si lo hubo

Número y reglaje (presión de ajuste) de válvulas de alivio.

Dimensiones

Bocas de conexión y accesorios

Datos del fabricante ”

REGLAMENTO 28622 MINAE

Como se puede ver la ficha técnica es un conjunto de datos de diseño complementado por inspecciones periódicas por ensayos no destructivos, por lo que se puede decir que es una mezcla de los capítulos anteriores, diseño e inspección, y busca el establecer las pautas de control en un recipiente a presión durante su vida útil.

Para la elaboración de la ficha se tomarán los datos del diseño del recipiente, por lo que cada recipiente tendrá una ficha con sus respectivos datos. La puesta en marcha de la ficha técnica se hará por los ensayos vistos en el segundo capítulo.

Esta ficha técnica tendrá una renovación periódica, para cumplir con las inspecciones estipuladas en el Reglamento del MINAE, capítulo 10, sección 10.14, “**Daños e inspecciones en los recipientes**”, (incisos 10.14.1, 10.14.2, 10.14.3, 10.14.4, y 10.14.5), se establece que:

- En caso de que el recipiente en su instalación sufra un daño que afecte su integridad física se deberán realizar los ensayos correspondientes para comprobar la integridad del mismo.
- El equipo utilizado debe estar certificado y en buenas condiciones, si requiere calibración esta debe estar al día.
- El personal que realice los ensayos debe estar acreditado según la norma nacional vigente.
- Los recipientes para almacenaje deben ser sometidos a medición de espesores en el cuerpo y cabezas, esta prueba debe realizarse bianualmente.
- Se debe realizar una prueba hidrostática, máximo cada seis años.
- Todo recipiente que su espesor remanente, no cumpla con el espesor mínimo al de la presión de diseño de la placa deben ser sacados de servicio, (en nuestro caso espesor remanente se refiere al espesor requerido).

Lo anterior debe acatarse si se trata de un recipiente nuevo o un recipiente al cual se le deben investigar los datos de su ficha técnica.

Como la ficha técnica son datos se establece la siguiente tabla:

Tabla 12, Ficha técnica de recipientes

FICHA TÉCNICA DE RECIPIENTES FABRICADOS EN SARET METALMECANICA	
Fabricante	SARET METALMECANICA
Dirección y teléfono	Alajuela, Costa Rica, Tel.: 443-0001
Fecha de última revisión	9 –11-2001
Presión de diseño	2.4 MPa
Presión de trabajo	2.04 MPa
Presión de prueba hidráulica	3.6 MPa
Presión de la válvulas de alivio	2.4 MPa
Material de fabricación	ASTM 515 Gr 70
Espesor requerido casco	17.8 mm
Espesor requerido cabeza	14.9 mm
Tolerancia de corrosión	3 mm
Norma de diseño, año de edición	ASME VIII división 1 año 1992
Año de fabricación	2001
Volumen interno	12. 777 m ³
Peso del recipiente vacío	6 354 Kg.
Radiografiado	Por zonas
Factor de eficiencia de junta	E = 0.85 casco, E = 1 cabeza
Tratamiento térmico	-----
Longitud total del recipiente	7.5 m
Longitud del casco del recipiente	6.73 m
Diámetro externo	1.54 m
Área superficial	378 m ²
Número de identificación	# 0001
Número de bocas de conexión	6
Accesorios	Manómetro, válvula de alivio
Accesorios	Dos válvulas de paso

XIII. BIBLIOGRAFÍA

- A. Megyesy, E.F. “Manual de Recipientes a Presión”. Editorial LIMUSA, SA. México (1980)

- B. Reglamento 28622, MINAE, “reglamento para diseño, construcción y operación de plantas de almacenamiento y envasado para LPG” Editorial Alcance N° 32 a La Gaceta N° 95 , , Costa Rica. (18-5-2000)

- C. Laroche, J.P. “ Procesos de soldadura” folleto de clase, ITCR, (1999)

- D. John E. Neely. “ Metalurgia y Materiales Industriales” Editorial LIMUSA, , México, Edición 2000

- E. SUR, de Costa Rica. “Manual de Pinturas” (2001)

- F. Shigley JE, Mitchell, L.D. “Diseño en Ingeniería Mecánica”. Cuarta edición . Editorial Mc Graw Hill.de México. (1985)

- G. Timoshenko, E.”Mecánica de Materiales” International Thomson Editores, SA de CV. (1998)

- H. Regional NTD Project RLA/08/005 “Curso de ultrasonido nivel II”. Sociedad Canadiense de Ensayos no Destructivos, (1975)

- I. National Fire Protection Association. “Código Del Gas LP , NFPA 58” Edición 1998

- J. Código ASME, Sección VIII, “Boiler & Pressure Vessel Code. Sección VIII-1992”

- K. Annual Book of ASTM Standards,, Volumen 01.04

- L. Metals Handbook, Vol XI,

APENDICE A

TAMAÑO OPTIMO DEL RECIPIENTE

TAMAÑO OPTIMO DEL RECIPIENTE*

Para construir un recipiente de cierta capacidad con el mínimo de material, debe determinarse la relación correcta de la longitud al diámetro.

La relación óptima de la longitud al diámetro puede hallarse mediante el procedimiento siguiente: (La presión se considera limitada a 1000 lb/pulg² y se suponen cabezas elipsoidales)

$$F = \frac{P}{CSE}, \text{ en donde}$$

P	= Presión de diseño, lb/pulg ²
C	= Margen por corrosión, pulg
S	= Valor de esfuerzo del material, lb/pulg ²
E	= Eficiencia de la junta

Entrar a la gráfica de la página opuesta, a la izquierda con la capacidad deseada del recipiente. Recorrer horizontalmente hasta la línea que representa el valor de F . A partir de la intersección, avanzar verticalmente y lea el valor de D .

$$\text{Longitud del recipiente} = \frac{4V}{\pi D^2}, \text{ en donde } V = \text{Volumen del recipiente, pies}^3$$

$$D = \text{Diám. interior del recipiente, pies}$$

EJEMPLO

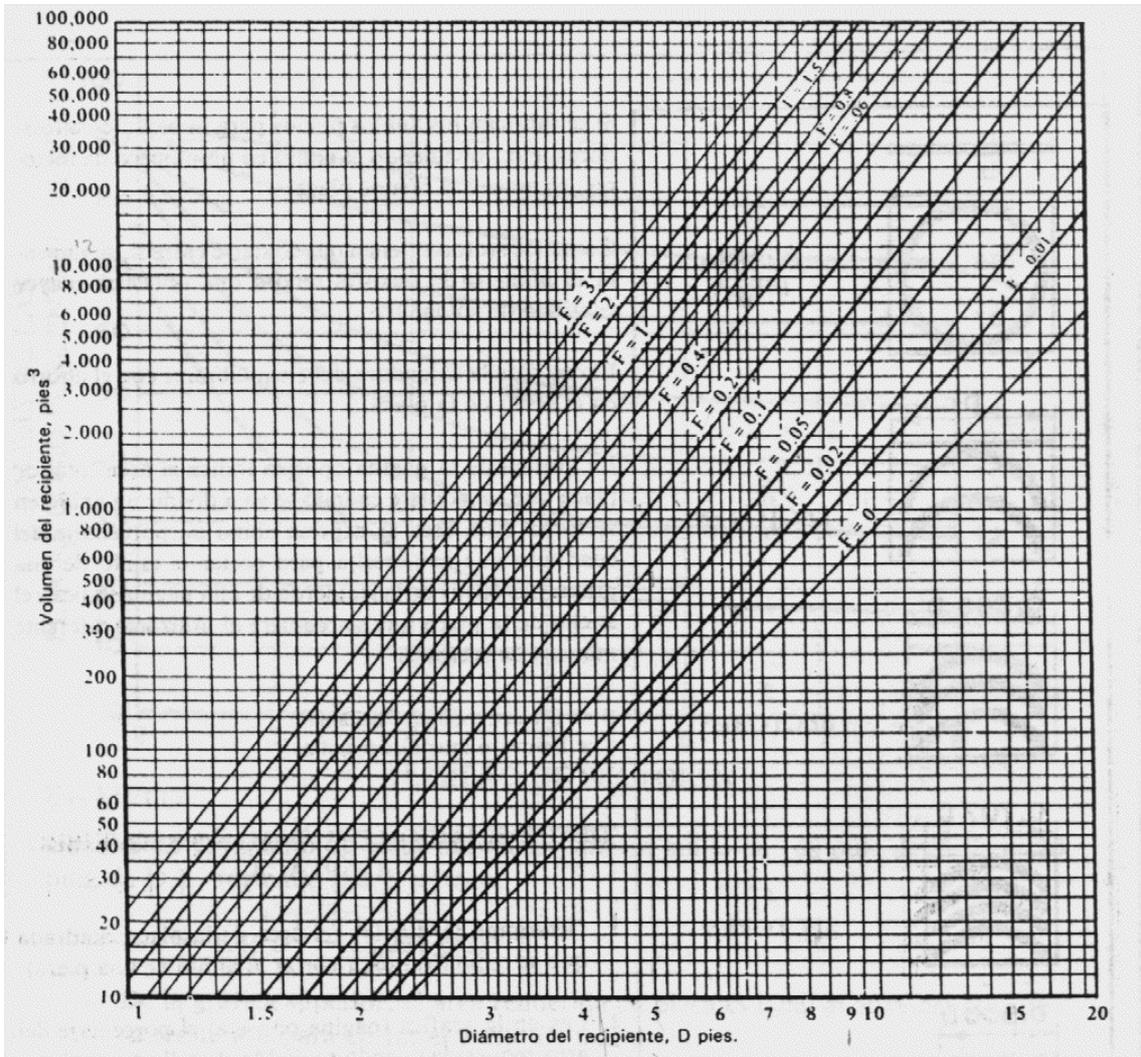
Datos de diseño:

$P = 100 \text{ lb/pulg}^2$, $V = 1000 \text{ pies}^3$, $S = 16\,000 \text{ lb/pulg}^2$, $E = 0.80$, $C = 0.0625 \text{ pulg}$
Hallar el diámetro y la longitud óptimos.

$$F = \frac{100}{0.0625 \times 16\,000 \times 0.8} = 0.125 \text{ pulg}^{-1}$$

De la gráfica, $D = 5.6 \text{ pies}$, es decir, 5 pies 6 pulgadas. *1, 6-7 m*

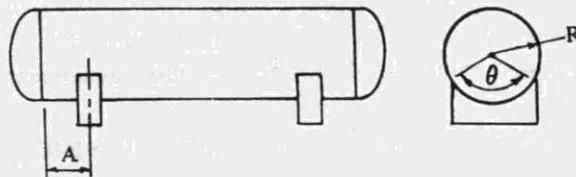
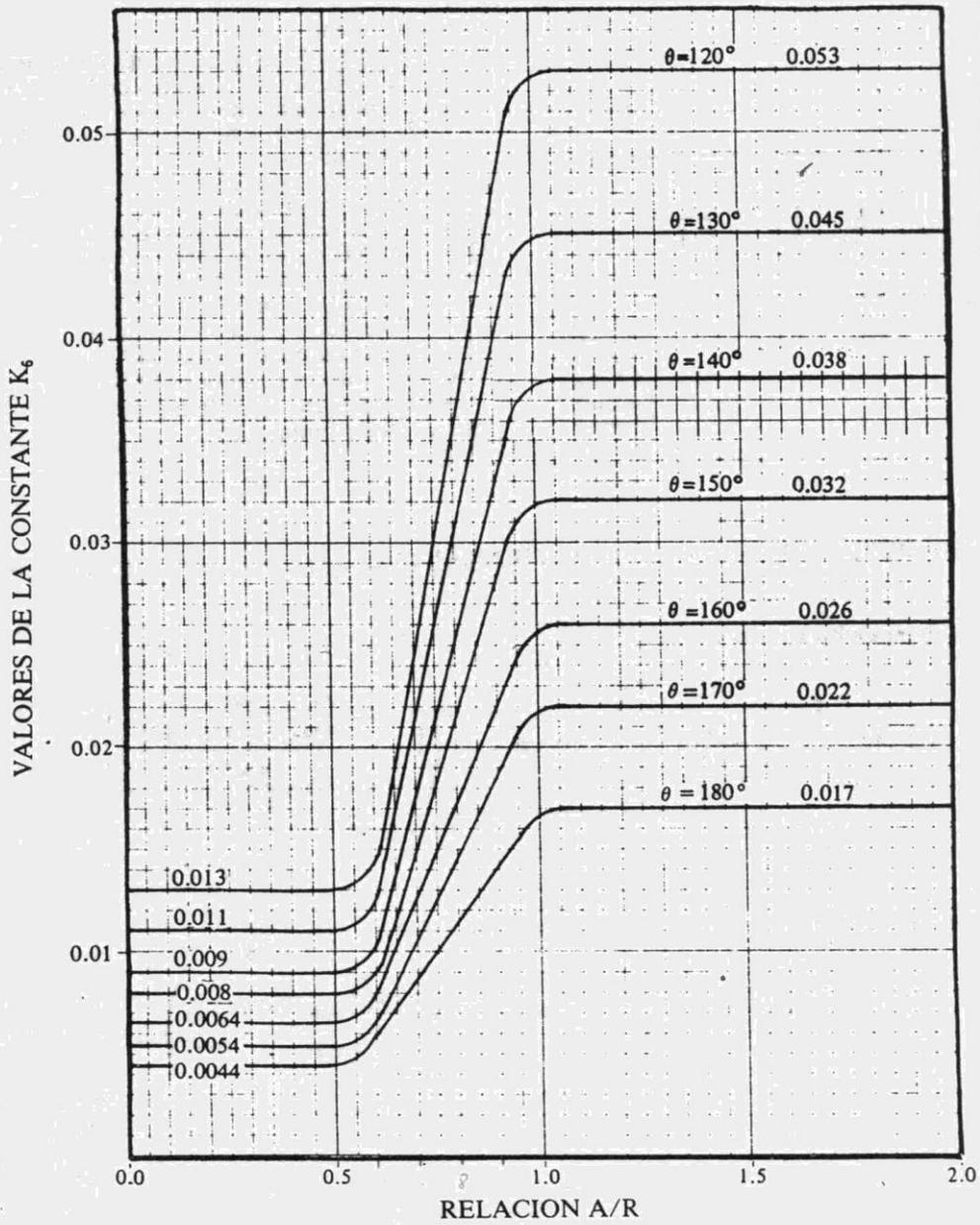
$$\text{Longitud} = \frac{4 \times 1\,000}{3.14 \times 5.6^2} = 42.1, \text{ es decir, } 42 \text{ pies } 1 \text{ pulg.}$$
12 m



GRAFICA PARA DETERMINAR EL TAMAÑO OPTIMO DEL RECIPIENTE

APÉNDICE B
VALORES DE LA CONSTANTE K

**ESFUERZOS EN GRANDES RECIPIENTES HORIZONTALES SOPORTADOS POR DOS SILLETAS.
VALORES DE LA CONSTANTE K_6**



ESFUERZOS EN RECIPIENTES HORIZONTALES APOYADOS EN DOS SILLETAS

VALORES DE LA CONSTANTE K
(Para valores intermedios es necesario interpolar)

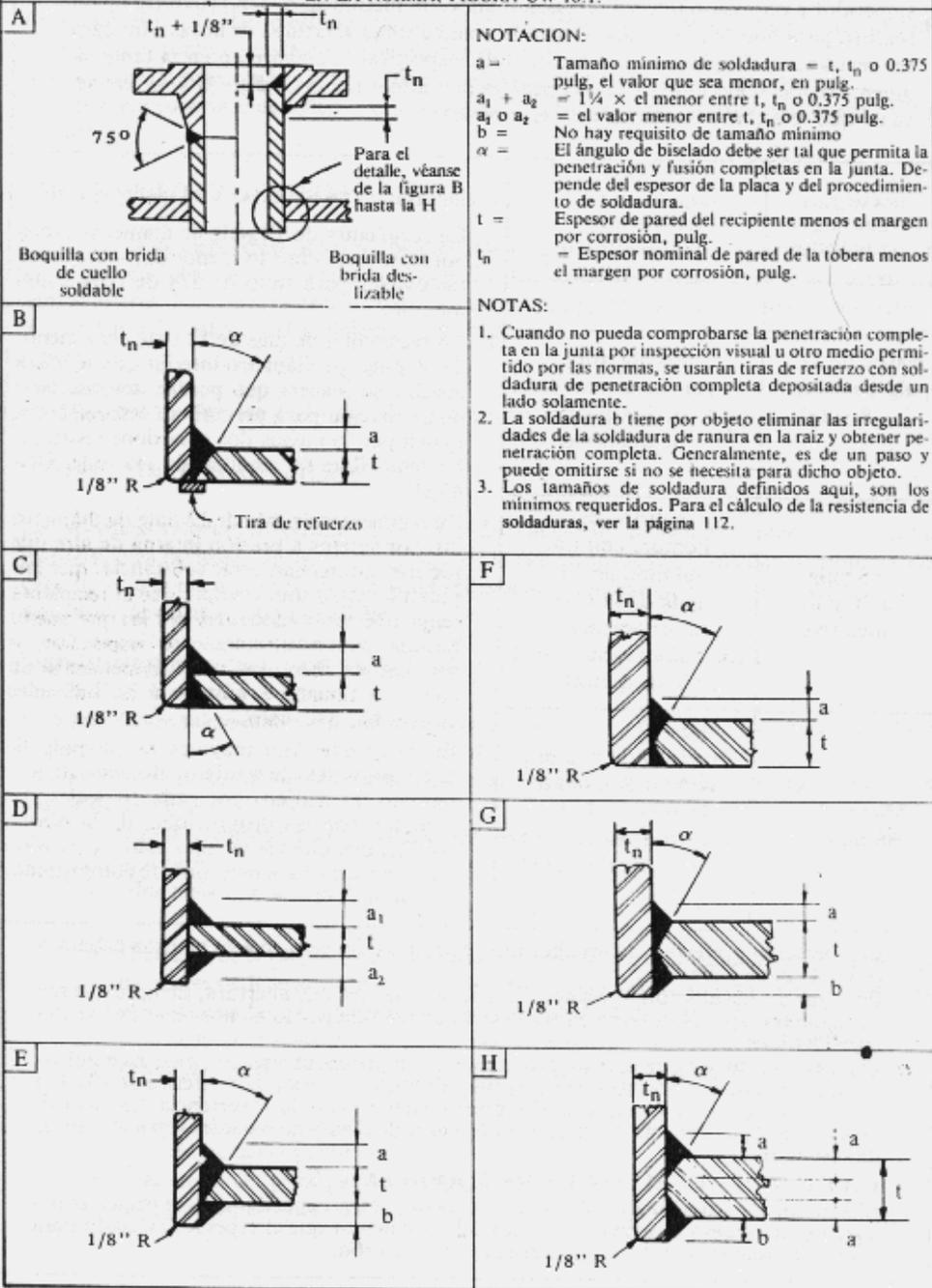
*K₁ = 3.14 si el casco está atiesado por a rillo o cabecera (A < R/2)

ANGULO DE CONTACTO θ	K ₁ *	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈
120	0.335	1.171		0.880	0.401		0.760	0.603
122	0.345	1.139		0.846	0.393		0.753	0.618
124	0.355	1.108		0.813	0.385		0.746	0.634
126	0.366	1.078		0.781	0.377		0.739	0.651
128	0.376	1.050		0.751	0.369		0.732	0.669
130	0.387	1.022		0.722	0.362		0.726	0.689
132	0.398	0.996		0.694	0.355		0.720	0.705
134	0.409	0.971		0.667	0.347		0.714	0.722
136	0.420	0.946		0.641	0.340		0.708	0.740
138	0.432	0.923		0.616	0.334		0.702	0.759
140	0.443	0.900	0.319	0.592	0.327		0.697	0.780
142	0.455	0.879	Para	0.569	0.320	Ver la	0.692	0.796
144	0.467	0.858	cual-	0.547	0.314	gráfica	0.687	0.813
146	0.480	0.837	quier	0.526	0.308	de la	0.682	0.831
148	0.492	0.818	ángulo	0.505	0.301	página	0.678	0.853
150	0.505	0.799	de con-	0.485	0.295	89	0.673	0.876
152	0.518	0.781	tacto	0.466	0.289		0.669	0.894
154	0.531	0.763	θ	0.448	0.283		0.665	0.913
156	0.544	0.746		0.430	0.278		0.661	0.933
158	0.557	0.729		0.413	0.272		0.657	0.954
160	0.571	0.713		0.396	0.266		0.654	0.976
162	0.585	0.698		0.380	0.261		0.650	0.994
164	0.599	0.683		0.365	0.256		0.647	1.013
166	0.613	0.668		0.350	0.250		0.643	1.033
168	0.627	0.654		0.336	0.245		0.640	1.054
170	0.642	0.640		0.322	0.240		0.637	1.079
172	0.657	0.627		0.309	0.235		0.635	1.097
174	0.672	0.614		0.296	0.230		0.632	1.116
176	0.687	0.601		0.283	0.225		0.629	1.137
178	0.702	0.589		0.271	0.220		0.627	1.158
180	0.718	0.577		0.260	0.216		0.624	1.183

APENDICE C
DISEÑO DE REGISTROS

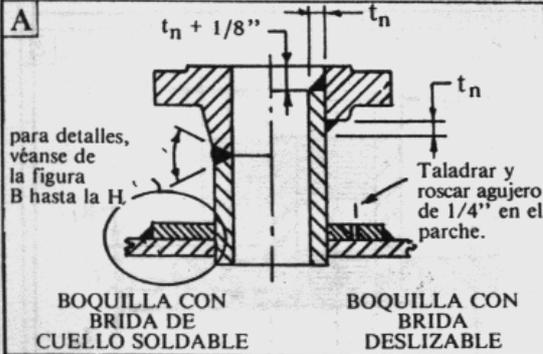
REGISTROS SIN PARCHES DE REFUERZO

LAS FIGURAS QUE SIGUEN ILUSTRAN LOS TIPOS DE ACCESORIOS SOLDADOS DE
USO MAS COMUN. OTROS TIPOS DE CONEXIONES PUEDEN VERSE
EN LA NORMA, FIGURA UW-16.1.



REGISTROS CON PARCHES DE REFUERZO

LAS FIGURAS QUE SIGUEN ILÚSTRAN LOS TIPOS DE AÑADIDOS PARA SOLDAR DE USO MAS COMUN. PUEDEN VERSE OTROS TIPOS DE UNIONES EN LAS NORMAS, FIGURA UW-16.1.

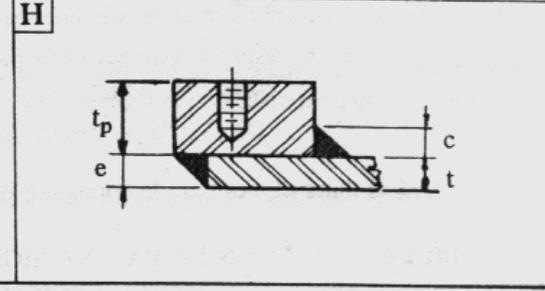
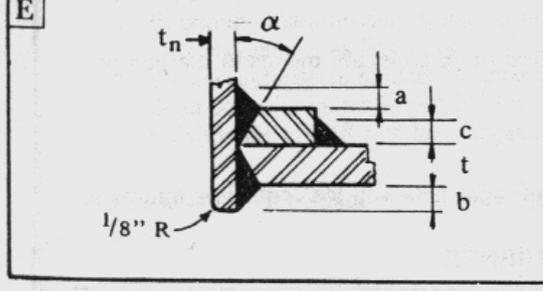
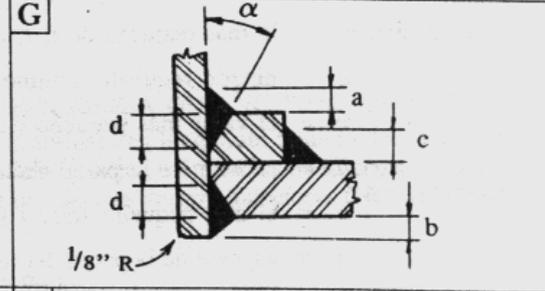
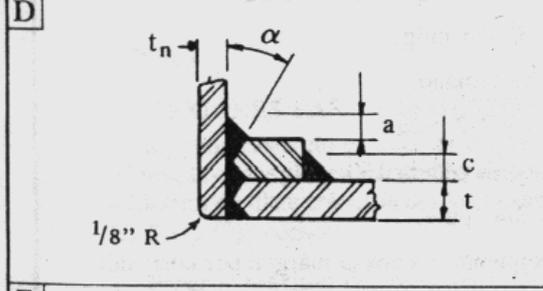
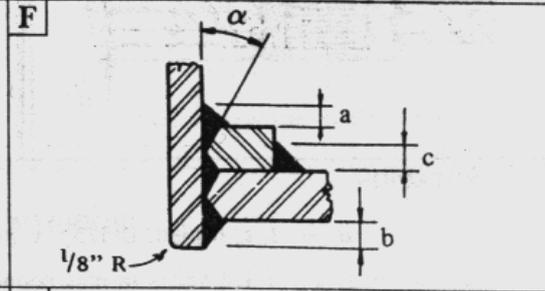
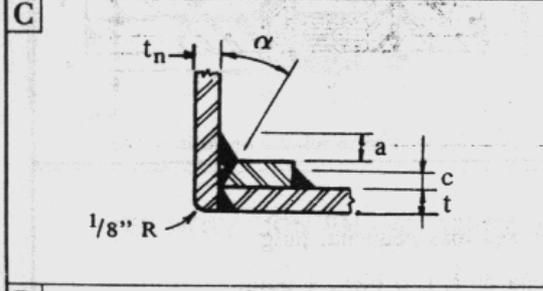
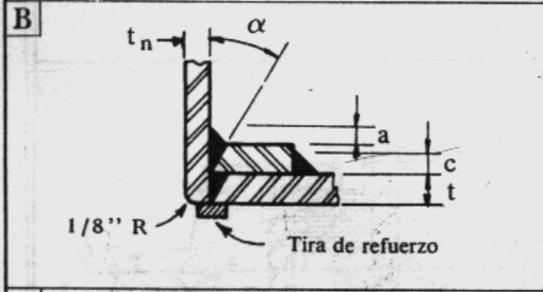


NOTACION:

Tamaños mínimos de soldadura, en pulgadas. Usar los valores más pequeños.

- a = t_n, t_e o 0.375 pulg.
- b = No hay requisito de tamaño mínimo.
- c = 0.7t, 0.7 t_e o 0.5 pulg.
- d = 0.7t, 0.7 t_n , 0.7 t_e o 0.75 pulg.
- e = t, t_p o 1 pulg.
- α = El ángulo del biselado debe ser tal que permita la penetración y fusión completas en la junta. Depende del espesor de placa y de las técnicas de soldadura.
- t = Espesor de pared del recipiente menos el margen por corrosión, pulg.
- t_e = Espesor del parche de refuerzo menos el margen por corrosión, pulg.
- t_n = Espesor nominal de pared de la tobera menos el margen por corrosión, pulg.
- t_p = Espesor del parche tipo brida, pulg.

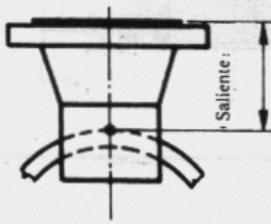
VER NOTAS EN LA PAGINA ANTERIOR



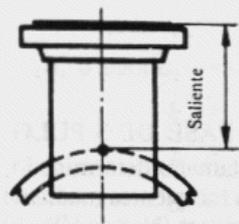
MINIMA EXTENSION SUGERIDA PARA LOS REGISTROS

Las tablas dan el saliente mínimo aproximado de los registros. Cuando se use aislante o parche de refuerzo grueso puede ser necesario aumentar estas dimensiones.

PARTE SALIENTE USANDO BRIDA DE CUELLO SOLDABLE

	DIAM. NOMI. DEL TUBO	PRESION NOMINAL DE LA BRIDA, lb					
		150	300	600	900	1500	2500
		2	6	6	6	8	8
3	6	6	8	8	8	10	
4	6	8	8	8	8	12	
6	8	8	8	10	10	14	
8	8	8	10	10	12	16	
10	8	8	10	12	14	20	
12	8	8	10	12	16	22	
14	8	10	10	14	16		
16	8	10	10	14	16		
18	10	10	12	14	18		
20	10	10	12	14	18		
24	10	10	12	14	20		

SALIENTE USANDO BRIDA DESLIZABLE, EN PULGADAS

	DIAM. NOMI. DEL TUBO	PRESION NOMINAL DE LA BRIDA, lb					
		150	300	600	900	1500	2500
		2	6	6	6	8	8
3	6	6	8	8	8	10	
4	6	8	8	8	10	10	
6	8	8	8	10	12	12	
8	8	8	10	10	12	12	
10	8	8	10	12	12	14	
12	8	10	10	12	12	16	
14	10	10	10	12			
16	10	10	12	12			
18	10	10	12	12			
20	10	10	12	12			
24	10	12	12	12			

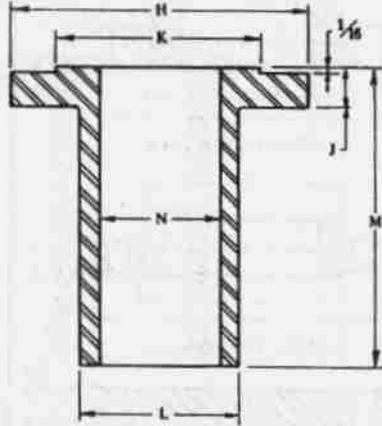
Extensión hacia el interior



APENDICE D

CARACTERISTICAS DE BRIDAS Y TAPAS

CUELLO SOLDABLE LARGO DE 150 lb



1. Todas las dimensiones están en pulgadas.
2. Material de uso común, acero forjado SA 181. Disponible también en acero inoxidable, acero aleado y metales no ferrosos.
3. La cara elevada de 1/16 pulg está incluida en las dimensiones J y M.
4. La longitud de los pernos no incluye la altura de la corona.
5. Los barrenos para los pernos son 1/8 pulg mayores que los diámetros de los pernos.
6. Las dimensiones M (longitud de los cuellos soldables) se basan en los datos de los fabricantes principales. Bajo pedido especial, se obtienen cuellos soldables largos de mayor longitud que los que aparecen en la tabla.

VER LA PAGINA OPUESTA PARA LA DIMENSION J.

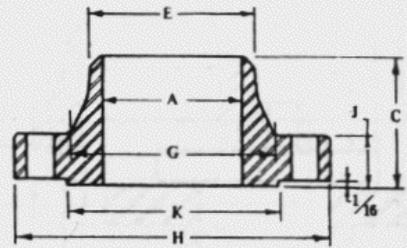
Diámetro exterior de la cara elevada	No. de barrenos	Diám. de los pernos	Círculo de los pernos	Longitud de los pernos		Diámetro exterior	Longitud	Diámetro de la perforación	Tamaño nominal del tubo
				Cara elevada de 1/16	Junta de anillo				
K						L	M	N	
1 3/8	4	1/2	2 3/8	2 1/2	--				1/2
1 1/2	4	1/2	2 3/4	2 1/2	--				3/4
2	4	1/2	3 1/8	2 3/4	3 1/4	2			1
2 1/2	4	1/2	3 1/2	2 3/4	3 3/4	2 3/8	9	Igual que el tamaño nominal del tubo	1 1/4
2 3/4	4	1/2	3 3/8	3	3 1/2	2 3/8			1 1/2
3 1/8	4	3/4	4 1/4	3 1/4	3 3/4	3 1/4			2
4 1/8	4	3/4	5 1/2	3 1/2	4	3 3/4	12		2 1/2
5	4	3/4	6	3 3/4	4 1/4	4 1/4			3
5 1/2	8	3/4	7	3 3/4	4 1/4	4 3/8			3 1/2
6 3/16	8	3/4	7 1/2	3 3/4	4 1/4	5 1/2	12		4
7 3/16	8	3/4	8 1/2	4	4 1/2	6 1/2			5
8 1/2	8	3/4	9 1/2	4	4 1/2	7 3/4			6
10 3/8	8	3/4	11 1/4	4 1/4	4 3/4	9 3/4	12		8
12 3/4	12	3/4	14 1/4	4 3/4	5 1/4	12		10	
15	12	3/4	17	4 3/4	5 1/4	14 3/8		12	
16 1/4	12	1	18 3/4	5 1/4	5 3/4	16	10-14	14	
18 1/2	16	1	21 1/4	5 1/2	6	18		16	
21	16	1 1/8	22 3/4	6	6 1/2	20		18	
23	20	1 1/4	25	6 1/4	6 3/4	22	10-14	20	
27 1/4	20	1 1/4	29 1/2	7	7 1/2	26 1/4		22	
29 1/4	24	1 1/4	31 3/4	7	--	28 1/2		24	
31 1/4	28	1 1/4	34	7	--	30 1/2		26	
33 3/4	28	1 1/4	36	7 1/4	--	32 1/2		28	
									30

BRIDAS DE 300 lb

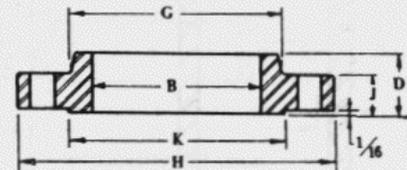
NORMA ANSI B 16.5

1. Todas las dimensiones están en pulgadas.
2. Material de uso común, acero forjado SA 181. Se obtienen también en acero inoxidable, acero aleado y metales no ferrosos.
3. La cara elevada de 1/16 pulg está incluida en las dimensiones C, D y J.
4. Las longitudes de los espárragos o pernos no incluyen la altura de la corona.
5. Los barrenos para los pernos son 1/8 pulg mayores que los diámetros de los pernos.
6. Las bridas se barrenan a las dimensiones indicadas excepto que se especifique otra cosa.
7. Las bridas para los tubos de los tamaños 22, 26, 28 y 30 no están cubiertas por la norma ANSI B16.5.

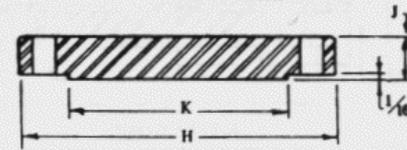
VER PAGINA OPUESTA PARA LA DIMENSIÓN K Y LOS DATOS RELATIVOS A LOS PERNOS.



CUELLO SOLDABLE



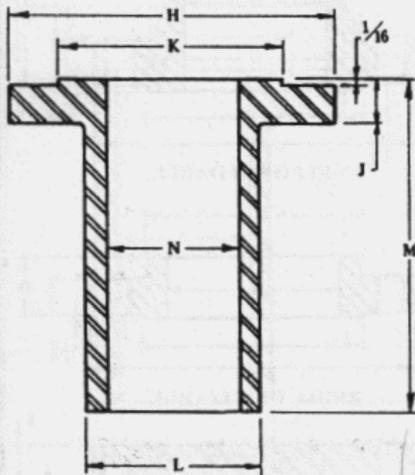
BRIDA DESLIZABLE



BRIDA CIEGA

Tamaño nominal del tubo	Diámetro de la perforación		Longitud en la campana		Diámetro de la campana en el punto de soldadura	Diámetro de la campana en la base	Diámetro exterior de la brida	Espesor de la brida
	A	B	C	D	E	G	H	J
1/2	.62	.88	2 1/16	7/8	.84	1 1/2	3 3/4	9/16
3/4	.82	1.09	2 1/4	1	1.05	1 7/8	4 3/8	5/8
1	1.05	1.36	2 7/16	1 1/16	1.32	2 1/8	4 7/8	1 1/16
1 1/4	1.38	1.70	2 9/16	1 1/16	1.66	2 1/2	5 1/4	3/4
1 1/2	1.61	1.95	2 1 1/16	1 3/16	1.90	2 3/4	6 1/8	13/16
2	2.07	2.44	2 3/4	1 3/16	2.38	3 1/16	6 1/2	7/8
2 1/2	2.47	2.94	3	1 1/2	2.88	3 1 1/16	7 1/2	1
3	3.07	3.57	3 1/8	1 1 1/16	3.50	4 3/8	8 1/4	1 1/8
3 1/2	3.55	4.07	3 3/16	1 3/4	4.00	5 1/4	9	1 1/16
4	4.03	4.57	3 3/8	1 7/8	4.50	5 3/4	10	1 1/4
5	5.05	5.66	3 7/8	2	5.56	7	11	1 3/8
6	6.07	6.72	3 7/8	2 1/16	6.63	8 1/8	12 1/2	1 7/16
8	7.98	8.72	4 3/8	2 7/16	8.63	10 1/4	15	1 5/8
10	10.02	10.88	4 5/8	2 3/8	10.75	12 3/8	17 1/2	1 7/8
12	12.00	12.88	5 1/8	2 7/8	12.75	14 3/4	20 1/2	2
14	13.25	14.14	5 5/8	3	14.00	16 3/4	23	2 1/8
16	15.25	16.16	5 3/4	3 1/4	16.00	19	25 1/2	2 1/4
18	17.25	18.18	6 1/4	3 1/2	18.00	21	28	2 3/8
20	19.25	20.20	6 3/8	3 3/4	20.00	23 1/8	30 1/2	2 1/2
22	21.25	22.22	6 1/2	4	22.00	25 1/4	33	2 5/8
24	23.25	24.25	6 5/8	4 3/16	24.00	27 3/8	36	2 3/4
26	Pendiente de especificarse	26.25	7 1/4	4 1/4	26 1/4	28 3/8	38 1/4	3 1/8
28		28.25	7 3/4	4 3/4	28 1/4	30 1/2	40 3/4	3 3/8
30		30.25	8 1/4	5 1/4	30 1/4	32 1/8	43	3 5/8

CUELLO SOLDABLE LARGO DE 300 lb



1. Todas las dimensiones están en pulgadas.
2. Material de uso común, acero forjado SA 181. Se obtienen también en acero inoxidable, acero aleado y metales no ferrosos.
3. La cara elevada de 1/16 pulg está incluida en las dimensiones J y M.
4. La longitud de los pernos no incluye la altura de la corona.
5. Los barrenos para los pernos son 1/8 pulg mayores que el diámetro de los pernos.
6. Las dimensiones M (longitud de los cuellos soldables) se basan en datos de los fabricantes principales. Bajo pedido especial, se obtienen cuellos soldables largos de mayor longitud que la que aparece en las tablas.

VER PAGINA OPUESTA PARA LA DIMENSION J.

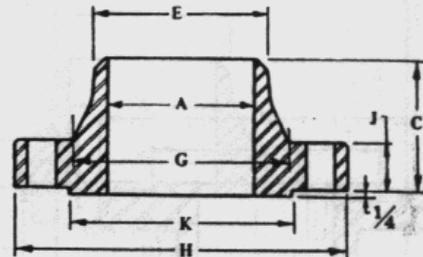
Diámetro exterior de la cara elevada	No. de barrenos	Diámetro de los pernos	Círculo de los pernos	Longitud de los pernos		Diámetro exterior	Longitud	Diámetro de la perforación	Diámetro nominal del tubo
				Cara elevada de 1/16	Junta de anillo				
K						L	M	N	
1 3/8	4	1/2	2 5/8	2 3/4	3				1/2
1 11/16	4	5/8	3 1/4	3	3 1/2				3/4
2	4	3/4	3 1/2	3 3/4	3 3/4	2 1/8			1
2 1/2	4	5/8	3 3/8	3 3/4	3 3/4	2 1/2			1 1/4
2 7/8	4	3/4	4 1/2	3 3/4	4 1/4	2 3/4			1 1/2
3 3/8	8	5/8	5	3 1/2	4 1/4	3 5/8	9		2
4 1/8	8	3/4	5 7/8	4	4 3/4	3 11/16			2 1/2
5	8	3/4	6 5/8	4 1/4	5	4 5/8			3
5 1/2	8	3/4	7 1/4	4 1/2	5 1/4	5 1/4			3 1/2
6 3/16	8	3/4	7 7/8	4 1/2	5 1/4	5 3/4			4
7 5/16	8	3/4	9 1/4	4 3/4	5 1/2	7			5
8 1/2	12	3/4	10 5/8	5	5 3/4	8 1/8			6
10 5/8	12	7/8	13	5 1/2	6 1/4	10 1/4	12		8
12 3/4	16	1	15 1/4	6 1/4	7	12 3/8			10
15	16	1 1/8	17 3/4	6 3/4	7 1/2	14 3/4			12
16 1/4	20	1 1/8	20 1/4	7	7 3/4	16 3/4			14
18 1/2	20	1 1/4	22 1/2	7 1/2	8 1/4	19			16
21	24	1 1/4	24 3/4	7 3/4	8 1/2	21			18
23	24	1 1/4	27	8 1/4	9	23 1/8			20
25 1/4	24	1 1/2	29 1/4	8 3/4	9 3/4		10-14		22
27 1/4	24	1 1/2	32	9 1/4	10 1/4	27 5/8			24
29 1/2	28	1 5/8	34 1/2	10	11	29 1/2			26
31 1/2	28	1 5/8	37	10 1/2	11 1/2	31 1/2			28
33 3/4	28	1 3/4	39 1/4	11 1/4	12 1/4	33 3/4			30

BRIDAS DE 400 lb

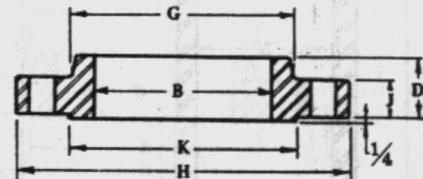
NORMA ANSI B 16.5

1. Todas las dimensiones están en pulgadas.
2. Material de uso común, acero forjado SA 105. Se obtienen también en acero inoxidable, acero aleado y metales no ferrosos.
3. La cara elevada de 1/4 pulg está incluida en las dimensiones C, D y J.
4. Las longitudes de los espárragos o pernos no incluyen la altura de la corona.
5. Los agujeros para los pernos son 1/8 pulgada mayores que los diámetros de los mismos.
6. Las bridas van barrenadas a las dimensiones que se indican excepto que se indique otra cosa.
7. Las bridas para los tubos de los tamaños 22, 26, 28 y 30 no están cubiertas por la norma ANSI B16.5.

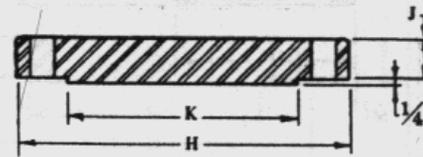
VER PAGINA OPUESTA PARA LA DIMENSION K Y LOS DATOS SOBRE EL APERNADO.



CUELLO SOLDABLE



BRIDA DESLIZABLE

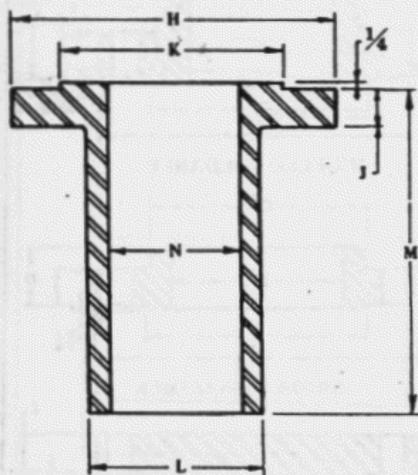


BRIDA CIEGA

Tamaño nominal del tubo	Diámetro de la perforación		Longitud en la campana		Diámetro de la campana en el punto de soldadura	Diámetro de la campana en la base	Diámetro exterior de la brida	Espesor de la brida
	A	B	C	D				
1/2		.88	2 1/16	7/8	.84	1 1/2	3 3/4	9/16
3/4		1.09	2 1/4	1	1.05	1 7/8	4 5/8	5/8
1		1.36	2 7/16	1 1/16	1.32	2 1/8	4 7/8	1 1/16
1 1/4		1.70	2 5/8	1 1/8	1.66	2 1/2	5 1/4	1 3/16
1 1/2		1.95	2 3/4	1 1/4	1.90	2 3/4	6 1/8	7/8
2		2.44	2 7/8	1 7/16	2.38	3 5/16	6 1/2	1
2 1/2		2.94	3 1/8	1 5/8	2.88	3 15/16	7 1/2	1 1/8
3		3.57	3 1/4	1 13/16	3.50	4 5/8	8 1/4	1 1/4
3 1/2		4.07	3 3/8	1 15/16	4.00	5 1/4	9	1 3/8
4		4.57	3 1/2	2	4.50	5 3/4	10	1 3/8
5		5.66	4	2 1/8	5.56	7	11	1 1/2
6		6.72	4 1/16	2 1/4	6.63	8 1/8	12 1/2	1 5/8
8		8.72	4 3/8	2 11/16	8.63	10 1/4	15	1 7/8
10		10.88	4 7/8	2 7/8	10.75	12 5/8	17 1/2	2 1/8
12		12.88	5 3/8	3 1/8	12.75	14 3/4	20 1/2	2 1/4
14		14.14	5 7/8	3 5/16	14.00	16 3/4	23	2 3/8
16		16.16	6	3 11/16	16.00	19	25 1/2	2 1/2
18		18.18	6 1/2	3 7/8	18.00	21	28	2 5/8
20		20.20	6 5/8	4	20.00	23 1/8	30 1/2	2 3/4
22		22.22	6 3/4	4 7/4	22.00	25 1/4	33	2 7/8
24		24.25	6 7/8	4 1/2	24.00	27 5/8	36	3
26		26.25	7 5/8	7 5/8	26 5/16	28 3/8	38 1/4	3 1/2
28		28.25	8 1/8	8 1/8	28 5/16	30 13/16	40 3/4	3 3/4
30		30.25	8 3/8	8 3/8	30 5/16	32 15/16	43	4

Valor especificado por el comprador

CUELLO SOLDABLE LARGO DE 400 lb



1. Todas las dimensiones están en pulgadas.
2. Material de uso común, acero forjado SA 105. Se obtienen también en acero inoxidable, acero aleado y metales no ferrosos.
3. La cara elevada de 1/4 pulg no está incluida en el espesor J pero sí en la longitud M.
4. La longitud de los pernos no incluye la altura de la corona.
5. Los barrenos para los pernos son 1/8 pulg mayores que el diámetro de los mismos.
6. Las dimensiones M (longitud de los cuellos soldables) se basan en datos de los fabricantes principales. Los cuellos soldables largos de longitud mayor que las anotadas se pueden obtener mediante pedido especial.

VER LA PAGINA OPUESTA PARA LA DIMENSION J.

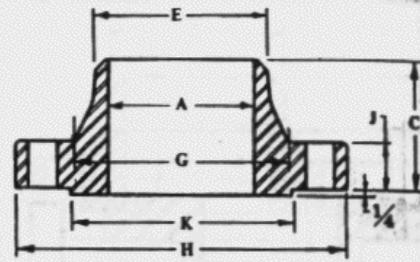
Diámetro exterior de la cara elevada	No. de agujeros	Diámetro de los pernos	Círculo de los pernos	Longitud de los pernos		Diámetro exterior	Longitud	Diámetro de la perforación	Tamaño nominal del tubo
				Cara elevada de 1/4"	Junta de anillo				
K						L	M	N	
1 3/8	4	1/2	2 3/8	3 1/4	3				1/2
1 11/16	4	5/8	3 1/4	3 1/2	3 1/2				3/4
2	4	5/8	3 1/2	3 3/4	3 3/4	2 1/8			1
2 1/2	4	5/8	3 3/8	4	4	2 1/2			1 1/4
2 7/8	4	3/4	4 1/2	4 1/4	4 1/4	2 3/4			1 1/2
3 3/8	8	5/8	5	4 1/4	4 1/2	3 5/16	9		2
4 1/8	8	3/4	5 3/8	4 3/4	5	3 15/16			2 1/2
5	8	3/4	6 3/8	5	5 1/4	4 5/8			3
5 1/2	8	7/8	7 1/4	5 1/2	5 3/4	5 1/4			3 1/2
6 3/16	8	7/8	7 7/8	5 1/2	5 3/4	5 3/4			4
7 3/16	8	7/8	9 1/4	5 3/4	6	7			5
8 1/2	12	7/8	10 3/8	6	6 1/4	8 1/8	12		6
10 3/8	12	1	13	6 3/4	7	10 1/4			8
12 3/4	16	1 1/8	15 1/4	7 1/2	7 3/4	12 3/8			10
15	16	1 1/4	17 3/4	8	8 1/4	14 3/4			12
16 1/4	20	1 1/4	20 1/4	8 1/4	8 1/2	16 3/4			14
18 1/2	20	1 3/8	22 1/2	8 3/4	9	19			16
21	24	1 3/8	24 3/4	9	9 1/4	21			18
23	24	1 1/2	27	9 3/4	10	23 1/8	10-14		20
25 1/4	24	1 3/8	29 1/4	10	10 1/2				22
27 1/4	24	1 3/4	32	10 3/4	11 1/4	27 5/8			24
29 1/2	28	1 3/4	34 1/2	11 1/2	12				26
31 1/2	28	1 3/8	37	12 1/4	12 3/4				28
33 3/4	28	2	39 1/4	13	13 1/2				30

BRIDAS DE 600 lb

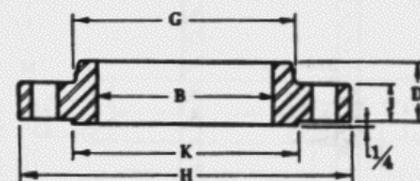
NORMA ANSI B 16.5

1. Todas las dimensiones están en pulgadas.
2. Material de uso común, acero forjado SA 105. Se obtienen también en acero inoxidable, acero aleado y metales no ferrosos.
3. La cara elevada de 1/4 pulg no está incluida en las dimensiones C, D y J.
4. Las longitudes de los espárragos o pernos no incluyen la altura de la corona.
5. Los agujeros para los pernos son 1/8 pulg mayores que los diámetros de los mismos.
6. Las bridas van barrenadas a las dimensiones que se indican excepto que se especifique otra cosa.
7. Las bridas para tubos de los tamaños 22, 26, 28 y 30 no están cubiertas por la norma ANSI B16.5.

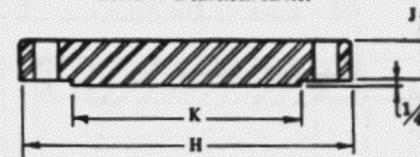
VER LA PAGINA OPUESTA PARA LA DIMENSION K Y LOS DATOS RELATIVOS A LOS PERNOS.



CUELLO SOLDABLE



BRIDA DESLIZABLE

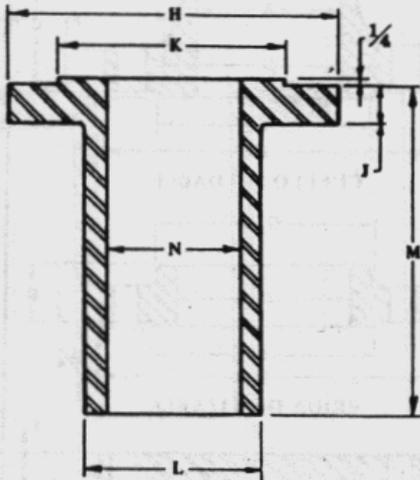


BRIDA CIEGA

Tamaño nominal del tubo	Diámetro de la perforación		Longitud en la campana		Diámetro de la campana en el punto de soldadura	Diámetro de la campana en la base	Diámetro exterior de la brida	Espesor de la brida
	A	B	C	D	E	G	H	J
1/2		.88	2 1/16	3/8	.84	1 1/2	3 3/4	9/16
3/4		1.09	2 1/4	1	1.05	1 7/8	4 5/8	5/8
1		1.36	2 7/16	1 1/16	1.32	2 1/8	4 7/8	11/16
1 1/4		1.70	2 5/8	1 1/8	1.66	2 1/2	5 1/4	13/16
1 1/2		1.95	2 3/4	1 1/4	1.90	2 3/4	6 1/8	3/4
2		2.44	2 7/8	1 7/16	2.38	3 1/16	6 1/2	1
2 1/2		2.94	3 1/8	1 3/8	2.88	3 15/16	7 1/2	1 1/8
3		3.57	3 1/4	1 13/16	3.50	4 3/8	8 1/4	1 1/4
3 1/2		4.07	3 3/8	1 15/16	4.00	5 1/4	9	1 3/8
4		4.57	4	2 1/8	4.50	6	10 3/4	1 1/2
5		5.66	4 1/2	2 3/8	5.56	7 7/16	13	1 3/4
6		6.72	4 5/8	2 5/8	6.63	8 3/4	14	1 7/8
8		8.72	5 1/4	3	8.63	10 3/4	16 1/2	2 1/16
10		10.88	6	3 3/8	10.75	13 1/2	20	2 1/2
12		12.88	6 1/8	3 5/8	12.75	15 3/4	22	2 5/8
14		14.14	6 1/2	3 11/16	14.00	17	23 3/4	2 3/4
16		16.16	7	4 3/16	16.00	19 1/2	27	3
18		18.18	7 1/4	4 5/8	18.00	21 1/2	29 1/4	3 1/4
20		20.20	7 1/2	5	20.00	24	32	3 1/2
22		22.22	7 3/4	5 1/4	22.00	26 1/4	34 1/4	3 3/4
24		24.25	8	5 1/2	24.00	28 1/4	37	4
26		26.25	8 3/4	8 3/4	26 7/16	29 7/16	40	4 1/4
28		28.25	9 1/4	9 1/4	28 1/2	31 5/8	42 1/4	4 3/8
30		30.25	9 3/4	9 3/4	30 1/2	33 15/16	44 1/2	4 1/2

Valor especificado por el comprador

CUELLO SOLDABLE LARGO DE 600 lb



1. Todas las dimensiones están en pulgadas.
2. Material de uso común, acero forjado SA 105. Se obtienen también en acero inoxidable, acero aleado y metales no ferrosos.
3. La cara elevada de 1/4 pulg no está incluida en el espesor J, pero sí en la longitud M.
4. La longitud de los pernos no incluye la altura de la corona.
5. Los barrenos para los pernos son 1/8 pulg mayores que los diámetros de los mismos.
6. Las dimensiones M (longitud de los cuellos soldables) se basan en los datos de los fabricantes principales. Pueden obtenerse mediante pedido especial cuellos soldables largos de mayor longitud que los anotados.

VER PAGINA OPUESTA PARA LA DIMENSION J.

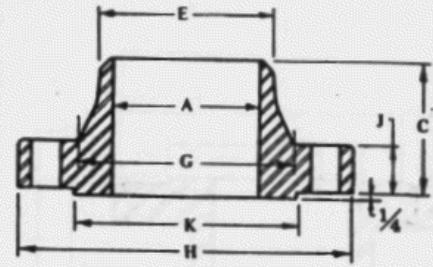
Diámetro exterior de la cara elevada	No. de barrenos	Diámetro de los pernos	Círculo de los pernos	Longitud de los pernos		Diámetro exterior	Longitud	Diámetro de la perforación	Tamaño nominal del tubo
				Cara elevada de 1/4"	Junta de anillo				
K						L	M	N	
1 3/8	4	1/2	2 5/8	3 1/4	3				1/2
1 11/16	4	5/8	3 1/4	3 1/2	3 1/2				3/4
2	4	5/8	3 1/2	3 3/4	3 3/4	2 1/8			1
2 1/2	4	5/8	3 3/8	4	4	2 1/2			1 1/4
2 5/8	4	3/4	4 1/2	4 1/4	4 1/4	2 3/4			1 1/2
3 5/8	8	5/8	5	4 1/4	4 1/2	3 5/16	9		2
4 1/8	8	3/4	5 5/8	4 3/4	5	3 13/16			2 1/2
5	8	3/4	6 5/8	5	5 1/4	4 5/8			3
5 1/2	8	7/8	7 1/4	5 1/2	5 3/4	5 1/4			3 1/2
6 3/16	8	7/8	8 1/2	5 3/4	6	6			4
7 3/16	8	1	10 1/2	6 1/2	6 3/4	7 1/2			5
8 1/2	12	1	11 1/2	6 3/4	7	8 3/4	12		6
10 3/8	12	1 1/8	13 3/4	7 3/4	7 3/4	10 3/4			8
12 3/4	16	1 1/4	17	8 1/2	8 3/4	13 1/2			10
15	20	1 1/4	19 1/4	8 3/4	9	15 3/4			12
16 1/4	20	1 3/8	20 3/4	9 1/4	9 1/2	17			14
18 1/2	20	1 1/2	23 3/4	10	10 1/4	19 1/2			16
21	20	1 5/8	25 3/4	10 3/4	11	21 1/2			18
23	24	1 5/8	28 1/2	11 1/2	11 3/4	24	12-20		20
25 1/4	24	1 3/4	30 5/8	12	12 1/2				22
27 1/4	24	1 7/8	33	13	13 1/4	28 1/4			24
29 1/2	28	1 7/8	36	13 1/4	13 3/4				26
31 1/2	28	2	38	13 3/4	14 1/4				28
33 3/4	28	2	40 1/4	14	14 1/2				30

BRIDAS DE 900 lb

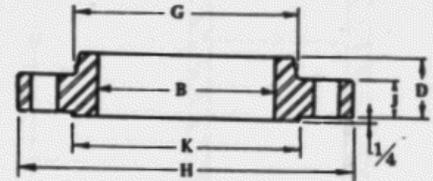
NORMA ANSI B 16.5

1. Todas las dimensiones están en pulgadas.
2. Material de uso común, acero forjado SA 105. Se obtienen también en acero inoxidable, acero aleado y metales no ferrosos.
3. La cara elevada de 1/4 pulg está incluida en las dimensiones C, D y J.
4. Las longitudes de los pernos o espárragos no incluyen la altura de la corona.
5. Los barrenos para los pernos son 1/8 pulg mayores que los diámetros de los mismos.
6. Las bridas van barrenadas a las dimensiones que se indican excepto que se especifique otra cosa.
7. Las bridas para los tubos de los tamaños 26, 28 y 30 no están cubiertas por la norma ANSI B 16.5.

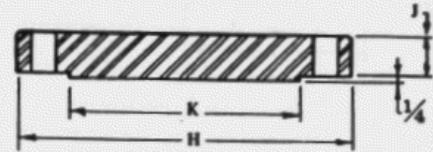
VER LA PAGINA OPUESTA PARA LA DIMENSION K Y LOS DATOS RELATIVOS A LOS PERNOS



CUELLO SOLDABLE



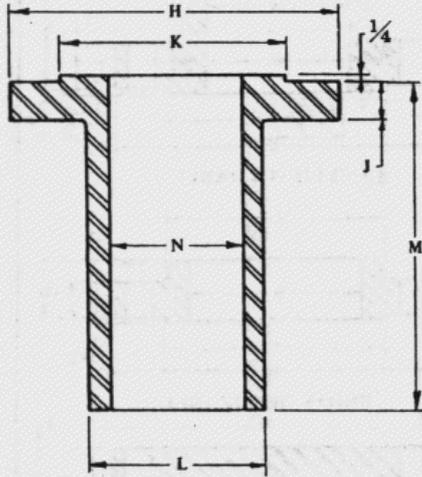
BRIDA DESLIZABLE



BRIDA CIEGA

Tamaño nominal del tubo	Diámetro de la perforación		Longitud en la campana		Diámetro de la campana en el punto de soldadura	Diámetro de la campana en la base	Diámetro exterior de la brida	Espesor de la brida
	A	B	C	D				
1/2	Valor especificado por el comprador	.88	2 3/8	1 1/4	.84	1 1/2	4 3/4	3/8
3/4		1.09	2 3/4	1 3/8	1.05	1 3/4	5 1/8	1
1		1.36	2 7/8	1 3/8	1.32	2 1/16	5 7/8	1 1/8
1 1/4		1.70	2 7/8	1 3/8	1.66	2 1/2	6 1/4	1 1/8
1 1/2		1.95	3 1/4	1 3/4	1.90	2 3/4	7	1 1/4
2		2.44	4	2 1/4	2.38	4 1/8	8 1/2	1 1/2
2 1/2		2.94	4 1/8	2 1/2	2.88	4 7/8	9 3/8	1 3/8
3		3.57	4	2 1/8	3.50	5	9 1/2	1 1/2
4		4.57	4 1/2	2 3/4	4.50	6 1/4	11 1/2	1 3/4
5		5.66	5	3 1/8	5.56	7 1/2	13 3/4	2
6		6.72	5 1/2	3 3/8	6.63	9 1/4	15	2 3/16
8		8.72	6 3/8	4	8.63	11 3/4	18 1/2	2 1/2
10		10.88	7 1/4	4 1/4	10.75	14 1/2	21 1/2	2 3/4
12		12.88	7 7/8	4 3/8	12.75	16 1/2	24	3 1/8
14		14.14	8 3/8	5 1/8	14.00	17 3/4	25 1/4	3 3/8
16		16.16	8 1/2	5 1/4	16.00	20	27 3/4	3 1/2
18		18.18	9	6	18.00	22 1/4	31	4
20		20.20	9 3/4	6 1/4	20.00	24 1/2	33 3/4	4 1/4
24		24.25	11 1/2	8	24.00	29 1/2	41	5 1/2
26		26.25	11 1/4	11 1/4	26 3/8	30 1/2	42 3/4	5 1/2
28	28.25	11 3/4	11 3/4	28 1 1/16	32 3/4	46	5 3/8	
30	30.25	12 1/4	12 1/4	30 3/4	35	48 1/2	5 3/8	

CUELLO SOLDABLE LARGO DE 900 lb



1. Todas las dimensiones están en pulgadas.
2. Material de uso común, acero forjado SA 105. Se obtienen también en acero inoxidable, acero aleado y metales no ferrosos.
3. La cara elevada de 1/4 pulg no está incluida en el espesor J pero sí en la longitud M.
4. La longitud de los pernos no incluye la altura de la corona.
5. Los barrenos para los pernos son 1/8 pulg mayores que los diámetros de los mismos.
6. Las dimensiones M (longitud de los cuellos soldables) se basan en los datos de los fabricantes principales. Se pueden obtener mediante pedido especial cuellos soldables largos de mayor longitud que las indicadas en la tabla.

**VER PAGINA OPUESTA PARA LA
DIMENSION J.**

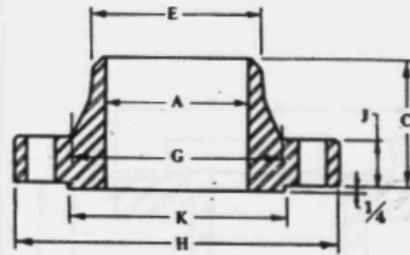
Diámetro exterior de la cara elevada	No. de barrenos	Diámetro de los pernos	Círculo de los pernos	Longitud de los pernos		Diámetro exterior	Longitud	Diámetro de la perforación	Tamaño nominal del tubo	
				Cara elevada de 1/4"	Junta de anillo					
K						L	M	N		
1 3/8	4	3/4	3 1/4	4 1/4	4 1/4				1/2	
1 11/16	4	3/4	3 1/2	4 1/2	4 1/2				3/4	
2	4	7/8	4	5	5	2 1/16			1	
2 1/2	4	7/8	4 3/8	5	5	2 1/2	9		1 1/4	
2 7/8	4	1	4 7/8	5 1/2	5 1/2	2 3/4				1 1/2
3 3/8	8	7/8	6 1/2	5 3/4	5 3/4	4 1/8				2
4 1/8	8	1	7 1/2	6 1/4	6 1/4	4 7/8	12		2 1/2	
5	8	7/8	7 1/2	5 3/4	6	5				3
6 3/16	8	1 1/8	9 1/4	6 3/4	7	6 1/4				4
7 3/16	8	1 1/4	11	7 1/2	7 3/4	7 1/2	12-20	Igual que el tamaño nominal del tubo	5	
8 1/2	12	1 1/8	12 1/2	7 3/4	7 3/4	9 1/4				6
10 5/8	12	1 3/8	15 1/2	8 3/4	9	11 3/4				8
12 3/4	16	1 3/8	18 1/2	9 1/4	9 1/2	14 1/2			10	
15	20	1 3/8	21	10	10 1/4	16 1/2			12	
16 1/4	20	1 1/2	22	10 3/4	11 1/4	17 3/4			14	
18 1/2	20	1 3/8	24 1/4	11 1/4	11 3/4	20			16	
21	20	1 3/8	27	12 3/4	13 1/2	22 1/4			18	
23	20	2	29 1/2	13 3/4	14 1/4	24 1/2			20	
27 1/4	20	2 1/2	35 1/2	17 1/4	17 3/4	29 1/2			24	
29 1/2	20	2 3/4	37 1/2	17 1/2	18 3/4				26	
31 1/2	20	3	40 1/4	18 3/4	19 1/2				28	
33 3/4	20	3	42 3/4	18 3/4	20			30		

BRIDAS DE 1500 lb

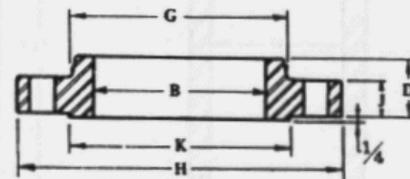
NORMA ANSI B 16.5

1. Todas las dimensiones están en pulgadas.
2. Material de uso común, acero forjado SA 105. Se obtienen también en acero inoxidable, acero aleado y metales no ferrosos.
3. La cara elevada de 1/4 pulg no está incluida en las dimensiones C, D y J.
4. Las longitudes de los pernos no incluyen la altura de la corona.
5. Los barrenos para los pernos son 1/8 pulg mayores que los diámetros de los mismos.
6. Las bridas van barrenadas a las dimensiones que se indican excepto que se especifique otra cosa.

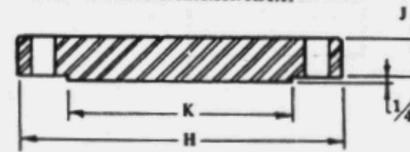
VER LA PAGINA OPUESTA PARA LA DIMENSION K Y LOS DATOS RELATIVOS A LOS PERNOS.



CUELLO SOLDABLE



BRIDA DESLIZABLE

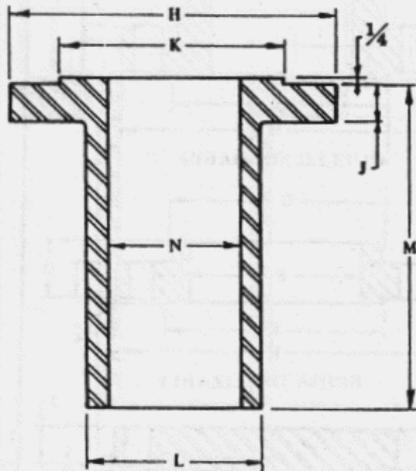


BRIDA CIEGA

Tamaño nominal del tubo	Diámetro de la perforación		Longitud en la campana		Diámetro de la campana en el punto de soldadura	Diámetro de la campana en la base	Diámetro exterior de la brida	Espesor de la brida
	A	B	C	D	E	G	H	J
1/2		.88	2 3/8	1 1/4	.84	1 1/2	4 3/8	7/8
3/4		1.09	2 3/4	1 3/8	1.05	1 3/4	5 1/8	1
1		1.36	2 7/8	1 5/8	1.32	2 1/8	5 7/8	1 1/8
1 1/4		1.70	2 7/8	1 3/4	1.66	2 1/2	6 1/4	1 1/8
1 1/2		1.95	3 1/4	1 3/4	1.90	2 3/4	7	1 1/4
2		2.44	4	2 1/4	2.38	4 1/8	8 1/2	1 1/2
2 1/2		2.94	4 1/8	2 1/2	2.88	4 7/8	9 5/8	1 5/8
3		3.57	4 5/8	2 7/8	3.50	5 1/4	10 1/2	1 7/8
4		4.57	4 7/8	3 1/8	4.50	6 3/8	12 1/4	2 1/8
5		5.66	6 1/8	4 1/8	5.56	7 3/4	14 3/4	2 7/8
6		6.72	6 3/4	4 1 1/16	6.63	9	15 1/2	3 1/4
8		8.72	8 3/8	5 1/8	8.63	11 1/2	19	3 5/8
10		10.88	10	6 1/4	10.75	14 1/2	23	4 1/4
12		12.88	11 1/8	7 1/8	12.75	17 3/4	26 1/2	4 7/8
14		--	11 3/4	--	14.00	19 1/2	29 1/2	5 1/4
16		--	12 1/4	--	16.00	21 3/4	32 1/2	5 3/4
18		--	12 3/8	--	18.00	23 1/2	36	6 3/8
20		--	14	--	20.00	25 1/4	38 3/4	7
24		--	16	--	24.00	30	46	8

Valor especificado por el comprador

CUELLO SOLDABLE LARGO DE 1500 lb



1. Todas las dimensiones están en pulgadas.
2. Material de uso común, acero forjado SA 105. Se obtienen también en acero inoxidable, acero aleado y metales no ferrosos.
3. La cara elevada de 1/4 pulg no está incluida en el espesor J, pero sí en la dimensión M.
4. La longitud de los pernos no incluye la altura de la corona.
5. Los barrenos para los pernos son 1/8 pulg mayores que los diámetros de los mismos.
6. Las dimensiones M (longitud de los cuellos soldables) se basan en los datos de los fabricantes más importantes. Pueden obtenerse cuellos soldables de mayor longitud que las anotadas mediante pedido especial.

VER PAGINA OPUESTA PARA LA DIMENSION J.

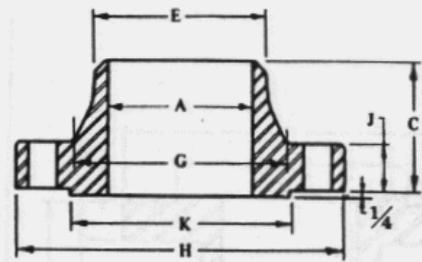
Diámetro exterior de la cara elevada	No. de barrenos	Diám. de los pernos	Círculo de los pernos	Longitud de los pernos		Diámetro exterior	Longitud	Diámetro de la perforación	Tamaño nominal del tubo
				Cara elevada de 1/4"	Junta de anillo				
K						L	M	N	
1 3/8	4	3/4	3 1/4	4 1/4	4 1/4	2 1/8	9	Igual que el tamaño nominal del tubo	1/2
1 11/16	4	3/4	3 1/2	4 1/2	4 1/2				3/4
2	4	7/8	4	5	5	1			
2 1/2	4	7/8	4 3/8	5	5	1 1/4			
2 7/8	4	1	4 7/8	5 1/2	5 1/2	1 1/2			
3 3/8	8	7/8	6 1/2	5 3/4	5 3/4	2			
4 1/8	8	1	7 1/2	6 1/4	6 1/4	2 1/2			
5	8	1 1/8	8	7	7	3			
6 3/16	8	1 1/4	9 1/2	7 3/4	7 3/4	4			
7 3/16	8	1 1/2	11 1/2	9 3/4	9 3/4	5			
8 1/2	12	1 3/8	12 1/2	10 1/4	10 1/2	6			
10 3/8	12	1 5/8	15 1/2	11 1/2	12	8			
12 3/4	12	1 7/8	19	13 1/4	13 3/4	10			
15	16	2	22 1/2	14 3/4	15 1/2	12			
16 1/4	16	2 1/4	25	16	17	14			
18 1/2	16	2 1/2	27 3/4	17 1/2	18 1/2	16			
21	16	2 3/4	30 1/2	19 1/2	20 1/2	18			
23	16	3	32 3/4	21 1/2	22 1/2	20			
27 1/4	16	3 1/2	39	24 1/2	25 3/4	24			

BRIDAS DE 2500 lb

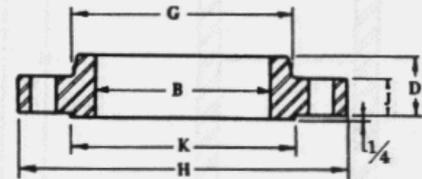
NORMA ANSI B 16.5

1. Todas las dimensiones están en pulgadas.
2. Material de uso común, acero forjado SA 105. Se obtienen también en acero inoxidable, acero aleado y metales no ferrosos.
3. La cara elevada de 1/4 pulg no está incluida en las dimensiones C, D y J.
4. Las longitudes de los pernos o espárragos no incluyen la altura de la corona.
5. Los barrenos para los pernos son 1/8 pulg mayores que los diámetros de los mismos.
6. Las bridas van barrenadas a las dimensiones que se indican excepto que se especifique otra cosa.

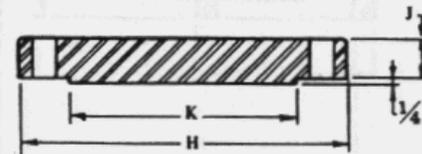
VER LA PAGINA OPUESTA PARA LA DIMENSION K Y LOS DATOS RELATIVOS A LOS PERNOS



CUELLO SOLDABLE



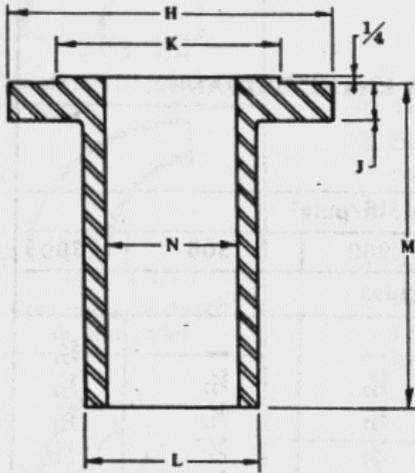
BRIDA DESLIZABLE



BRIDA CIEGA

Tamaño nominal del tubo	Diámetro de la perforación		Longitud en la campana		Diámetro de la campana en el punto de soldadura	Diámetro de la campana en la base	Diámetro exterior de la brida	Espesor de la brida
	A	B	C	D				
1/2	Valor especificado por el comprador	.88	2 7/8	1 9/16	.84	1 11/16	5 1/4	1 3/16
3/4		1.09	3 1/8	1 11/16	1.05	2	5 1/2	1 1/4
1		1.36	3 1/2	1 7/8	1.32	2 1/4	6 1/4	1 3/8
1 1/4		1.70	3 3/4	2 1/16	1.66	2 7/8	7 1/4	1 1/2
1 1/2		1.95	4 3/8	2 3/8	1.90	3 1/8	8	1 3/4
2		2.44	5	2 3/4	2.38	3 3/4	9 1/4	2
2 1/2		2.94	5 5/8	3 1/8	2.88	4 1/2	10 1/2	2 1/4
3		3.57	6 5/8	3 3/8	3.50	5 1/4	12	2 5/8
4		4.57	7 1/2	4 1/4	4.50	6 1/2	14	3
5		5.66	9	5 1/8	5.56	8	16 1/2	3 5/8
6		6.72	10 3/4	6	6.63	9 1/4	19	4 1/4
8		8.72	12 1/2	7	8.63	12	21 3/4	5
10	10.88	16 1/2	9	10.75	14 3/4	26 1/2	6 1/2	
12	12.88	18 1/4	10	12.75	17 3/8	30	7 1/4	

CUELLO SOLDABLE LARGO DE 2500 lb

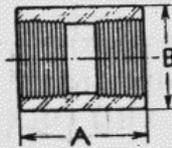


1. Todas las dimensiones están en pulgadas.
2. Material de uso común, acero forjado SA 105. Se obtienen también en acero inoxidable, acero aleado y metales no ferrosos.
3. La cara elevada de 1/4 pulg no está incluida en el espesor J pero sí en la longitud M.
4. La longitud de los pernos no incluye la altura de la corona.
5. Los barrenos para los pernos son 1/8 pulg mayores que los diámetros de los mismos.
6. Las dimensiones M (longitud de los cuellos soldables) están basadas en los datos de los fabricantes principales. Pueden obtenerse los cuellos soldables en longitudes mayores que las anotadas mediante pedido especial.

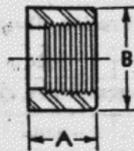
VER PAGINA OPUESTA PARA LA DIMENSION J.

Diámetro exterior de la cara elevada	No. de barrenos	Diámetro de los pernos	Círculo de los pernos	Longitud de los pernos		Diámetro exterior	Longitud	Diámetro de la perforación	Tamaño nominal del tubo	
				Cara elevada de 1/4"	Junta de anillo					
K						L	M	N		
1 3/8	4	3/4	3 1/2	5 1/4	5 1/4	2 1/4	9	Igual que el tamaño nominal del tubo	1/2	
1 11/16	4	3/4	3 3/4	5 1/4	5 1/4				3/4	
2	4	7/8	4 1/4	5 3/4	5 3/4				1	
2 1/2	4	1	5 1/8	6 1/4	6 1/2	2 3/8	12		1 1/4	
2 7/8	4	1 1/8	5 3/4	7	7 1/4				3 1/8	1 1/2
3 5/8	8	1	6 3/4	7 1/4	7 1/2				3 3/4	2
4 1/8	8	1 1/8	7 3/4	8	8 1/4	4 1/2	12		2 1/2	
5	8	1 1/4	9	9	9 1/4	5 1/4			3	
6 3/16	8	1 1/2	10 3/4	10 1/4	10 3/4	6 1/2			4	
7 5/16	8	1 3/4	12 3/4	12	12 3/4	8	12		5	
8 1/2	8	2	14 1/2	13 3/4	14 1/2	9 1/4		6		
10 5/8	12	2	17 1/4	15 1/4	16	12		8		
12 3/4	12	2 1/2	21 1/4	19 1/2	20 1/2	14 3/4	12-20	10		
15	12	2 3/4	24 3/8	21 1/2	22 1/2	17 3/8		12		

APENDICE E
DIMENSIONES DE COPLES



Cople completo



Medio cople

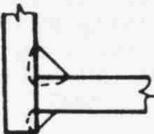
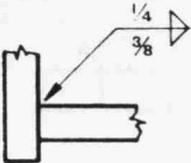
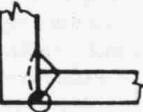
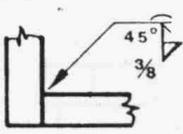
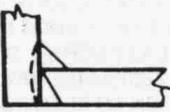
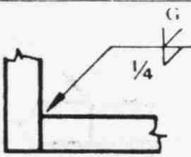
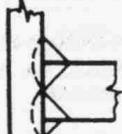
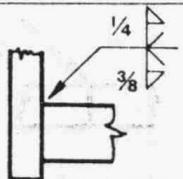
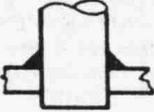
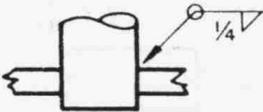
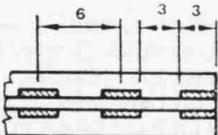
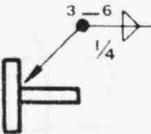
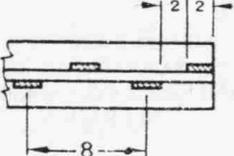
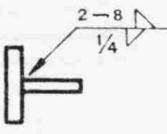
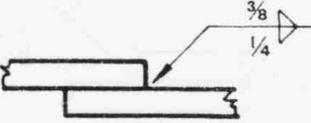
COPLES ROSCADOS

1. Todas las dimensiones están en pulgadas.
2. El material, que es acero al carbono forjado se conforma a los requisitos de la especificación SA-105.
3. Las roscas cumplen con la norma ANSI B2.1-1968.

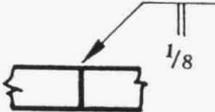
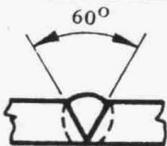
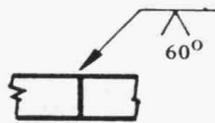
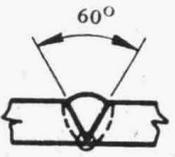
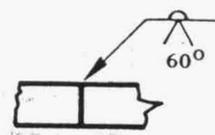
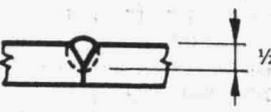
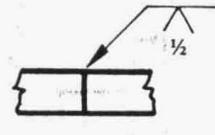
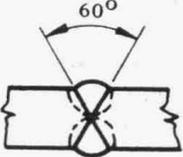
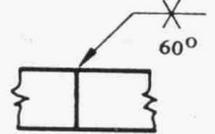
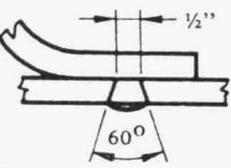
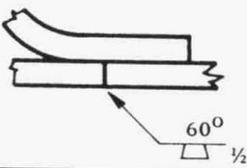
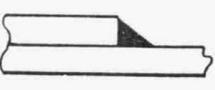
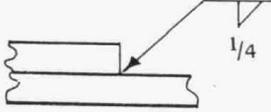
Tamaño nominal de la tubería	Cople completo				Medio cople			
	3000 lb		6000 lb		3000 lb		6000 lb	
	Longitud A	Diámetro B	Longitud A	Diámetro B	Longitud A	Diámetro B	Longitud A	Diámetro B
1/8	1 1/4	3/4	1 1/4	7/8	5/8	3/4	5/8	7/8
1/4	1 3/8	3/4	1 3/8	1	11/16	3/4	11/16	1
3/8	1 1/2	7/8	1 1/2	1 1/4	3/4	7/8	3/4	1 1/4
1/2	1 7/8	1 1/8	1 7/8	1 1/2	15/16	1 1/8	15/16	1 1/2
3/4	2	1 3/8	2	1 3/4	1	1 3/8	1	1 3/4
1	2 3/8	1 3/4	2 3/8	2 1/4	1 3/16	1 3/4	1 3/16	2 1/4
1 1/4	2 5/8	2 1/4	2 5/8	2 1/2	1 5/16	2 1/4	1 5/16	2 1/2
1 1/2	3 1/8	2 1/2	3 1/8	3	1 9/16	2 1/2	1 9/16	3
2	3 3/8	3	3 3/8	3 5/8	1 11/16	3	1 11/16	3 5/8
2 1/2	3 5/8	3 5/8	3 5/8	4 1/4	1 13/16	3 5/8	1 13/16	4 1/4
3	4 1/4	4 1/4	4 1/4	5	2 1/8	4 1/4	2 1/8	5
3 1/2	4 1/2	4 3/4	4 1/2	5 3/4	2 1/4	4 3/4	2 1/4	5 3/4
4	4 3/4	5 1/2	4 3/4	6 1/4	2 3/8	5 1/2	2 3/8	6 1/4

APENDICE F
SÍMBOLOS DE SOLDADURA

SIMBOLOS DE SOLDADURA

SOLDADURA	SIMBOLO	SIGNIFICADO DEL SIMBOLO
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE FILETE DE 3/8 DE PULG EN EL LADO DE LA FLECHA Y DE 1/4 DE PULG EN LA CARA OPUESTA
		EL SIMBOLO INDICA RANURA BISELADA CON ANGULO DE 45 GRADOS, SOLDADURA DE FILETE DE 3/8 EN EL LADO DE LA FLECHA Y SOLDADURA POSTERIOR DEL TIPO DE CORDON EN EL LADO CONTRARIO
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE FILETE DE 1/4 DE PULG EN EL LADO DE LA FLECHA Y SOLDADURA DE RANURA BISELADA EN LA CARA OPUESTA. ESMERILESE A RAS EN EL OTRO LADO
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE RANURA BISELADA Y DE FILETE DE 3/8 DE PULG EN EL LADO DE LA FLECHA, RANURA BISELADA Y SOLDADURA DE FILETE DE 1/4 EN LA CARA OPUESTA
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE FILETE A TODO ALREDEDOR, DE 1/4 DE PULG
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DISCONTINUA DE FILETE DE 1/4 DE PULG. CADA UNA DE 3 PULG DE LARGO, ESPACIADAS A 6 PULG ENTRE CENTROS, APLICADAS EN CAMPO
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DISCONTINUA DE FILETE DE 1/4 DE PULG, CADA UNA DE 2 PULG DE LARGO Y ESPACIADAS A 8 PULG ENTRE CENTROS. LAS SOLDADURAS VAN ALTERNADAS
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE FILETE DE 1/4 DE PULG EN EL LADO DE LA FLECHA Y DE 3/8 EN EL OTRO LADO

SIMBOLOS DE SOLDADURA

SOLDADURA	SIMBOLO	SIGNIFICADO DEL SIMBOLO
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE RANURA ESCUADRADA EN EL LADO DE LA FLECHA. ABERTURA EN LA RAIZ 1/8 PULG
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE RANURA EN V CON ANGULO DE 60 GRADOS EN EL LADO DE LA FLECHA
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE RANURA EN V CON ANGULO DE 60 GRADOS EN EL LADO DE LA FLECHA Y SOLDADURA DE RESPALDO DEL TIPO DE CORDON EN EL OTRO LADO
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE RANURA EN V DE 1/2 PULG
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE RANURA EN V EN EL LADO DE LA FLECHA Y EN LA CARA OPUESTA CON ANGULO DE 60 GRADOS
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE RANURA EN V EN EL LADO DE LA FLECHA Y EN EL OTRO LADO CON ABERTURA EN LA RAIZ DE 1/8 PULG
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE TAPON DE 1/2 PULG DE DIAMETRO Y CON ANGULO DE 60 GRADOS
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE FILETE DE 1/4 DE PULG

APÉNDICE G

**NOTAS SOBRE EL SISTEMA INTERNACIONAL DE
UNIDADES**

NOTAS ACLARATORIAS

Una característica del SI es que es un sistema coherente, es decir, las unidades derivadas se expresan como productos y cocientes de unidades fundamentales y otras unidades derivadas, sin la introducción de factores numéricos. Esto hace que algunas unidades resulten demasiado grandes para el uso habitual y otras sean demasiado pequeñas. Por eso se adoptaron y ampliaron los prefijos desarrollados para el sistema métrico. Estos prefijos, indicados en la página anterior, se emplean tanto con unidades fundamentales como derivadas. Algunos ejemplos son: milímetro (mm), centímetro (cm,) kilómetro/hora (km/h), megavatio (MW) o picofaradio (pF). Como no se emplean prefijos dobles y el nombre de la unidad fundamental ‘kilogramo’ ya contiene un prefijo, los prefijos no se emplean con esta unidad sino con gramo.

Nota: extracto tomado textualmente de la Enciclopedia Microsoft Encarta 2000.

PREFIJO	SÍMBOLO	AUMENTO O DISMINUCIÓN DE LA UNIDAD
exa	E	1.000.000.000.000.000.000 (un trillón)
peta	P	1.000.000.000.000.000 (mil billones)
tera	T	1.000.000.000.000 (un billón)
giga	G	1.000.000.000 (mil millones, un millardo)
mega	M	1.000.000 (un millón)
kilo	k	1.000 (un millar, mil)
hecto	h	100 (un centenar, cien)
deca	da	10 (una decena, diez)
deci	d	0,1 (un décimo)
centi	c	0,01 (un centésimo)
mili	m	0,001 (un milésimo)
micro	μ	0,000001 (un millonésimo)
nano	n	0,000000001 (un milmillonésimo)
pico	p	0,000000000001 (un billonésimo)
femto	f	0,000000000000001 (un milbillonésimo)
atto	a	0,000000000000000001 (un trillonésimo)

Estos prefijos pueden agregarse a la mayoría de las unidades métricas para aumentar o disminuir su cuantía. Por ejemplo, un kilómetro es igual a 1.000 metros.

1

1: prefijos decimales," *Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2000*. © 1993-1999 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

Magnitud	Nombre de la unidad SI derivada	Símbolo	
Superficie	metro cuadrado	m ²	
Volumen	metro cúbico	m ³	
Velocidad	metro por segundo	m/s	
Aceleración	metro por segundo al cuadrado	m/s ²	
Densidad	kilogramo por metro cúbico	kg/m ³	
Densidad de corriente	amperio por metro cuadrado	A/m ²	
Fuerza de campo magnético	amperio por metro	A/m	
Volumen específico	metro cúbico por kilogramo	m ³ /kg	
Luminancia	candela por metro cuadrado	cd/m ²	
Frecuencia	hercio	Hz	1/s
Fuerza	newton	N	kg·m/s ²
Presión, tensión mecánica	pascal	Pa	N/m ²
Energía, trabajo, cantidad de calor	julio	J	N·m
Potencia	vatio	W	J/s
Cantidad de electricidad	culombio	C	A·s
Potencial eléctrico, diferencia de potencial, tensión eléctrica y fuerza electromotriz	voltio	V	J/C
Capacidad eléctrica	faradio	F	C/V
Resistencia eléctrica	ohmio	Ω	V/A
Conductancia eléctrica	siemens	S	1/Ω
Flujo magnético, flujo de inducción magnética	weber	Wb	V·s
Densidad de flujo magnético, inducción magnética	tesla	T	Wb/m ²
Inductancia	henrio	H	Wb/A
Temperatura Celsius	grado Celsius	°C	1 °C = 1 K
Dosis equivalente	sievert	Sv	J/kg

2

2: unidades derivadas del SI," *Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2000*. © 1993-1999 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

ANEXO N° 1

HOJA DE INFORMACIÓN

Información del estudiante:

Vernon Alejandro Jiménez Fonseca.

Cédula: 1-997-751

Carné ITCR: 960-20-80

Dirección: 400m norte, 75m este de la plaza de deportes, casa 32 N, Calle Blancos, San José, Costa Rica

Tel.: 241-12-61

E-mail: vernonj@costarricense.com

Información del Proyecto:

Nombre: Diseño, e Inspección de Recipientes a Presión y Ficha técnica

Profesor Asesor: José Luis DeBriones B.

Horario: Martes a Viernes de 7:00 am a 6:00 pm

Información de la empresa:

Nombre: SARET METALMECÁNICA

Zona Industrial Alajuela

Dirección 1.5 km Este del Aeropuerto Juan Santa María

Tel.:443-0001

Fax: 443-0909

Apartado: 03-4002 Alajuela, Costa Rica

Actividad Principal: Fabricación y montaje de Estructuras de Acero.