

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS COMO HERRAMIENTA
DEL INGENIERO, EN LA FABRICACION DE
RECIPIENTES A PRESION**

TESIS

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecánico Electricista

CLAUDIO ALONSO CORREA ARRUNATEGUI

Promoción · 1982 - I

LIMA PERU
1990

I N D I C E G E N E R A L

PROLOGO	1
<u>CAPITULO 1.-</u> INTRODUCCION	3
<u>CAPITULO 2.-</u> FUNDAMENTOS TEORICOS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (E. N. D.)	7
2.1. Breve discusión de los objetivos buscados con la aplicación de los E. N. D. a la fabricación y/o montaje de recipientes a presión interna (R. P. I.)	7
2.2. Inspección Visual	11
2.3. Radiología Industrial	11
2.3.1. Factores geométricos	13
2.3.2. Proceso Técnico	17
2.3.3. Discontinuidades detectables	18
2.3.4. Presentación de resultados	19
2.3.5. Interpretación de resultados	19
2.3.6. Alcance y limitaciones	20
2.4. Ultrasonidos	20
2.4.1. Generalidades	20
2.4.2. Características del ensayo	21
2.4.3. Aspectos Fundamentales	24
2.4.4. Proceso Técnico	26
2.4.5. Discontinuidades detectables	28
2.5. Partículas Magnéticas	29
2.5.1. Fundamentos técnicos	30
2.5.2. Discontinuidades detectables	34
2.5.3. Presentación de resultados	34
2.5.4. Alcance y limitaciones	36

2.6.	Líquidos Penetrantes	36
2.6.1.	Fundamento técnico	36
2.6.2.	Proceso técnico	37
2.6.3.	Discontinuidades detectables	38
2.6.4.	Interpretación de resultados	38
2.7.	Otros Métodos de E. N. D.	39
2.8.	Procedimientos para E. N. D.	43
 <u>CAPITULO 3.- FUNDAMENTOS DE DISEÑO DE RECIPIENTES DE ALTA PRESION</u>		52
3.1.	Definiciones	52
3.1.1.	Materiales empleados normalmente	55
3.1.2.	Cargas principales	55
3.2.	Fundamentos Teóricos - Aplicaciones	59
3.2.1.	Base de esfuerzos tangenciales	59
3.2.2.	Base de esfuerzos de corte	60
3.2.3.	Deformaciones en el cuerpo	61
3.2.4.	Condiciones de temperatura	62
3.3.	Sistemas de Cierre en Recipientes de Alta Presión	65
3.3.1.	Cierres permanentes o fijados	65
3.3.2.	Cierres removibles	66
	a. Cierre con anillo delta	66
	b. Cierre con anillo doble cono	68
	c. Cierre tipo Bridgeman	71
	d. Cierre tipo Unde-Bredtschneider	71
3.4.	Algunos requerimientos de Diseño según el código ASME	73
3.4.1.	Secciones aplicables	73
3.4.2.	Exámenes de las unidades soldadas	75
 <u>CAPITULO 4.- ELABORACION DE ESPECIFICACIONES TECNICAS DE FABRICACION Y MONTAJE CON USO DE LOS E. N. D.</u>		78

4.1.	Programas de Fabricación é inspección	78
4.1.1.	Aspectos de diseño	78
4.1.2.	Programa de fabricación/inspección	79
4.2.	Aplicación de los E. N. D.	87
4.2.1.	Justificación	87
4.2.2.	Objetivos Uso de los E. N. D.	87
4.3.	Criterios de aceptación y/o rechazo de los E. N.D.	88
4.3.1.	Radiología Industrial	88
4.3.2.	Ultrasonidos	89
4.3.3.	Partículas Magnéticas	94
4.3.4.	Líquidos Penetrantes	95
4.4.	Uso de los E. N. D. en la Fabricación	96
4.5.	Uso de los E. N. D. en el montaje	96
4.6.	Evaluación de los E. N. D.	96
4.7.	Uso de los E. N. D. durante la operación	96
4.8.	Consideraciones al Código ASME	97
 <u>CAPITULO 5.- EJEMPLO DE APLICACION</u>		 99
5.1.	Introducción	99
5.2.	Desarrollo de Caso Típico	100
5.2.1.	Considerandos	100
5.2.2.	Datos de Cálculo	101
	a. Cálculo de espesor del cuerpo del recipiente	102
	b. Variación del esfuerzo a lo largo del espesor del cuerpo	102
	c. Aplicación teórica del máximo esfuerzo cortante	106
	d. Elementos de unión	107
5.2.3.	Programa de Fabricación Inspección	107
	Introducción	107
	a. Elementos de unión	110
	b. Tapa fija	112
	c. Tapa flotante	113
	d. Empaquetaduras	113

e. Cuerpo recipiente	113
f. Programa de fabricación inspección	117
f.1. Notas aclaratorias	125
<u>EVALUACION ECONOMICA</u>	126
1. Antecedentes	126
2. Curvas de Variación de Costos	128
3. Discusión de los gráficos 1 y 2	128
3.1. Gráfico 1	129
3.2. Gráfico 2	130
<u>CONCLUSIONES</u>	132
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	135

PROLOGO

El presente trabajo ha sido elaborado por la necesidad de relevar la importancia que guarda la elaboración de especificaciones técnicas, respecto al requerimiento de cumplir con determinado nivel de calidad de los R.S.A.P.

Por motivos de presentación didáctica el tema ha sido desarrollado bajo la siguiente estructura capitular:

En el Capítulo 2, se han desarrollado los fundamentos técnicos de los diversos ensayos no destructivos, tales como: Inspección Visual, Radiología Industrial, Ultrasonidos, Partículas Magnéticas, Líquidos Penetrantes y muy ligeramente el de Corrientes Inducidas.

El Capítulo 3, tiene como alcance los fundamentos teóricos del diseño de R.S.A.P., iniciándose con el aspecto de materiales más empleados hasta la descripción de los tipos de cierre utilizados.

En el Capítulo 4, se trata del aspecto de especificaciones técnicas (Programas de Fabricación/Inspección), el que a opinión del suscrito es el de mayor importancia como para complementar el objetivo del trabajo integral.

Se describe en forma general las partes de un Programa Fabricación/Inspección aplicado a R.S.A.P.

En función a lo explicado en los Capítulos 2, 3 y 4, el Capítulo 5 ataca un caso típico en el que se ha desarrollado el cálculo del cuerpo del recipiente, la selección de elementos de unión e integralmente se muestra el Programa Fabricación/Inspección aplicable al caso típico referenciado. Como aspecto importante se han explicado los criterios en base a los cuales debe ser desarrollado un Programa de Fabricación/Inspección.

Como complemento del presente trabajo se ha considerado importante adicionar la evaluación económica; en este aspecto, se han presentado los criterios necesarios para establecer un equilibrio entre los costos de inspección versus los costos de riesgo de falla para determinadas series de recipientes. Finalmente se describen las Conclusiones a que se han arribado en el presente estudio, además de la Bibliografía utilizada y recomendada para los interesados en ampliar conocimientos en el tema de estudio.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

El objeto de la presente contribución es considerar que cada día crece en el mercado industrial moderno, tecnificado y competitivo, la necesidad de métodos más severos, rápidos y confiables para el ensayo de materiales. Los requerimientos de mayor cantidad y calidad de producción, planteados por el incesante avance tecnológico, han polarizado abiertamente la preferencia industrial de los países más desarrollados hacia las técnicas de ensayos no destructivos (E. N. D.).

Ante esta creciente necesidad de la utilización de los E. N. D., también aparece la obligación de la elaboración de especificaciones técnicas con el fin de crear un programa que pueda cumplir con los requerimientos de un determinado nivel de calidad. Asimismo, la aplicación del programa es la mejor forma de asegurarse que el producto dará satisfacciones durante su uso.

Una vez creado el programa, el diseñador podrá lograr que la serie de parámetros y/o condiciones por él asumidos, sean cumplidos durante el proceso de fabricación y

montaje, de tal forma que las empresas dueñas del proyecto también puedan asegurarse que todos sus conducidos cumplan con los alcances del mismo establecidos en los respectivos acuerdos en el contrato.

A través del programa creado, si bien es cierto que se establecen las exigencias de fabricación al contratista, también él se siente seguro de su fabricación porque dicho programa ha sido aprobado por personas que conocen y son especialistas en el tema.

Siendo el principal objetivo del presente trabajo relevar la importancia del uso de los E. N. D., es lógico que desde el inicio nosotros resaltemos las características ventajosas de los mismos.

1. Los E. N. D., son realizados directamente sobre la pieza que deberá prestar servicio.
2. Los E. N. D., pueden aplicarse sobre el total, o parte de la producción e incluso sobre toda la pieza.
3. Los E. N. D., también se realizan sobre las zonas críticas del producto fabricado y montado.
4. Los E. N. D., a menudo son aplicados a piezas integrantes de un conjunto, sin necesidad de desmontarlas del mismo, en forma repetida, posibilitando determinar claramente la correlación de las fallas durante el servicio.

Debemos tener en cuenta que los diversos E. N. D. presentan limitaciones en su aplicación ya sea por el tipo

de material, por la geometría de la pieza o por la sensibilidad de detección. Entonces en la elección del E. N. D. debemos tener muy en cuenta todos estos detalles para que al final tengamos una correcta interpretación de los resultados.

En resumen, el éxito de la aplicación de un E. N. D. en un problema de inspección está supeditado al cumplimiento de los siguientes requisitos:

- I). Que el ensayo permita desarrollar correctamente las etapas básicas de la inspección, de manera que la misma pueda realizarse al ritmo de la producción y que los resultados no sean afectados por el juicio subjetivo y cansancio del operador.
- II). Que teniendo en cuenta los factores económicos, el ensayo sea programado bajo el criterio de rendimiento y de beneficios económicos máximos.

En lo referente a costos, podemos considerar que implementar el programa y hacerlo funcionar representa un monto de dinero a disponer por parte de la empresa, pero debe considerárselo una inversión y no un gasto. Si tenemos en cuenta que el objetivo principal es eliminar la causa de defecto, antes de que aparezca, con la finalidad que la posibilidad de fallas se reduzca a un mínimo razonable, de antemano se estaría justificando el costo de la inversión en la aplicación del programa, y a medida que se comprenda la utilización del mismo como una herramienta

tecnológica que garantiza el cumplimiento de los parámetros de diseño, tanto en la fabricación como en el montaje, entonces se tendrá una apreciación real de tiempo y costos ahorrados.

C A P I T U L O

FUNDAMENTOS TEORICOS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (E. N. D.)

2.1. Breve discusión de los objetivos buscados con la aplicación de los E. N. D. a la fabricación y/o montaje de recipientes a presión interna (R. P. I.)

El objetivo de la aplicación de los E. N. D. es la detección de discontinuidades, sean éstas superficiales o internas, cuantificándolas en dimensiones y cantidad para que así -por comparación con el código y/o norma aplicable- se determine su aceptación o rechazo.

Con la finalidad de conocer la gama de discontinuidades que pueden presentarse en la fabricación R. P. I. soldados, se relacionarán a continuación el listado de éstas:

a. Discontinuidades Superficiales:

1. Exceso de penetración.
2. Faltas de penetración.
3. Faltas de relleno.

4. Mordeduras
5. Salpicaduras
6. Faltas de continuidad

b. Discontinuidades Internas:

1. Grietas
2. Faltas de penetración
3. Falta de fusión
4. Inclusiones
5. Porosidades

Se dará una breve definición de cada una de las discontinuidades listadas:

- a.1. Exceso de penetración, cuando el metal fundido rebasa la raíz de la junta y provoca rebabas de metal.
- a.2. Faltas de penetración, son zonas de la raíz de la soldadura en que no ha penetrado el metal fundido.
- a.3. Faltas de relleno, ocurre cuando el metal aportado no es suficiente para rellenar **por completo** el ángulo de las piezas a soldar.
- a.4. Salpicaduras, son imperfecciones consistentes en pequeñas esferas de metal fundido depositadas sobre el cordón o zonas adyacentes, no tienen importancia en la calidad de la soldadura, pero tienen significado en el aspecto de acabado superficial.
- a.5. Falta de continuidad, se origina al interrumpir el soldador el cordón y no empalmar bien la reanudación del trabajo.

- b.1. Grietas, son discontinuidades de morfología bidimensional o laminar que aunque generalmente afloran a la superficie, se requiere la aplicación de los E. N. D. para su detección y cuantificación.
- b.2. Faltas de penetración, igual que en el caso anterior, son zonas de la raíz de la soldadura en que no ha penetrado el metal fundido, con la diferencia que debido a la forma de preparación de la junta de K o X, no es detectable visualmente porque es una discontinuidad interna.
- b.3. Faltas de fusión, se origina debido a que la temperatura del metal de aporte no es suficiente para fundir el metal base o el de un cordón anterior ya soldado, con lo que queda una zona más o menos extensa sin soldar.
- b.4. Inclusiones, son las impurezas producidas por materiales extraños sólidos atrapados en la masa del metal durante el proceso de fusión.
- b.5. Porosidades, son inclusiones gaseosas que tienen diversidad de orígenes, pero fundamentalmente es posible que tomando precauciones durante el soldeo, se minimize la presencia de ésta discontinuidad.

Una vez descrito y definido las posibles discontinuidades, es necesario mencionar cuáles son las técnicas de detección empleadas en la industria; entonces estamos hablando de los E. N. D., a continuación se relacionan los E. N. D. normalmente utilizados en la fabricación de los

R. P. I.:

- Inspección Visual
- Radiología Industrial
- Ultrasonidos
- Partículas Magnéticas
- Líquidos Penetrantes

Entre los métodos menos usuales se tienen fundamentalmente por su importancia el de corrientes inducidas.

Es importante resaltar que cada una de las técnicas de los E. N. D. tienen determinado alcance y aplicación, en la detección de discontinuidades, presentes en todo proceso de soldadura. La fabricación actual de las partes principales de los R. P. I., se hace a base de procesos de conformado en frío o en caliente para el cuerpo principal (SHELL), lo referente a accesorios y/o colocación de válvulas de seguridad se efectúan en base al uso en el R. P. I. de bridas forjadas, pero en todo el proceso de fabricación se emplea la soldadura; por lo que se hace tan necesario el conocimiento de los E. N. D. dado que es el único medio para la detección cuantitativa de las discontinuidades presentes o inherentes al proceso de soldadura.

Con la finalidad de comprobar el uso de los procesos de soldadura, en la Figura 1, se indican las partes en las que se requieren determinados procesos de soldadura; por ejemplo en la fabricación de un reactor empleado en las industrias de proceso.

2.2. Inspección Visual

Por motivos expuestos en el apartado anterior donde se relacionó la inspección visual (I.V.) como un E. N. D., es que se darán algunos criterios para la ejecución:

La inspección visual debe ser llevada a cabo por inspectores que cuenten con experiencia y que, además, cuenten con formación teórica en lo referente a códigos y/o normas aplicables a los R. P. I.

La finalidad de la I. V., es la de efectuar una evaluación de los acabados superficiales, en aquellas partes donde los códigos y/o normas aplicables, definan criterios de aceptación y/o rechazo. Se deben tipificar los defectos con el empleo de instrumentos adecuados (galgas, micrómetros, vernier, etc.) para poder compararlos con los indicados por el documento aplicable (medidas aceptables de tolerancias).

En lo que respecta a las discontinuidades superficiales, indicadas en el punto "a" del apartado 2.1., éstas deberían ser detectadas en la inspección visual para que luego de su evaluación se determine las reparaciones que deben ser efectuadas.

2.3. Radiología Industrial

Actualmente, en el ámbito industrial se emplean ampliamente las técnicas radiográficas convencionales, éstas son: La radiografía con rayos X y la radiografía con rayos Gamma. Las únicas diferencias existentes están en la fuen-

te productora de la radiación, que en el caso de los rayos X es electrónica y en el de los rayos gamma es isotópica, y también en la longitud de onda.

En efecto, las radiaciones X están comprendidas entre 5 y 0,01 Angstroms de longitud de onda y se generan en la estructura extranuclear del átomo; las radiaciones gamma, en cambio, tienen longitudes entre 0,01 y 0,05 A y son emitidas por el núcleo atómico en estado de excitación.

El método de inspección radiográfica utiliza la energía radiante, que luego de emitida por la fuente, incide sobre el material en ensayo, lo atraviesa y emerge disminuida en intensidad portando información. La presencia de vacíos o fallas en el objeto ensayado provocan una absorción diferencial de la intensidad del haz que lo atraviesa, lo que se pone de manifiesto en una placa radiográfica o se observa directamente en pantallas fluoroscópicas.

2.3.1. Factores Geométricos

Para la obtención de una radiografía es necesario disponer de tres factores:

- Fuente de radiación.
- Objeto radiografiar.
- Material sensible.

Las fuentes de radiación más utilizadas son equipos de rayos X o algún radioisótopo. La energía de la radiación X es función de la tensión aceleradora que determina la velocidad con que chocan sobre el anticáto-

do los electrones en el tubo generador. En cambio, la energía gamma depende exclusivamente del tipo de isótopo utilizado.

El material sensible más utilizado para la detección o registro de la radiación emergente es la placa radiográfica. Comercialmente se encuentran distintos film radiográficos, la selección depende del tipo y energía de la radiación, espesor y tipo de material a ensayar y la calidad de imagen requerida.

Una muy importante característica de esta técnica es la precaución personal que debe tomarse para no recibir radiación, directa o secundaria, debido a sus efectos perniciosos sobre la materia viviente.

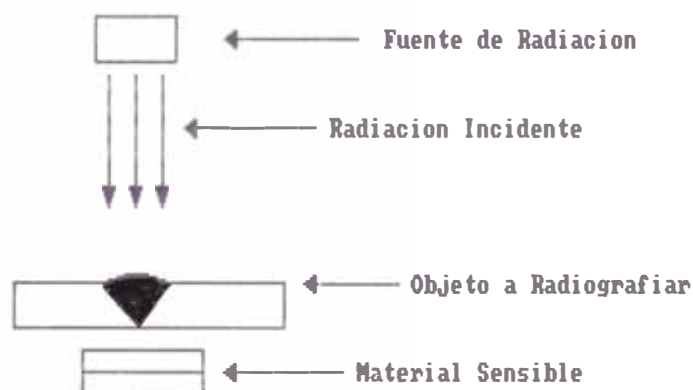


FIGURA 2

En la Figura 2, se ilustra el orden de colocación

de los tres factores, con el objeto de lograr una radiografía que muestre la presencia de posible discontinuidades en la unión soldada. La esquematización de la fuente de radiación se ha simplificado con fines de mayor entendimiento.

En el caso de los rayos gamma, la fuente de radiación es una porción de materia que contiene una cierta proporción de átomos de un núcleo capaz de emitir radiación gamma.

Entre los elementos más comunes utilizables en gammografía de metales férreos se tienen los indicados en el Cuadro Nº 1 (Ref. Bibl. 2).

Al respecto de las fuentes isotópicas definiremos algunos conceptos importantes:

- Actividad, es la cantidad de radiación que puede proporcionar en un cierto instante la fuente. En realidad, la actividad representa la velocidad de desintegración de la fuente en ese momento. La unidad con que se mide la actividad recibe el nombre de Curio (a) y representa, aproximadamente, la que tiene 1 gramo de radio.
- Media vida o periodo de semidesintegración, es evidente que medida que se van desintegrando átomos, quedan menos por desintegrar, aumentando el número de los estables. Teniendo en cuenta que la actividad representa la velocidad de desintegración en un instante dado, esta velocidad será proporcional al número presente de átomos inestables, potencialmente radian-

ALGUNOS ELEMENTOS UTILIZABLES EN GAMMOGRAFIA				
ELEMENTO	SIMBOLO	PERIODO	ENERGIA DE LOS COMPONENTES EN MOVIMIENTO	UTILIZACION
RADIO	Ra	1620 años	1.10 1.21 1.29 1.39 1.52 1.62 1.69 1.75 1.82 2.09 2.20 2.42	Metales Fe- rreos 30 a 150 mm
RADON	Rn	3.8 dias	Idem	Idem
COBALTO	⁶⁰ ₂₇ Co	5.3 años	1.17 1.33	Idem
TANTALO	¹⁸² ₇₃ Ta	111 dias	0.006 a 1.23	Idem
CESIO	¹³⁷ ₅₅ Cs	26.6 años	0.66	De 20 a 90 mm
IRIDIO	¹⁹² ₇₇ Ir	72 dias	0.296 0.308 0.316 0.468 0.484 0.604 0.613	Metales Fe- rreos 20 a 80 mm Aleaciones ligeras mayor a 30 mm
TULIO	¹⁷⁰ ₆₉ Tu	127 dias	0.084	Metales Fe- rreos 1 a 20 mm Aleaciones ligeras 10 a 40 mm.

CUADRO N° 1

tes.

La actividad decrece con el tiempo sin llegar a anularse. En cierto momento, $\Delta_o = 2A$. El intervalo de tiempo necesario para que esto ocurra se conoce como período de semidesintegración ($t_{1/2}$) o media vida.

2.3.2. Proceso Técnico

El proceso técnico para la obtención de placas radiográficas, que muestran las posibles discontinuidades presentes en una unión soldada de un R. P. I., pueden resumirse en:

- a. Estudio de la conformación geométrica de la zona a radiografiar, consiste en evaluar la posible colocación de la fuente de radiación.
- b. Verificación del tipo de material y espesor, en aquellos casos en que no este especificado el tipo de placa radiográfica, se seleccionará la adecuada en función a las características del material y las discontinuidades posibles.
- c. Evaluación del tiempo de exposición, una vez verificado los puntos a y b, se debe calcular el tiempo de exposición para una densidad radiográfica dada.
- d. Toma de placa, una vez realizado todos los pasos anteriores se efectúa la toma de placa, teniendo especial cuidado con el manipuleo de la misma, de tal

forma que no se exponga a la luz natural.

- e. Procesado de la placa, según las posibilidades, tan pronto se efectúe la exposición, debe efectuarse el procesado de las placas con el uso de soluciones y/o reactivos recomendados por el fabricante de las mismas.
- f. Calificación de placas, debe ser efectuada por una persona calificada para este trabajo. Los criterios de aceptación y/o rechazo son definidas por las especificaciones técnicas aplicables.

Por ejemplo, se tiene:

- Recipientes a presión de uso convencional, se aplica la sección VIII, División 1 del Código A.S.M.E.
- Recipientes a presión de uso en el área nuclear, se aplica la sección III del Código A.S.M.E.
- Calificación de soldadores, se aplica la sección IX del Código A.S.M.E.
- Construcciones Estructurales, se aplica las recomendaciones de A.W.S. (American Welding Society), etc.

2.3.3. Discontinuidades Detectables

Mediante el empleo de los E. N. D. pueden ser detectados toda la gama de discontinuidades señalados en el apartado 1.1., debe señalarse que es de gran incidencia el tipo de placa (tamaño de grano) para una mejor

sensibilidad en las placas tomadas.

2.3.4. Presentación de Resultados

Los resultados de la técnica en estudio son presentados mediante:

- La placa radiográfica, debidamente identificada en forma permanente, de acuerdo al código y/o norma aplicable.
- El informe de resultados donde se indique muy claramente el tipo de grado de discontinuidades presentes en la zona radiografiada, y fundamentalmente si la placa es aceptada o rechazada. Debe indicarse el responsable de la toma y el de la evaluación de la placa, así como los parámetros asumidos.

2.3.5. Interpretación de Resultados

Las placas radiográficas deben cumplir todos los requerimientos técnicos del código y/o norma aplicable, en lo que respecta:

- Sensibilidad.
- Contraste.
- Definición.
- Densidad.
- Identificación Placa.
- Procesado.

Recién, después de haber comprobado lo anterior se procederá a la interpretación de las indicaciones de la

placa, por parte del propietario (o la inspección en su representación) del R.F.I.

Además de todo lo indicado, se debe dejar marcada la parte radiografiada en el R.F.I. para efectuar una inspección visual si fuera necesario.

2.3.6. Alcances Limitaciones

El método radiográfico es ampliamente utilizado para resolver problemas de inspección de fundiciones, soldaduras y montajes blindados.

En buenas condiciones de ensayo se pueden detectar discontinuidades que presenten en la dirección del eje de la radiación una dimensión mínima de 0,5 al 2% del espesor del objeto.

2.4. Ultrasonidos

2.4.1. Generalidades

Es un método de ensayo apto para el control de, prácticamente, todos los materiales sólidos, metálicos o no metálicos.

Esta técnica se basa en la propiedad de transmisión de ondas sónicas de alta frecuencia a través de la mayoría de los sólidos. La habilidad para soportar esta vibración mecánica varía ampliamente para diferentes materiales, dependiendo de sus propiedades físicas.

Todo ensayo ultrasónico implica la introducción de energía vibratoria en el objeto a controlar, y la obser-

vación de algún efecto sobre la misma provocado por las características del material a través del cual se propaga en forma de onda mecánica. Generalmente, la energía utilizada se genera en transductores de funcionamiento basado en el efecto piezo-eléctrico, estimulados en su vibración por circuitos electrónicos apropiados. El acoplamiento mecánico entre el transductor y la pieza ensayada debe realizarse mediante agua, aceite, grasa u otro medio similar, para lograr una mejor adaptación de impedancias que la presentada por el aire y favorecer la propagación de la energía al interior del material.

Las frecuencias con que se trabaja normalmente están comprendidas entre 100 Kc/s y 100 Mc/s. Los valores más bajos son utilizados para la detección de fallas y los superiores para el estudio de estructuras y tamaño de grano; y dentro de estos rangos, la selección de frecuencia se efectúa según el tipo de material a ensayar.

2.4.2. Características del Ensayo

Existen cinco típicas inspecciones ultrasónicas clasificadas según la manera cómo se recoge la energía portadora de información:

- 1.- Ensayo por eco
- 2.- Ensayo por transparencia
- 3.- Ensayo por resonancia
- 4.- Ensayo por modulación de frecuencia
- 5.- Ensayo por imágenes acústicas

Las cuatro primeras inspecciones pueden desarrollarse con cualquiera de las dos técnicas, por inmersión o por contacto, cuyas características se comentan a continuación, anticipándose que, en ambos casos, el material debe ser limpiado previamente al ensayo. La última sólo puede aplicarse por inmersión.

I). Técnica por inmersión

El material debe colocarse en un recipiente que contenga el líquido de acoplamiento.

El (o los) transductor es sumergido y ubicado con mucha precisión respecto del material.

Ventajas:

- a). La energía puede ser enfocada dentro de la pieza, lo que permite incrementar la resolución.
- b). La flexibilidad del acoplamiento facilita la inspección de piezas de geometría compleja.

Desventajas:

- a). Requiere sumergir el material.
- b). Es necesaria una muy precisa ubicación de los transductores y de las piezas ensayadas.
- c). El tamaño de las piezas ensayadas está limitado por el recipiente.

II). Técnica por contacto

Ventajas:

- a). Se reducen los requerimientos de precisión

en la ubicación relativa del sistema transductor-material.

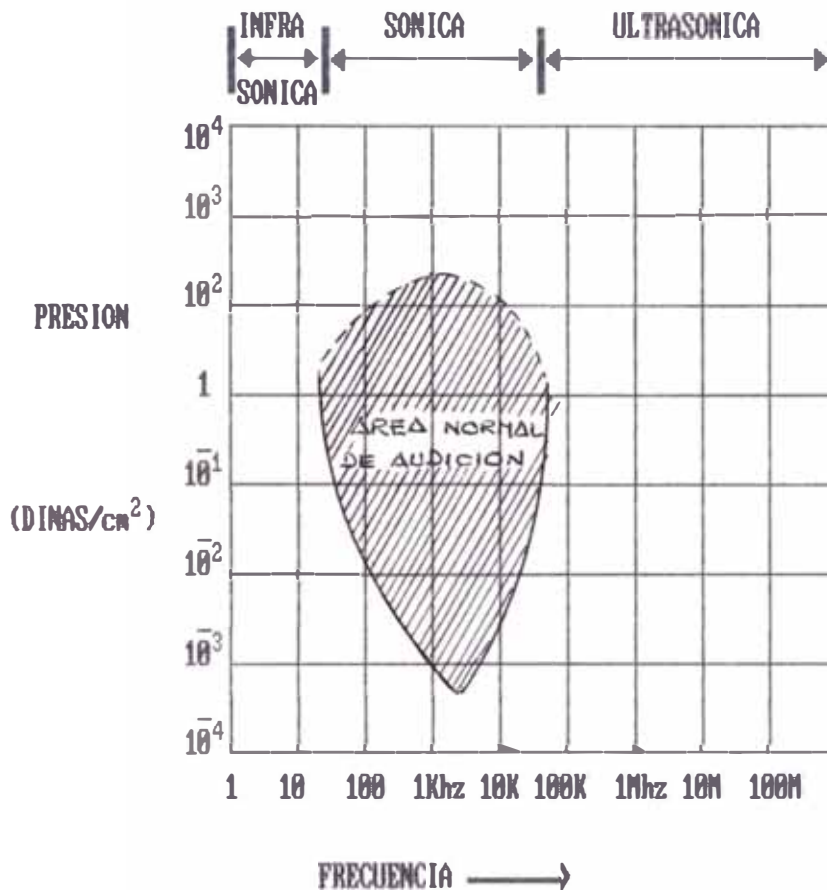


FIGURA 3

- b). Pueden ensayarse piezas de, **practicamente,** cualquier tamaño (en acero: hasta 10 m. por eco, ó 20 m. por transmisión).

Desventajas:

- a). Es necesaria una buena preparación superficial.
- b). La energía no siempre puede ser confiablemente enfocada sobre una área determinada a los efectos de aumentar la resolución.

2.4.3. Aspectos Fundamentales

Como aspecto preliminar se define en la Figura 4, el espectro de la zona audible y la zona de ultrasonidos (Ref. Bibl. 2).

La zona de los ultrasonidos es aquella en que la frecuencia es mayor que 20 KHz y se extiende hasta los 25 MHz.

En el caso de los materiales metálicos las frecuencias utilizables varían entre 0.2 MHz y 25 MHz.

Existen diversos tipos de ondas empleadas en la inspección de materiales, estas son:

- Onda longitudinal
- Onda transversal
- Onda de superficie
- Onda de Lamb

Para la impresión de los materiales debe tomarse en cuenta la velocidad de propagación en los diversos materiales.

En el cuadro Nº 2, se dan los datos necesarios para la inspección de diversos materiales. La impedancia acústica es la relación entre la presión acústica y la velocidad máxima de vibración, es también la resistencia que se opone a la vibración de la onda. Si un medio posee una impedancia baja, sus elementos de masa vibrarán a gran velocidad. Si por el contrario la impedancia es elevada, sus elementos de masa vibrarán lentamente, aunque la presión acústica sea elevada, ya que el medio

DENSIDADES, VELOCIDADES E IMPEDANCIAS ACUSTICAS EN MATERIALES METALICOS				
MATERIAL	DENSIDAD EN 10³ Kg/m³	VELOCIDADES ACUSTICAS EN 10³ m/seg.		IMPEDANCIA ACUSTICA EN 10⁶ Kg/m² seg.
		Longitudi- nal C_l	Transver- sal C_t	
Aceros (Baja Aleacion)	7.85	5.82	3.19	45.7
Acero Inoxidable Austeni- co 18-8	8.03	5.66	3.12	45.5
Acero Inoxidable Martensi- tico 13 Cr	7.67	7.39	2.99	56.7
Aluminio	2.71	6.32	3.08	17.1
Antimonio	6.69	4.15	-	28
Berilio	1.82	12.8	8.71	23.3
Bismuto	9.8	2.18	1.10	21
Bronce	7.4-8.9	4.40-4.98	2.34	32.5-44.5
Cinc	7.1	4.17	2.41	30
Cobre	8.9	4.70	2.26	42
Hierro	7.7	5.85	3.23	45
Magnesio	1.74	5.77	3.05	10.1
Molibdeno	10.09	6.29	3.35	63.5
Plata	10.5	3.60	1.59	38
Volfranio	19.3	9.46	2.62	105

CUADRO N° 2

ofrece gran resistencia a las deformaciones elásticas.

2.4.4. Proceso Técnico

La inspección por ultrasonido está basada en las leyes de la reflexión y de la refracción.

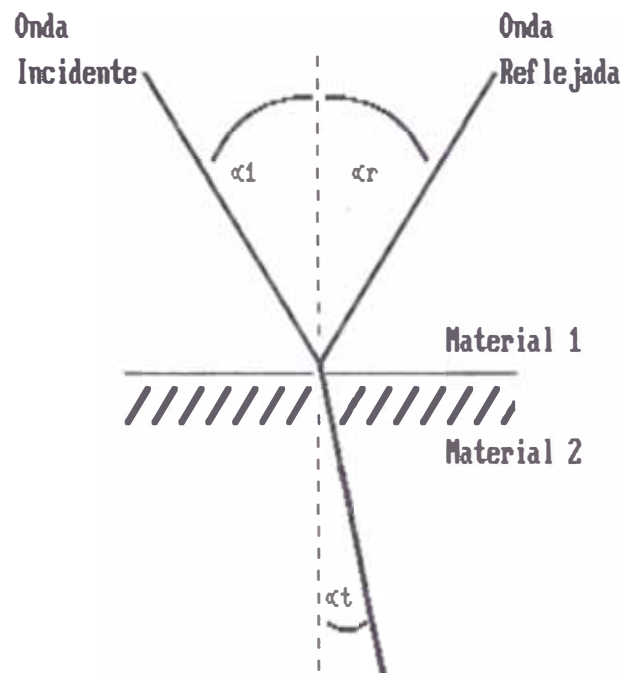


FIGURA 4

Existe una serie de palpadores empleados en la inspección por ultrasonidos, se tiene:

- Palpadores normales
- Palpadores angulares
- Palpadores bifocales
- Palpadores especiales

Cada uno de los palpadores son usados en inspecciones específicas, por ejemplo:

a. Palpadores normales, se usan para detección de defec-

- tos de laminaciones, medición de espesores y cualquier discontinuidad de preferencia transversal al haz de inspección.
- b. Palpadores angulares, para la inspección de uniones soldadas y otros materiales, con las facilidades de detectar profundidad y ubicación de discontinuidades.
- c. Palpadores bifocales, para detectar defectos y/o discontinuidades con mucha mayor precisión y exactitud, por ejemplo empleando la técnica de lupa de profundidad, y otras aplicaciones.
- d. Palpadores especiales, se utilizan para usos especiales de acuerdo a la inspección.

La técnica a emplearse viene desarrollada completamente en los códigos y/o normas aplicables a la inspección, por ejemplo en el caso del código A.S.M.E., la

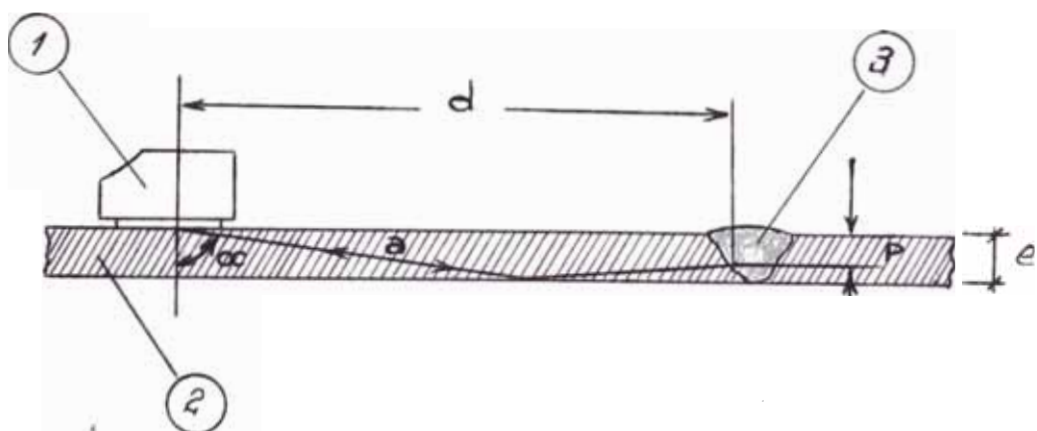


FIGURA 5

técnica es desarrollada en la Sección V. La relación de la frecuencia de los palpadores está en función del tamaño de granos del material a inspeccionar, en el caso de palpadores angulares, el ángulo debe ser seleccionado en función, además, del espesor del material inspeccionado.

A manera de dar una introducción en la inspección por ultrasonidos, en la Figura 5, se indica, en forma esquemática, la forma de detección de discontinuidades.

Por ejemplo, en la Figura 5, se tiene:

- Palpador usado: Angular con ángulo de refracción " α ".
- Material: Con espesor "e", entonces se tendría:
 - Distancia al punto de salida del eje del haz:

$$d = a \operatorname{sen} \alpha$$
 - Profundidad de la discontinuidad:

$$p = 2e - a \operatorname{cos} \alpha$$
 - Mediante el empleo de ábacos y otras reglas prácticas, se facilita el cálculo de p y d.
- Cordón de soldadura a inspeccionar.

2.4.5. Discontinuidades Detectables

Mediante la inspección por ultrasonidos puede detectarse cualquier tipo de discontinuidades internas, al igual que la inspección radiográfica. Si se efectúa una comparación entre la radiografía y los ultrasonidos se debe incidir en los siguientes aspectos:

- Rapidez de obtención de resultados

- Coste económico de la inspección
- Obtención de registros de la inspección
- Necesidad de cualificación del personal

Dos de los aspectos más importantes que deben ser resaltados son:

- En la inspección por ultrasonidos (I.U.) no se obtienen registros permanentes con los resultados encontrados.
- Que es requerida una amplia experiencia y cualificación, para efectuar una adecuada interpretación de los ecos presentados en el tubo de rayos catódicos.

En producciones en serie, por ejemplo: Fabricación de tuberías, productos siderúrgicos u otros, pueden ser implementados sistemas totalmente automáticos para la detección de discontinuidades internas.

2.5. Partículas Magnéticas

Las bases de este método de inspección fueron desarrollados por A. V. de Forest, que estableció las bases del método y que, además, introdujo la notable innovación de la magnetización por paro de corriente que se conoce como magnetización circular. De Forest comprobó que, para detectar grietas orientadas según una dirección dada, no se podía dejar al azar la orientación de las líneas de fuerza del campo magnético, sino que los resultados ópti-

mos se obtenían cuando el plano de la grieta resultaba perpendicular a las líneas del campo. Por tanto, se necesitaba un método que permitiese variar a voluntad la dirección de magnetización. La idea de Forest de hacer pasar corrientes de elevada intensidad a través de la pieza es, actualmente, de aplicación universal. Así mismo, propugnó la utilización de polvos magnéticos de tamaño, forma y propiedades perfectamente controlados, con el fin de poder garantizar la reproducción y seguridad de los resultados.

2.5.1. Fundamentos Técnicos

Es la técnica más difundida de los métodos magnéticos que se emplean en los E. N. D. de materiales ferrosos en general. Las piezas ensayadas son sumergidas en campos magnéticos generados, generalmente, por corrientes eléctricas de alta intensidad. La existencia de fallas o discontinuidades en el material equivalen a entre hierros determinan, en su inmediata proximidad distorsiones en la trayectoria de las líneas de fuerza, si sobre la superficie de las piezas se aplican partículas magnetizables, quedan retenidas por el campo magnético disperso, formando una indicación visible de la ubicación y extensión de la falla.

a. Campo Magnético

En forma simplificada, en la Figura 6, se muestra el fundamento de las indicaciones señaladas por este método.

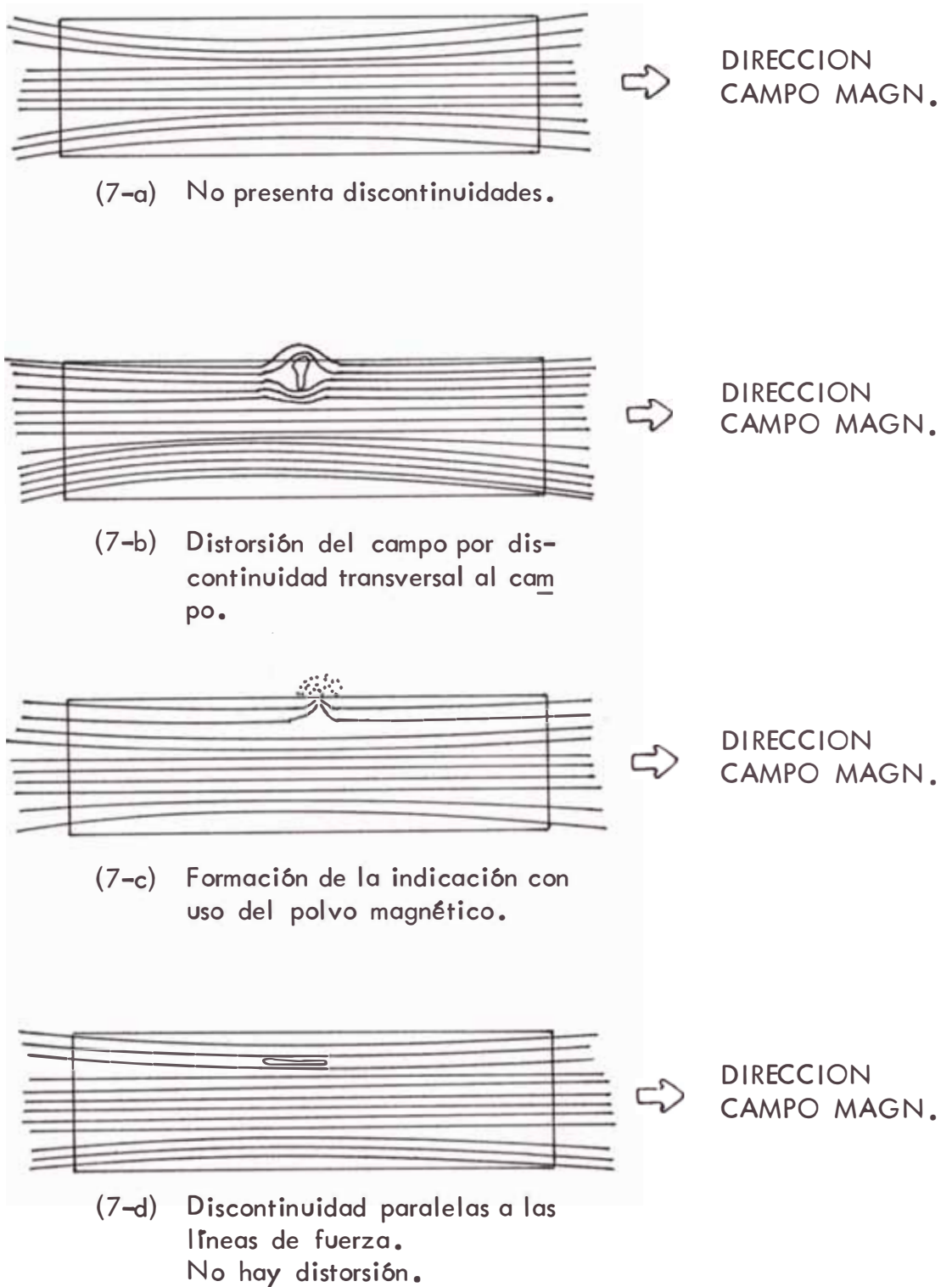


FIGURA N° 6

La magnitud del campo magnético disperso depende de:

- i). Intensidad de magnetización
- ii). Permeabilidad del material
- iii). Forma de la pieza ensayada
- iv). Forma, tamaño, orientación y localización del defecto.

La magnetización de la pieza se logra con el empleo de imanes o por corriente eléctrica. Es más idóneo emplear la magnetización por corriente eléctrica, al respecto existen dos formas de producir campos magnéticos:

- Paso de corriente a través de la pieza (magnetización de la pieza).
- Introducción de la pieza en el núcleo de una bobina o selenoide por el que circula la corriente (magnetización longitudinal).

Dado que las indicaciones de máximo tamaño corresponden a las fallas perpendiculares a la dirección de las líneas de fuerza, existen dos configuraciones típicas de campo magnético que se aplican según sean los requerimientos del caso:

- **Campo Magnético Transversal:** Para detección de fisuras longitudinales, respecto al eje de la pieza es conveniente utilizar campos magnéticos transversales que pueden lograrse, haciendo cir-

cular corriente eléctrica por la pieza ensayada. Este recurso se denomina "magnetización circular".

- **Campo Magnético Longitudinal:** La detección de fisuras transversales, respecto al eje de la pieza, se realiza con campos magnéticos longitudinales que se generan con un selenoide recorrido por corriente y que utilice la pieza ensayada como núcleo. Este método se le conoce como "magnetización longitudinal".

b. Partículas Magnéticas

Este método exige un conocimiento de las diversas características de las partículas magnéticas, tales como: Tamaño, forma, densidad movilidad y color entre los diversos tipos, debido a que la reproducibilidad del ensayo depende de la uniformidad de las partículas empleadas.

Normalmente hay dos sub-métodos para el empleo de las partículas:

- Por vía seca (forma de polvo o limaduras).
- Por vía húmeda.

Evidentemente, en ambos casos, se trata de partículas muy pequeñas, de alta permeabilidad y baja retentividad magnética.

En el primer caso (la vía seca), se puede lograr una mayor sensibilidad disminuyendo el tamaño de las partículas magnéticas (P. M.), por lo tanto aún en la

pieza de acabado fino se logra la adherencia de los P. M. a la zona de discontinuidades.

En el segundo caso (por vía húmeda), es cuando las partículas son empleadas en suspensión en un medio líquido como el kerosene o agua, lo que permite emplear tamaños mucho más finos. El límite superior de tamaño, para este sub-método, es de 40 a 60 micras, porque mayores tamaños no pueden ser mantenidos en suspensión; con respecto al tamaño no hay límite inferior de tamaño.

2.5.2. Discontinuidades Detectables

Con este método pueden ser detectadas la gama de discontinuidades, tales como:

- Grietas
- Pliegues de foya
- Grietas de temple
- Grietas de rectificado
- Agrietamientos de superficie de fricción
- Grietas de dilatación
- Grietas de fatiga
- Grietas de corrosión
- Vetas
- Macro inclusiones no metálicas

2.5.3. Presentación de Resultados

El registro de las indicaciones o resultados por

P. M. puede ser efectuado via fotografías o de lo contrario, empleando lacas transparentes que protejan la indicación contra roces o deterioros o pasando la indicación a un papel adhesivo transparente.

- Los mejores resultados con estos ensayos se obtienen realizando las siguientes operaciones:

- a. Limpiar correctamente la superficie de la pieza ensayar.
- b. Establecer un campo magnético adecuado a las necesidades del caso.
- c. La aplicación de las partículas magnetizables sea integral y uniforme sobre toda la pieza.
- d. Examinar la superficie ensayada para localizar las acumulaciones de partículas sobre las discontinuidades detectadas y eventualmente su correcta evaluación en cuanto a naturaleza, localización, extensión e importancia para el funcionamiento normal de la pieza.

Al efecto de obtener las interpretaciones es conveniente no olvidar que las mejores indicaciones se obtienen cuando la discontinuidad es transversal las líneas de fuerzas del campo magnético; por lo que es conveniente la variación de la dirección del campo, para así lograr una evaluación adecuada de la pieza en estudio.

2.5.4. Alcance Limitaciones

PARTICULAS MAGNETICAS

LIMITACIONES

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ Detecta las discontinuidades superficiales y bajo ciertas condiciones, las ligeramente superficiales. | <ul style="list-style-type: none"> ■ El tamaño de las fallas que pueden ser detectadas depende de la magnitud del flujo disperso. |
| <ul style="list-style-type: none"> ■ Se pueden detectar fallas con sensibilidad uniforme en toda la pieza si la intensidad del campo magnético es la misma en cada elemento de área de superficie. | <ul style="list-style-type: none"> ■ Existen una serie de variables que pueden provocar una acumulación de partículas en determinadas zonas de las piezas que no corresponden a discontinuidades metálicas; tal es el caso de variaciones bruscas de la permeabilidad. |
| | <ul style="list-style-type: none"> ■ Los materiales paramagnéticos y diamagnéticos no son controlables con esta técnica. |

2.6. Líquidos Penetrantes

2.6.1. Fundamento Técnico

Es la técnica más antigua de los Ensayos no Destructivos, caracterizándose por ser relativamente rápida, poco costosa y de fácil aplicación.

Por este método son detectables discontinuidades que afloran a la superficie en sólidos no porosos, el fundamento es: Al emplear un líquido sobre la superficie en estudio penetra por capilaridad en las discontinuidades o grietas. Posteriormente y una vez **eliminado el** exceso de penetrante de la superficie de la muestra, el líquido contenido en las discontinuidades exuda y puede

ser observado en la superficie.

2.6.2. Proceso Técnico

Para el desarrollo de la técnica deben tomarse las etapas necesarias, las mismas que son:

- Limpieza y preparación previa de la superficie
- Penetración
- Eliminación del exceso de líquido penetrante
- Evaluación de las indicaciones

El tiempo exacto de penetración, sólo puede determinarse experimentando para cada caso en particular. Aunque se anticipa que depende del tipo de falla, temperatura y las condiciones climáticas del medio en que se realiza el ensayo.

El empleo de penetrantes coloreados tiene una serie de ventajas y desventajas como consecuencia de su empleo en la detección de discontinuidades, en el Cuadro N^o 3, se aclara este aspecto.

CUADRO N^o 3

PENETRANTE COLOREADO

VENTAJAS	LIMITACIONES
<ul style="list-style-type: none"> ■ Se emplean equipos portátiles. ■ No es necesario luces especiales para evaluación. ■ Puede emplearse en pie- 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Suele ser inflamable. ■ Las indicaciones son menos visibles que las obtenidas por otro sub-método. ■ Dificil aplicar en piezas

zas en las que no esté permitido el uso de agua para su lavado.

- Puede utilizarse sobre piezas anodizadas.
- Es muy sensible para pequeñas discontinuidades.

rugosas, tales como piezas moldeadas en arena.

- Es un método de ensayo exclusivamente apto para control de fallas superficiales (de dimensiones superiores a 0.02 mm.) en todo tipo de materiales.

2.6.3. Discontinuidades Detectables

Con el empleo de los líquidos penetrantes pueden ser detectadas toda la gama de discontinuidades siempre y cuando afloren a la superficie. Debe tomarse muy en cuenta que cualquier indicación obtenida por este método es consecuencia de una discontinuidad que aflora a la superficie del objeto y señala perfectamente su ubicación.

2.6.4. Interpretación de Resultados

A este efecto el responsable de la ejecución del ensayo debe tomar en cuenta tres aspectos fundamentales:

- El tipo de discontinuidad que ha dado origen a la indicación.
- Dimensiones de la discontinuidad.
- El efecto que tendrá en el correcto comportamiento de la pieza en estudio.

La experiencia del operador y los criterios de aceptación y/o rechazo del ensayo darán como consecuencia aquellas indicaciones que son rechazables y por lo tanto objeto de reparación. El registro de resultado

debe efectuarse con el uso de la fotografía. Cabe finalizar que los defectos detectados, dan sólo una idea aproximada de su profundidad y tamaño.

2.7. Otros Métodos de E. N. D.

Según lo relacionado en la parte 2.1 del presente, se explicará solamente una breve reseña de otros métodos que se emplean en la inspección.

- ENSAYOS CON CORRIENTES INDUCIDAS

Los ensayos no destructivos basados en las corrientes inducidas son métodos electromagnéticos que utilizan los efectos de las corrientes inducidas en cuerpos metálicos, que se hallan sumergidos en campos magnéticos de intensidad variable en el tiempo para medir ciertas características de dichos cuerpos.

Este método se basa en la creación de corrientes circulares inducidas o de FOUCAULT, para esto se debe emplear un campo magnético variable sinusoidal. El empleo de este método es de mayor avanzada que los anteriores debido a que con su conocimiento analítico técnico se tiene elementos de juicio para conocer la caracterización no destructiva de los materiales metálicos, es decir, no sólo la detección de las posibles heterogeneidades presentes, sino también la comprobación de su naturaleza o composición de su estado estructural, así como de otras características metalúrgicas de los mismos, ampliando de esta forma

el campo de aplicación de los métodos de examen no destructivo y contribuyendo, primordialmente, a garantizar la uniformidad de la producción.

- CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO

La inducción de las corrientes inducidas en las piezas ensayadas se realiza generalmente mediante bobinas de excitación recorridas por corrientes alternas. Los cambios dimensionales y estructurales de las piezas (debidos a maquinado, composición química, tratamientos térmicos, penetración de las capas de cementación, etc.), resultan detectables pues alteran la distribución, en magnitud y fase, de las corrientes inducidas.

En efecto, al variar las corrientes (que dependen de la intensidad y frecuencia del flujo magnético concatenado por la pieza, y también de la conductibilidad eléctrica P , la permeabilidad magnética μ_{rel} , la geometría e incluso de las inhomogeneidades y fallas del material) varía el campo magnético, antagónico en cada momento al principal, que ellas generan; y esto se refleja en la bobina de excitación (o en las bobinas auxiliares del sistema) como diferencias de tensión, de corriente o de impedancia, que pueden medirse y suministrar información.

La detección y evaluación (cuantitativa y cualitativa) de las variaciones de cada una de las características del material que afectan a las corrientes

inducidas solamente resulta posible si se dispone de instrumental adecuado. Es decir, que el éxito de estos ensayos depende de la correcta selección del tipo de bobina/s, de la frecuencia y del diseño del instrumental electrónico. Si estos factores no se respetan, la separación de los efectos de las características que desean controlarse, respecto a los debidos a las otras características, puede resultar dificultosa.

La selección de la frecuencia de trabajo depende de la determinación requerida, del material ensayado, de la velocidad de pasaje de las piezas e incluso del criterio adoptado por el fabricante, respecto a la técnica que emplea el equipo para efectuar una cierta función. En general, se trabaja con bajas frecuencias para el control de estructuras, y con altas para la detección de fallas y pequeños defectos superficiales. Esto se debe a que la penetración de las corrientes inducidas en las piezas disminuye al aumentar la frecuencia. La frecuencia de los instrumentos comercialmente disponibles está comprendida, habitualmente, entre 5 c/s y 150 Kc/s. En algunos equipos, la frecuencia es fija, y en otros es variable (en forma continua o escalonada), según la conveniencia del caso.

- ALCANCES Y LIMITACIONES

Acorde a lo ya mencionado, y tal como surgirá al estudiar los ensayos de piezas cilíndricas, los méto-

dos basados en las corrientes inducidas tienen posibilidades de exitosas aplicaciones en el control de factores estructurales (e incluso dimensionales), de piezas metálicas ferrosas y no ferrosas.

Es decir que, en principio, es factible realizar ensayos para:

- a. Comparación de propiedades tales como: Dureza, penetración de capas de cementación, estructuras metalográficas de núcleo y de borde.
- b. Comparación química respecto a una base cualitativa.
- c. Detección de fallas, inclusiones, vacíos, segregaciones.
- d. Medición de: Espesor de recubrimiento, conductibilidad eléctrica, espesores de materiales, etc.

Conjuntamente con el avance de la investigación en la materia de los Ensayos no Destructivos se continúa con el desarrollo de nuevos métodos menos difundidos en el país y que por el momento no son motivo de este capítulo. A manera de resumen de este capítulo, debe mencionarse que se da tan sólo una muy breve introducción de los E. N. D. más empleados en la industria.

Los interesados en estos temas pueden consultar la bibliografía del presente, indicada al final del trabajo.

El objetivo del presente ha sido el de una información básica necesaria para que en los capítulos posteriores se entienda la justificación del empleo en función del

objetivo principal de la presente Tesis Profesional.

2.8. PROCEDIMIENTOS PARA E. N. D.

De acuerdo a lo que la sección V del código ASME considera, que deberá prepararse un procedimiento escrito para el empleo de las técnicas no destructivas.

Debido a que el presente tema debe ser en este aspecto orientador, para que él orientador, para que él o los interesados que deseen ampliar sus conocimientos consulten las referencias bibliográficas y tengan que consultar un personal calificado bajo la norma SNT-TC-IA que tiene el conocimiento y experiencia para elaborar procedimientos de inspección por E.N.D. Por consiguiente a continuación se resaltaré el contenido general que debe abarcar un procedimiento por E.N.D.

Todo procedimiento deberá abarcar las siguientes etapas, aunque depende del interesado modificar alguna de ellas con tal de que no falte ningún parámetro dato técnico para la buena ejecución y obtención de la información (resultados) de lo que se busca.

Etapas para procedimientos E.N.D.

- Objeto
- Alcance
- Documentación aplicable
- Equipo a utilizar
- Desarrollo
- Procesado

- Evaluación
- Ejecución de reporte

OBJETO.- En esta etapa se define específicamente lo que se inspeccionará con el procedimiento referido.

Ejemplo: Inspección radiográfica de tanques de almacenamiento de petróleo diseñados según norma API-621 y construidos según norma API-650.

ALCANCE.- Aquí se define las zonas donde es aplicable el procedimiento referido.

Ejemplo: Cordones horizontales (circunferenciales) y cordones verticales. Además también se define el grado de aplicación, es decir, cada cuántos metros se debe tomar una placa radiográfica.

DOCUMENTACION APLICABLE.- Se define toda la información técnica empleada para la elaboración del procedimiento, fundamentalmente se define las normas aplicables.

Ejemplo: - Para la técnica de ejecución sección V código ASME.

- Para criterio de aceptación sección VII división 3 código ASME.

- Para calificación de personal, norma del ASNT (American Society No destructive Testing) SNT - TC- 1A.

EQUIPO A UTILIZAR.- Debe definirse claramente el tipo y característica del equipo que se va a emplear.

Ejemplo: Debido a que los espesores no exceden a 3/4", entonces debe emplearse como energía de radiación de equipos de rayos x.

Debe definirse además el tipo de placas radiográficas a emplear y los reactivos utilizados, sobre todo los tiempos de procesado y temperatura de cada uno de los baños de procesado. También se toma en cuenta los equipos de seguridad radiológica.

DESARROLLO.- Aquí se definen las características de inspección.

- Ejemplo:
- Forma de ubicación del equipo.
 - Distancias normales a la película.
 - Técnica de radiografiado (simple pared o doble pared).
 - Selección del indicador de calidad de imagen.
 - Fijación del Kilovoltaje, miliamperaje y tiempo de exposición.
 - Identificación de las partes radiografiadas así como la identificación particularizada de cada placa.
 - Unidades en cuanto a seguridad radiológica. Dosímetros de bolsillo, placa dosimétrica, radiómetros.

PROCESADO.- En esta etapa deberá definirse claramente

las diversas etapas para obtener los resultados que servirán para evaluar las indicaciones presentes en la zona inspeccionada.

Ejemplo: Una vez tomada la placa se deberá definir:

- Temperatura de cada uno de los baños.
- Tiempo de permanencia en cada uno de los baños.
- Control de utilización de cada uno de los baños.

Los baños son: Revelados, fijados, humectante y baños intermedios de lavado. En este aspecto se toma en cuenta las unidades en lo referente al ambiente de trabajo.

EVALUACION.- Esta etapa define los requerimientos del evaluador en cuanto a su calificación. Para el caso del ejemplo a seguir, debe ser mínimo el nivel II (según SNT - TC -1A) el que se debe considerar. Además aquí se debe comparar contra los criterios de aceptación para determinar los defectos presentes en la zona inspeccionada.

EJECUCION DE REPORTE.- El procedimiento debe tener como anexo el formato de reporte que servirá para mostrar los resultados de la inspección.

**REGISTRO DE CALIFICACION DE PRUEBA DE SOLDADORES
U OPERADORES DE SOLDADURA DEL FABRICANTE**

Nombre Soldador N. Ficha N. Estampa
 Proceso de Soldadura tipo
 En conformidad con la especificacion de procedimiento de soldadura (EPS)
 Respaldo
 ESP Material a De N. P a N. P
 Rango de espesor Rango de Diametro
 Material de Aporte Especificacion N. N. F
 Otros
 Posicion
 Caracteristicas Electricas Corriente Polaridad
 Progresion de Soldeo

SOLO PARA INFORMACION

Diametro Metal de aporte y nombre Fundente para arco sumergido o
 gas inerte de fabrica
 para soldadura de arco con soldadura
 proteccion gas inerte

RESULTADOS DE PRUEBAS DE DOBLES GUIADO

Tipo y Figura N.	Resultado	Tipo y Figura N.	Resultado
---------------------	-----------	------------------	-----------

.....

Resultados radiografia: Para alternativa de calificacion de soldadores de bisel
 por radiografiado en conformidad con QW-304 y QW-305.

Prueba conducida por Prueba de laboratorio N.
 Por

RESULTADOS DE PRUEBA DE SOLDADURA DE FILETE

Ensayo Rotura
 (Describir la localizacion, naturaleza y tamaño de cualquier
 grieta o desgarro de la probeta)

Long. porcentaje de defectos Pulgadas

Macro ensayo - Fusion

Apariencia y tamaño del filete Pul.x Pul. convexidad o

Conc. pul.

Ensayo conducido por Ensayo laboratorio N.

por

Nosotros certificamos que lo indicado en este registro es correcto y que las
 probetas de soldadura fueron preparadas, soldadas y probadas en conformidad
 con los requerimientos de la seccion IX delCodigo ASME.

Firmado
 Organizacion

Fecha Por

Especificaciones del Procedimiento de soldadura	Fecha	N. de Registro de Calificación del proc.
Revisiones

Proceso de soldadura Tipos

.....

JUNTAS

Diseno Junta

Respaldo

Otros

METAL BASE

N. P.

Rango de Espesor

Otros

METAL DE APORTE

N. F Otros

N. A Otros

Espc. N. SFA SFB AWS N. clase

POSICION

Posicion de Bisel

Progresion soldadura

Otros

Diametro Electrodo

Diametro

Composicion Flux

Tamano Particulas

Composicion del fundente del Electrodo

Inserto Combustible

Otros

PRECALENTAMIENTO

Temperatura precalentamiento

Temperatura Entrepases

Mantenimiento Precalentamiento

Otros

TRATAMIENTO TECNICO POST-SOLDADURA

Temperatura

Rango Tiempo

Otros

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Gas Protector(es)	CARACTERISTICAS ELECTRICAS	
Composicion en porcentaje	Corriente	Polaridad
.....	Ac o Dc	
.....	Amperaje	Voltaje
Velocidad de Consumo	rango	rango
Gas	Velocidad avance	
Gas de Proteccion	Otros	
Composicion		
Otros		

TECNICA

Pasada ancha o angosta	
Limpieza inicial y entrepases (cepillo, esmeril, etc.)	
Metodo de resane raiz	
Diametro de boquilla de Gas	
Oscilacion	
Distancia de trabajo al tubo de contacto	
Pasada simple o multi- pase	t = 5.0 - 16.0 mm.
(por lado)	
Electrodo unico o multiple	
.....	
Otros	<u>DISENO DE JUNTA</u> =====

ELABORADO POR :

REVISADO CONTROL DE CALIDAD

APROBADO POR :

FIRMA

FECHA :

FECHA

REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

NOMBRE DE COMPANIA:

Registro de calificacion de procedimiento N Fecha

EPS N°

Proceso(s) de soldadura Tipo
(Manual, automatico, semi)

JUNTA

METAL BASE

Especificacion de Mat.

Tipo o grado

N° P. a N° P.

Espesor

Diametro

Otros

DISENO DE JUNTA USADO

METAL DE APORTE

N° A-Analisis de Metal

Depositado

Diametro del Electrodo

N° F-Metal Aporte

Especificacion SFA

Clasificacion AWS

Otros

.....

.....

.....

POSICION DE SOLDEO

Posicion de Bisel

Progresion Soldadura
(Ascendente, descendente)

Otros

PRECALENTAMIENTO

Temperatura Pre calentamiento

Temperatura Entrepases

Otros

TRATAMIENTO TERMICO DE SOLDADURA

GAS

Temperatura

Tipo de Gas o Gases

Tiempo

Composicion de Mezcla gases

Otros

Otros

CARACTERISTICAS ELECTRICAS

TECNICA

Corriente

Pasada ancha o estrecha

Polaridad

Oscilacion

Amperaje

Multiples o pasada unica
(por lados)

Velocidad de avance

Otros

Electrodo unico o multiple

.....

.....

REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

PRUEBAS DE ROTURA

PROBETA Nº	ANCHO M M	ESPESOR M M	AREA mm ²	CARGA DE ROTURA Kgs	ESFUERZO DE ROTURA Kgs/mm ²	CARACTERISTI- CAS DE FALLA Y LOCALIZACION
.....
.....
.....

PRUEBAS DE DOBLEZ GUIADO

TIPO Y FIGURA Nº.	RESULTADO	TIPO Y FIGURA Nº.	RESULTADO
.....
.....

ENSAYOS DE IMPACTO

PROBETA Nº.	LOCALIZA- CION DE RANURA	TIPO DE RANURA	TEMPE- RATURA DE ENSAYO	VALOR DE IMPAC.	EXP. LATERAL % CORTE	PESO PENDULO MILS ROTO	SIN ROTURA
.....
.....
.....

Tipo de Prueba

Analisis de Deposito

Otros

PRUEBA DE SOLDADURA DE FILETE

Resultado Satisfactorio Penetracion Paredes Metal
(si, no) (si, no)

Tipo, Caracteristicas de falla Macro resultado

Nombre del soldador Nº ficha Nº estampe

Prueba conducida por Ensayo Laboratorio Nº

Para Proyectos

Nosotros certificamos que las anotaciones de este registro son correctas
 y que las probetas soldadas fueron preparadas, soldadas y probadas con
 los requerimientos de la Seccion IX del Codigo ASME

Firma

Fecha

Por

C A P I T U L O 3

FUNDAMENTOS DE RECIPIENTES DE ALTA PRESION

3.1. Definiciones

Se definen como recipientes de alta presión aquellos que trabajan en el rango de 200 atmósferas hasta un máximo de 3000 atmósferas, normalmente este tipo de recipientes se fabrican bajo los siguientes procesos de construcción:

- Producidos por forja o maquinado a partir de barras redondas de dimensiones adecuadas.
- Un cilindro conformado por deformación de una chapa y soldadura longitudinal.
- A partir de una serie de chapas delgadas adecuadas a la forma del recipiente, colocando una chapa sobre la otra y uniendo cada una de ellas mediante soldadura longitudinal. En la parte superior e inferior se colocan anillos (insertos) unidos a las chapas por soldadura. Normalmente la primera chapa interior es de 6 a 12 mm. y las subsiguientes de 6 mm. cada una.

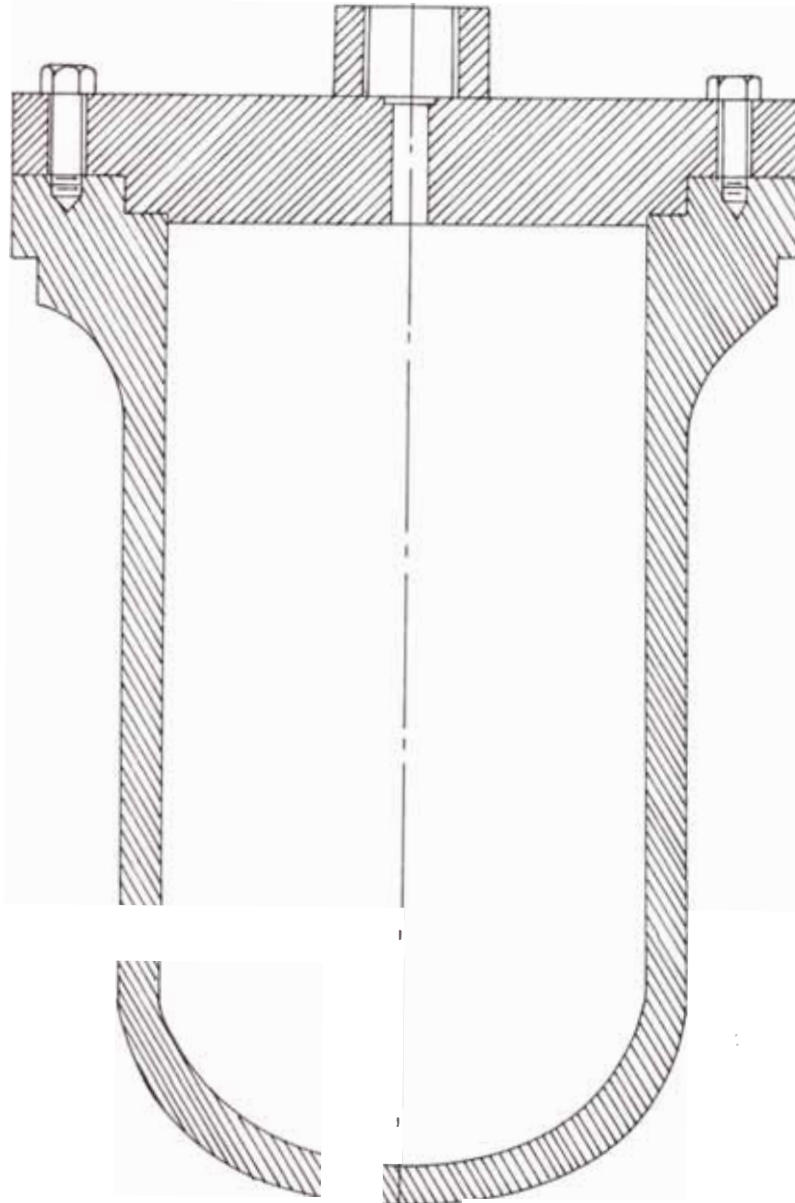


FIGURA N.º.7

RECIPIENTE A PARTIR DE VARIAS CHAPAS

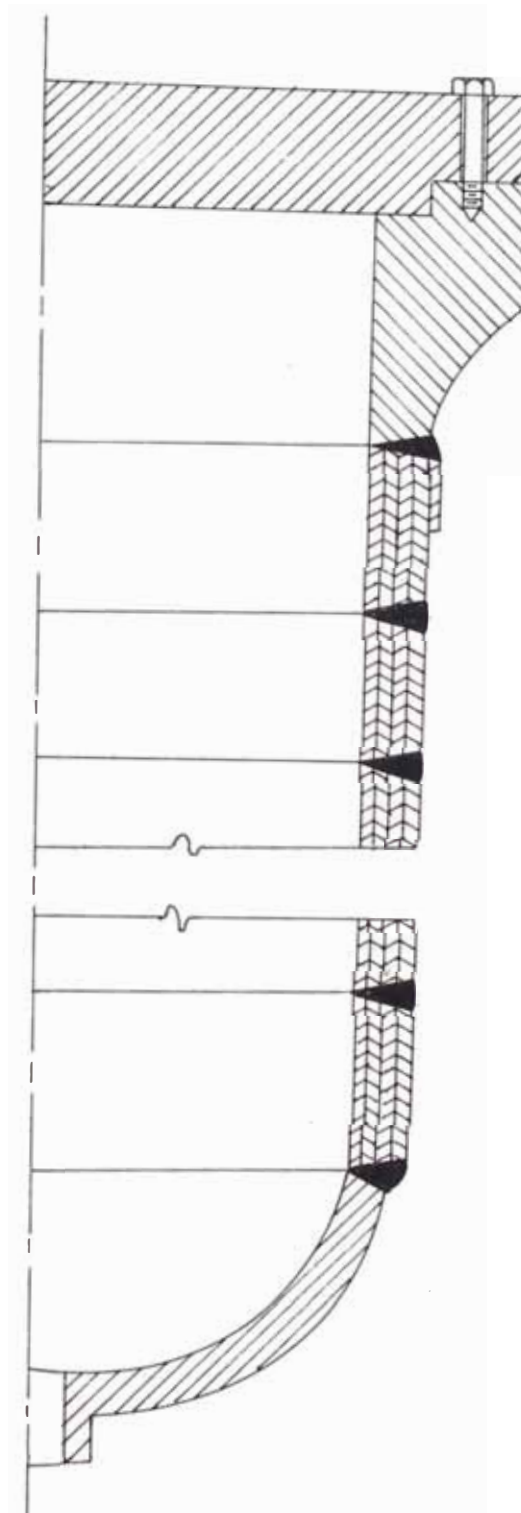


FIGURA N.º.8

Para una mayor claridad de lo expuesto, en las figuras 7 y 8 se muestran los sistemas de construcción.

3.1.1. Materiales Empleados Normalmente

En recipientes de alta presión se usan normalmente materiales en los cuales la ductilidad es una cualidad de mucha importancia. En el Cuadro N^o 4 se presentan las calidades de chapas más empleadas (Ref. bib. 1).

En el caso de la figura N^o 7, los recipientes de pared sólida consisten de un cuerpo simple con los extremos cerrados: Ambos, es decir, los extremos y el cuerpo cilíndrico se consideran como cilindros de pared delgada. En general el criterio de diseño se relaciona con el diámetro y con el espesor del cuerpo que se está calculando, si la relación del espesor de pared al diámetro interior excede a 1/10, se considera como cilindro delgado.

3.1.2. Cargas Principales

Las cargas principales sobre el espesor del cuerpo del recipiente sometido a alta presión (R.S.A.P.) son generados por la presión del trabajo, la cual es bastante mayor que la originada por el peso muerto, por lo que esta última puede ser ignorada.

A consecuencia de la presión se producen tres esfuerzos principales, los cuales son:

- a. Esfuerzo tangencial (Circunferencia).....fp
- b. Esfuerzo radialfr

CALIDAD COMUNMENTE EMPLEADA EN RECIPIENTES DE ALTA PRESION (R.S.A.P.)											
Tipo	COMPOSICION QUIMICA						PROPIEDADES FISICAS				
	C	N	Cr	Ni	Me	V	(a)	(b)	(c)		
1	0.10-0.15	0.050	11.5-13.5	0.50	-	-	55	60 - 75	10		
2	.37 - .45	.6 - .95	.6 - .95	1.5-2.0	0.2-0.3	-	75	80 - 90	14		
3	.27 - .35	.5 - .7	.5 - .8	2.3-2.8	.4 - .7	-	75	80 - 100	14		
4	.35 - .44	.65	2.5-3.5	2.3-2.8	.4 - .7	-	85	90 - 100	11		
5	.25 - .35	.65	2.5-3.5	.4	.3 - .7	-	90	100 - 115	11		
6	.17 - .23	.3 - .5	3.0-3.3	-	.5 - .6	.45 - .55	75	80 - 95	14		
7	.26 - .34	.4 - .7	2.3-2.7	-	.15-2.25	.10 - .20	105	125 - 145	9		

(a) = Limite de fluencia (Kg/mm²)

(b) = Limite de rotura (Kg/mm²)

(c) = Elongacion (%)

CUADRO N° 4

c. Esfuerzo longitudinal (Axial).....fa

El esfuerzo tangencial es de un valor nominal superior a los otros dos. De acuerdo al análisis de Lamé (asumiendo un cilindro totalmente elástico) la variación del esfuerzo tangencial y radial a lo largo del radio, para un cilindro en estudio, está dado por las ecuaciones:

$$f_p = A + \frac{B}{R^2} \quad (1)$$

$$f_r = A - \frac{B}{R^2} \quad (2)$$

$$f_a = A \quad (3)$$

donde R es un radio cualquiera, A y B son constantes.

El esfuerzo tangencial puede ser de tensión o de compresión dependiendo de la magnitud relativa si es de presión interna o externa. El esfuerzo radial es siempre de compresión y el esfuerzo axial es de tracción.

Los valores de las constantes A y B, se calculan en función (según ref. bib. 6) de:

$$A = \frac{\frac{P_i R^2}{2} - \frac{P_o R^2}{2}}{R^2 - R_1^2} - \frac{(P_i - P_o)K}{K - 1}$$

$$\text{donde } K = \frac{R}{R_1}$$

$$B = \frac{(P_o - P_i)R_1^2 R_2^2}{(R_2^2 - R_1^2)} - \frac{(P_o - P_i)K R_2^2}{K - 1}$$

donde:

R_1 - Radio interno

R_2 = Radio externo

P_i Presión interna

P_o = Presión externa

K - Constante

Para visualizar más claramente lo expuesto, en la siguiente página se presenta la Figura Nº 9 (Esfuerzos en recipientes de pared sólida).

Reemplazando los valores A y B en las ecuaciones (1), (2) y (3), para $R = R_1$, los valores de los esfuerzos son iguales a:

$$f_p = A + \frac{B}{R^2} = \frac{P_i R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} \left(1 + \frac{R_2^2}{R_1^2} \right)$$

$$= P_i \frac{(K^2 + 1)}{K^2 - 1} \quad (4)$$

$$f_r = A - \frac{B}{R^2} = \frac{P_i R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} \left(\frac{R_2^2}{R_1^2} - 1 \right) = P_i \frac{K^2 - 1}{K^2 + 1} \quad (5)$$

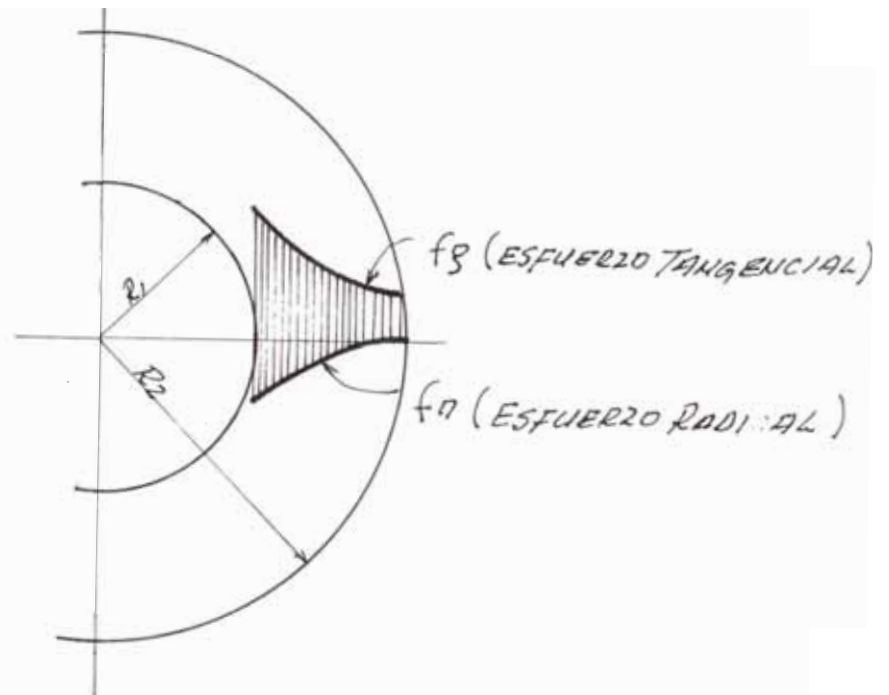


FIGURA N° 2

$$f_a = A = P_i \left(\frac{1}{K^2 - 1} \right) \text{----- (6)}$$

3.2. Fundamentos Teóricos = Aplicaciones

3.2.1. Diseño Basado en los Esfuerzos Tangenciales

El espesor de un cilindro será determinado sobre la base de un esfuerzo máximo tangencial sobre la superficie interior del cilindro. Si en la ecuación (4) se introduce t (espesor de pared) se tendría: $[t = R_2 - R_1]$

$$f_p(\text{Máx.}) = \frac{P_i}{t} \left(\frac{\frac{R_1^2}{1} + \frac{R_2^2}{1}}{\frac{R_1^2}{1} + \frac{R_2^2}{2}} \right) \text{----- (7)}$$

Si f_p es tomado como el esfuerzo a la tensión permisible f , se tiene:

$$t = R_1 \left(\sqrt{\frac{f_j + P_i}{f_j - P_i}} - 1 \right) \text{ ---- (8)}$$

donde j es la eficiencia de la junta. Para los casos de espesores de pared mayores de 30 mm. puede no considerarse el sobreespesor por corrosión.

3.2.2. Diseño Basado en los Esfuerzos de Corte

Si se aplica al diseño del recipiente la teoría del máximo esfuerzo de corte producido en cualquier punto sobre la pared del cuerpo, entonces el esfuerzo está dado por la ecuación (9).

$$f_s(\text{Máx.}) = \frac{1}{2} (f_p - f_r) = P_i \left[\frac{K^2}{K^2 - 1} \right] \text{ ---- (9)}$$

El límite de la acción elástica ocurre cuando:

$$f_s \text{ (para punto de fluencia)} = \frac{1}{\sqrt{3}} f_{yp} \text{ (directamente}$$

el esfuerzo de tensión para el punto de fluencia).

Si el cuerpo cilíndrico será diseñado según los límites de acción elásticos, la máxima presión interna sobre el radio interior (R_1) estará dada por la ecuación (10):

$$P(\text{Máx.}) = \left[\frac{1}{\sqrt{3}} f_{yp} \frac{(k - 1)}{k^2} \right] \text{ ---- (10)}$$

Para el diseño se deberá usar un factor de seguridad (k) sobre el esfuerzo permisible. El valor de k puede ser determinado por:

$$k = \sqrt{\frac{f}{f - P_i \sqrt{3}}} \quad \text{----- (11)}$$

donde f es el esfuerzo permisible, a partir de la ecuación (11) puede calcularse el t (espesor del recipiente).

3.2.3. Estudio de Deformaciones del Recipiente

En algunos diseños de recipientes el conocimiento de las variaciones en las dimensiones de los radios son muy importantes y representan una situación crítica. Tomándose en cuenta una P_i las variaciones de los radios (R) estarán dadas por las ecuaciones (12) y (13):

$$\Delta R_1 = P_i \frac{R_i}{E} \left[\frac{\frac{R_2^2 + R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} - \mu \left(\frac{R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} - 1 \right)}{\frac{R_2^2 + R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} - \mu \left(\frac{R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} - 1 \right)} \right] \quad \text{----- (12)}$$

$$\Delta R_2 = P_i \frac{R_2}{E} \left[\frac{\frac{R_2^2}{R_2^2} (2 - \mu)}{\frac{R_2^2 + R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} - \mu \left(\frac{R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} - 1 \right)} \right] \quad \text{----- (13)}$$

donde μ = Coeficiente de Poisson's

E = Módulo de elasticidad

3.2.4. Consideraciones de Esfuerzos por Temperaturas

Cuando la pared del recipiente tiene diferencias de temperaturas (gradientes de temperaturas), deben tomarse en cuenta los esfuerzos por temperatura para el cálculo de la presión de seguridad o el cálculo del espesor de pared crítico. Las gradientes de temperatura, a través de la pared, se presentan bajo dos condiciones:

- Cuando el contenido del recipiente se calienta desde fuera de él.
- Cuando se provoca una reacción que produce calor originando una elevación de temperatura que se transmite a través de la pared del recipiente.

Las gradientes de temperatura causan dilatación en las tres direcciones, radial, circunferencial y longitudinal. Aquellas zonas que tengan menores valores de temperaturas se expandirán menos y, por lo tanto, resistirán la dilatación de las regiones más altas de temperatura.

Los esfuerzos a consecuencia de la presencia de las gradientes de temperatura estarán dadas por las ecuaciones (14), (15) y (16).

- Dirección Radial

$$f_r = \frac{\alpha E (t_2 - t_1)}{2(1-\mu) \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} \left[-\ln\left(\frac{R}{r}\right) - \frac{R_2^2 - R_1^2}{(R_2^2 - R_1^2)} x \right]$$

$$\left[\left(1 - \frac{R_2^2}{r^2}\right) \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \right] \text{----- (14)}$$

- Dirección Circunferencial

$$f_t = \frac{\alpha E (t_2 - t_1)}{2(1-\mu) \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} \left[1 - \ln\left(\frac{R_2}{r}\right) - \frac{R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} x \right]$$

$$\left[\left(1 + \frac{R_2^2}{r^2}\right) \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \right] \text{----- (15)}$$

- Dirección Axial

$$f_a = \frac{\alpha E (t_2 - t_1)}{2(1-\mu) \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} \left[1 - 2 \ln\left(\frac{R_2}{r}\right) - \frac{2R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \right] \text{----- (16)}$$

donde:

α = Coeficiente de dilatación térmica

E = Módulo de elasticidad

μ = Coeficiente de Poisson

R = Radio Externo

R_1 = Radio Interno

t = Temperatura Exterior

t_1 = Temperatura Interior

r = Un Radio cualquiera de Cálculo

Los esfuerzos radiales para la superficie interior y exterior se hacen igual a 0, para la comprobación se reemplaza en la ecuación (14) primeramente $r = R_1$ y después $r = R$.

Los esfuerzos circunferenciales o esfuerzos tangenciales f_t y el esfuerzo axial o longitudinal f_a llegan a ser valores máximos cuando $r = R_1$ ó $r = R$, por consiguiente sustituyendo estos valores se tendría:

- Para la superficie interna:

$$f_t = f_a = \frac{\alpha E (t_2 - t_1)}{2(1-\mu) \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} \left[1 - \frac{2R_2^2}{(R_2^2 - R_1^2)} \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \right] \quad (17)$$

- Para la superficie externa:

$$f_t = f_a = \frac{\alpha E (t_2 - t_1)}{2(1-\mu) \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} \left[1 - \frac{2R_1^2}{(R_2^2 - R_1^2)} \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \right] \quad (18)$$

Caso de recipientes conformados soldados

Este tipo de recipientes puede ser diseñado sobre la misma base de cálculo que para recipientes de pared sólida, excepto que la eficiencia de la junta de soldadura (j), debe ser tomada en cuenta en el cálculo del espesor de pared. El esfuerzo permisible debe ser afectado por j .

3.3. Sistemas de Cierre en R. S. A. P.

Para el caso de R.S.A.P., existen diversos tipos formas de lograr el cierre del recipiente, los mismos son:

- Cierre permanente o fijo
 - Cierre con anillo DELTA
 - Cierre de anillo de sello doble cono
 - Cierre tipo BRIDGEMAN
 - Cierre tipo UNDE-BREDTSCHNEIDER

3.3.1. Cierre Permanente o Fijo

En la práctica usual, para el cierre permanente de un extremo de un recipiente cilíndrico mediante un cabezal que puede ser forzado o maquinado a partir de una

barra sólida para formar el conjunto **cuerpo-tapa** como **única** pieza. En algunos casos el cierre se puede hacer **empleando** tapas conformadas o simples discos que **son** soldados al cuerpo. Para recipientes de pequeños diámetros un disco plano puede ser soldado al **cuerpo**. Los cierres empleando **soldadura** se utilizan en **casos** de presión interna moderada o media.

3.3.2. Cierres Removibles

Los **tipos** de cierre y los métodos de **sellado** y fijado del cierre al cuerpo del recipiente, dependen de **numerosos** factores tales como: **Tamaño del recipiente**, naturaleza de su contenido, temperatura y presión de **trabajo**, frecuencia con que el cierre se remueve. Las **uniones** entre el recipiente o cuerpo y la tapa son de tipos diferentes, dependiendo sobre todo de si la unión se efectúa con o sin el empleo de empaquetaduras.

En la Figura N^o 10, se muestra uno de los tipos de cierre más simples, **donde no se usa** empaquetadura; en este caso la máxima presión que puede soportar la unión está en función del esfuerzo inicial de compresión que puede ser desarrollado en las superficies de **sello**. El sistema de cierre que se muestra en la Figura N^o 10, se emplea en recipientes pequeños que operan con **presiones** moderadas.

A. Cierre con Anillo DELTA

Este sistema de cierre es empleado en **R.S.A.P.**

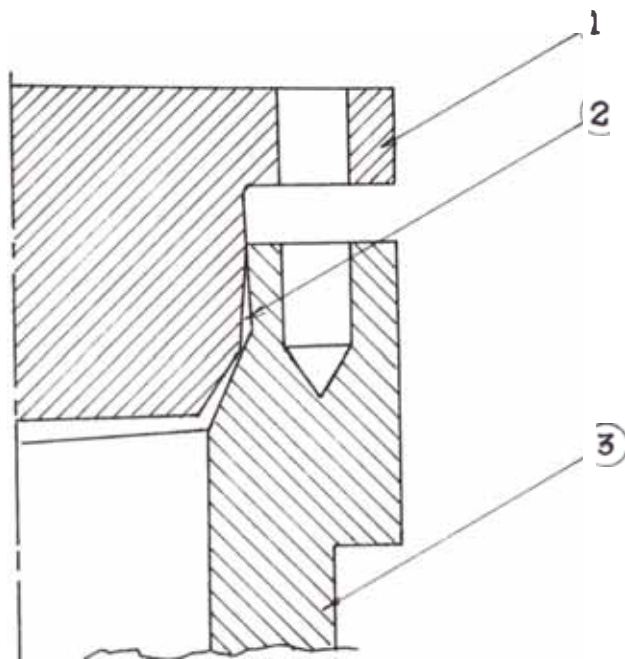


FIGURA Nº 10

- (1) Tapa de cierre
- (2) Superficie cónica de sello
- (3) Recipiente

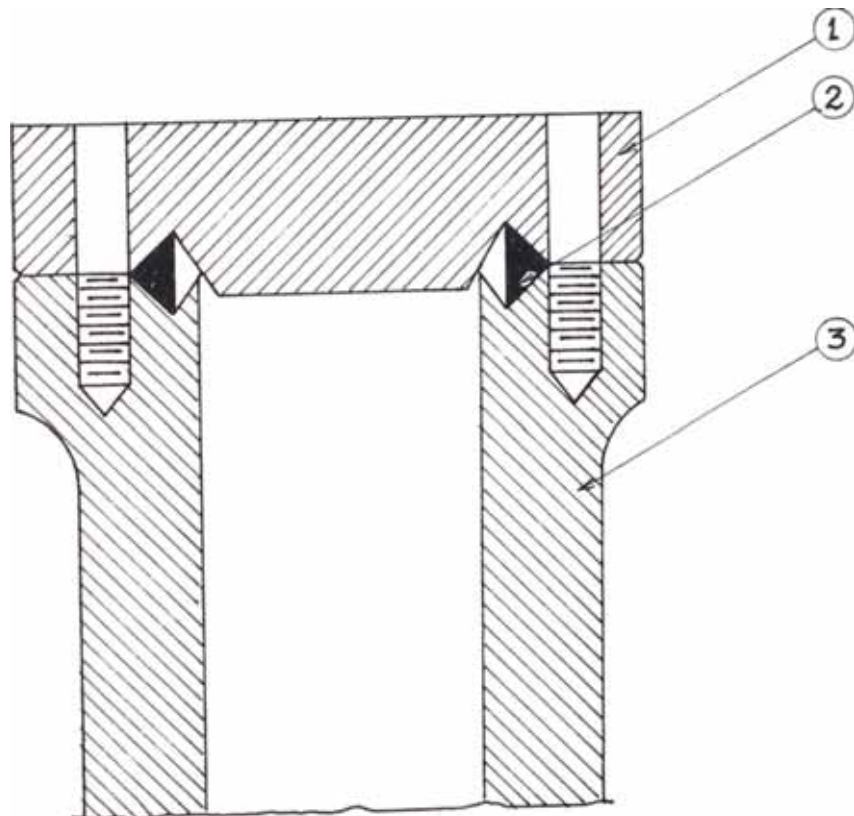


FIGURA Nº 11

- (1) Tapa de cierre
- (2) Anillo delta
- (3) Recipiente

que operan en un rango de presiones de hasta 1000 Kg/cm². En la Figura N^o 11 se muestra la forma del sistema de cierre.

El anillo se cierre es de sección triangular y es de acero, maquinado y acabado de cobreado plateado. El acabado cobreado plateado hace las veces de empaquetadura. El anillo es diseñado para que funciones por debajo del límite elástico de los pernos o espárragos de cierre y según las condiciones de prueba hidrostática.

Este tipo de cierre es muy fácil de fabricar por su simplicidad, también su instalación es sencilla; el tiempo de montaje y el de desmontaje en conjunto es pequeño y no ofrece dificultad.

B. Cierre de anillo sello doble cono

En este tipo de cierres se emplea un anillo de acero suave con una superficie vertical en el lado interior y dos superficies biseladas (con ángulo de inclinación) en el lado exterior. Las superficies inclinadas comienzan desde cerca de la línea media y forman un ángulo de 30° con el eje del recipiente. El anillo tiene un acabado en aluminio de aproximadamente 1 mm. de espesor, con una longitud igual a la circunferencia interna del doble cono y un ancho igual a 2.5 veces la altura del anillo.

Este tipo de cierre se emplea en R.S.A.P. que operan a presiones de hasta 500 Kg/cm². En la Figura N^o 12, se muestra la forma de montaje de este tipo de

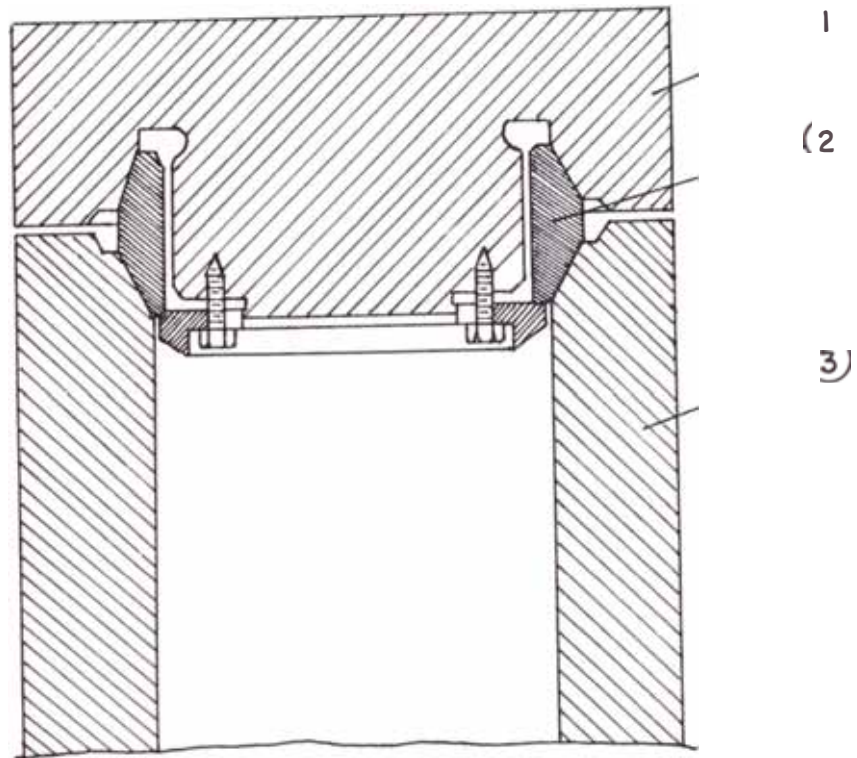


FIGURA N° 12

- 1) Tapa de cierre
- 2) Anillo doble superficie cónica
- 3) Recipiente.

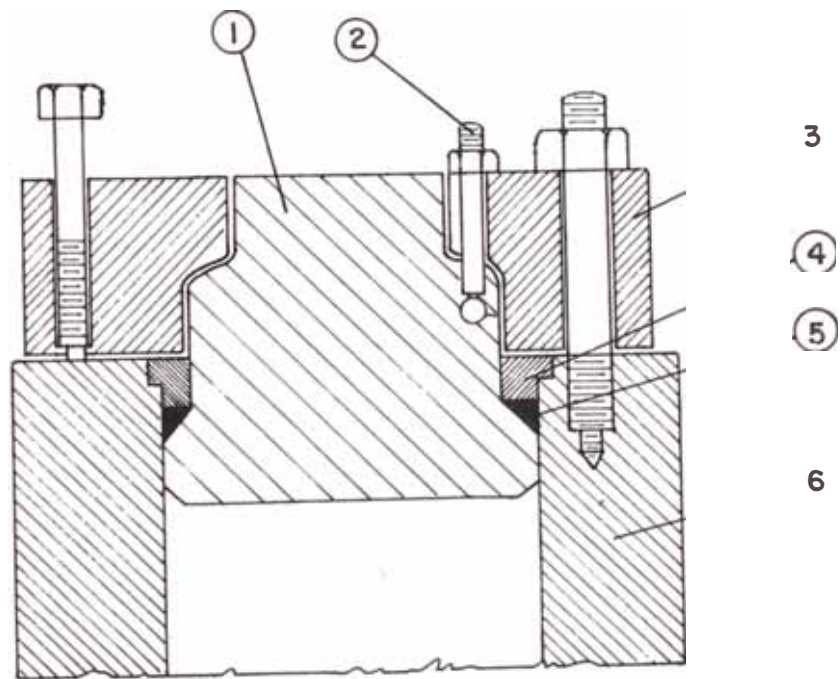


Figura N^o 13

- (1) Tapa flotante
- (2) Tornillo suspensión de la pieza (1)
- (3) Tapa fija
- (4) Anillo de acero
- (5) Empaquetadura de cobre o aluminio
- (6) Cuerpo del recipiente.

sellos.

C. Cierre tipo BRIDGEMAN

Este tipo de cierre consiste por una parte de una empaquetadura de sección triangular, de metales suaves tales como: Cobre o aluminio, y por otra de un anillo de acero, tal como lo muestra la Figura N^o 13. Estos dos anillos son finamente maquinados para llenar el espacio entre la boca del recipiente y la tapa flotante (Ver la Figura N^o 13). Como criterio de diseño debe mencionarse que los tornillos de suspensión de la tapa flotante, son justamente necesarios tan sólo para mantener la tapa sin presión interna. Cuando actúa la presión interna, ésta ejerce sobre la tapa flotante una fuerza que presiona la empaquetadura; la componente de la presión a consecuencia de los espárragos de sujeción de la tapa fija ejerce otra fuerza sobre la empaquetadura perforando el sello de la junta.

Este tipo de cierre tiene las ventajas siguientes: La empaquetadura está totalmente confinada, el cierre es de fabricación simple y de fácil instalación, puede ser usado en cualquier diámetro.

D. Cierre de tipo UNDER-BREDSCHNEIDER

Este sistema consiste de una cabeza flotante con bordes redondeados y un anillo de sellado con una sección o perfil de un lado inclinado (Ver Figura N^o 14), que se fija mediante otro anillo colocado en una

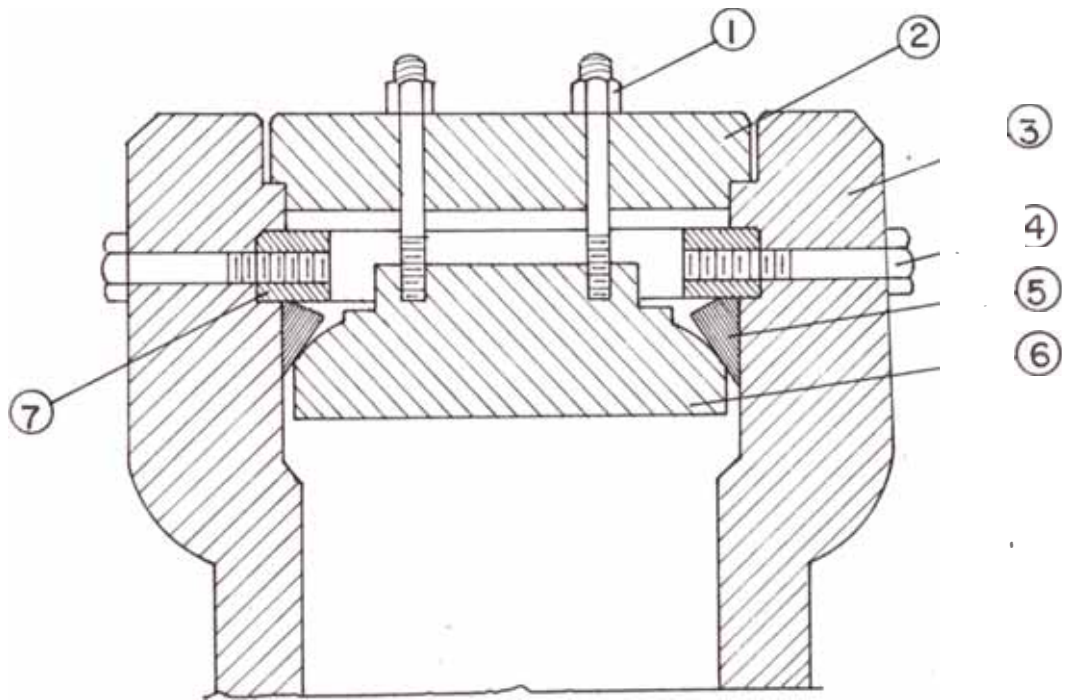


Figura N° 14

- (1) Esparragos sujeción cabeza flotante
- (2) Tapa
- (3) Cuerpo del recipiente
- (4) Tornillo de sujeción anillo acero
- (5) Junta de sello
- (6) Cabeza flotante
- (7) Anillo de apoyo junta.

ranura del recipiente. Este sistema de cierre es muy fácil de ser desmontado en cualquier oportunidad después que el recipiente fue probado o estuvo bajo presión de operación. El anillo de sello es diseñado para trabajar por debajo del límite elástico cuando el recipiente opera o está en condiciones de prueba; es fabricado en acero.

3.4. Algunos Requerimientos de Diseño Según el Código ASME

3.4.1. Secciones Aplicables

El código ASME tiene en la actualidad once secciones, de las cuales las que son aplicables a los recipientes de presión son las siguientes:

Sección II.- Para materiales ferrosos (Parte A)
 Para materiales no ferrosos (Parte B)
 Para materiales de aporte (Parte C)

Sección V.- Abarca todos los métodos de ensayos no destructivos.

Sección VIII.- Se aplica al diseño de recipientes a presión.

Sección IX.- Se aplica a todo lo referente a soldadura en lo que respecta a procedimientos y/o soldadores.

La Sección VIII cuenta con dos divisiones -la uno y la dos- la diferencia entre ambas estriba en

que la división dos, permite al diseñador calcular con esfuerzos permisibles más altos que la división uno (o lo que es lo mismo factores de seguridad (f.s.) menores). Para tener el criterio claro, la división uno considera un f.s. = 4.0 sobre la resistencia a la tracción máxima, y un f.s. = 1.6 sobre la resistencia a la fluencia del material en estudio.

La división dos, debido a las hipótesis de cálculo ya descritas, considera un estricto control de calidad durante la fabricación del recipiente, además de la aplicación de los ensayos no destructivos, que también es considerada por la división uno.

Consideraciones del Código ASME en lo que respecta a las pruebas hidrostáticas

La Sección VIII división uno, considera que la prueba hidrostática se efectuará a un valor de 1.5 veces la presión de cálculo del recipiente, mientras que la división dos, considera que la prueba hidrostática se efectúe a 1.2 la presión de cálculo del recipiente.

En el Capítulo III, se describirá más ampliamente la importancia y justificación técnica del empleo de los E. N. D. como ayuda irremplazable para lograr mejores diseños de recipientes sometidos a presión.

3.4.2. Algunos Requerimientos para el Exámen de Uniones soldadas

Según se ha descrito antes, es de primordial importancia desarrollar un estricto control de calidad durante la fabricación de R.S.A.P., fundamentalmente en lo referente a la determinación y/o presencia de discontinuidades, descritas en el Capítulo I, mediante el empleo de los E. N. D.

Es importante resaltar la premisa de que "un buen diseño de soldadura se inicia con el diseñador", es decir, que la calidad de las uniones de soldadura dependen de muchos factores, por lo que se deben prescribir buenos procedimientos de soldadura, correcto inicio secuencia de las partes soldadas, supervisión y un buen exámen se requieren para asegurar la buena calidad de soldadura en adición a un buen diseño del recipiente.

El diseñador usualmente especifica los tipos de ensayos y/o pruebas según el código y/o norma aplicable tanto según sea el requerimiento de resistencia de las uniones soldadas, para esto el diseñador debe especificar:

- La inspección visual para determinar defectos discontinuidades menores.
- Inspección por líquidos penetrantes, para examinar soldaduras más importantes o soldaduras donde otros tipos de inspección son de difícil aplicación. Los dos métodos descritos se emplean para detectar,

entre otras cosas, fisuras o cualquier defecto superficial o sub-superficial que aflore a la superficie.

En la construcción de recipientes a presión los ensayos por líquidos penetrante se requieren después de las pruebas hidrostáticas.

- La inspección por partículas magnéticas, que se emplea mayormente para la detección de fisuras, porosidades y faltas de fusión que están cerca de la superficie exterior de los materiales ferromagnéticos. Puesto que este método depende de las propiedades magnéticas del material ensayado, no es posible utilizarlo en materiales no magnéticos, tales como aceros inoxidable austeníticos o aleaciones de aluminio por ejemplo. Este método se emplea mas bien a menudo en los pases de raíz y en el acabado de los cordones de soldadura.
- El más importante de los métodos: Inspección Radiográfica, proporciona un registro de calidad permanente a medida que se lleva adelante la inspección, tal como se explicara en el Capítulo 2, en función a los cambios de densidad se determinan porosidades, inclusiones de escoria, penetración incompleta, etc.
- Inspección por Ultrasonidos, este procedimiento se emplea a menudo en la actualidad para detectar fallas sub-superficiales en materiales tales como:

hojas de laminación e inclusiones en chapas, soldaduras, fundiciones, etc.

Las dos últimas técnicas de inspección no son excluyentes mutuamente, mas bien son complementarias.

C A P I T U L O 4

ELABORACION DE ESPECIFICACIONES TECNICAS DE FABRICACION Y MONTAJE CON USOS DE LOS E. N. D.

4.1 Programas de Fabricación e Inspección

Según las consideraciones especificadas por el Código ASME, tal como fue definido en el punto 3.4.1. del Capítulo 3; en la fabricación de R.S.A.F. bajo Código, se debe elaborar un Programa que relacione todas aquellas actividades de producción con su respectivo punto de inspección donde sea aplicable el Código.

4.1.1. Aspectos de Diseño

Haciendo uso de los aspectos básicos descritos en Capítulos 2 y 3, es decir, habiendo efectuado los cálculos y, por ende, elaborado los planos de montaje y de fabricación, donde se dan las especificaciones técnicas generales y los alcances de aplicación de Ensayos No Destructivos, por ejemplo:

- Inspección por ultrasonidos el material del reci-

piente (planchas de acero).

- Inspección por líquidos penetrantes al 100% de las **bridas y accesorios.**
- Inspección de todos los cordones de soldadura de la manera siguiente:
 - **Inspección por Radiografía al 100%. Se podrán emplear los ultrasonidos en lugares no accesibles.**
 - **Inspección por partículas magnéticas secas, para los pases de raíz y de acabado, aún cuando no se haya producido al enfriamiento total de la parte soldada.**
 - **Inspección por líquidos penetrantes para ver aspectos de acabado superficial.**
 - **Prueba hidráulica de acuerdo procedimientos previamente calificados.**
 - **Prueba de equipos rompedores de vacío.**
 - **Algunos ensayos metalográficos para tener certeza de no haber provocado cambios metalúrgicos en las zonas soldadas.**
 - **Ensayos CHARPY (Impacto) para ver el comportamiento del material a temperaturas bajas, etc.**

4.1.2. Programa de Fabricación/Inspección

Entre las partes principales del programa se tienen:

- a. Documentación aplicable
- b. Descripción

- c. Planes aplicables
- d. Control de soldadura

a. Documentación Aplicable

Se deberá anotar todos los documentos generados en función al Código ASME, tales como:

- Instrucciones de inspección.
- Procedimiento de soldadura.
- Instrucciones de soldadura.
- Procedimientos de inspección dimensional y tolerancia.
- Instrucciones de inspección general.
- instrucciones de protección superficial.

b. Descripción

En el Programa figurarán cada una de las actividades de fabricación; desde la adquisición del material hasta las pruebas finales del Recipiente. En cada una de las etapas donde el Código ASME o algún documento aplicable da una restricción, significa un punto de inspección, que a su vez podría indicar un punto de parada (Hold Point) para la inspección del cliente.

Si se considera necesario se deberá establecer un registro de calidad, debido a que la actividad de fabricación citada tiene incidencia en el nivel de calidad final de Recipiente.

De manera ilustrativa se indica en el Cuadro N°

5 un Programa de Fabricación/Inspección tentativo, aplicable a un recipiente sometido a presión interna.

Cada una de las actividades registradas en el Cuadro Nº 5, constituye una etapa durante la fabricación del Recipiente e implica actividades de inspección aplicables a la etapa referenciada. Tal como se indicó en el punto "a" del apartado 4.1., cada actividad de inspección significa que debió elaborarse un documento aplicable previamente.

En el Cuadro Nº 5 se explicará, en forma resumida, en que consisten las tareas de inspección aplicables a cada etapa de fabricación.

Actividad Nº 1. - Inspección e ingeniería del cliente, efectuará revisión de las memorias de cálculo, planos; de tal manera que se cumplan con los códigos y/o normas aplicables.

Actividad Nº 2. - Para esto, Inspección del Cliente (I. C.), evaluará la relación de proveedores prevista por el fabricante. Principalmente evaluará la capacidad instalada, medios humanos y/o técnicos, etc., de tal forma de implementar los diversos requisitos de calidad de cada uno de los componentes.

Actividad Nº 3. - I. C. revisará que el material cumpla con los requisitos establecidos en las especificaciones técnicas (E. T.); además de que la identificación del material pueda ser correlacionada con sus certificados respectivos.

Acti- vidad Nº	DESCRIPCION	(1) Aprobacion Inspeccion Fabricante	(2) Aprobacion Inspeccion Cliente	(3) Informe Nº
1	Aprobacion planos constructivos y detalles			
2	Acopio de materiales (Proveedores califi- cados)			
3	Recepcion de materiales			
4	Elaboracion y/o aprobacion de procedimien- tos de soldadura			
5	Calificacion de soldadores			
6	Trazado de chapas de acero segun planos a- plicables			
7	Conformado de partes			
8	Preparacion de biseles			
9	Presentacion de juntas de soldadura apun- taladas			
10	Comprobacion dimensional			
11	Preparacion de accesorios (Codos, bridas, cuplas, etc.)			
12	Presentacion de prearmados			
13	Soldaduras principales			
14	Soldaduras secundarias			
15	Inspeccion durante el soldeo			
16	Inspeccion final de soldaduras			
17	Inspeccion por ensayos no destructivos			
18	Control dimensional			
19	Armado del conjunto			
20	Control dimensional del conjunto			
21	Ejecucion reparaciones y/o modificaciones			
22	Pruebas			
23	Preparacion superficial			
24	Proteccion superficial			
25	Identificacion			
26	Correccion de planes "as built"			
27	Preparacion Dossier (Registros de calidad)			
28	Liberacion para entrega			
29	Proteccion al transporte			
30	Supervision durante el transporte			

Actividad N^o 4.- I. C. revisará que los procedimientos de soldadura estén acordes con el código aplicable. En la etapa de calificación I. C. nombrará un representante que supervisará la ejecución de las probetas, además de los ensayos a que será sometida posteriormente.

Actividad N^o 5.- I. C. supervisará la ejecución de probetas de calificación de soldaduras, además de evaluar las evidencias de calificación (ensayos físicos y/o placa radiográfica).

Actividad N^o 6.- I. C. supervisará que el trazado se efectúe en las chapas adquiridas para tal fin, y que cada uno de los componentes cuente con la identificación original del material, ejemplo, número de colada, calidad, etc.

Actividad N^o 7.- I. C. supervisará que el conformado se realice según las reglas del buen arte, y que en ningún caso se aporte calor, de tal forma que se provoquen cambios metalúrgicos en el material.

Actividad N^o 8.- I. C. efectuará una comprobación de los biseles para verificar el cumplimiento del diseño de juntas soldadas. Es importante comprobar la no presencia de contaminantes principalmente en el caso de Aceros Inoxidables.

Actividad N^o 9.- I. C. aprobará el apuntalamiento de las juntas de soldadura comprobando antes la separación de raíz, desalineamiento, etc.

Actividad N^o 10.- I. C. verificará que las dimensio-

nes de las partes apuntaladas estén dentro de las tolerancias especificadas, y que se hayan tomado en cuenta las contracciones por el soldeo.

Actividad N^o 11. - Para realizar esta actividad I. C. efectuará una inspección del estado de los accesorios en lo referente a identificación, requerimiento de inspección por líquidos penetrante, etc. Una vez que se den por aprobados los accesorios colocará su estampe, que será conservado hasta su incorporación en el recipiente terminado.

Actividad N^o 12. - I. C. verificará la situación de los prearmados versus los planos aplicables.

Actividades N^o 13 y 14. - I. C. supervisará que las soldaduras principales y secundarias sean efectuadas por soldadores calificados, para esto revisará la colocación de los estampes de cada uno de los soldadores.

Actividad N^o 15. - I. C. verificará que el proceso de soldadura se lleve a cabo según los parámetros establecidos en los Procedimientos de Soldadura, ejemplo: Amperaje, voltaje, progresión, precalentamiento, postcalentamiento, etc.

Actividad N^o 16. - Una vez concluidas las actividades de soldeo, la I. C. verificará que el aspecto superficial cumpla con las E. T. y códigos aplicables, por ejemplo se evaluará si se dan faltas de penetración, mordeduras, es decir, cualquiera de los defectos

indicados en el punto 1.1. del Capítulo 2.

Actividad N^o 17.- I. C. calificará los resultados de los E. N. D. ejecutados en cumplimiento de la E. T., en los casos necesarios solicitará reinspección y/o reparación de zonas donde los resultados no sean aceptables.

Actividad N^o 18.- I. C. supervisará la ejecución del Control Dimensional, de tal forma de comprobar que se esté dentro de las tolerancias especificadas.

Actividad N^o 19.- El armado del conjunto conlleva el montaje de las partes, por lo que se hace necesario la comprobación de las tolerancias de alineación (High-Low), forma de colocación de puntos de soldadura, etc.

Actividad N^o 20.- EL control dimensional de conjunto significa verificar tolerancias, ubicación de accesorios, desalineamientos, inclinaciones, etc. Para esto se emplearán las tolerancias de las E. T., por este motivo la I. C. debe supervisar esta actividad.

Actividad N^o 21.- I. C. evaluará los resultados de E. N. D. más los resultados de las inspecciones visuales, dimensionales, para determinar las modificaciones y/o reparaciones a ser ejecutadas. En estos casos deberá evaluar y aprobar los procedimientos a ser empleados.

Actividad N^o 22.- Esta es una de las actividades más importantes para la I. C., debido a que en esta etapa se comprobará el comportamiento del R. P. I., para lo

cual igualmente deben usarse los procedimientos previamente calificados.

Actividad Nº 23.- I. C. debe aprobar la preparación superficial, debido a que esto redundará en el **comportamiento** del R.P.I. durante su período de vida útil.

Las actividades 24, 25, 26, 27, 28, 29 y 30, sóloamente por su nombre dan a entender la importancia de las misma, descontando cualquier otra **justificación**.

En buena cuenta, el objetivo del Programa de Fabricación/Inspección, consiste en que toda actividad durante el proceso de fabricación cuente con un registro, el mismo que será útil para cualquier reparación posterior.

El **Cuadro Nº 5**, da una relación tipo; en cada caso podrá efectuarse las variaciones que se requiera.

En la Columna (1), deberá firmar y colocar el estampe el Inspector de efectuó el trabajo por parte del fabricante.

En la **Columna** (2), el Inspector del Cliente **colocará** su firma, siempre y cuando su opinión sea favorable respecto de la actividad en mención.

En la Columna (3), se indicará el **número** del informe en los casos que se aplique.

c. Planos Aplicables

Debe considerarse como plano aplicable todo aquel resultado del diseño del R. P. I., siempre y cuando haya sido aprobado por el cliente.

d. Control de Soldadura

Será efectuado de acuerdo a lo establecido en los documentos aplicables, fundamentalmente la evaluación se efectúa usando E. N. D.

4.2. Aplicación de los E.N.D.

4.2.1. Justificación

En el punto 3.4.2. del Capítulo 3 se explica ampliamente el porque del uso de los E.N.D., por lo que, para un mejor entendimiento, se debe revisar el punto referenciado, además del Capítulo 2 por completo.

3.2.2. Objetivos Uso de los E.N.D.

A continuación se relacionará el objetivo y/o razón del empleo de los E.N.D. en las diferentes actividades enumeradas en el Cuadro Nº 5.

- En la recepción de materiales vía ultrasonidos se evaluará la presencia de discontinuidades internas. Mediante líquidos penetrantes se evaluará el aspecto superficial de los accesorios principalmente y/o cualquier otro material.
- En la calificación de soldadores se usan las placas radiográficas como medio alternativo por su practi-

cidad y rapidez. El objetivo es evaluar el estado de la soldadura depositada por la persona que está calificando.

- Durante el **conformado** de partes y el corte de materiales se hacen necesarios -en ciertas ocasiones- los E.N.D. debido a la detección de **algunos posibles** defectos; ejemplo: Hojas de laminas detectadas **en el oxicorte**, por lo que se deberán usar los ultrasonidos para evaluar la zona **defectuosa**.
- Después de las pruebas es necesario el empleo de E.N.D. ya que muchas veces se pueden presentar fisuras a consecuencia de las pruebas hidráulicas **por ejemplo**.

4.3. **Criterio de Aceptación y/o rechazo de los E.N.D.**

Los criterios para la calificación de los resultados depende del código y/o norma aplicable, **por motivos** expuestos anteriormente, en el presente capítulo se describirán los criterios de aceptación del Código, ASME, edición 1980.

4.3.1. **Radiología Industrial**

Son inaceptables:

- a. Cualquier **tipo** de fisura o zonas de fusión o de penetración incompleta.
- b. Cualquier** inclusión alargada -tal como escoria-

que tenga una longitud mayor de:

- 1/4 pulgada (6 mm.) para t hasta 3/4 pulgada (19 mm.)
- 1/3 t para t desde 3/4 pulgada (19 mm.) hasta 1 1/4 pulgada (57 mm.)
- 3/4 pulgada (19 mm.) para t sobre 2 1/4 pulgadas (57 mm.) donde t es el espesor de la soldadura.

c. **Cualquier** grupo de inclusiones en línea, **tal que** la longitud acumulada sea mayor que t en una longitud de 12 t, excepto cuando la distancia entre las imperfecciones sucesivas exceda a 6 L, donde L es la longitud mayor de las **imperfecciones** del grupo.

Cualquier indicación **redondeada que exceda** a la especificada en las cartas de porosidad dadas en las figuras 14 (A), (B), (C) y (D), además de las dimensiones indicadas en el cuadro N^o 5 (A).

4.3.2. Ultrasonidos

Todos los ecos producidos y mayores que un 20% de la curva atenuación/distancia deberá ser **investigada con mayor precisión** para que el operador determine su **no aceptación** en función a los criterios siguientes:

- a. Son discontinuidades inaceptables aquéllas en que la amplitud excede el nivel de referencia y que su longitud exceda:
 - 1/4 pulgada (6 mm.) para t hasta 3/4 pulgada (19 mm.) inclusive.

CUADRO N° 5A

Espesor, t Pulgadas.	Maximo Tamano de Indicaciones redondeadas Aceptables, Pulgs.		Maximo Tamano Indicaciones no relevantes, Pulgs.
	Agrupadas	Aisladas	
Menos de 1/8	1/4 t	1/3 t	1/10 t
1/8	0.031	0.042	0.015
3/16	0.047	0.063	0.015
1/4	0.063	0.083	0.015
5/16	0.078	0.104	0.031
3/8	0.091	0.125	0.031
7/16	0.109	0.146	0.031
1/2	0.125	0.168	0.031
9/16	0.142	0.188	0.031
5/8	0.156	0.210	0.031
11/16	0.156	0.230	0.031
(*) 3/4	0.156	0.250	0.031
Mayor de 2"	0.156	0.375	0.063

(*) Hasta 2" inclusive.

CONCENTRACION TIPICA Y TAMANOS PERMITIDOS
EN UNA LONGITUD DE 6 PULGADAS DE SOLDADURA

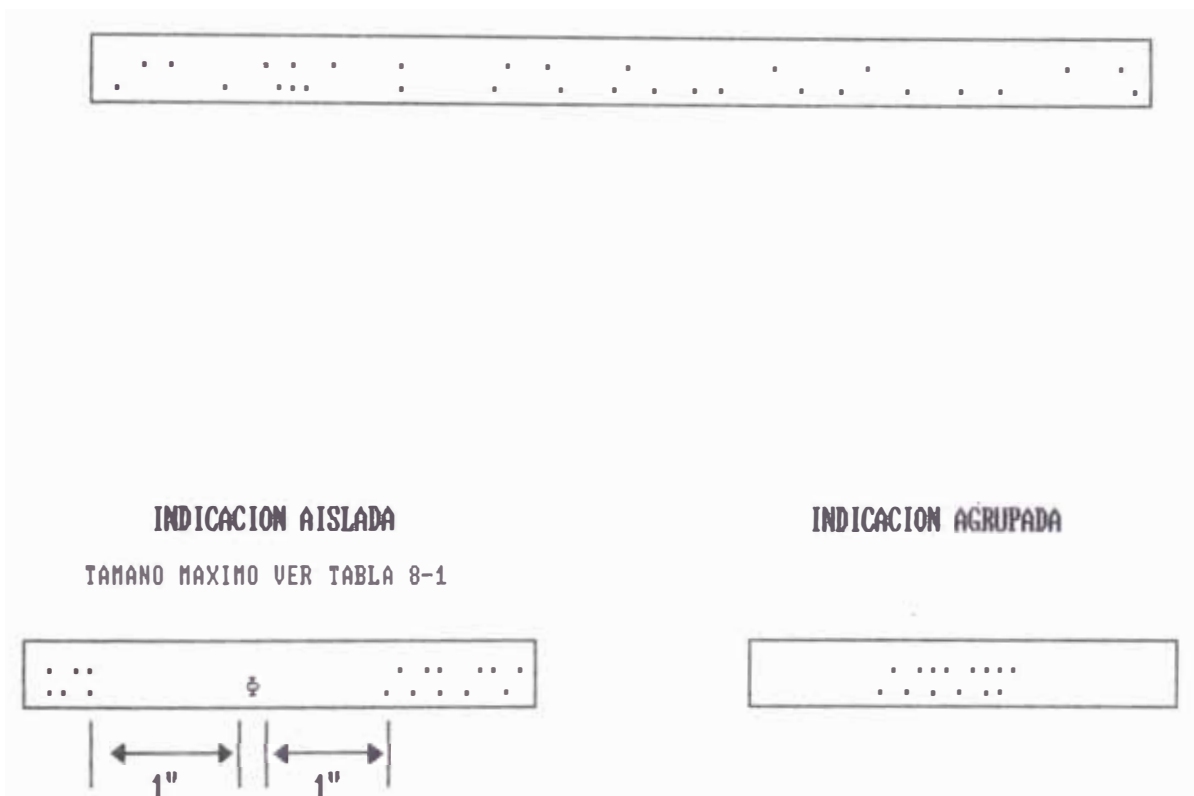


FIGURA 14 (A)

CARTAS PARA T 1/8" HASTA 1/4 INCLUSIVE

CONCENTRACION TIPICA Y TAMANOS PERMITIDOS
EN UNA LONGITUD DE 6 PULGADAS DE SOLDADURA

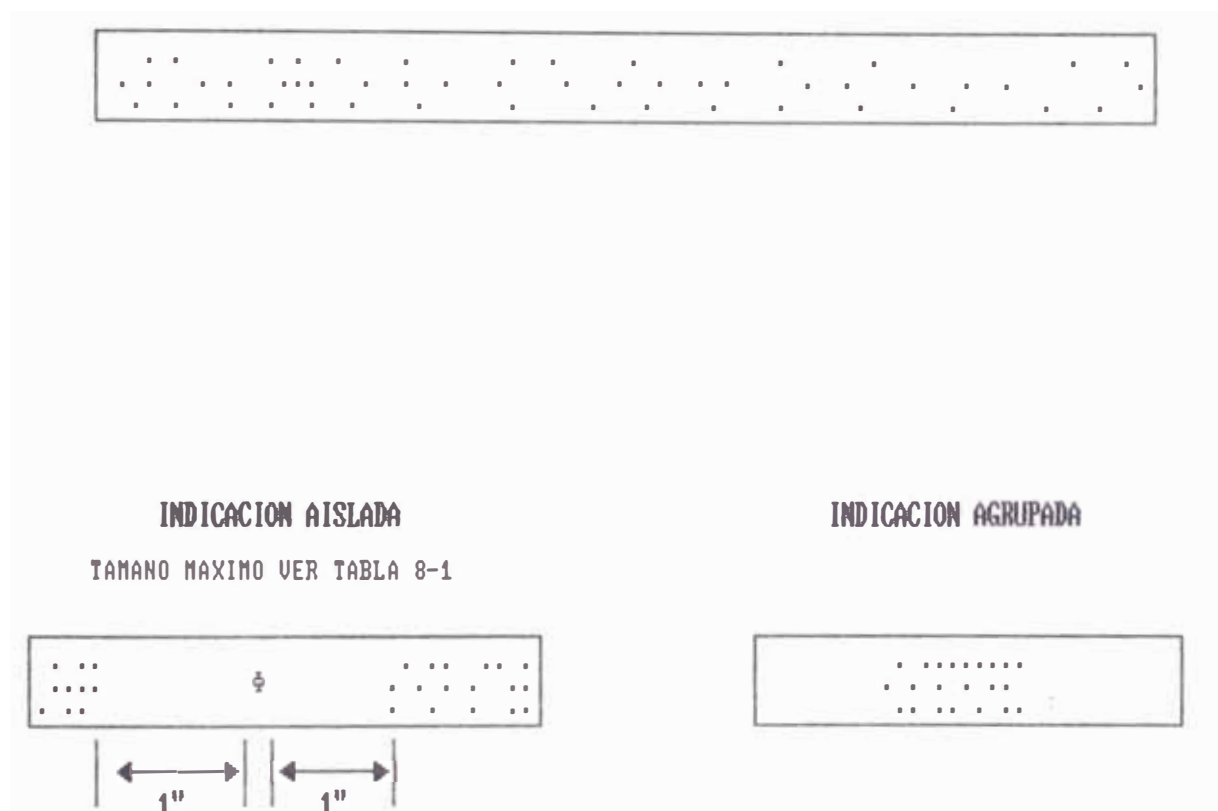
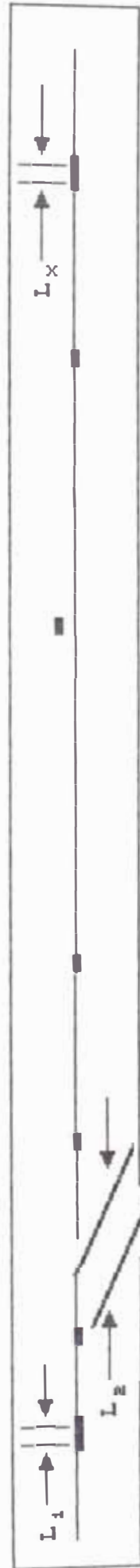


FIGURA 14 (B)

CARTAS PARA ESPESORES MAYORES DE 1/4" HASTA 3/8" INCLUSIVE



La suma de longitudes de los grupos no sera mayor que t en una longitud de $12t$

Figura 14C

Indicaciones redondeadas alineadas



La suma de longitudes de los grupos no sera mayor que t en una longitud de $12t$

Figura 14D

Indicaciones redondeadas agrupadas y alineadas

- $1/3 t$ para t desde $3/4$ pulgada (19 mm.) hasta $2 1/4$ pulgada (57 mm.) inclusive.
- $3/4$ pulgada (19 mm.) para t superior a $1/4$ pulgada (57 mm.), donde t es el espesor de la soldadura examinada; si una junta es de dos espesores se tomará el espesor más delgado.

b. Aquellas que son interpretadas como fisuras, faltas de fusión, falta de penetración, son inaceptables aún cuando no se considere la amplitud de la señal.

4.3.3. Partículas Magnéticas

Las discontinuidades y defectos serán indicadas por retención de las partículas magnéticas. Cualquier indicación no es necesariamente defecto, como por ejemplo, excesiva rugosidad superficial, variación de permeabilidad magnética (tal como bordes o zonas afectadas por calor) pueden producir indicaciones similares.

Defectos inaceptables y requerimientos de reparación: Cualquier discontinuidad lineal es inaceptable y deberá ser removida y reparada de acuerdo con lo previsto por el Código ASME. Donde una discontinuidad es removida por cincelado o esmerelado, la subsecuente soldadura no es necesaria, se tomará en cuenta que debe darse a los contornos formas que no presenten ranuras o bordes punteagudos. Luego de efectuada la reparación debe de inspeccionarse con el mismo método.

4.3.4. Líquidos Penetrantes

a. Evaluación de Indicaciones

Indicaciones relevantes son aquellas que resultan de discontinuidades mecánicas.

- Indicación lineal, es aquella en la que la longitud es más de tres veces el ancho. Sólomente las indicaciones con longitudes mayores a 1/6 de pulgada (1.6 mm.) serán consideradas como relevantes.
- Indicaciones redondeadas son aquellas en que la longitud es menor que tres veces el ancho.
- **Cualquier** indicación falsa o cuestionable será reensayada para verificar que no presenten defectos.
- Imperfecciones **localizadas** superficiales, tal como ocurre a partir de marcas de **maquinado**, acabado superficial o falta de adherencia entre el metal base y el revestimiento de acero inoxidable (CLADDING), **puede producir** indicaciones similares que no son relevantes para la **detección** de discontinuidades inaceptables.

b. Criterio

Toda la superficie examinada estará libre de:

- Indicaciones lineales relevantes.
- **Cuatro o más defectos redondeados** en línea, **separados** por 1/16 pulgadas (1.6 mm.) o **menos**

(de borde a borde), excepto donde la especificación del material establezca diferentes requerimientos para estos defectos.

4.4. Uso de E.N.D. en la Fabricación

En el Cuadro Nº 5 y en el punto 4.2. se explica ampliamente el empleo de los E.N.D. en la fabricación. Como aspecto importante citaremos que los E.N.D. se emplean para evaluar en todo momento el proceso de fabricación, además de contar con registros de calidad para uso posterior.

4.5. Uso de los E.N.D. en el Montaje

La función de los E.N.D. es similar que cuando se emplea durante el proceso de fabricación (ver punto precedente).

4.6. Evaluación de los E.N.D.

Los ingenieros calculistas y/o diseñadores requieren de los E.N.D. para comprobar el buen estado de cualquier material (como Materia Prima), cualquier componente (comprobación de la soldadura) y, además, dado que actualmente con el desarrollo de la "Mecánica de la Fractura" se estudia cada vez más el comportamiento de discontinuidades típicas.

4.7. Uso de los E.N.D. Durante la Operación

Durante la vida útil de un R.P.I. es fundamental

llevar un control del desgaste de corrosión de la pared principal del recipiente, por lo que se deben efectuar controles preventivos en base a un "Mapa de puntos prefijados", con el objeto de ir controlando las diversas zonas de desgaste.

4.8. Consideraciones al Código ASME

El Código ASME, por medio de sus secciones aplicables II, V, VIII, IX, RPSI, prevé todos los aspectos inherentes al diseño, fabricación, inspección y/o pruebas.

En la Sección II define todas las características, especificaciones y los métodos de ensayo de los materiales a ser empleados en la fabricación de los R.P.S.I.

En la Sección V describe todo lo referente a los E.N.D., en lo que respecta a su proceso de ejecución, evolución de las bondades de los elemento empleados, líquidos penetrantes, tipos de películas, partículas secas, etc., desde el punto de vista de cumplimiento de especificaciones. Define, además, las cualificaciones que deben tener los operadores de E.N.D., también las diversas técnicas a emplearse.

En la Sección VIII se describen los aspectos de diseño, sistemas constructivos, materiales, factores de diseño, aspectos de detalles constructivos, consideraciones de la influencia de la temperatura en los esfuerzos permisibles. En lo referente a criterios de aceptación, en esta sección se dan los criterios para todas las técnicas

de E.N.D.

En la Sección IX se describen los parámetros para la elaboración de procedimientos de soldadura, calificación de procedimientos de soldadura, calificación de soldadores; por ejemplo, se detallan las variables esenciales, no esenciales y suplementarias para evaluar la performance de los procedimientos soldadores y el trabajo de los soldadores.

CAPÍTULO 5

EJEMPLO DE APLICACION

5.1 Introducción

Es objetivo principal del presente capítulo el dar un aporte, al destacar la importancia que guardan las especificaciones técnicas, como herramientas del diseñador, para lograr que la serie de parámetros y/o condiciones por él asumidos sean cumplidos durante el proceso de fabricación y montaje, de tal forma de obtener el nivel de calidad previsto. Es opinión del suscrito, el darle mayor importancia a los aspectos del programa fabricación inspección, en lugar del ejemplo teórico; se ha tomado un caso típico aplicando las fórmulas desarrolladas en el capítulo **3.**

Se espera que el presente trabajo sea captado y sirva como una guía a los colegas que desarrollan sus actividades en el área del Diseño Mecánico.

El capítulo 5 es el resultado del ejemplo de los tres capítulos precedentes: Fundamentos teóricos de los E.N.D.,

Ruta de Diseño de Recipientes de Alta Presión y Elaboración de Especificaciones Técnicas de Fabricación y Montaje con uso de los E.N.D.

5.2. Desarrollo del Caso Típico

5.2.1. Consideraciones

Condiciones asumidas para el desarrollo del ejemplo de aplicación:

- Según el punto 3.1. del Capítulo 3, el proceso de producción del cuerpo del recipiente será mediante maquinado de una barra redonda del material elegido (según el Cuadro Nº 4, capítulo 3).

El sistema de cierre a usarse en función a la presión de operación será tipo BRIDGEMAN (ver Figura Nº 13, capítulo 3).

Los esparragos y/o pernos sometidos esfuerzos principales serán de alta resistencia según norma ASME, ver cuadros 7 y 8 del presente.

El sistema de empaquetaduras (anillo de acero y compañera de sección triangular) estarán especificadas según normas ANSI.

De acuerdo lo previsto en el capítulo 3 los requerimientos de inspección estarán de acuerdo al código ASME.

Se especificará el empleo de E.N.D. en los lugares donde el diseñador considere necesarios, de tal forma de asegurarse la no presencia de discontinui-

dades en los materiales o que el proceso de fabricación este de acuerdo con lo previsto en el código ASME (criterios de aceptación).

5.2.2. Datos de Cálculos

- Diámetro interior del cuerpo : 28 cms.
- Longitud cilíndrica : 50 cms.
- Presión interna : 1400 Kg/cm²
- Presión externa : Atmosférica
- Material tipo 7 (cuadro Nº 4, capítulo II)
 - Resistencia a la tracción permisible, basado en la resistencia última a la tracción : 5000 Kg/cm²
 - Resistencia a la tracción permisible, basado en la resistencia a la fluencia : 7000 Kg/cm²
- Temperatura de trabajo : Ambiente (18 - 20 °C)
- Módulo de Elasticidad : 2×10^6 Kg/cm²
- Coeficiente de expansión lineal : 12.5×10^{-6} por °C
- Eficiencia junta soldadura J=1 debido a que no presenta juntas en el cuerpo del recipiente (cuerpo maquinado).

a. Cálculo Espesor Cuerpo del Recipiente

De la fórmula (8) del Capítulo II.

$$t = R_1 \left[\sqrt{\frac{fJ + P_i}{fJ - P_i}} - 1 \right]$$

de los datos se tiene:

$$f = 5000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$J = 1$$

$P_i = 1400 \text{ Kg/cm}^2$, reemplazando datos:

$$R_1 = \frac{28}{2} = 14 \text{ cm.}$$

$$t = 14 \left[\sqrt{\frac{5000 \times 1 \times 1400}{5000 \times 1 - 1400}} - 1 \right]$$

$$t = 4.67 \text{ cms.}$$

de donde $R_2 = R_1 + t = 14 + 4.67 \text{ cm.}$

$$R_2 = 18.67$$

entonces $K = \frac{R_2}{R_1} = \frac{18.67}{14}$

$$K = 1.33$$

b. Variación del esfuerzo a lo largo del espesor del cuerpo. De acuerdo a las fórmulas desarrolladas en el punto 3.1.2. del Capítulo 3, para las constantes A y B, se tiene:

$$A = \frac{P_i R_1^{-2} - P_o R_2^{-2}}{R_2^{-2} - R_1^{-2}}$$

$$B = \frac{(P_o - P_i) \cdot R_1^{-2} \cdot R_2^{-2}}{(R_2^{-2} - R_1^{-2})}$$

reemplazando datos se tiene:

$$A = \frac{1400 \times 14^{-2}}{18.67^{-2} - 14^{-2}}$$

$$A = 1798 \text{ Kg/cm}^2, \text{ y}$$

$$B = \frac{1400 \times 14^{-2} \times 18.67^{-2}}{(18.67^{-2} - 14^{-2})}$$

$$B = 626912 \text{ Kg/cm}^2$$

3

Del punto 3.1.2., capítulo 3 se tiene

$$f_p = A + \frac{B}{R^2}$$

$$f_R = A - \frac{B}{R^2}$$

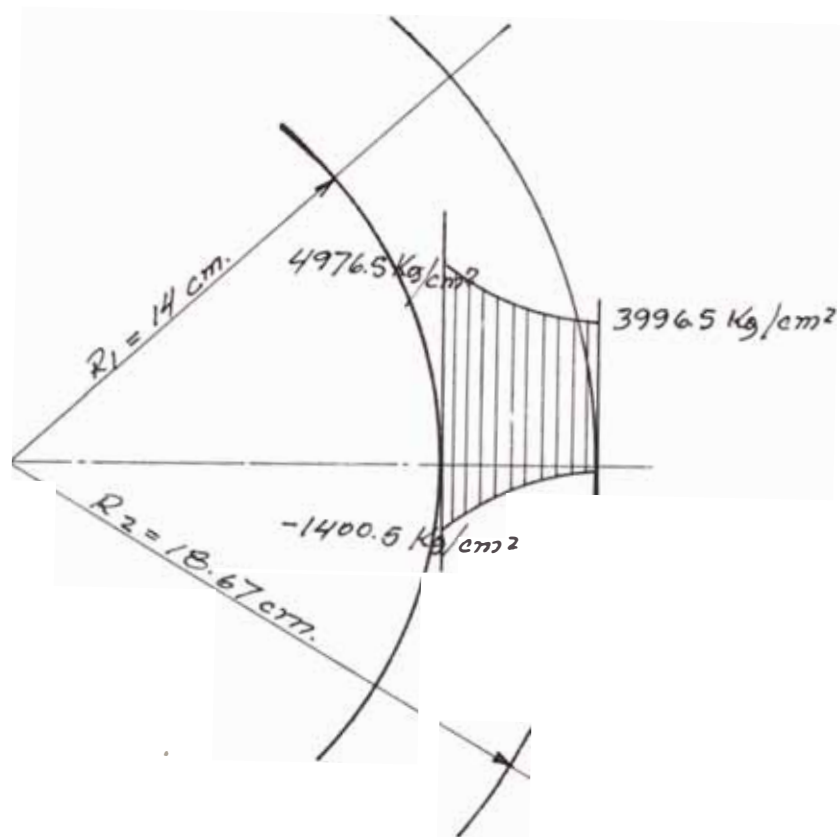
donde R es el radio cuyo valor de esfuerzo se está estudiando. Entonces podremos hallar la variación

VARIACION DE ESFUERZOS (f_p) y RADIALES (f_r)		
R	f_p	f_r
14.0	4976.5	- 1400.5
14.5	4779.7	- 11483.7
15.0	4574.3	- 900.2
15.5	4407.4	- 811.4
16.0	4256.8	- 650.8
16.5	4100.7	- 504.7
17.0	3967.2	- 300.2
17.5	3845.0	- 250.0
18.0	3732.9	- 136.9
18.5	3629.7	- 33.7
18.67	3596.5	-0.5

Nota : Los valores (+) son traccion y los valores (-) son comprension.

CUADRO N° 6

FIGURA Nº 15



Esc. 1 / 2.5

del esfuerzo incrementando el valor de R desde 14 cm., hasta 18.67 cm., los resultados son mostrados en el cuadro N°6.

El esfuerzo axial $f_a = A$

$$f_a = 1790 \text{ Kg/cm}^2$$

c. Aplicación teoría del máximo esfuerzo de corte.

De acuerdo con la fórmula (11), **Capítulo 3**.

$$K = \frac{f}{\sqrt{f - P_i \sqrt{3}}}$$

reemplazando datos:

$$K = \frac{7000}{\sqrt{7000 - 1400\sqrt{3}}}$$

$$K = 1.23, \text{ dado que } K = \frac{R}{R_1} \text{ entonces:}$$

$$R_2 = 14 \times K.$$

$$= 14 \times 1.23$$

$$R_2 = 17.32 \text{ cm.}, \text{ de donde:}$$

$$t = R_2 - R_1$$

$$t = 17.32 - 14$$

$$t = 3.32 \text{ cm.}$$

Debido a que en **conclusión** se diseñará en función del esfuerzo de fluencia, entonces se tomará **como espesor diseñado, $t = 4.67 \text{ cm.}$** (Resistencia a la tracción permisible 500 Kg/cm^2 .).

d. Elementos de unión

En lo que respecta a los materiales de esparragos y/o pernos, tal como se indican en 5.2. se empleará la especificación ASME. En los cuadros Nº 7 y 8, se indican las especificaciones que normalmente se emplean en juntas sometidas a presión, en lo que respecta a pernos y tuercas respectivamente.

5.2.3. Programa de Fabricación o Inspección

Introducción

Con la finalidad de complementar el objetivo del presente trabajo, deberá enfocarse por parte del diseñador desde la forma de obtención de los materiales necesarios para la fabricación del recipiente, la serie de etapas del proceso de construcción del R.S.A.P. hasta la etapa de pruebas de funcionamiento. Por consiguiente se deberá efectuar un breve pero real diagrama de flujo de las diversas operaciones, para cada uno de los diversos componentes principales del recipiente, objeto de cálculo, para esto en el plano esquemático I-IV-84, se muestran las principales partes.

De acuerdo a lo mencionado líneas arriba en los diagramas 1, 2 y 3, mostrados a continuación, se enumeran las operaciones principales de fabricación. El objetivo de los diagramas es determinar la necesidad de inspección en cada una de las etapas mencionadas.

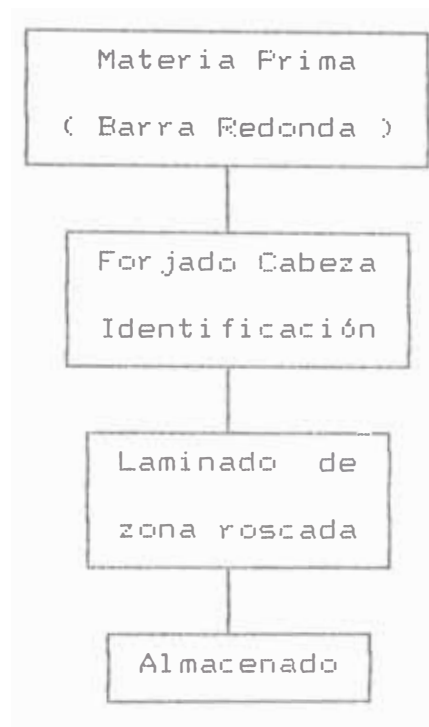
PERNOS PARA JUNTAS SOMETIDAS A PRESION

Especificacion ASTM	Tipo de Acero	Temperatura Permisible de servicio del Metal (8F)	Observaciones
A 193 gr B7	1Cr - 1 Me --- 5	- 20 @ 1000	
B16	1Cr - 1 Me --- 2	- 20 @ 1100	Aceros
B5	5Cr - 1 Me --- 2	- 20 @ 1200	Forriticos
B6	13Cr (tipo 410)	- 20 @ 900	
A 193 gr B8C11	tipo 304		
B8NC11	316		Aceros
B8TC11	321	- 20 @ 1500	Anatomicos
B8CC11	347		
A 307 gr B	Carbon	- 20 @ 450	
A 320 gr L7	Cr-MeQT	min - 150	
B8	tipo 304	min - 425	maxima
B8C	347	min - 425	temperatura
B8F	303	min - 325	de servicio
B8M	316	min - 325	+ 100° F.
B8T	321	min - 325	

CUADRO N° 7

TUERCAS PARA JUNTAS SOMETIDAS A PRESION		
Especificacion STM	Tipo de Acero	Temperatura Permisible de Servicio del Metal (°F)
A 194 gr 1 o 2	Carbon	- 20 @ 900
gr 2 H	Carbon, QT	- 50 @ 1100
gr 3	5 Cr, QT	- 20 @ 1100
gr 4	C-Mn, QT	- 150 @ 1100
gr 6	12 Cr (410), QT	- 20 @ 800
gr 7	1 Cr - 1/5 Mn	- 20 @ 1100
gr 8 F	Tipo 303, 5.Tr	- 325 @ 800
gr 8 M	316, 5.Tr	- 325 @ 1500
gr 8 T	321, 5.Tr	- 325 @ 1500
gr 8 C	347, 5.Tr	- 425 @ 1500
gr 8	304, 5.Tr	- 425 @ 1500

CUADRO N° 8

a. Elementos de Unión: (EUN)Diagrama No 1

En este caso, debido a que es una producción en serie, y el producto es adquirido a proveedores especializados, la inspección en líneas generales consiste en:

- Verificación de certificados de materia prima (análisis químico, físico, dureza).
- Verificación de certificado de haber sido sometido a cargas de prueba (ensayo físico) la zona roscada.
- Inspección del estado superficial mediante magnetoscopia (partículas magnéticas) con especial interés en la zona roscada y la cabeza.
- Inspección visual de dimensiones físicas y de marcado en la cabeza.

b. Tapa Fija (TFI)

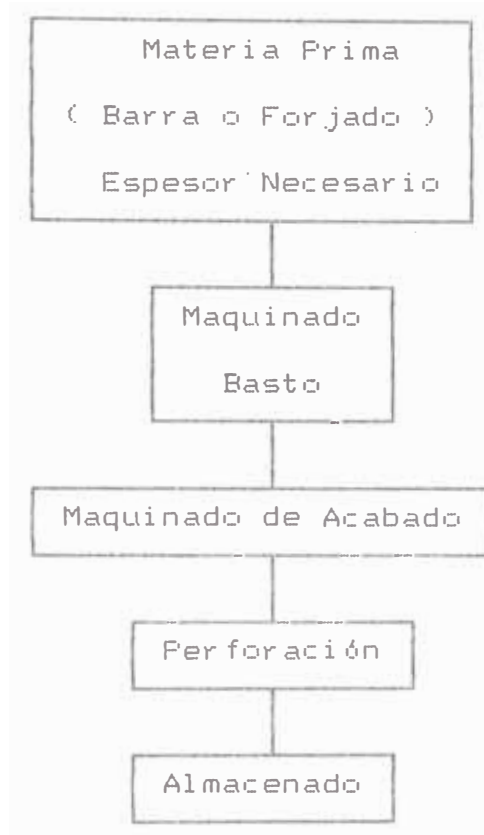


Diagrama No 2

- Verificación de certificados de colada (análisis químico, físico, dureza, etc.)
- Antes de iniciar el maquinado basto debe inspeccionarse vía ultrasonido al 100%, aprovechando las caras planas.
- Luego del maquinado basto dejando entre 0.5 a 1 mm. de aproximado, inspeccionar vía partículas magnéticas.
- Luego del maquinado de acabado se deberá inspeccionar por líquidos penetrantes al 100% de la superfi-

cie maquinada.

- Después de la perforación de los agujeros deberá inspeccionarse por partículas magnéticas.

c. Tapa Flotante (TFL)

El diagrama y las inspecciones son muy semejantes a la tapa fija a excepción de las efectuadas a las zonas roscadas.

d. Empaquetadoras (EMP)

En este aspecto se deberá revisar los certificados de materiales, además el certificado de resultados de pruebas que demuestren la amplitud al uso. Aquí nos debe interesar el ensayo por tintes penetrantes para comprobación del estado superficial.

e. Cuerpo Recipiente (CRE)

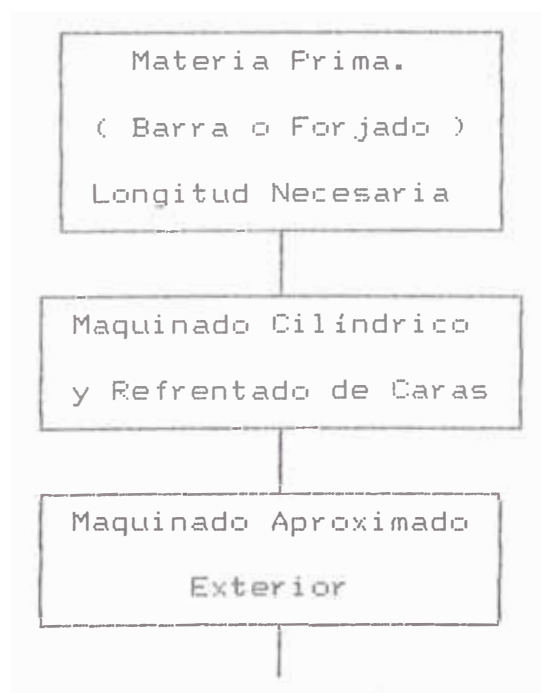




Diagrama No. 3

En este caso debe tomarse en cuenta la presión a que trabajará el cuerpo del recipiente (1400 Kg/cm²).

- Revisión del certificado igual que para TFI y TFL.
- Luego del maquinado cilíndrico se debe efectuar la inspección por ultrasonidos por la superficie cilíndrica y caras paralelas.
- Después del maquinado interior y exterior aproximado se inspeccionará mediante radiografiado la superficie lateral del cuerpo del recipiente, para la parte semiesférica se empleará ultrasonidos. Es muy importante conocer el estado superficial por lo que se deberá inspeccionar por líquidos penetrantes.
- Luego del maquinado de acabado se inspeccionará por partículas magnéticas.

Conclusión:

Según lo descrito en los puntos (a) hasta (e)

con el objetivo de una vieja organización del trabajo, se desarrollaran procedimientos específicos tales como:

<u>Nº</u>	<u>Iden.</u>	<u>Descripción Procedimiento</u>	<u>Designación</u>
1		P. de revisión de certificados de materiales.	P. Mat. EUN P. Mat. TFI*
		* Debido a que es un milenio material reemplazaremos la designación como P. Mat. Rec.	P. Mat. TFL* P. Mat. EMP P. Mat. CRE*
2		P. de inspección por partículas magnéticas, el alcance del procedimiento incluirá los EUN, TFI, TFL y el CRE.	P. Par. Mag.
3		P. inspección por líquidos penetrantes, el alcance incluirá TFI, TFL, EMP y el CRE.	P. Líq. Pen.
4		P. inspección por ultrasonidos, el alcance incluirá la TFI, TFL, CRE.	P. Ins. Ult.
5		P. de inspección radiográfica el alcance será el CRE debido a que es la única parte en que se aplica.	P. Ins. Rad.
6		P. de verificación de certificados de pruebas a elementos de unión (EUN).	P. Ver. Nor.
7		P. de inspección visual general	P. Ins. Vis.

- aplicable.
- 8 P. de control dimensional donde se encuentren las tolerancias aceptables. P. Con. Dim.
- 9 Procedimiento para el corte y maquinado de TFI, TFL, CRE, fundamentalmente indicándoles parámetros óptimos de velocidad de corte, avance, profundidad de corte, etc. P. Cor. Maq.
- 10 Procedimiento sobre condiciones de protección superficial, marcado y embalaje. P. Pro. EMB.
- 11 Procedimiento sobre los requerimientos de torque de ajuste en los elementos de unión y secuencia de ajuste. P. Req. Tan.
- 12 Procedimiento para liberación (inspección de recepción) de los diversos componentes tales como EUN, los materiales para fabricar la TFI, TFL, CRE, además de EMP. P. Ins. Rec.
- 13 Procedimiento que establece condiciones mínimas requeribles del área de trabajo. P. Con. Tra.
- 14 Procedimiento para el manipuleo (izaje, traslado, etc.) de los

- diversos materiales.
- 15 Procedimientos para control y P. Con. Cal. calibración de instrumentos de metrología y ajuste y/o medición.
- 16 Procedimiento para ejecución de P. Pru. Hid. prueba hidráulica.

f. Programa Fabricación e Inspección (PFI)

A continuación, en el cuadro Nº 9 se muestra el PFI detallado aplicable al ejemplo desarrollado.

CUADRO Nº 9

PROGRAMA DE FABRICACION INSPECCION

Acti- vidad Nº	Descripción	(1) Referen- cia apli- ble.	(2) Inspec- ción fa- brican- tes.	(3) Inspec- ción clien- tes.	(4) Infor- me Nº
1	Liberación de las partes y materiales, para el inicio del proceso de fabricación. -Inspección de recepción	1,2,3,6,7 8,12	*		
	-Inspección de identificación y protección	10	*		N/A
	-Liberación área de trabajo	13	*		N/A
2	Marcado de zonas donde se efectúe trazo de los materiales para el elemento CRE. Traslado a zonas				

/...

.../					
	de trabajo.				
	-Inspección de trazados	7,8,10,15	*		N/A
	-Inspección de traslado de materiales	14	*		N/A
3	Antes de iniciar maquinado hacer inspección por ultrasonidos, luego el maquinado (BASTO) de los materiales para TFI, TFL, tomar especial cuidado en lo referente a la fijación a la máquina herramienta, además de emplear la velocidad de corte avance indicados en procedimiento, debe hacerse un cuidadoso control del espesor a maquinar.				
	-Inspección por ultrasonidos ...	4	*		
	-Inspección de condiciones de maquinado	13,14,9	*		N/A
	-Inspección dimensional maquinado BASTO	7 y 8, 15	*		N/A
	-Inspección por partículas magnéticas	2	*		
3.1	Después de haber cumplido los pasos posteriores al maquinado basto y teniendo resultados aceptables, se inicia el maquinado de acabado cuidando la profundidad de corte recomendada por el fabricante				
					/...

.../	del acero (registrado en P. Cor. Mal).			
3.2	-Inspección condiciones maquinado	9	*	N/A
	-Inspección dimensional y visual	7,8,15	*	N/A
	-Inspección por líquidos penetrantes	3	*	N/A
	Habiendo cumplido las actividades post maquinado fino agujerear la TFI, tomando en cuenta las tolerancias y velocidades de régimen recomendado.			
	-Inspección de zonas roscadas..	7,8,15	*	N/A
3.3	-Inspección por partículas magnéticas	2	*	
	Proteger las superficies, preferiblemente con polietileno, con el objeto de cuidar el maquinado, colocar placa metálica con la identificación necesaria.			
	-Inspección de identificación y protección	10	*	
4	Retirar el material, para el CRE, del almacén. Trazar las zonas donde se efectuará el corte. Realizar el corte y el maquinado con el objetivo de dejar perfectamente cilíndrica la			

.../

	pieza, para luego efectuar inspección por ultrasonidos.			
	-Inspección de trazado, corte y maquinado	8,9,7,15	*	N/A
	-Inspección por ultrasonido (cara y superficie cilíndrica)	4	*	
4.1	Efectuar primer maquinado (cuidar de no dejar menos de 0.3-0.5 mm. para maquinado de acabado). Interior y exterior, cumpliendo los parámetros indicados en el procedimiento respectivo. Preparar el elemento para realizar la inspección radiográfica en la superficie cilíndrica del CRE y preparar la zona semiesférica para la inspección por ultrasonidos. Finalmente luego de ambas inspecciones efectuar una cuidadosa limpieza de los vestigios de grasa o aceite, preparando la pieza para la inspección por líquidos penetrantes.			
	-Inspección condiciones maquinado	9		N/A
	-Inspección visual y dimensional	7,8,15		N/A
				/...

.... /				
	prueba hidráulica	16		
	-Inspección por líquidos penetrantes	3		
5.5	Retirar la TFL provisional colocando luego la TFI permanente cuidando de controlar el torque de ajuste.			
	-Inspección interna del CRE ..	7		N/A
	-Inspección torque de ajuste ..	11		N/A
	-Inspección visual y dimensional	7,8		N/A
5.6	Proceder a la ejecución de la protección superficial.			
	-Inspección visual	7,10		N/A
5.7	Preparar el embalaje para asegurar el transporte del CRE.			
	-Inspección de embalaje e identificación	10,14		
	-Liberación para transporte	10,14		

f.1. Notas Aclaratorias del PEI

Columna (1) : Se enumera los procedimientos aplicables para la actividad de inspección.

Columna (2) : Se registra todas aquellas inspecciones por parte del fabricante. El asterisco (*) indica que debe firmar el inspector que el fabricante designó, en su debido momento.

Columna (3) : Cuando el PFI haya sido elaborado debe ser **presentado** al cliente para que señale todos aquellos puntos de **inspección** en los que estará presente y aquella en **los cuales sólo** revisará los registros elaborados.

Columna (4) : Se **anotará la fecha y el número** de informe elaborado, en aquellos casos que no tenga N/A (no aplicable).

El PFI, puede tener una designación específica, además de enumerar las hojas componentes del programa

EVALUACION ECONOMICA

1. Antecedentes

En la presente parte del trabajo se mostrará la forma de **establecer** relaciones entre los **costos** definidos a **continuación:**

Costo de Material (C. Mat.).— Se tomará en cuenta el **costo** que representan los materiales empleados en la fabricación final del recipiente, debe tenerse presente **los materiales de los cuales** se inició el proceso de fabricación.

En caso del ejemplo típico se tiene **aproximada-**mente un peso de 770 Kgs. que representa un **determi-****nado costo.**

Costo de Fabricación (C. Fab.).— Representa el total de dinero que cuesta la fabricación del **recipiente,** es decir, el cumplimiento de todas las operaciones de producción requeridos.

Costo de Inspección (C. Ins.).— Representa el costo de todas las inspecciones realizadas según el programa de fabricación o **inspección aplicable.** Resulta

fácil comprender que a medida que las exigencias y/o requerimientos del P.F.I., sean mayores, incrementará el costo de inspección; la experiencia señala que el incremento no es lineal sino mas bien exponencial. Al respecto debe recordarse que el presente tema pretende dar un aporte para lograr especificaciones técnicas (en nuestro caso P.F.I.) adecuadas, a las condiciones de trabajo de lo que se esté diseñando valiéndose para esto de los E.N.D. El C. Ins., es el resultado de la evolución de los puntos de inspección indicados en el P.F.I.

Costo Total (C. Tot.). - Es la sumatoria de C. Mat. + C. Fab. + C. Ins.

Costo del Riesgo de Falla (C. Fal.). - Representa la evaluación del riesgo de falla del recipiente que es esté diseñando. Aplicando un simple razonamiento llegaremos a la siguiente conclusión: A medida que las condiciones de operación sean cada vez más exigentes (alta presión, tipo de contenido letal, agentes contaminantes, etc.) el costo del riesgo de falla es mucho más alto. Como ejemplo citaremos: Falla en determinado sistema en una central nuclear en U.S.A., o en la central nuclear de Chernobyl en la U.R.S.S.

Costo Integrado (C. Int.). - Representa el costo resultante entre el centro total (C. Tot.) y el centro de falla (C. Fal.), en un punto mínimo de esta curva nos indicará la intervención óptima, considerando

todos los costos enunciados anteriormente.

2. Curvas de Variación de Costos

Basados en lo indicado en el punto 1. anterior, se ha elaborado el Gráfico Nº 1, que registra la inversión versus la exigencia de una correcta especificación técnica. Se debe entender que una especificación técnica adecuada, es aquella, que es el resultado de la experiencia, uso de códigos y/o normas y datos históricos al respecto, donde se tratará de lograr un equilibrio entre el costo de producir algo y el costo de la inspección para lograr que el producto cumpla su aptitud al uso.

En el Gráfico Nº 2 se muestra lo indicado en el apartado f del punto 1.

3. Discusión de los Gráficos 1

3.1. Gráfico 1.- Indica cuáles son los costos del riesgo de fallas, total para cualquier nivel de exigencia de las especificaciones técnicas.

3.2. Gráfico 2.- Es importante debido a lo siguiente, nos muestra el punto de mínima inversión, es decir, el costo integrado mínimo (I_2) para el cual el costo de materiales es el $C. Mat.$, el costo de fabricación es $C. Inspección$ y por último el costo de falla o el riesgo es $C. Fal.{}^2$.

Los Gráficos 1 y 2 son consecuencias de los antecedentes expuestos anteriormente pero aplicable en sus

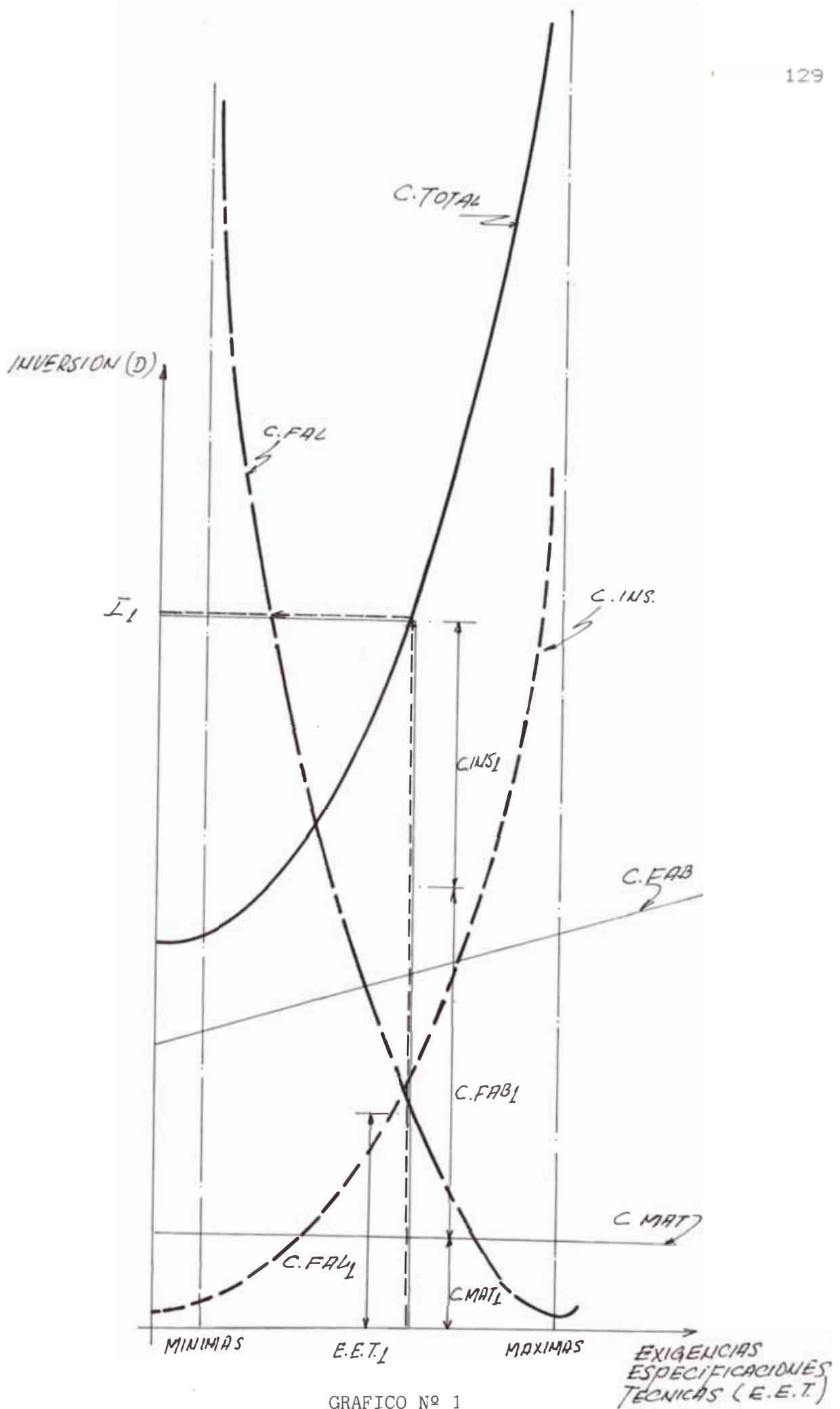


GRAFICO Nº 1

VARIACION DE C.MAT, C.FAB, C.INST Y EL C.TOTAL

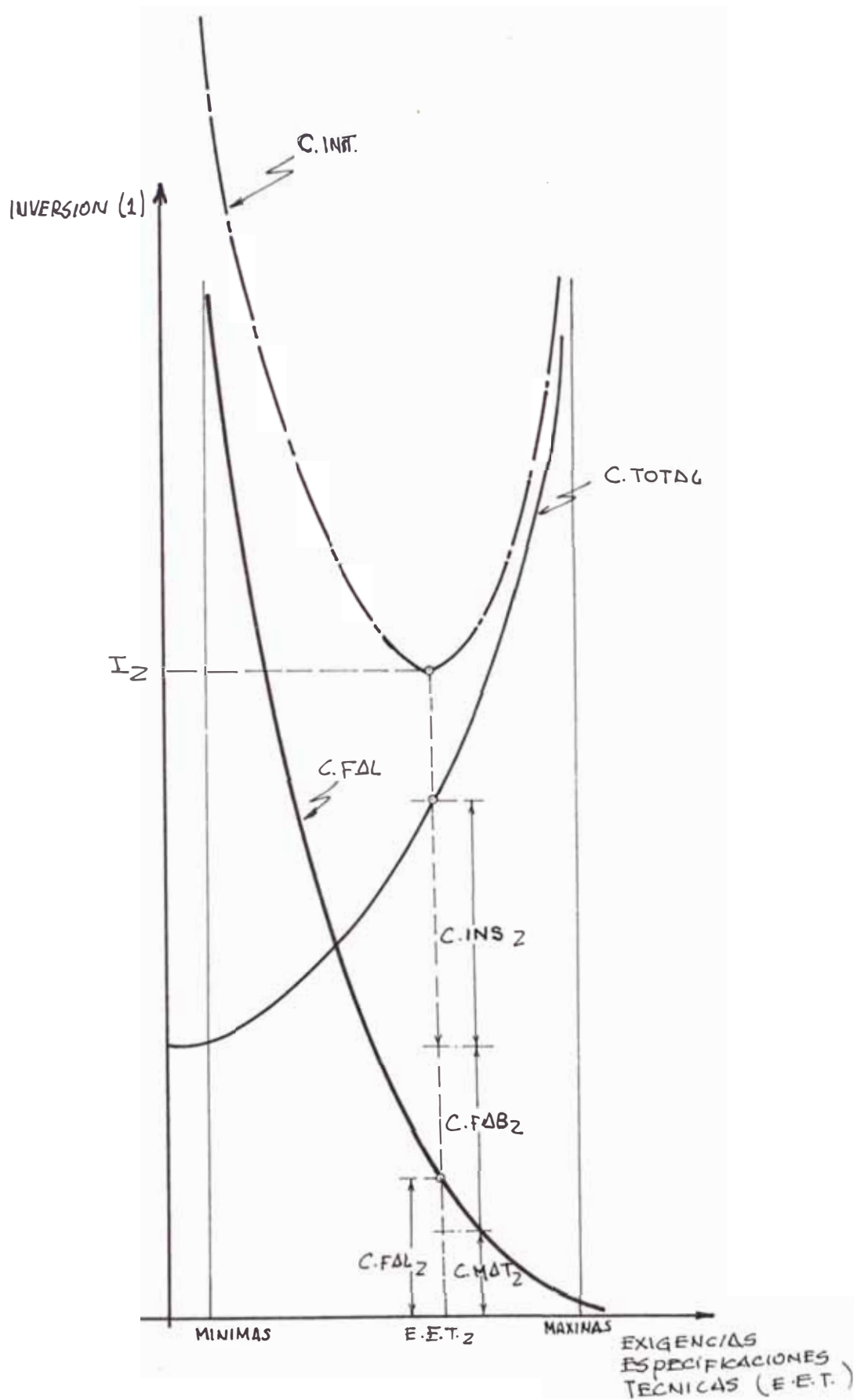


GRAFICO Nº 2

VARIACION DEL COSTO INTEGRADO

relaciones recipientes de alta presión. En aplicaciones donde los requerimientos técnicos son menos exigentes las variaciones son diferentes, por lo tanto deberá elaborarse otra serie de curvas.

C O N C L U S I O N E S

1. El conocimiento de los E.N.D. es proporcional a la experiencia del profesional que se dedica diseñar Recipientes Sometidos a Presión. Como el fundamento consiste en la prioridad de garantizar que durante el suministro, fabricación, montaje y pruebas del Recipiente Sometido a Presión, se conserven los parámetros de diseño; por esta razón se deben elaborar los programas de Fabricación/Inspección que -especialmente para los aspectos de inspección- considera los E.N.D. Se recomienda que durante la formación de los profesionales del área de Ingeniería Mecánica y afines, se considere dentro del curriculum cursos donde se expliquen los fundamentos teóricos, aplicación, ventajas, desventajas, códigos y normas de los E.N.D.
2. Al momento de requerir el empleo de E.N.D. se debe tomar en cuenta los tipos de discontinuidades que deben ser estudiadas, es decir, debe solicitarse la técnica tomando en cuenta el costo relativo entre ellas.

3. Aquellos profesionales que desarrollan actividades en el área de diseño de R.S. a Presión tendrán información al respecto del equilibrio entre el costo de riesgo de falla y el costo total; por supuesto que en este caso se está considerando un nivel de Inspección en función a los requerimientos de uso de los R.S.A.P. Las curvas estarán en función al uso o condiciones de trabajo, como ejemplo citaremos:

- La familia de tuberías para oleoductos.
- Los tanques esféricos.
- Los tanques de almacenamiento.
- Los tanques sometidos a presión.
- Los tanques para gas, etc.

En otras palabras, existirá equilibrios de costos en función al trabajo del tema de estudio.

4. Es necesario que a nivel de instituciones relacionadas con la calidad y normalización, se dé la importancia necesaria al control de la calidad y desarrollo de la normalización en todo lo referente a recipientes sometidos a presión. Existe un aspecto que debe ser ampliamente difundido: las inspecciones en servicio para conocer en todo momento la real situación de los recipientes sometidos a presión, con el objetivo de prevenir accidentes, esto ha sido definido en el tema como el costo de riesgo de falla.

5. El tema desarrollado ha sido fruto de estudio y de

experiencia, por lo que estará sujeto a cambios y/o revisiones a consecuencia de su continua aplicación al área de diseño.

B I B L I O G R A F I A

TITULO	AUTOR	EDICION-AÑO
1.- Ensayo de los materiales.	Aaron Helfgot	Kape Lusz-1979
2.- Introducción a los métodos de ensayos no destructivos.	INTA	INITA-3º edición
3.- Inspección radiográfica de uniones soldadas.	A. Ruiz Rubio	Urmo - 1971
4.- Process Equipment-Design.	M. V. Joshi	Macmillan India Limited - 1981
5.- Código ASME sección VIII, V, IX.	A.S.M.E.	Edición 1980
6.- Pressure Vessel Design Handbook.	Henry H. Bernard.	VNR - 1981