



2ej 14

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

INFLUENCIA DE LA GEOMETRIA DEL ENTALLE
EN LA PRUEBA DE IMPACTO CHARPY "V"

TESIS MANCOMUNADA
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO METALURGICO

PRESENTAN

JORGE LARIOS MALANCHE
LUIS MIGUEL MON SANTOS



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

1.- INTRODUCCION.....	1
1.1.- Descripción de la Prueba de Impacto.....	3
1.2.- Diferentes Tipos de la Prueba de Impacto.....	9
1.2.1.- Prueba de Impacto Charpy.....	9
1.2.2.- Prueba de Impacto Izod.....	9
1.3.- Utilidad de la Prueba de Impacto.....	11
2.- GENERALIDADES.....	13
2.1.- Comportamiento de los Metales a Baja Temperatura.....	14
2.1.1.- Temperatura de Transición.....	15
2.1.2.- Curvas de Transición.....	18
3.- ANALISIS DEL PROBLEMA.....	21
3.1.- Variables que Afectan la Prueba.....	22
3.1.1.- Efecto de la Geometría del Entalle.....	22
3.1.2.- Efecto de las Dimensiones de la Probeta.....	24
3.1.3.- Efecto de las Condiciones de Prueba.....	24
3.1.4.- Efecto de la Velocidad de Deformación.....	25
4.- DESARROLLO DEL ESTUDIO.....	27
4.1.- Selección del Material.....	28
4.2.- Selección de las Variables Geométricas del Entalle....	28
4.3.- Determinación de Curvas de Transición.....	30
4.4.- Elección de la Temperatura de Prueba.....	30
4.5.- Parte Experimental.....	30
4.5.1.- Características Metalúrgicas de los Aceros.....	34
4.5.1.1 Análisis Químico Cuantitativo.....	34
4.5.1.2 Resistencia a la Tracción y Dureza.....	34
4.5.1.3 Observación Metalográfica.....	35
4.5.2.- Condiciones de Prueba.....	37
4.6.- Desarrollo y Resultados.....	37
4.7.- Tratamiento Estadístico.....	43
5.- CONCLUSIONES.....	48
6.- APENDICE.....	50
7.- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	100

El estudio de la fragilidad al agrietamiento o por entalle se ha manifestado en tal forma durante las últimas décadas, que ha sido el foco de interés de varios investigadores, así es el caso de esta investigación, la cual pretende demostrar las diferencias existentes en el comportamiento de los aceros ASTM-A333 Grado 3 y ASTM-A106 Grado B, de uso común en la industria petroquímica, al variar las condiciones geométricas del entalle y la temperatura de prueba durante el ensayo de Impacto Charpy "V".

En general las investigaciones de las roturas por fragilidad en recipientes a presión, depósitos y conducciones tubulares han mostrado que tienen relación con alguno de los siguientes factores:

1. Propiedades del Acero
2. Detalles de Proyecto
3. Método de Fabricación

De los cuales el primero y el tercero se encuentran interrelacionados -- con la prueba de impacto, debido a que ésta se encarga en forma cualitativa de evaluarlos y mediante éstos podemos predecir el comportamiento de un material bajo ciertas condiciones de presión y temperatura.

Para dar una idea de la magnitud de este tipo de fallas, a continuación mencionamos algunos de los efectos ocasionados por éstas.

La falla del barco carguero "Liberty" tipo T-2 que se rompió en dos partes en el muelle de Boston durante la época de invierno cuando la temperatura del agua descendió a 1°C, o el caso de la rotura de un recipiente cilíndrico que contenía gas licuado a presión en Cleveland, produjo la muerte a 128 personas, dónde la temperatura de servicio del recipiente era de -162 °C, el material era acero de bajo carbono con 3.5% de níquel soldado con electrodos de acero inoxidable del tipo 310 (25-20). Sin em-

bargo el origen de la rotura no pudo en ningún momento determinarse, pero se cree que se debió a que el acero se entregó en estado bruto de laminación y carecía de un normalizado como lo especifica la norma del material.

Existe también el caso de una columna de metano de 13.1m de altura y 1m. de diámetro interior, construida de acero al carbón de calidad calderas, que se rompió en forma frágil después de 15 años de servicio. La temperatura normal de trabajo era de -110°C en la parte alta de la columna y de -70°C en el fondo. La presión manométrica era de 9 Kg/cm^2 . Se atribuye la falla a una falta de fusión y penetración de una soldadura próxima a la tubería de líquido, junto al fondo de la columna, así como, a una concentración de tensiones en las zonas de conexión de aberturas. Sin embargo, la extrema baja temperatura aunada a la baja resistencia del acero a esa temperatura se consideró como factor más importante.

La prueba de impacto es utilizada también para determinar el comportamiento de un metal sujeto a la aplicación de una carga sencilla que produce esfuerzos multiaxiales asociados a un entalle y altas velocidades de carga y en ocasiones a temperaturas diferentes a la temperatura ambiente, reportando los resultados en pie-lbf de energía absorbida.

1.1 DESCRIPCION DE LA PRUEBA DE IMPACTO

La Prueba de Impacto es una prueba dinámica en la cual una probeta maquinada y ranurada, se rompe mediante un golpe en una máquina especialmente diseñada para esta prueba, en donde se mide la energía absorbida por la probeta. Los valores de energía determinados, son comparaciones cualitativas de una probeta seleccionada y frecuentemente utilizados como un criterio de aceptación o rechazo de un material, estos valores de energía no se pueden transformar para ser

utilizados en cálculos de ingeniería.

La apariencia de la fractura en porcentaje y la expansión lateral - en milésimas de pulgada, son otros criterios de aceptación o rechazo de un material frecuentemente utilizado en la prueba de impacto.

Por lo general las temperaturas de prueba diferentes a la temperatura ambiente son especificadas por la norma de cada material; aún -- cuando la temperatura de prueba en ocasiones es la temperatura de -- servicio.

A menos de que se especifique de otra manera, puede utilizarse la - probeta longitudinal con un entalle perpendicular a la superficie - de prueba y el número de probetas para cada condición deberá ser de tres.

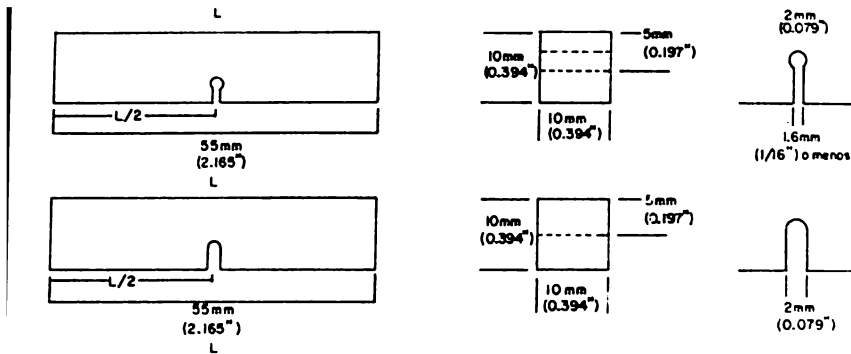
El tipo de probeta podrá ser CHARPY "V" o CHARPY "OJO DE LLAVE" como se muestra en la figura No. 1, en tanto que los tamaños dependerán del espesor del material con el que se trabaja, que pueden ser los siguientes:

10 X 10 mm	10 X 5 mm
10 X 7.5 mm	10 X 3.3 mm
10 X 6.7 mm	10 X 2.5 mm

El entalle deberá ser perpendicular a la cara que será de 10 mm de ancho.

Cuando se emplean probetas menores a la de 10 X 10 mm, los niveles de energía o temperaturas de prueba deberán ser establecidas entre el fabricante y el comprador.

La máquina con la cual se hace el entalle debe de ser objeto de una particular atención debido a que se ha demostrado que pequeñas variaciones en el radio del entalle ocasionan resultados erróneos ---



NOTA: Tolerancias permitidas.

ángulos entre lados adyacentes	$90^{\circ} \pm 10 \text{ min.}$
dimensiones sección transversal	$\pm 0.025 \text{ mm (0.001 pulg)}$
longitud de la probeta	$\pm 0, - 2.5 \text{ mm (0.100 pulg)}$
ángulo del entalle	$\pm 1^{\circ}$
radio de curvatura	$\pm 0.025 \text{ mm (0.001 pulg)}$
dimensiones al fondo del entalle:	
harpy "V"	$8 \pm 0.025 \text{ mm (0.315} \pm 0.001 \text{ pulg)}$
harpy "Ojo de llave" y "U"	$5 \pm 0.05 \text{ mm (0.197} \pm 0.002 \text{ pulg)}$
terminado sobre la superficie del entalle y la cara opuesta $1.6 \mu \text{ m (63} \mu \text{ pulg.) max.}$, en las otras x caras $3.2 \mu \text{ m (125} \mu \text{ pulg.)}$.	

FIG. N° 1.- TIPOS DE PROBETAS Y TOLERANCIAS

Los entalles de "OJO DE LLAVE" pueden hacerse taladrando un agujero y cortando la ranura; deberá taladrarse con sumo cuidado y a baja velocidad.

EQUIPO DE PRUEBA Y CONDICIONES:

Una máquina de impacto es aquella donde se rompen las probetas mediante el golpe de un péndulo. Al poner el péndulo en movimiento desde una altura ya determinada, así que se conoce de antemano la energía del golpe; la altura a la que el péndulo sube después del rompimiento de la probeta, es el medio de cuantificación de energía absorbida por la probeta.

La probeta es soportada horizontalmente como una viga simple con el eje del entalle vertical y rota a la mitad por la cara opuesta al entalle.

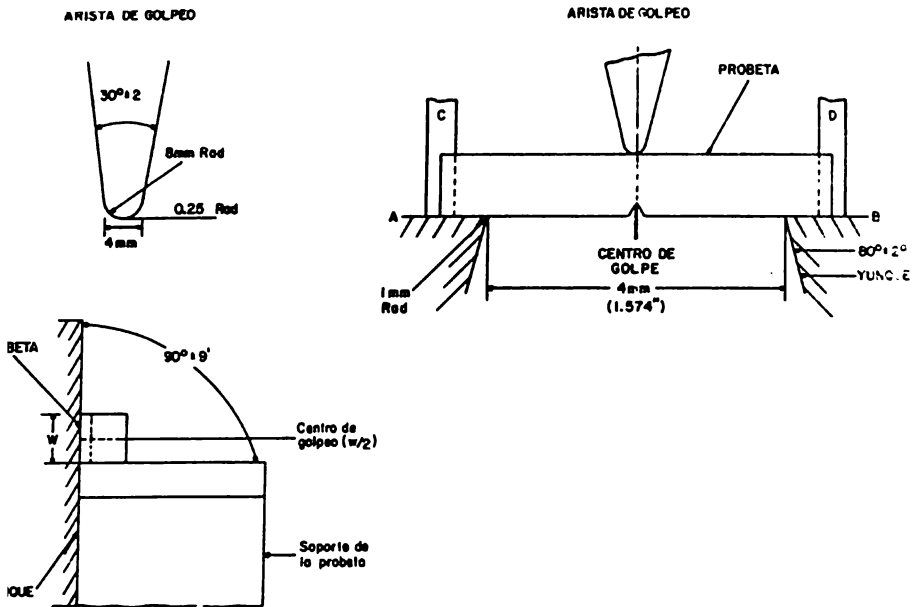
Las máquinas de impacto pueden ser calibradas y ajustadas de acuerdo a los requisitos de la última revisión de la norma oficial mexicana NOM-8-121 o la norma ASTM-A-23, la cual se incluye en el apéndice dice.

Las dimensiones del péndulo deben ser tales que al centro de percusión esté en el punto de impacto con un error no mayor al 1% de la distancia del eje de rotación al punto de impacto.

Las dimensiones del soporte de la probeta y de la arista del péndulo que golpea la probeta se muestran a continuación en la figura No. 2

La variación de temperaturas tiene gran efecto en los resultados de la prueba, por lo que esta variable debe de ser controlada. La temperatura a la que se prueba cada probeta deberá ser reportada en cada una de las pruebas realizadas a bajas temperaturas.

Las bajas temperaturas en el laboratorio se pueden obtener mediante el empleo de medios refrigerantes líquidos tales como: agua, hielo



menos que se especifique lo contrario todas las tolerancias seran: ± 0.05 mm (0.002 pulg)

TA 1: "A" Debera ser paralelo a "B" dentro de 2:1000 y coplanar con "B" dentro 0.05mm(0.002 pulg)

TA 2: "C" Debera ser paralelo a "D" dentro de 2:1000 y coplanar con "D" dentro de 0.125mm(0.005 pulg)

TA 3: El terminado sobre las partes sin marcar debera ser de 4µm (125µ pulg)

FIG. N° 2. DIMENSIONES DE LA MAQUINA DE IMPACTO

más agua, hielo seco más solventes orgánicos, nitrógeno líquido, o en su defecto con gases fríos, en donde las probetas que van a ser probadas a bajas temperaturas deberán permanecer en este medio --- 5 min. en caso de ser líquido y 60 min. en caso de ser gaseoso.

Para pruebas a temperaturas mayores a la temperatura ambiente, las probetas deberán permanecer por lo menos 10 min. en aceite con agitación u otro baño adecuado; cuando las probetas se calientan en - horno deben de permanecer por lo menos 60 min.

Siempre que las pruebas se efectuen a temperatura diferente a la - temperatura ambiente, las probetas deberán probarse en un intervalo de 5 seg. después de haber sido retiradas del baño refrigerante, para así minimizar el cambio de temperatura.

Las pinzas con las cuales se manejan las probetas al igual que el soporte de las mismas pueden estar a la temperatura ambiente ya -- que no afectan la temperatura de la probeta.

Los resultados de una prueba de impacto deberá ser la media aritmética de los resultados de las tres probetas. Cuando el criterio de aceptación está basado en la energía absorbida, no más de una probeta puede estar por debajo del promedio mínimo establecido y - en ningún caso un valor individual podrá estar 2/3 partes abajo -- del promedio mínimo o 6.8 J (5pié-lbf), si esto llegase a suceder, la prueba tendrá que ser repetida a otras tres probetas nuevamente.

Cuando el criterio de aceptación está basado en la expansión lateral del entalle, el valor de cada una de las probetas puede ser -- igual o mayor al promedio mínimo establecido, ahora, si el valor - de una de las probetas cae abajo del mínimo permitido pero no abajo de las 2/3 partes de éste, y si el promedio de las tres probetas iguala o excede ese valor, deberá repetirse la prueba sobre -- otras tres probetas. El valor de cada una de las repeticiones deberá ser igual o mayor del mínimo.

1.2 DIFERENTES TIPOS DE PRUEBA DE IMPACTO

Hoy en día se emplean varios tipos de probetas de impacto en investigaciones para determinar la tendencia de un material hacia un comportamiento dúctil-frágil. Este tipo de prueba puede detectar diferencias entre materiales, los cuales no se aprecian durante una prueba de tensión. Los resultados obtenidos de la prueba de impacto no se expresan con términos de diseño, por lo que no es posible medir los componentes de un sistema triaxial de fuerzas en el entalle además de que esto no es una generalización en la interpretación o el significado de los resultados obtenidos por este tipo de prueba.

De los diferentes tipos de probeta empleados en la investigación para establecer un comportamiento dúctil-frágil, los únicos que se encuentran estandarizados son los tipos "CHARPY E IZOD".

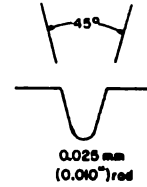
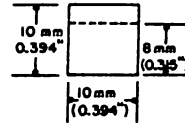
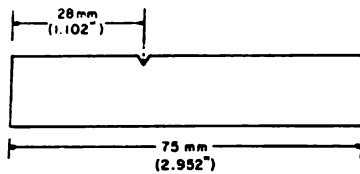
1.2.1 PRUEBA DE IMPACTO CHARPY

La Prueba de Impacto Charpy es la más comúnmente usada y es aquella donde la probeta es soportada horizontalmente por sus extremos como una viga simple según se muestra en la figura No. 2., donde se especifican también las dimensiones de la máquina con la que se efectúa la prueba, en tanto que en la figura No. 1 se muestran las dimensiones de la probeta para este tipo de prueba.

El desarrollo de esta prueba se encuentra anunciado en el inciso 1.1, así como también los criterios de evaluación y condiciones de la misma.

1.2.2 PRUEBA DE IMPACTO IZOD

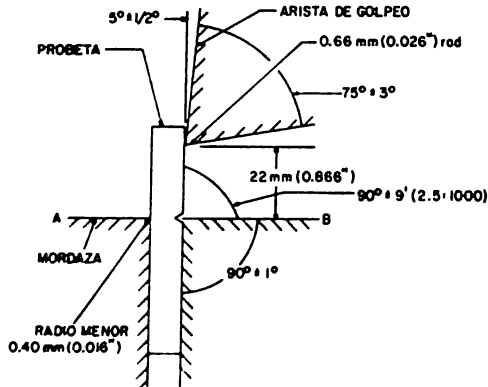
La Prueba de Impacto Izod es poco utilizada hoy en día, debido a que la probeta en esta prueba se coloca en forma vertical en tal forma que queda como una viga voladiza en la parte inferior de la máquina, que es sujeta por un par de mordazas, por lo que al co-



NOTA: Tolerancias permitidas

Dimensiones seccion transversal	± 0.025 mm (0.001 pulg)
Longitud de la probeta	$+0, -2.5$ mm (0.1 pulg)
Angulo del entalle	$\pm 1^\circ$
Radio de curvatura	± 0.025 mm (0.001 pulg)
Dimensiones al fondo del entalle	8 ± 0.025 mm (0.315 \pm 0.001 pulg)
Angulo entre lados adyacentes	$90^\circ \pm 10$ min

Terminado sobre la superficie del entalle y la opuesta $2 \mu\text{m}$ ($63 \mu\text{pulg}$), en las otras dos caras $4 \mu\text{m}$ ($125 \mu\text{pulg}$)



Todos las tolerancias deben de ser ± 0.05 mm (0.002 pulg) a menos que se especifique de otra manera.

NOTA: 1 "A" debera coplanar a "B" y paralelo dentro de 0.025 mm.

NOTA: 2 El terminado en las superficies debera ser de $2 \mu\text{m}$ ($63 \mu\text{pulg}$)

NOTA: 3 El ancho del pendulo debe de ser igual al de la probeta que se va a probar.

FIG. N°3.- PROBETA Y MAQUINA DE IMPACTO IZOD.

locar la probeta en ocasiones se lleva más de 5 seg. que son los -- permitidos por la norma, para minimizar el cambio de temperatura -- una vez retirada del medio refrigerante, por lo que variará la temperatura de prueba, lo que ocasionará la obtención de resultados -- falsos.

Las dimensiones de la probeta, su colocación en la máquina de prueba y las dimensiones de ésta última se muestran en la figura No. 3.

La máquina Izod y la prueba en sí, tienen el mismo principio que la prueba de Impacto Charpy, siendo la única diferencia la posición de la probeta, por lo consiguiente el desarrollo, condiciones y criterios de evaluación son los mismos.

1.3 UTILIDAD DE LA PRUEBA DE IMPACTO

La Prueba de Impacto hace resaltar el comportamiento dúctil-frágil de un metal, bajo la aplicación de una carga dinámica sencilla, que produce esfuerzos multiaxiales asociados a un entalle y en ocasiones a temperaturas diferentes a la temperatura ambiente.

Existen algunos metales y aleaciones con estructura cristalina cúbica centrada en las caras, aleaciones no ferrosas y aceros austeníticos, a los que no es necesario someter a una prueba de impacto para determinar su comportamiento dúctil-frágil, ya que éste puede determinarse mediante una prueba de tensión, sin importar la temperatura debido a que este compartimento es indistinto a la temperatura. - En contraste a esto están los aceros ferríticos cuyo comportamiento dúctil-frágil no puede determinarse a partir de una prueba de tensión, ya que para estos materiales es necesario practicar la Prueba de Impacto.

En sí la Prueba de Impacto nos indica la tenacidad del material, que no es más que la capacidad para absorber energía y deformarse plásticamente antes de fracturarse, además de permitirnos establecer de

una manera aproximada la relación existente entre la tenacidad tanto a temperatura ambiente como a temperaturas criogénicas.

2 GENERALIDADES

- 13 - .

2.

GENERALIDADES

2.1 COMPORTAMIENTO DE LOS METALES A BAJA TEMPERATURA

A medida que disminuye la temperatura por debajo de la temperatura ambiente, aumentan la dureza, el límite de elasticidad práctico y, salvo pocas excepciones, la resistencia máxima y el módulo de elasticidad de todos los metales y aleaciones.

Por otro lado la influencia que ejerce la temperatura sobre la ductilidad, los metales pueden clasificarse en dos grupos perfectamente diferentes que son: Los dúctiles a baja temperatura y los que se vuelven frágiles. Una idea del valor de la ductilidad o deformación plástica que pueda experimentar el material antes de romperse, puede obtenerse del estudio de la superficie de la fractura. - Las fracturas en copa y cono son típicas de los materiales dúctiles, los cuales, en el ensayo de tracción se deforman plásticamente hasta el momento en que se produce la rotura por cizallamiento. Por el contrario, en los materiales frágiles la fractura es transcrystalina o por desgarre y no existe en ellos ninguna señal de deformación plástica.

Al decrecer la temperatura, los metales que cristalizan con el sistema cúbico de caras centradas se rompen, solamente por cizallamiento y presentan una gradual y continua disminución de la ductilidad. Los metales que cristalizan en otros sistemas pueden romperse por cizallamiento a la temperatura ambiente; pero, al disminuir la temperatura, la manera de fracturarse pasa de ser por cizallamiento (dúctil) a ser transcrystalina o por despegue (frágil). - El paso de un tipo de fractura a otro viene acompañado muchas veces de una caída brusca de ductilidad.

Las roturas transcrystalinas de los perfiles de construcción, suelen producirse de una manera rápida e inesperada, y normalmente, -

dan lugar a la fractura frágil y por lo general de consecuencias ca
tastróficas.

La tendencia del acero a romperse de una manera frágil aumenta cuando
existe una concentración de tensiones, al crecer la velocidad de
aplicación de la carga y al disminuir la temperatura. Estos tres -
factores están relacionados entre sí, siendo el efecto debido a la
disminución de temperatura el más sencillo de medir cuantitativamente.

2.1.1 TEMPERATURA DE TRANSICION

El acero se considera generalmente como un material dúctil. Cuando
se sobrecarga, normalmente se advierte que entra en el estado plásti
co, es decir, al producirse el pandeo, estirado, flexado o estrech
amiento antes de la rotura. Sin embargo, contrariamente a lo que
podía esperarse, a veces los aceros se rompen sin muestras previas
de deformación. Estas roturas frágiles van acompañadas de ligeras
deformaciones plásticas y la energía requerida para propagar la --
fractura aparenta ser verdaderamente baja. Dentro de ciertas condici
ones, el acero puede quebrarse como el cristal. En tuberías, este
comportamiento anormal se produce generalmente sólo a bajas tempe
raturas.

Esta tendencia del acero a comportarse de una forma frágil, viene -
determinada por tres condiciones: 1) elevadas concentraciones de -
esfuerzos, es decir, entallas, muescas, estrías, defectos internos o
cambios bruscos en la forma geométrica; 2) un elevado grado de tensi
ones; y 3) una baja temperatura ambiental. Estos tres factores -
están tan relacionados entre sí que la determinación del defecto de
cualquiera de ellos ofrece una indicación de como reaccionará el --
acero ante la intensificación de cualquiera de los otros dos o de -
ambos. El efecto de reducir la temperatura de prueba, es la condi-

ción más adecuada para una medida cuantitativa. En consecuencia, el comportamiento de un acero en su transición de dúctil a frágil se expresa generalmente en términos de temperatura.

La temperatura de transición de un acero podemos definirla como --aquella por encima de la cual el acero se comporta de una manera --predominantemente dúctil y por debajo de la cual el acero se comporta de una forma predominantemente frágil, o como aquella temperatura en la cual la fractura muestra un 50% de apariencia cristalina y 50% de apariencia fibrosa o la temperatura a la cual corresponde el valor de energía del 50% de la diferencia entre los valores obtenidos al 100% y 0% de fractura fibrosa. De lo cual se deduce que un acero con una elevada temperatura de transición tiene mayor tendencia a comportarse de una manera frágil en el período --de fabricación o en servicio, en tanto, que un acero con una baja temperatura de transición puede comportarse, con más posibilidades de forma dúctil y por ello estos aceros con baja temperatura de --transición son preferidos, generalmente para servicios donde existan fuertes concentraciones de esfuerzos, elevadas cargas de impacto, bajas temperaturas o una combinación de los tres.

Los factores que influyen en el campo de la temperatura de transición de un acero, pueden dividirse en factores metalúrgicos y factores mecánicos. Los factores metalúrgicos son característicos --del propio acero, mientras que los factores mecánicos dependen del servicio o condición de prueba, así como de muchos efectos de los procesos de fabricación. Un análisis y conocimiento de diversos --factores es frecuentemente de gran importancia, sobre todo, cuando se quiere hacer el uso más eficiente de un acero determinado.

FACTORES METALURGICOS

Composición. Se considera que el carbono y el nitrógeno están entre los elementos más importantes que elevan la temperatura de tran

sición del acero en estado laminado o normalizado. El oxígeno y el fósforo, en cantidades más altas que las toleradas normalmente, y el silicio, en porcentajes mayores que los requeridos para la desoxidación, pueden también elevar la temperatura de transición. Los contenidos de manganeso de hasta el 1.5% disminuyen la temperatura de transición, pero no originan ninguna modificación en la forma de la curva. El aluminio, dentro de las cantidades utilizadas para la desoxidación, es un potente reductor de la temperatura de transición y se le utiliza en los aceros fabricados especialmente para servicios a baja temperatura. El níquel es el elemento de aleación más efectivo para incrementar la resistencia a la fragilidad a baja temperatura del acero y es uno de los pocos elementos de aleación que aumentan la ductilidad a baja temperatura del hierro. Las adiciones de níquel al acero aumentan la tenacidad a la temperatura ambiente, disminuyen la temperatura de transición y amplían el intervalo de la temperatura de transición. El molibdeno, vanadio y titanio ejercen un efecto similar sobre la resistencia. En pequeñas cantidades tienden a elevar la temperatura de transición, pero al aumentar el porcentaje de estos elementos en el acero, la temperatura de transición disminuye.

Tamaño de Grano. Cuanto menor sea el tamaño de grano, menor será también, por lo general, la temperatura de transición. Por lo tanto, cuanto más baja sea la temperatura de laminado final y mayor el grado de enfriamiento menor será el tamaño de grano y, por lo tanto, la temperatura de transición, a menos que dicha temperatura de laminado final sea tan baja que el acero resulte en cierto modo, laminado en frío.

Microestructura. La microestructura con la que se logran mejores valores de la tenacidad a baja temperatura es la de la martensita revenida para un mismo acero, esta estructura es la que proporciona con relación a los demás tipos de microestructuras, la tenacidad máxima y la temperatura de transición mínima. La resistencia de la

martensita disminuye al aumentar la cantidad de bainita presente en la estructura. Por el contrario la austenita retenida solo tiene - un efecto pequeño sobre la temperatura de transición.

Tratamiento Térmico. En general las temperaturas de transición más bajas se obtienen principalmente por temple y revenido, no siendo - así para un tratamiento de normalizado. El recocido no es recomendable ya que en ocasiones no se alcanzan temperaturas mayores a la de transformación de fase, además de que se ocasiona un crecimiento de grano lo cual implica una elevación de la temperatura de transición.

FACTORES MECANICOS

Existen también diversos factores mecánicos que pueden ejercer considerable influencia sobre la temperatura de transición de un acero.

Concentración de Tensiones. Es una función de la forma y profundidad del entalle, ya que al disminuir el radio de éste aumenta la -- concentración de tensiones, y esto hace que el material tienda a -- comportarse de una manera frágil a temperaturas más elevadas.

Velocidad de Deformación. Esta es una función de la velocidad del péndulo en el momento del choque, y la energía absorbida, cuando el acero se encuentra próximo a la temperatura de transición. Una velocidad alta tiene el mismo efecto que una disminución en la temperatura de ensayo y ambos tienden a exagerar un comportamiento frágil.

2.1.2 CURVAS DE TRANSICION

Son las curvas que se obtienen de graficar los resultados proporcionados de una serie de pruebas de impacto de un mismo material a diferentes temperaturas, con el fin de poder evaluar el comportamiento dúctil-frágil del material que se está probando conforme está va

riendo la temperatura.

La gráfica de dichas curvas, tendrá por ordenadas los valores de -- energía absorbida por el material y en las abscisas la temperatura a la que se verificó la prueba.

Este tipo de curvas tienen bastante importancia, ya que mediante el uso de ellas, se puede predecir las posibilidades de utilizar un material bajo ciertas condiciones de operación, además, de poder obtener una aproximación de la temperatura de transición.

En una curva de transición se pueden apreciar diferentes zonas, las cuales a continuación se muestran en la figura No. 4, así como también la forma típica de estas curvas.

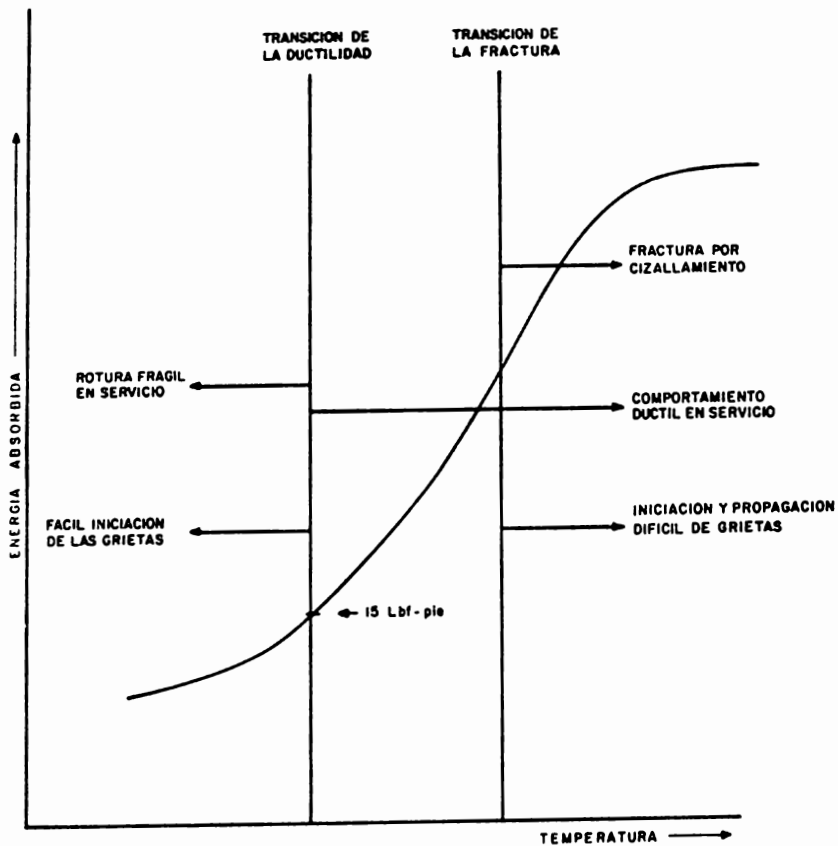


FIGURA N° 4

3 ANALISIS DEL PROBLEMA

21 -

3.

ANALISIS DEL PROBLEMA

El problema de la fragilidad al agrietamiento que ha producido roturas - en recipientes a presión, tuberías y estructuras civiles, así como en buques fabricados a partir de planchas de acero soldadas, durante las últimas décadas, ha demostrado que los aceros que normalmente se comportan - de una manera dúctil, pueden bajo diferentes condiciones de temperatura, presión y diseño, mostrar un comportamiento totalmente diferente.

3.1 VARIABLES QUE AFECTAN LA PRUEBA DE IMPACTO:

Dentro de los innumerables variables que afectan la Prueba de Impacto, se pueden mencionar algunos de los más importantes como son: La geometría del entalle, las dimensiones de la probeta, las condiciones de prueba y la velocidad de deformación a la cual va a estar sometido el material.

A continuación se describen los efectos que tienen dichas variables durante la Prueba de Impacto.

3.1.1 EFECTO DE LA GEOMETRIA DEL ENTALLE:

El resultado del entalle es una combinación de esfuerzos multiaxiales asociados con limitaciones a la deformación en direcciones perpendiculares al esfuerzo mayor y una concentración de esfuerzos en la base del entalle. Un entalle muy severo no es deseable y esto - se convierte en crítico, en casos en los cuales se inicia una rápida y completa falla del tipo frágil.

Algunos metales pueden ser deformados de una forma dúctil aún a temperaturas tan bajas como la del aire líquido. Esta diferencia en comportamiento puede ser mejor entendida considerando la fuerza cohesiva del material y esto se relaciona con el punto de cedencia.

En casos de fractura frágil, la fuerza de cohesión es excedida significativamente antes de que una deformación plástica tenga lugar y la apariencia de la fractura aparece cristalina. En casos de ductilidad o fallas del tipo clivaje, una deformación considerable precede al final de la fractura y la apariencia de la superficie fracturada es fibrosa en lugar de cristalina. En casos intermedios después de la fractura se aproxima a una cantidad moderada de deformación y muestra una parte cristalina y otra fibrosa.

Cuando una probeta con entalle es sometida a carga, existen esfuerzos normales trasversales a la base del entalle, los cuales tienden a iniciar la fractura. La probeta se fractura cuando los esfuerzos normales exceden la fuerza de cohesión.

Cuando esto ocurre sin que la probeta se deforme, es una condición de fractura frágil.

En adición a los esfuerzos normales, la carga aplicada alcanza esfuerzos cortantes, con una dirección próxima a los 45° de los esfuerzos normales. El comportamiento elástico termina tan rápido como los esfuerzos de corte exceden la resistencia al corte del material y la deformación o la cedencia plástica aparezcan, esto es una condición de fractura dúctil.

Este comportamiento, ya sea frágil o dúctil depende en sí, que los esfuerzos normales excedan la fuerza de cohesión antes de que los esfuerzos cortantes excedan la resistencia al corte. Varios hechos importantes del comportamiento de la probeta surgen a consecuencia de esto. Si el entalle es más agudo o drástico, los esfuerzos normales en la raíz del entalle se incrementan con relación a los esfuerzos cortantes y la probeta es más propensa a fracturarse por fragilidad. También como aumenta la velocidad, la resistencia al corte aumenta y la probabilidad de una fractura frágil es mayor.

3.1.2 EFECTO DE LAS DIMENSIONES DE LA PROBETA:

Ya sea aumentando el ancho o el espesor de la probeta se aumenta el volumen de metal sujeto a deformación y por este factor se incrementa la energía absorbida durante la fractura de la probeta. Sin embargo, cualquier incremento en tamaño, particularmente el ancho, -- tiende a aumentar el grado de restricciones y por esto tiende a inducir una fractura frágil y puede disminuir la cantidad de energía absorbida.

Cuando la probeta es de tamaño normal se encuentra en el límite de fractura frágil, esto es particularmente cierto y una probeta del doble de ancho puede actualmente necesitar menos energía para romperse que una probeta normal.

Una correlación general entre los valores de energía obtenidos y -- los tamaños y formas de la probeta no es posible hacerla, pero correlaciones limitadas, es posible hacerlas para un fin específico -- para el estudio de un material.

3.1.3 EFECTO DE LAS CONDICIONES DE PRUEBA:

Las Condiciones de Prueba también afectan el comportamiento del entalle. El efecto de la temperatura es tan pronunciado en el comportamiento del acero que las comparaciones se hacen frecuentemente -- observando la fractura y graficando los valores de energía y la apariencia de la fractura contra la temperatura de prueba de la probeta. Cuando la temperatura de prueba es bastante baja, se inicia -- una fractura frágil, esto puede ser una caída bastante aguda en los valores de impacto o puede ser relativamente un descenso gradual de acuerdo a como disminuye la temperatura.

Esta caída en los valores de energía se inicia cuando una probeta -- empieza a mostrar algo de apariencia cristalina en la fractura.

observando la fractura y graficando los valores de energía y la apariencia de la fractura contra la temperatura de prueba de la probeta. Cuando la temperatura de prueba es bastante baja, se inicia -- una fractura frágil, esto puede ser una caída bastante aguda en los valores de impacto o puede ser relativamente un descenso gradual de acuerdo a como disminuye la temperatura.

Esta caída en los valores de energía se inicia cuando una probeta - empieza a mostrar algo de apariencia cristalina en la fractura.

La temperatura de transición en la cual este efecto de fraglización tiene lugar varía considerablemente con el tamaño de la probeta y - la geometría del entalle.

Un problema particular de la prueba de impacto Charpy "V", sucede - cuando materiales de alta resistencia y baja energía son probados a temperaturas bajas, debido a que las probetas no pueden salir de la máquina en dirección de la oscilación del péndulo, sino que lo hacen en dirección perpendicular, por lo cual se corre el riesgo de - que alguna de las mitades tenga contacto con la máquina y/o el péndulo antes de que éste termine su oscilación. Para evitar esto es necesario hacer modificaciones en contra del diseño de la máquina.

Algunos de estos tipos de probetas salen de la máquina de impacto a velocidades que exceden los 15 m/s. aunque el péndulo viaja a una - velocidad de 5 m/s. Si la fuerza empleada en el péndulo para romper la probeta es suficiente, el péndulo bajará su velocidad y se - tendrán valores de energía erróneos.

Este problema es importante por la inconsistencia de los resultados obtenidos por varios investigadores.

3.1.4. EFECTO DE LA VELOCIDAD DE DEFORMACION:

La velocidad de Deformación es así una variable que afecta el com--

portamiento de la probeta. Los resultados de la prueba de impacto muestran algunos valores de absorción de energía mayores que en -- las pruebas estáticas arriba de la temperatura de transición y sin embargo, en algunos casos lo contrario es verdadero, abajo de la - temperatura de transición.

De todo lo anterior se observa que la prueba de impacto proporciona un panorama del comportamiento del acero, por lo que el diseñador debe determinar en base a las curvas de transición, la elección idónea a utilizar, o dar un factor determinado de seguridad, las - condiciones extremas de temperatura a las que puede operar su aleación. Es aquí dónde la probeta de impacto tiene relevancia, y es - por eso que las normas respectivas indican tolerancias rigurosas, - principalmente en la geometría del entalle que es determinante de - los valores que se emplean en el trazo de las curvas de transición. A través de innumerables experiencias industriales se ha comprobado el grave problema que respresenta el acabado geométrico del entalle pues en repetidas ocasiones ha sucedido que el fabricante de determinado producto al necesitar la prueba de impacto Charpy "V" pasa - por alto algunos aspectos de la geometría del entalle y como consecuencia rechaza o acepta una aleación que pudiese ser o no utilizable a las condiciones de operación con las que trabaja su producto.

4 DESARROLLO DEL ESTUDIO

- 27 -

4.

DESARROLLO DEL ESTUDIO

4.1 SELECCION DEL MATERIAL:

Se eligieron dos tipos de aceros de uso muy frecuente en la industria petrolera. Uno para ser utilizado en tubería que opera a bajas temperaturas, el ASTM-A333 Grado 3 y otro para ser empleado en tuberías que trabajan a altas temperaturas, el ASTM-A106 Grado B.

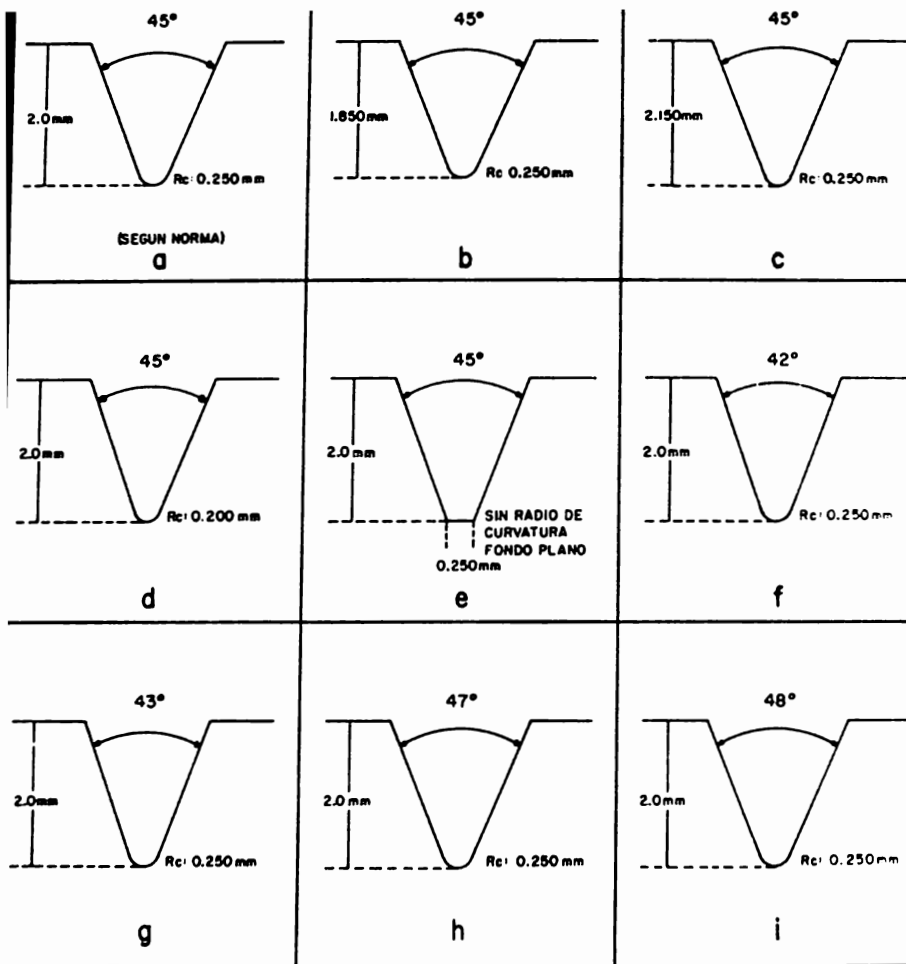
Esta elección se basó en el hecho fundamental de comparar dos materiales de uso en condiciones extremas, para así lograr obtener resultados significativos.

Para facilitar el manejo de los aceros, el acero ASTM-A333 Grado 3 se identificó como el No. 1 y el ASTM-A106 Grado B como el No. 2.

4.2 SELECCION DE LAS VARIABLES GEOMETRICAS DEL ENTALLE:

En base a una encuesta realizada y a fin de ubicar este trabajo de la manera más real posible, se eligieron las siguientes variaciones en la geometría del entalle.

Profundidad, en mm.:	1.850 2.150	\pm 0.025
Angulo:	42° 43° 47° 48°	\pm 1°
Radio de Curvatura, en mm.:	0.20	
Sin radio de curvatura; fondo plano de:	0.250	\pm 0.025 mm



CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES DE LAS RANURAS QUE SE PROBARON

FIGURA 5

4.3 DETERMINACION DE LAS CURVAS DE TRANSICION:

Se obtuvieron probetas de 2.5 X 10 mm. con dimensiones geométricas del entalle de acuerdo a la norma oficial mexicana NOM B-120-1975 o la norma ASTM-E23-72.

Como medios refrigerantes se emplearon; acetona con bióxido de carbono sólido y nitrógeno líquido.

En las gráficas No. 1 y No. 2 se muestran los resultados obtenidos de los aceros No. 1 y No. 2 respectivamente.

4.4 ELECCION DE LAS TEMPERATURAS DE PRUEBA:

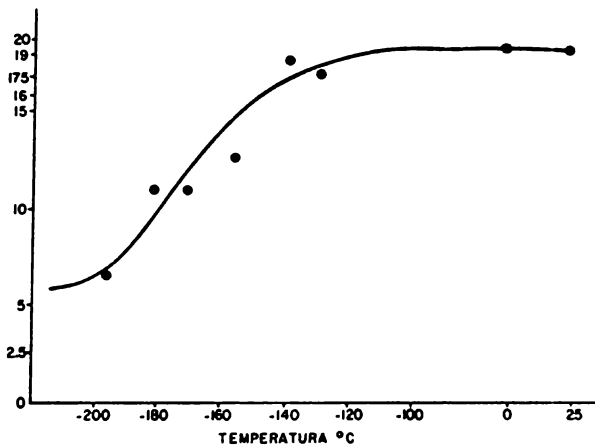
Se eligieron cuatro temperaturas de prueba; su elección se decidió en base a la curva de transición respectiva obtenida de cada caso (ver figura No. 6), a excepción de una de ellas, la del acero No. 1 donde se tomó -129 °C por ser la propuesta por la norma ASTM-A333 Grado 3 y tener así una referencia.

Acero No.	Temperatura °C			
	T1	T2	T3	T4
1	Ambiente	-129	-180	-195
2	Ambiente	-40	-55	-75

4.5 PARTE EXPERIMENTAL:

Se ranuraron veinte probetas para cada condición, las cuales fueron distribuidas a razón de cinco para cada una de las cuatro temperaturas probadas, haciendo un total de 360. A esta cantidad hay que -- agregar las 100 muestras ranuradas, bajo especificación, para las - determinaciones que se realizaron para las curvas de transición de los dos aceros.

ENERGIA
ABSORBIDA
Lbf-ft



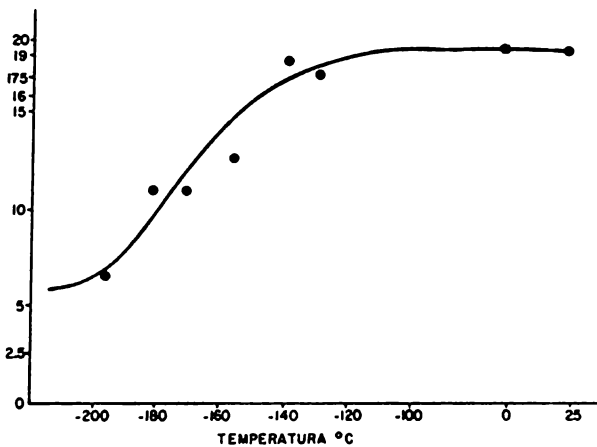
GRAFICA Nº1
CURVA DE TRANSICION
ACERO Nº1

TEMP °C Lbf.-p.e

25	19.0
	19.5
	19.5
0	21.5
	19.0
	21.0
-129	18.5
	17.0
	17.0
-140	17.5
	19.5
	17.0
-155	12.0
	12.5
	20.0
	14.0
-170	19.0
	12.0
	11.0
	11.0
-180	13.0
	12.5
	12.5
-195	6.0
	6.0
	8.0
	6.0

NOTA: 1 Lbf.-pie = 0.1383667 kgf.-m.
1 kgf.-m = 7.2271691 Lbf.-pie.

ENERGIA
ABSORBIDA
Lbf-ft

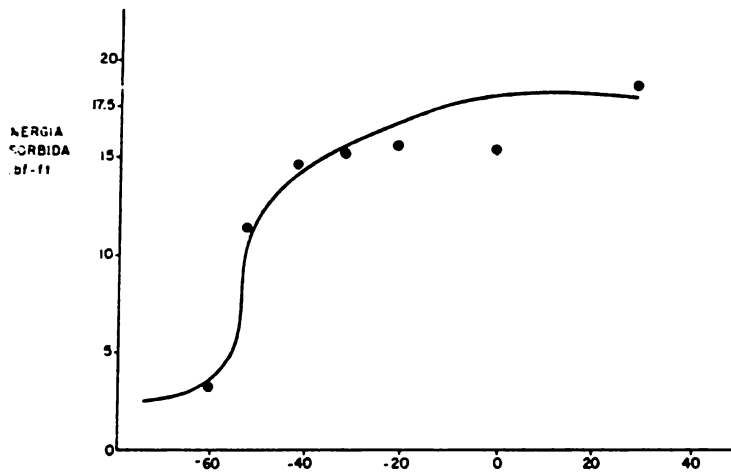


GRAFICA Nº1
CURVA DE TRANSICION
ACERO Nº1

TEMP °C Lbf.-pie

25	19.0
	19.5
	19.5
0	21.5
	19.0
	21.0
-129	18.5
	17.0
	19.0
-140	17.5
	19.5
	17.0
-155	12.0
	12.5
	20.0
	14.0
-170	19.0
	12.0
	11.0
	11.0
-180	13.0
	12.5
	12.5
-195	6.0
	6.0
	8.0
	6.0

NOTA: 1 Lbf.-pie = 0.1383667 kgf.-m
1 kgf.-m = 7.227691 Lbf.-pie.



TEMP °C	Lbf-pie
25	15.5
	17.0
	15.0
0	15.0
	15.5
	14.7
-20	16.0
	16.0
	15.0
-30	14.7
	15.0
	15.5
-40	15.0
	15.0
	14.0
-50	14.0
	1.5
	15.0
-60	13.0
	1.75
	2.5
	1.0

TEMPERATURA °C
GRAFICA NºII

CURVA DE TRANSICION
ACERO Nº2

NOTA: 1 Lbf-pie = 0.1383667 kgf-m
1 kgf-m = 7.2271691 Lbf-pie

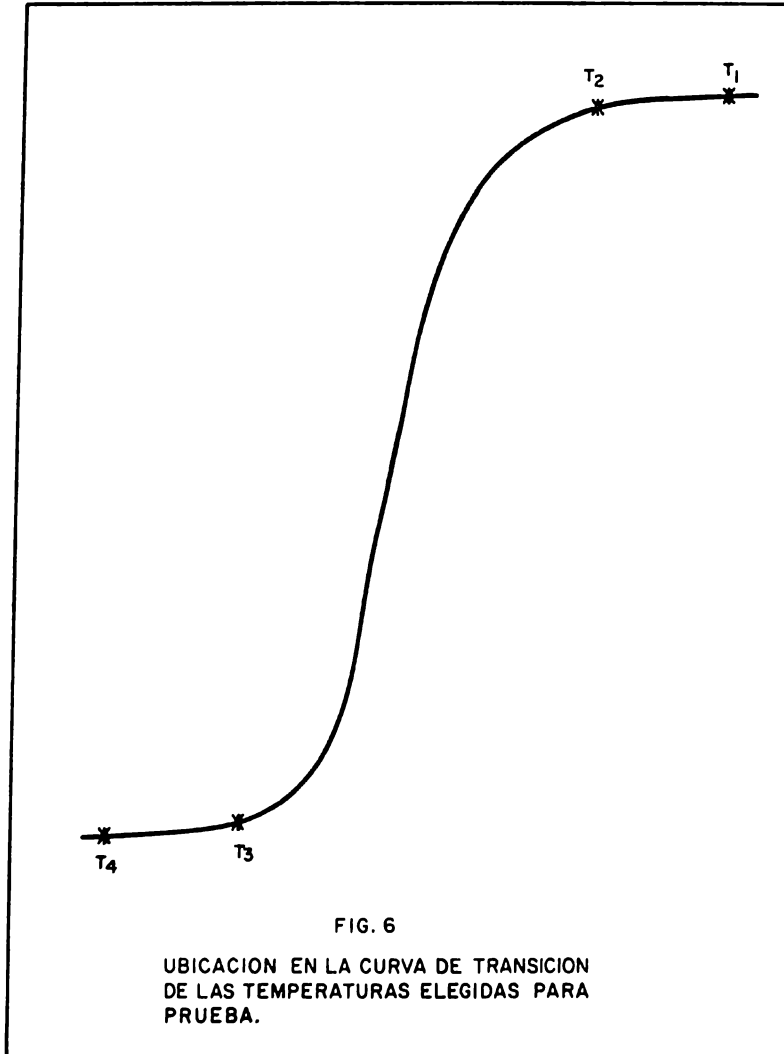


FIG. 6

UBICACION EN LA CURVA DE TRANSICION
DE LAS TEMPERATURAS ELEGIDAS PARA
PRUEBA.

4.5.1. CARACTERISTICAS METALURGICAS DE LOS ACEROS:

4.5.1.1. Análisis Químico Cuantitativo, %

	Acero No. 1	Acero No. 2
C	0.17	0.10
Mn	0.44	0.47
P	0.012	0.013
S	0.030	0.030
Si	0.29	0.03
Ni	3.56	-----

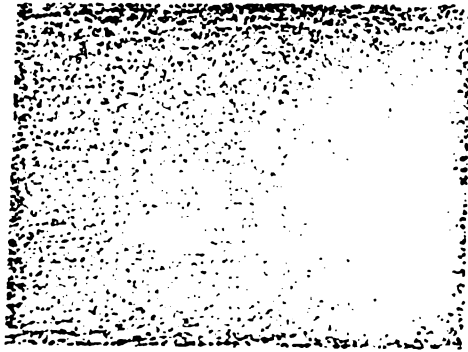
4.5.1.2. Resistencia a la Tracción y Dureza (Probetas Longitudinales).

Acero Número	Límite Elástico lb/pul ² MPa*	Resistencia a la Tracción lb/pul ² MPa*	% de Alargamien to en 2 Pulg.	Dureza Rockwell
1	A 69,000 476	84,600 583	31.0	86 Rb
	B 68,400 472	84,200 581	35.0	
2	A 36,500 248	51,100 352	25.0	72 Rb
	B 36,600 252	53,300 369	28.0	

* Mega Pascal. Unidad Internacional (1MPa=10.19715 Kg/cm²)

4.5.1.3. Observación Metalográfica.

En la fotomicrografía No. 1, se observa la microestructura ferrita-perlita con un tamaño de grano No. 9-10 de acuerdo a ASTM, la cual corresponde a una muestra longitudinal del acero No. 1



Fotomicrografía No. 1

100 X

La fotomicrografía No. 2 muestra la microestructura ferrita-perlita con tamaño de grano No. 8 según ASTM y que corresponde a un corte trasversal del acero No. 2



Fotomicrografía No. 2 100 X

4.5.2. CONDICIONES DE PRUEBA:

Para una mejor comprensión de las características dimensionales de los entalles que se probaron, ver la figura No. 5. Cabe hacer notar que pese a que la norma pide tres probetas por ensayo, en este estudio se probaron cinco muestras por cada temperatura y veinte -- por cada condición, para así obtener una mayor reproducibilidad. - Ver tabla No. 1.

Las pruebas se realizan con un péndulo de impacto marca Losenhau-senwerk, de la compañía Dusseldorfer Maschinebau A. G. modelo PSW30 con una capacidad, en dos escalas 30/15 Kg. m de energía absorbida, con una velocidad de impacto promedio de 6 M/seg. y con cabezas para probetas Charpy - "V",

Las determinaciones de temperatura se efectuaron con la ayuda de un potenciómetro marca Leeds and Northrup Co., No. de Catálogo: 8686 - millivolt potentiometer con termopar tipo J hierro-constantano.

4.6 DESARROLLO Y RESULTADOS:

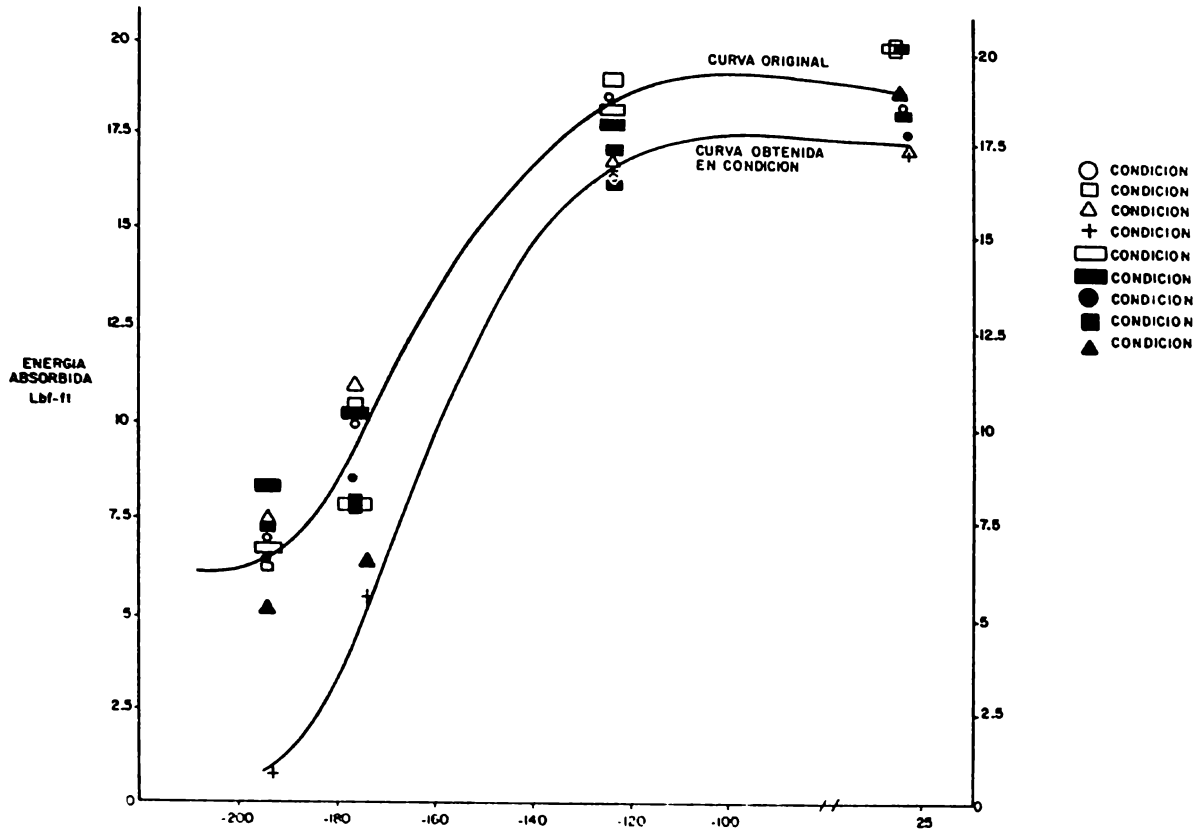
Se efectuó la prueba a cinco probetas por cada condición, obteniéndose los resultados que aparecen en la tabla No. 2, en tanto en las gráficas No. 3 y No. 4 puede apreciarse los desplazamientos que sufrieron las curvas de transición originales al cambiar la geometría del entalle.

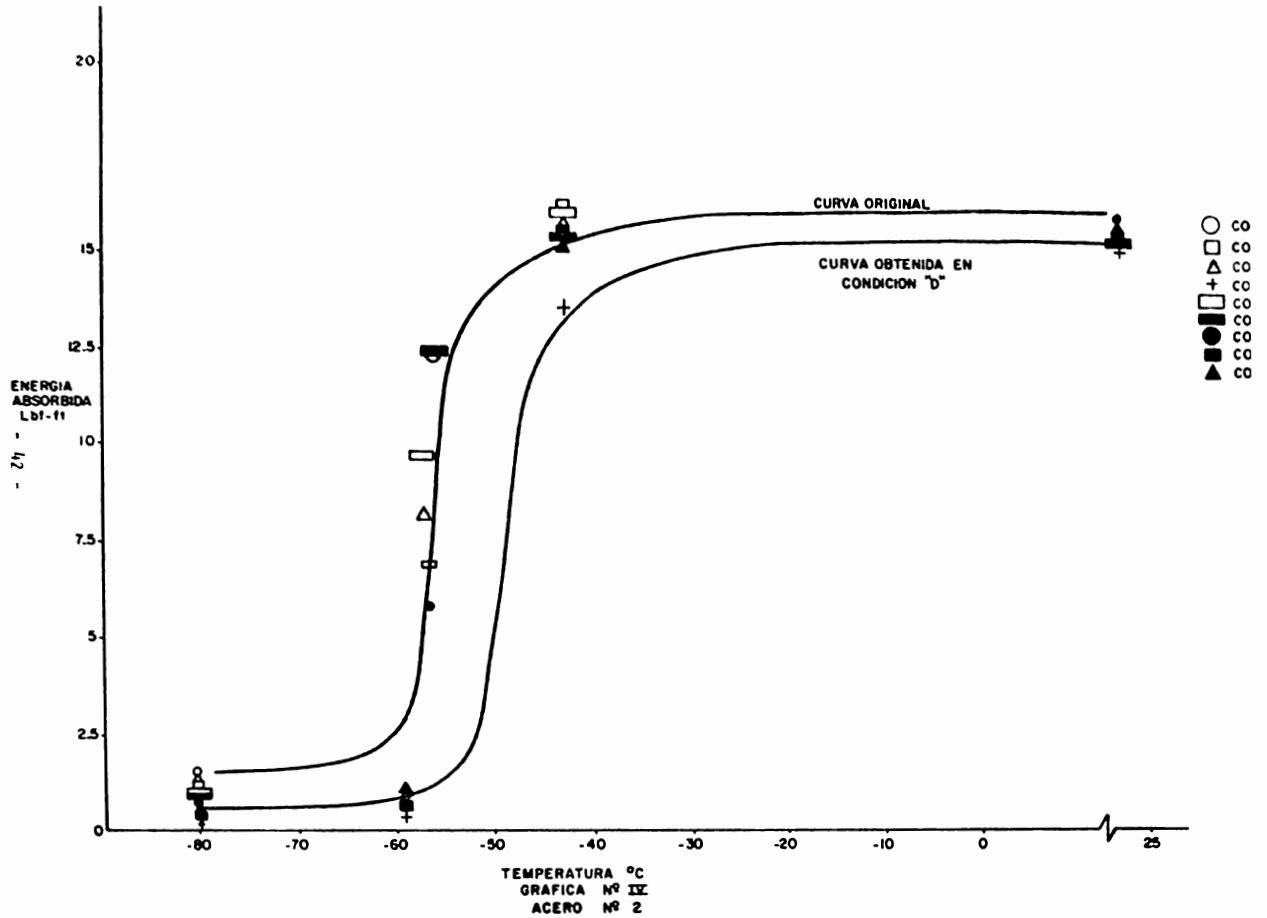
CARACTERISTICAS DE LA RANURA	CONDICION	TEMPERATURAS DE PRUEBA	IDENTIFICACION ACERO		FIGURA
			No. 1	No. 2	
Profundidad 2.000 \pm 0.025 mm Radio Curv. 0.250 \pm 0.025 mm Angulo 45 \pm 1°	Norma	T ₁ , T ₂ , T ₃ y T ₄	1 A	2 A	2 _a
Profundidad 1.850 \pm 0.025 mm Radio Curv. 0.250 \pm 0.025 mm Angulo 45 \pm 1°	Profundidad menor a lo especificado	T ₁ , T ₂ , T ₃ y T ₄	1 B	2 B	2 _b
Profundidad 2.150 \pm 0.025 mm Radio Curv. 0.250 \pm 0.025 mm Angulo 45 \pm 1°	Profundidad mayor a lo especificado	T ₁ , T ₂ , T ₃ y T ₄	1 C	2 C	2 _c
Profundidad 2.000 \pm 0.025 mm Radio Curv. 0.20 \pm 0.025 mm Angulo 45 \pm 1°	Radio Curv. menor a lo especificado	T ₁ , T ₂ , T ₃ y T ₄	1 D	2 D	2 _d
Profundidad 2.000 \pm 0.025 mm Sin radio de Curv. Fondo Plano Angulo 45 \pm 1°	Sin radio de Curvatura	T ₁ , T ₂ , T ₃ y T ₄	1 E	2 E	2 _e
Profundidad 2.000 \pm 0.025 mm Radio Curv. 0.250 \pm 0.025 mm Angulo 42 \pm 1°	Angulo menor a lo especi- ficado	T ₁ , T ₂ , T ₃ y T ₄	1 F	2 F	2 _f

Profundidad 2.000 \pm 0.025 mm Radio Curv. 0.250 \pm 0.025 mm Angulo 43 \pm 1°	Angulo menor a lo Especificado	T ₁ , T ₂ , T ₃ y T ₄	1 G	2 G	2 _g
Profundidad 2.000 \pm 0.025 mm Radio Curv. 0.250 \pm 0.025 mm Angulo 47 \pm 1°	Angulo mayor a lo especificado	T ₁ , T ₂ , T ₃ y T ₄	1 H	2 H	2 _h
Profundidad 2.000 \pm 0.025 mm Radio Curv. 0.250 \pm 0.025 mm Angulo 48 \pm 1°	Angulo mayor a lo especificado	T ₁ , T ₂ , T ₃ y T ₄	1 I	2 I	2 _i

<u>15.0</u>		
15.0		16
<u>15.0</u>		
14.5		14
<u>15.5</u>		
14.0		14

- 14 -





4.7 TRATAMIENTO ESTADISTICO:

Este Tratamiento comprueba que las variaciones geométricas de la ranura no afectan los resultados de la energía absorbida en las temperaturas T_1 y T_2 para cada acero. Se seleccionaron ambas temperaturas, ya que resalta claramente que para las temperaturas T_3 y T_4 -- las variaciones geométricas afectan los resultados de impacto obtenidos, principalmente el ángulo y el radio de curvatura de la ranura. Para tal efecto se utiliza el método de análisis de variancia.

(Clasificación en dos Direcciones ¹).

Sean $C = \frac{T^2}{ab}$ = término de corrección; T = gran total de las observaciones y a y b el número total de determinaciones.

$$SST = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 - C = \text{suma total de cuadrados y "y" una - observación dada.}$$

$$SS(Tr) = \frac{\sum_{i=1}^a T_i^2}{b} - C = \text{suma de cuadrados de tratamientos.}$$

$$SS(B1) = \frac{\sum_{j=1}^b T_j^2}{a} - C = \text{suma de cuadrados de temperaturas.}$$

$$SSE = SST - SS(Tr) - SS(B1)$$

Empleando estas sumas de cuadrados, se rechaza la hipótesis de que las α_j son todas iguales a cero con un nivel de significación α si la función de distribución calculada

$$F_{tr} = \frac{MS(Tr)}{MSE} = \frac{SS(Tr)/(a-1)}{SSE/(a-1)(b-1)} \text{ Excede a } F_{\alpha} \text{ Tabulada con}$$

a-1 y (a-1)(b-1) grados de libertad

Igualmente la hipótesis de que las β_j son todas iguales a cero - se puede rechazar con un nivel de significación α , si:

$$F_{B1} = \frac{MS(B1)}{MSE} = \frac{SS(B1)/(b-1)}{SSE/(a-1)(b-1)} \text{ excede de } F_{\alpha} \text{ (tabulada)}$$

con $b-1$ y $(a-1)(b-1)$ grados de libertad. nótese que las medias de cuadrados, $MS(Tr)$, $MS(B1)$ y MSE , se definen como las sumas de cuadrados correspondientes divididas entre sus grados de libertad.

- 1) Método propuesto por Irwin Miller y John E. Freund en su libro "Probabilidad y Estadística para Ingenieros".

CONDICION	TEMPERATURA		Total (Tr)
	T_1	T_2	
A	18.8	18.4	37.2
B	20.1	18.6	38.7
C	17.6	17.2	34.8
D	17.5	17.1	34.6
E	20.0	18.8	38.8
F	20.1	18.4	38.5
G	19.7	17.1	36.8
H	18.8	17.2	36.0
I	18.8	17.0	35.8
TOTAL (B1)	171.4	159.8	331.2

$$c = \frac{(331.2)^2}{18} = 6094.08$$

$$SST = (18.8)^2 + (18.4)^2 + \dots + (17.0)^2 - 6094.08 = 120.42$$

$$SS(Tr) = (37.2)^2 + (38.7)^2 + \dots + (35.8)^2 - 6094.08 = 10.57$$

$$SS(81) = \frac{(171.4)^2 + (159.8)^2}{9} - 6094.08 = 7.4756$$

$$SSE = 120.42 - 10.57 - 7.4756 = 102.377$$

4.7.1. ACERO No. 1:

Para facilitar el manejo de datos en cada cuadro se enmarcan los -- promedios de energía absorbida obtenidos por prueba.

Dividiendo las sumas de los cuadrados por sus respectivos grados de libertad para obtener las medias de cuadrado adecuadas, se obtuvieron los resultados mostrados en la siguiente Tabla No. 3 de Análisis de Variancia.

4.7.2. ACERO No. 2:

En la Tabla No. 4 se enmarcan los resultados obtenidos.

$$F_{0.01} \text{ Para } 8 \text{ y } 8 \text{ grados de libertad} = 6.03$$

$$F_{0.01} \text{ Para } 1 \text{ y } 8 \text{ grados de libertad} = 11.30$$

$$\text{En el Acero No. 1 } F_{Tr_1} (0.103) \quad F_{0.01_{8-8}} (6.03) \text{ y}$$

$$F_{81_1} (0.584) \quad F_{0.01_{1-8}} (11.30)$$

$$\text{En el Acero No. 2 } F_{Tr_2} (1.115) \quad F_{0.01_{8-8}} (6.03) \text{ y } F_{(81_1)}$$

$$(0.027) \quad F_{0.01_{1-8}} (11.30).$$

Como en ambos aceros la hipótesis es aceptada, se concluye que tanto la geometría de la ranura como las temperaturas altas (T_1 y T_2), no influyen en los resultados de impacto obtenidos.

ORIGEN DE LA VARIACION	GRADO DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA
Condiciones	$a-1 = 8$	$SS(Tr) = 10.57$	$MS(Tr) = \frac{SS(Tr)}{a-1} = 1.32$	$F_{tr} = \frac{MS(tr)}{MSE} = 0.103$
Temperaturas	$b-1 = 1$	$SS(B1) = 7.4756$	$MS(B1) = \frac{SS(B1)}{b-1} = 7.4756$	$F_{B1} = \frac{MS(B1)}{MSE} = 0.584$
Error	$(a-1)(b-1) = 8$	$SSE = 102.377$	$MSE = \frac{SSE}{(a-1)(b-1)} = 12.797$	
Total	$ab-1 = 17$	$SST = 120.42$		

TABLA No. 3

RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ANALISIS DE VARIANCIA

ACERO No. 1

ORIGEN DE LA VARIACION	GRADO DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F
Condiciones	8	1.655	0.2068	1.115
Temperaturas	1	0.005	0.005	0.027
Error	8	0.1855	0.0194	
Total	17	1.8455		

TABLA No. 4

RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ANALISIS DE VARIANCA DEL

ACERO No. 2

5 CONCLUSIONES

- 48 -

En base a los resultados obtenidos del análisis de variaciones geométricas del entalle y de la temperatura de prueba en el ensayo de impacto -- Charpy "V", así como del tratamiento estadístico aplicado, se concluye - que pequeñas variaciones en la geometría del entalle, principalmente con un radio de curvatura menor y ángulos mayores de lo especificado por la norma NOM-B-121, son determinantes en el comportamiento de una aleación que vaya a operar a temperaturas criogénicas.

Para la elección de un material que vaya a operar a temperaturas relativamente elevadas, no es necesario una precaución especial para evitar dichas variaciones en la geometría.

6 APENDICE

- 50 -



SECRETARIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

NORMA OFICIAL MEXICANA

DGN. B-121-1964

"IMPACTO SOBRE PROSETA, SIMPLEMENTE APOYADA CON ENTALLE "V", PARA ACERO"

DIRECCION GENERAL DE NORMAS

Dirección General de Normas (U. S. V.) Av. Cuauhtémoc 80, México 7 D. F. Prohibida su reproducción sin autorización de la D.G.N.

1 DEFINICIONES Y GENERALIDADES

1.1 DEFINICIONES

Esta Norma establece el método de prueba de impacto sobre probeta, simplemente apoyada con entalle "V", para acero, las condiciones en que debe realizarse, su alcance, especificaciones, así como su campo de aplicación.

1.1.1 Impacto

Impacto es la aplicación de una fuerza durante un tiempo instantáneo, cuyo valor se mide por la energía absorbida por la probeta, KV en kgm.

1.1.2 Entalle V

Es la muesca practicada en la probeta de acuerdo con las especificaciones establecidas en esta Norma.

1.2 GENERALIDADES

1.2.1 Alcance

Este método de prueba es válido exclusivamente para probetas en las que se practique el entalle V, exactamente de acuerdo con las especificaciones de esta Norma y cuando el impacto necesario para la rotura de la probeta no sea mayor de 31 kgm.

1.2.2 Fundamento

La práctica del entalle consigue una concentración de esfuerzos, que permite reducir la fuerza de impacto y la fácil comparación entre diferentes pruebas practicadas en la misma forma.

1.2.3 Campo de aplicación

Este procedimiento es aplicable a todos los productos de acero.

2 CLASIFICACION Y ESPECIFICACIONES

2.1 CLASIFICACION

El método de prueba de impacto sobre probeta, simplemente apoyada con entalle "V", para acero, fija un solo procedimiento, aunque el mismo puede realizarse con diversos tipos de máquinas, siempre que las condiciones de prueba se cumplan.

2.2 ESPECIFICACIONES

2.2.1 Equipo

2.2.1.1 Máquina

Puede emplearse cualquier máquina de prueba de impacto, debidamente calibrada. Si construcción e instalación deben garantizar su estabilidad y rigidez durante la práctica de las pruebas.

Notas:	La Dirección General de Normas de la Secretaría de Industria y Comercio aprobó la presente Norma que fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 OCT. 1964	Revisión sucesiva:
--------	---	--------------------

2.2.1.2 Martillo

El martillo de la máquina debe terminar en punta con un ángulo de $30 \pm 1^\circ$ y un radio de curvatura de 2 a 2.5 mm .

2.2.1.3 Soportes

Deberán observarse las siguientes dimensiones:

Distancia entre apoyos: 40 mm, con una tolerancia de más de 0.5 mm y de menos 0.0 mm.

Radio de curvatura de los soportes: 1 a 1.5 mm .

Pendiente de los soportes: 1/5 .

2.2.2 Materiales

No es necesario ningún material aparte de la probeta

2.2.3 Probeta (Tabla y esquema)

La probeta; totalmente maquinada, deberá tener 55 mm de largo y una sección transversal cuadrada de 10 mm por lado. En el centro de la longitud se practicará un entalle en forma de V, con ángulo de 45° , de 2 mm de profundidad y con el fondo redondeado con un radio de 0.25 mm. El plano de simetría del entalle debe ser perpendicular al eje longitudinal de la probeta. Pueden admitirse estrías en el fondo del entalle.

2.2.3.1 Dimensiones y tolerancias

T A B L A I

Designación	Dimensión nominal	Tolerancias de maquinado	
		Valor	Símbolo I.S.A.
Longitud	55 mm	± 0.60 mm	J 15
Espesor	10 mm	± 0.11 mm	J 13
Ancho	10 mm	± 0.11 mm	J 13
Angulo de entalle	45 °	± 2 °	- - -
Radio de curvatura en el fondo del entalle	0.25 mm	± 0.025 mm	- - -
Espesor de la probeta <u>ba</u> <u>jo</u> el entalle	8 mm	± 0.11 mm	J 13
Distancia del plano de - simetría del entalle a - los extremos de la probeta	27.5 mm	± 0.42 mm	J 15
Angulo entre el plano de simetría del entalle y - el eje longitudinal de - la probeta	90 °	± 2 °	

3 METODO DE PRUEBA

3.1 PROCEDIMIENTO

El procedimiento consistirá en romper de un solo golpe, con un martillo pendular - normalizado una probeta con entalle V, simplemente apoyada en sus extremos. La probeta debe colocarse a escuadra sobre los soportes y el plano de simetría del entalle deberá coincidir con el plano medio entre ellos, con una tolerancia de 0.5 mm.

El martillo deberá golpear a la probeta en el plano de simetría del entalle y precisamente en la cara opuesta a la que lo contiene. La velocidad en el momento del impacto será preferiblemente de 5 a 5.5 m/seg., aunque se tolerará un intervalo -- desde 4.5 hasta 7 m/seg., de acuerdo con el tipo de máquina que se utilice. El martillo debe oscilar en un plano vertical y el centro de percusión debe coincidir -- con el centro de impacto.

En la prueba normal, la energía del martillo en el momento de impacto, será de 30-kgm con una tolerancia de ± 1 kgm. (Ordinariamente se designa a esta energía con el símbolo KV, para distinguirlo de KU, que es el símbolo correspondiente a la - prueba de entalle "U").

La temperatura de la probeta en el momento de la rotura no debe diferir de la especificada en cualquier Norma de Calidad en $\pm 2^{\circ}$ C. Si las Normas de Calidad no especifican temperatura, la temperatura de la prueba puede fijarse en 20° C.

3.1.1 Esquema

3.2 RESULTADOS

3.2.1 Medidas

La precisión de la graduación de la escala de la máquina debe ser igual a $\pm 0.5\%$ de la energía máxima de impacto.

3.2.2 Conversión de resultados

No hay un método general para convertir los valores obtenidos por este método de prueba, en valores obtenidos por otro método.

3.2.3 Presentación de resultados

El informe para la presentación de resultados, debe contener los siguientes datos:

- a) Tipo y modelo de la máquina utilizada
- b) Energía de impacto utilizada
- c) Velocidad del martillo en el momento de impacto
- d) Datos para la identificación del material del que fue extraída la probeta
- e) Pérdida de energía del péndulo por fricción
- f) La temperatura a la cual se realiza la prueba
- g) Apariencia de fractura

3.2.3.1 Probetas no rotas en la prueba

En este caso el valor del impacto es indefinido. El informe dirá: "Probeta no rota por X kgm".

**SECRETARIA DE PATRIMONIO
Y
FOMENTO INDUSTRIAL**

NORMA OFICIAL MEXICANA

**TUBOS SIN COSTURA, DE ACERO AL CARBONO
PARA SERVICIO EN ALTA TEMPERATURA**

**SEAMLESS CARBON STEEL PIPE FOR HIGH
TEMPERATURE SERVICE**

NOM-D-178-1981

DIRECCION GENERAL DE NORMAS

STFI:DCM

TUBOS SIN COSTURA, DE ACERO AL CARBONO
PARA SERVICIO EN ALTA TEMPERATURA.

P R E F A C I O

En la elaboración de esta Norma participaron las siguientes em-
presas e instituciones:

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y
OBRAS PUBLICAS.

TUBACERO, S. A.

TUBOS DE ACERO DE MEXICO, S. A.

- - -

- -

-

C O N T E N I D O

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION
 2. REFERENCIAS
 3. CLASIFICACION Y DESIGNACION
 4. ESPECIFICACIONES
 - 4.1. Materiales y fabricación
 - 4.2. Tratamiento térmico
 - 4.3. Requisitos químicos
 - 4.4. Requisitos de tensión
 - 4.5. Prueba de doblado
 - 4.6. Prueba de aplastamiento
 - 4.7. Prueba hidrostática
 - 4.8. Dimensiones y pesos
 - 4.9. Acabado
 - 4.10. Reparación con soldadura
 - 4.11. Certificación
 - 4.12. Requisitos suplementarios
 5. MUESTREO
 - 5.1. Inspección
 - 5.2. Lote
 - 5.3. Probetas
 - 5.4. Número de pruebas
 - 5.5. Repetición de pruebas
 - 5.6. Criterio de aceptación
 6. METODOS DE PRUEBA
 7. MARCADO
- APENDICE A-1
- APENDICE A-2
- BIBLIOGRAFIA

SEAMLESS CARBON STEEL PIPE FOR HIGH TEMPERATURE SERVICE

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma establece los requisitos que deben cumplir los tubos sin costura, de acero al carbono, para servicio en alta temperatura.

Estos tubos se fabrican en los tamaños nominales de 1/8 hasta 26, - en los espesores de pared y pesos establecidos en la NOM-B-179 en - vigor. Se pueden suministrar, de acuerdo con esta Norma, tubos que tengan otras dimensiones, siempre y cuando cumplan con todos los -- demás requisitos especificados.

Los tubos suministrados de acuerdo con esta Norma deben ser adecuados para el doblado, pestañado y operaciones similares de formado.

Se incluye también una serie de requisitos suplementarios, de carácter opcional, los cuales implican la realización de un número mayor de pruebas para un mejor control de los tubos. Cuando se desee que los tubos cumplan con uno o más de estos requisitos, se debe especificar claramente en la orden de compra.

Para la aplicación de estos tubos se recomienda consultar los Códigos o Reglamentos que rijan la función de su uso. Cuando los tubos vayan a utilizarse en construcciones de acuerdo con el Código ISO - para la fabricación de calderas, deben cumplir con los requisitos - adicionales especificados en la NOM-B-187 en vigor.

2. REFERENCIAS

Para la mejor aplicación de la presente Norma, es necesario consultar las siguientes Normas Oficiales Mexicanas en vigor:

NOM-B-1 "Métodos de análisis para determinar la composición de aceros y fundiciones".

NOM-B-172 "Métodos de prueba mecánicos para productos de acero".

NOM-B-179 "Guía para la designación y clasificación de tubos de acero para conducción".

NOM-B-187 "Requisitos suplementarios para tubos sin costura y soldados por resistencia eléctrica, de acero al carbono - para servicio en alta temperatura, conforme a las Recomendaciones ISO para la construcción de calderas".

NOM-B-307 "Métodos para estimar el tamaño promedio de grano de -- los metales".

3. CLASIFICACION Y DESIGNACION

3.1. Los tubos cubiertos por esta Norma se clasifican de acuerdo - al grado de acero empleado en su fabricación tal y como se indica - en la tabla 1 y por su proceso de fabricación en terminados en caliente (TC) o ostirados en frío (EF).

3.2. En la designación de los tubos se deben indicar los siguientes datos para describirlos adecuadamente:

- a) Nombre del material y número de esta Norma
- b) Grado de acero (véase tabla 1)
- c) Proceso de fabricación (terminados en caliente (TC) o estirados en frío (EF))
- d) Tamaño nominal y espesor de pared o diámetro exterior y espesor de pared (véase NOM-B-179)
- e) Longitud (específica o de fabricación).
- f) Requisitos opcionales:
 - Análisis de producto (véase 4.3.3.)
 - Certificación (véase 4.11)
 - Requisitos suplementarios (véase 4.12)
- g) Uso final
- h) Requisitos especiales o excepciones a esta Norma
- i) Además, se debe indicar en el pedido, antes de la designación, la cantidad requerida en metros o número de tubos.

4. ESPECIFICACIONES

4.1. Materiales y fabricación

4.1.1. El acero para la fabricación de los tubos debe ser calmado - y obtenido por uno o más de los siguientes procesos: horno de hogar abierto, básico al oxígeno u horno eléctrico.

4.1.2. Los tubos con diámetro nominal 1 1/2 y menores, pueden suministrarse terminados en caliente o estirados en frío.

4.1.3. A menos que se especifique otra cosa, los tubos de tamaño nominal 2 y mayores deben ser terminados en caliente. Por acuerdo - previo entre fabricante y consumidor pueden ser ostirados en frío.

4.2. Tratamiento térmico

Los tubos terminados en caliente no necesitan tratarse térmicamente. Los tubos estirados en frío deben tratarse térmicamente después del último pase de estirado en frío, a una temperatura de 650°C o mayor.

4.3. Requisitos químicos

4.3.1. El acero debe cumplir con los requisitos de composición química especificados en la Tabla 1. - 61 -

4.3.2. El fabricante debe hacer un análisis de colada para determinar el porcentaje de los elementos especificados. La composición química asideterminada, o la determinada en el análisis de producto, hecho en un tubo terminado, cuando el fabricante de los tubos no ha producido su propio acero, debe ser reportada al comprador o a su representante y cumplir con los requisitos especificados.

4.3.3. A solicitud del comprador, el fabricante de los tubos debe hacer un análisis de producto. El resultado de este análisis debe ser reportado al comprador o a su representante y cumplir con los requisitos especificados.

Tabla 1.- Composición química, en %

	GRADO "A"	GRADO "B"	GRADO "C"
Carbono, máx.	0.25	0.30	0.35
Manganeso	0.27-0.93	0.29-1.06	0.29-1.06
Fósforo, máx.	0.048	0.048	0.048
Azufre, máx.	0.058	0.058	0.058
Silicio, mín.	0.10	0.10	0.10

4.4. Requisitos de tensión

4.4.1. Tensión

Los tubos deben cumplir con los requisitos de tensión especificados en la Tabla 2.

Tabla 2.- Requisitos de tensión

	Grado A		Grado B		Grado C	
Resistencia a la tensión mínima, en kgf/mm ² (MPa)	33.7 (331)		42.2 (414)		49.2 (483)	
Límite de fluencia mínima, en kgf/mm ² (MPa)	21.1 (207)		24.5 (241)		28.1 (276)	
Alargamiento:	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
Alargamiento mínimo en una longitud calibrada en 50 mm, en %:						
Alargamiento básico mínimo para espesores de pared de 7.9 mm y mayor, - prueba de tira y para tubos de tamaño pequeño - probados en sección completa.	35	25	30	16.5	30	16.5
Cuando se usa la probeta redonda normal con longitud calibrada de 50 mm	28	20	22	12	20	12
Para la prueba de tira, el ancho de la longitud calibrada debe ser de - 38 mm y cuando el espesor de pared sea menor de 7.9 mm el alargamiento mínimo aceptable debe calcularse de acuerdo con las siguientes fórmulas:	Grado		Dirección de la prueba		Fórmula	
Donde:	A		Longitudinal		A = 2.20e + 17.50	
A = Alargamiento mínimo en una longitud calibrada de 50 mm, en %	A		Transversal		A = 1.57e + 12.50	
e = Espesor real de la probeta, en mm.	B y C		Longitudinal		A = 1.09e + 15.00	
	B y C		Transversal		A = 1.26e + 6.50	

4.5. Prueba de doblado

4.5.1. Para tubos de tamaño nominal 2 y menores, un tramo de tubo con suficiente longitud debe doblarse en frío a 90° alrededor de un mandril cilíndrico de diámetro igual a 12 veces el diámetro nominal del tubo, sin que se presenten grietas.

Cuando los tubos sean ordenados para serpentines cerrados estos deben ser doblados en frío a 180° alrededor de un mandril cilíndrico cuyo diámetro debe ser 8 veces el diámetro nominal del tubo, sin que se presenten fallas.

4.5.2. Para tubos con diámetro de 254 mm y mayor, se pueden efectuar una prueba de doblado en sustitución de la prueba de aplastamiento. La probeta debe ser doblada a la temperatura ambiente a 180° sin que se presenten grietas en la parte exterior de la porción doblada. El diámetro interior del doblado debe ser de 25 mm. La sustitución de la prueba de aplastamiento por la prueba de doblado debe sujetarse a la aprobación del comprador.

4.5.3. Para tubos con diámetro mayor de 635 mm y cuya relación diámetro a espesor de pared sea 7 ó menos, la prueba de doblado descrita en 4.5.2. debe realizarse en sustitución de la prueba de aplastamiento.

4.6. Prueba de aplastamiento.

4.6.1. Para tubos con tamaño nominal mayor de 2, un tramo de tubo con una longitud mínima de 65 mm debe aplastarse en frío entre dos planchas paralelas, en dos etapas. Durante la primera etapa de esta prueba, la cual es una prueba de ductilidad no deben desarrollarse grietas ni fisuras en la superficie interior, exterior o en los extremos de los tubos hasta que la distancia entre las planchas de aplastamiento alcancen el valor "H" calculado con la siguiente fórmula:

$$H = \frac{(1 + c) e}{c + \frac{e}{D}}$$

Donde:

- H = Distancia entre las planchas de aplastamiento, en mm
- c = Deformación por unidad de longitud (constante para un grado de acero dado, 0.08 para el grado A y 0.07 para los grados B y C).
- e = Espesor de pared especificado, en mm.
- D = Diámetro exterior especificado, en mm.

Durante la segunda etapa de esta prueba, la cual es una prueba de sanidad, el aplastamiento debe continuarse hasta que el tubo se rompa o las paredes del mismo se toquen.

Los defectos superficiales, no visibles en la probeta antes de la prueba, que se revelen durante la primera etapa de esta prueba deben evaluarse conforme a los requisitos de acabado.

Las evidencias de laminación, y material defectuoso que se revelen durante la prueba de aplastamiento completa deben ser causa de rechazo.

Las rupturas leves resultantes de defectos superficiales, no deben ser causa de rechazo.

4.7. Prueba hidrostática.

4.7.1. Con excepción de lo indicado en 4.7.2. y 4.7.3., cada tramo de tubo debe probarse en la planta del fabricante, a una presión hidrostática que produzca en la pared del tubo un esfuerzo mínimo de 60% de la resistencia de fluencia mínima especificada. La presión de prueba o el esfuerzo debe determinarse con la siguiente fórmula:

$$P = \frac{2 S e}{D}$$

Donde:

- P = Presión hidrostática de prueba, en kgf/m² (MPa)
- S = Esfuerzo en la pared del tubo, en kgf/cm² (MPa)
- e = Espesor nominal de pared especificado, espesor de pared nominal correspondiente al número de cédula especificado ó 1.143 veces el espesor mínimo de pared especificado, en cm.
- D = Diámetro exterior especificado, diámetro exterior correspondiente al tamaño nominal del tubo o diámetro exterior calculado añadiendo 2e (como se define antes) al diámetro interior especificado, en cm.

La presión hidrostática de prueba determinada con la ecuación dada anteriormente, debe redondearse:

- para presiones menores de 70 kgf/cm² (6.9 MPa) al más cercano 5 kgf/cm².
- para presiones de 70 kgf/cm² y mayores al más cercano 10 kgf/cm².

La prueba hidrostática puede efectuarse antes de cortar los tubos a la longitud requerida o de someterlos a cualquier operación de formado tal como suajeado, expandido, doblado, etc.

4.7.2. Sin tomar en cuenta el nivel de esfuerzo de la pared del tubo calculado con la ecuación establecida en 4.7.1., la presión hidrostática de prueba mínima, requerida para cumplir con esta especificación, no debe exceder de:

- 175 kgf/cm² (17.2 MPa) para tubos con diámetro exterior de 90 mm y menores (véase "D" de 4.7.1.).
- 196 kgf/cm² (19.3 MPa) para tubos con diámetro exterior de 90 mm.

Lo anterior no excluye que, a opción del fabricante, la prueba hidrostática se efectúe a presiones más altas de acuerdo a lo establecido en 4.7.3.

4.7.3. Previo acuerdo con el fabricante, se puede especificar en la orden de compra, una presión hidrostática de prueba mínima superior a las especificadas en 4.7.1. ó 4.7.2. ó en ambos.

4.7.4. La presión hidrostática de prueba debe sostenerse como mínimo 5 segundos.

Quando se especifique en la orden, los tubos pueden suministrarse - sin la prueba hidrostática, en cuyo caso cada tramo de tubo debe marcarse obligatoriamente con las letras "NH".

4.8. Dimensiones y pesos

4.8.1. Las dimensiones (diámetro exterior y espesor de pared) y los pesos teóricos para tubos con extremos planos se establecen en la - NOM B 179 en vigor.

4.8.2. Los tamaños nominales en que comunmente se fabrican estos tubos son de 1/8 hasta 26. Se pueden fabricar tubos de acuerdo con esta Norma en otras dimensiones de las establecidas en la NOM B 179 en vigor u otras diferentes, siempre y cuando se cumpla con todos - los demás requisitos que en esta Norma se establecen.

4.8.3. Las longitudes de los tubos deben ser, según lo especifique el comprador, de acuerdo a la siguiente práctica común:

- Longitud específica.- Es decir que la longitud requerida. se especifique en la orden de compra, en cuyo caso la tolerancia debe ser de +6.4, -0.0 mm de la longitud especificada. A menos que se especifique otra cosa, no se permiten uniones para obtener la longitud requerida.

- Longitud de fabricación.- Si no se requiere una longitud específica, los tubos pueden solicitarse en longitudes de fabricación simples de 4.9 a 6.7 m, permitiéndose un 5% de los tubos en longitudes de 3.7 a 4.8 m, o en longitudes de fabricación dobles con una longitud promedio de - 10.7 m y una longitud mínima de 6.7 m, permitiéndose un - 5% de los tubos en longitudes de 4.9 y 6.7 m.

4.8.4. La tolerancia en el diámetro exterior debe ser la especificada en la tabla 3.

Tabla 3.- Tolerancias en el diámetro exterior

Tamaño nominal del tubo	Tolerancia en mm	
	en más	en menos
De 1/8 hasta 1 1/2	0.4	0.8
Mayor de 1 1/2 hasta 4	0.8	0.8
Mayor de 4 hasta 8	1.6	0.8
Mayor de 8 hasta 18	2.4	0.8
Mayor de 18 hasta 26	3.2	0.8
Mayor de 26 hasta 34	4.0	0.8
Mayor de 34 hasta 48	4.8	0.8

4.8.5. El espesor de pared mínimo en cualquier parte del tubo no debe ser menor de 87.5% del espesor de pared especificado. En el apéndice A 1, se indican los espesores de pared mínimos para inspección.

4.8.6. La tolerancia en peso, para cualquier longitud de tubo debe ser de +10% -3.5% del peso especificado.

Excepto que se especifique otra cosa entre fabricante y comprador, los tubos con tamaño nominal 4 y menores pueden pasarse en lotes con venientes y los tubos con tamaño nominal mayor de 4 deben pasarse individualmente.

4.9. Acabado

4.9.1. El fabricante debe examinar un número suficiente de las imperfecciones superficiales visuales que se presenten en los tubos, para asegurarse, razonablemente, que dichas imperfecciones han sido evaluadas en forma adecuada con respecto a su profundidad.

Aunque no se requiere un examen de todas las imperfecciones, éste puede ser necesario para asegurar el cumplimiento de lo especificado en 4.9.2.

4.9.2. Las imperfecciones superficiales que penetren más del 12.5% del espesor nominal de pared o disminuyan el espesor de pared mínimo especificado, deben considerarse como defectos. Los tubos con estos defectos deben someterse a una de las siguientes disposiciones:

- Los defectos pueden ser eliminados por esmerilado, siempre y cuando el espesor de pared, después de esta operación, quede dentro de los límites especificados.
- Los defectos pueden repararse con soldadura, de acuerdo a lo indicado en 4.10.
- La sección del tubo que contenga los defectos puede cortarse siempre y cuando no se afecten los requisitos de longitud.
- Los tubos pueden rechazarse.

4.9.3. A fin de proveer un buen acabado, basado en la evaluación especificada en 4.9.2., el fabricante de los tubos debe eliminar por esmerilado las imperfecciones no perjudiciales indicadas a continuación:

- Marcas mecánicas, raspaduras y picaduras cuya profundidad sea mayor de 1.6mm. (Se entiende por marcas mecánicas y raspaduras a las marcas de cables, abolladuras, marcas de gruas, marcas de rodillos, estrinduras, marcas de dado, etc.).
- Imperfecciones visuales detectadas como costuras, fisuras, traspases, salpicaduras, etc., que se encuentren durante el examen de los tubos de acuerdo con 4.9.1., que sean más profundas del 5% del espesor de pared.

4.9.4. A opción del comprador, los tubos deben rechazarse cuando - las imperfecciones aceptables según 4.9.2. no estén diseminadas en todo el tubo, sino que se presenten en un área tal que haga que el tubo presente un mal acabado. El destino de los tubos, en estos casos, debe ser motivo de acuerdo entre fabricante y comprador.

4.9.5. Cuando las imperfecciones o defectos son eliminados por esmerilado, se debe mantener una superficie curva lisa y el espesor de pared no debe disminuirse abajo de lo permitido por esta Norma. El diámetro exterior en el área de esmerilado puede reducirse en el espesor del material eliminado.

4.9.6. Las mediciones del espesor de pared deben realizarse con un calibrador mecánico o con un dispositivo de prueba no destructivo - calibrado correctamente, de exactitud adecuada. En caso de discrepancias en las mediciones, sólo serán válidas las hechas con el calibrador mecánico.

4.9.7. Las reparaciones con soldadura deben permitirse únicamente con la aprobación del comprador y sujeto a lo indicado en 4.10.

4.9.8. Los tubos terminados deben ser razonablemente rectos.

4.9.9. A menos que se especifique otra cosa, los tubos deben suministrarse con sus extremos planos. Todas las rebabas en los extremos de los tubos deben eliminarse.

4.10. Reparación con soldadura

Debe permitirse la reparación con soldadura de los defectos perjudiciales, sujetándose a la aprobación del comprador, sobreentendiéndose, además, que la composición química del metal de aporte debe ser la adecuada a la composición del metal base.

Los defectos deben eliminarse totalmente antes de soldar y cada tramo de tubo reparado debe tratarse térmicamente de nuevo o relevarse de esfuerzos. Cada tramo de tubo después de reparado, debe probarse hidrostáticamente. La reparación con soldadura debe realizarse con procedimientos adecuados y por soldadores calificados (ver apéndice A 2).

4.11. Certificación

Cuando sea requerido por el comprador en su requisición, contrato u orden de compra, el fabricante le debe proporcionar un certificado en el que conste que los tubos han sido fabricados y probados de acuerdo con esta Norma. El certificado debe incluir un informe con los resultados obtenidos en el análisis químico, pruebas físicas y de otras pruebas que puedan ser requeridas por el comprador. El certificado o informe proporcionado por el fabricante, debe incluir una declaración de cuáles de los requisitos que se hayan especificado no han sido completados, identificándose éstos mediante la adición de una letra al número de la Norma. El comprador debe certificar que los requisitos faltantes se han llevado a cabo eliminando la letra correspondiente (X, Y o Z) Véase 7.

4.12. Requisitos suplementarios

Los siguientes requisitos son opcionales y sólo deben aplicarse cuando así lo especifique el comprador en su requisición u orden de compra. El comprador puede especificar una frecuencia diferente en las pruebas o análisis, que la especificada en estos requisitos suplementarios; así mismo, previo acuerdo con el fabricante, la repetición de pruebas y tratamiento indicados pueden también ser modificados.

4.12.1. Análisis de producto

Se debe hacer un análisis químico de producto por cada tramo de tubo. Los tubos que no cumplan con los requisitos de composición química - deben ser rechazados.

4.12.2. Pruebas de tensión transversal

Se debe hacer una prueba de tensión transversal en una probeta tomada de uno o ambos extremos de cada tramo de tubo con diámetro de 203 mm o mayor. Al especificarse este requisito, se debe establecer el número de pruebas por tubo. Si una probeta de cualquier tubo no cumple con los requisitos de tensión (resistencia a la tensión, límite de fluencia y alargamiento), el tramo de tubo debe rechazarse y someterse a un nuevo tratamiento térmico de acuerdo a lo especificado en 4.2. y cumplir con la repetición de pruebas.

4.12.3. Prueba de aplastamiento

Se debe efectuar una prueba de aplastamiento, de acuerdo con lo especificado en 4.6. en una probeta tomada de uno o ambos extremos de cada tubo. Para esta prueba se pueden utilizar las puntas de recorte de los tubos. Al especificarse este requisito se debe establecer el número de pruebas por tubo. Si una probeta de cualquier tubo falla, debido a su ductilidad, antes de cumplir con el primer paso de la prueba de aplastamiento, el tubo debe someterse a un nuevo tratamiento térmico de acuerdo a lo indicado en 4.2. y cumplir con la repetición de pruebas. Si una probeta de cualquier tubo falla debido a su sanidad, el tubo debe rechazarse, a menos que mediante otras pruebas se demuestre que el resto del tubo no presenta fallas de sanidad.

4.12.4. Estructuras metalográficas y pruebas de ataque

La estructura del acero debe ser homogénea al verificarse ésta, con el método de ataque acordado entre fabricante y comprador.

Las pruebas de ataque deben hacerse sobre la sección transversal de uno o ambos extremos de cada tubo, debiendo, como resultado de esta prueba, mostrarse un material sano, razonablemente uniforme, libre de laminaciones perjudiciales, grietas y defectos objetables similares. Al especificarse este requisito se debe establecer el número de pruebas por tubo. Si una probeta de cualquier tubo muestra defectos objetables, el tubo debe rechazarse, eliminarse el extremo defectuoso y probarse nuevamente a fin de determinar si el resto del tubo es de un material sano y razonablemente uniforme.

5. MUESTREO

5.1. Inspección

El inspector representante del comprador debe tener libre acceso, a cualquier hora, mientras el material objeto del contrato se está fabricando, a todas las secciones de la planta relacionadas con el mismo.

El fabricante debe dar al inspector todas las facilidades razonables para que éste se cerciore de que el material se está fabricando de acuerdo con esta Norma.

A menos que se especifique otra cosa, todas las pruebas requeridas y la inspección deben realizarse en la planta del fabricante, antes del embarque del material y deben llevarse a cabo de tal manera que no interfieran innecesariamente en la operación normal de la planta.

5.2. Lote

Para los fines de esta Norma un lote debe constituirse, por tubos del mismo tamaño nominal y espesor de pared procedentes de la misma colada, como sigue:

Tamaño nominal del tubo	Tramos de tubo en el lote
Menores de 6	400
De 6 y mayores	200

5.3. Probetas

5.3.1. Las probetas deben cortarse de los extremos de los tubos terminados, antes de someterlos a cualquier operación de formado o corte a una longitud específica.

Las probetas deben tener sus extremos lisos y libres de rebabas. Si cualquier probeta presenta defectos o maquinado defectuoso puede desecharse y sustituirse por otra.

5.3.2. Para tubos de tamaño nominal 8 y mayores, las probetas cortadas ya sea longitudinalmente o transversalmente deben ser aceptadas para la prueba de tensión. Para tubos con tamaño nominal menor de 8 sólo deben usarse probetas longitudinales.

5.3.3. Las probetas para la prueba de doblado y aplastamiento especificadas en 4.5. y 4.6., deben consistir de secciones cortadas de un tubo. Las probetas para la prueba de aplastamiento deben tener sus extremos lisos y libres de rebabas, excepto cuando se obtengan de extremos de rechazo de tubos.

Las probetas para las pruebas de doblado especificadas en 4.5.2. y 4.5.3. deben cortarse de un extremo del tubo y, a menos que se especifique otra cosa, deben tomarse en dirección transversal. De ser posible, debe tomarse una probeta lo más cerca de la superficie exterior del tubo y otra lo más cerca de la superficie interior.

Las probetas deben ser ya sea de una sección de 12.7 x 12.7 mm ó -- 25.4. x 12.7 mm, con las esquinas redondeadas a un radio no mayor de 1.6 mm y no deben exceder de 152 mm de longitud. El lado de la probeta colocado en tensión durante el doblado debe ser el lado más cercano a la superficie exterior o interior del tubo, según se tome la probeta cerca a la superficie exterior o interior del tubo, respectivamente.

5.3.4. Todas las pruebas de rutina deben realizarse a la temperatura ambiente.

5.4. Número de pruebas

5.4.1. Análisis de colada.- Se debe hacer un análisis químico de cada colada de acero.

5.4.2. Análisis de producto.- Se debe hacer un análisis químico en un lingote de cada colada de acero o en dos tubos de cada lote (véase 5.2.).

5.4.3. Pruebas de tensión.- Se debe hacer una de cada una de las pruebas especificadas en 4.4., en un tramo de tubo de cada lote (véase 5.2.) o fracción.

5.4.4. Pruebas de doblado.- Para tubos de tamaño nominal 2 y menores, la prueba de doblado especificada en 4.5.1., debe hacerse en un tubo de cada lote o fracción (véase 5.2.). La prueba de doblado especificada en 4.5.2. (en sustitución de la prueba de aplastamiento) y en 4.5.3. debe hacerse en un extremo del 5% de los tubos que componen cada lote. Para lotes pequeños debe probarse como mínimo un tubo.

5.4.5. Prueba de aplastamiento.- La prueba de aplastamiento especificada en 4.6., debe hacerse en un tramo de tubo de cada lote (véase 5.2.) o fracción.

5.4.6. Prueba hidrostática.- La prueba hidrostática especificada en 4.7., debe hacerse en cada tramo de tubo.

5.5. Repetición de pruebas

5.5.1. Análisis de producto.- Si los resultados de uno de los análisis especificados en 5.4.2., no concuerdan con los requisitos especificados, se debe realizar otro análisis, en el doble del número original de muestras tomadas del mismo lote (véase 5.2.), cada uno de estos nuevos análisis debe cumplir con lo especificado.

5.5.2. Pruebas de tensión.- Si los resultados de estas pruebas, en cualquier grupo o lote de tubos, no cumple con los requisitos especificados, las pruebas pueden repetirse en el doble del número

original de muestras, tomadas del mismo grupo o lote, en cuyo caso todas las muestras deben cumplir con los requisitos especificados. Sólo se permite una repetición de pruebas por cada grupo o lote de tubos. El incumplimiento con alguno de los requisitos en estas -- nuevas pruebas debe ser causa de rechazo del grupo o lote completo de tubos.

Si el porcentaje de alargamiento de cualquier probeta es menor que el especificado en la Tabla 2 y cualquier parte de la fractura se localiza a más de 19 mm del centro de la longitud calibrada, en -- una probeta de 50 mm, se debe repetir la prueba. Si la probeta so -- metida a la prueba de tensión se rompe debido a una imperfección -- en su superficie interior o exterior, se debe realizar otra prueba.

5.5.3. Prueba de aplastamiento.- Si el extremo de un tubo terminado (probeta) falla en la prueba de aplastamiento, se debe repetir la prueba en otra probeta tomada del extremo del tubo que falló. El tubo puede ser sometido a un proceso de normalizado ya sea antes o después de la primera prueba, permitiéndose como máximo -- dos tratamientos de normalizado.

5.6. Criterio de aceptación

Cada tramo de tubo, que se reciba de la planta del fabricante, puede ser inspeccionado por el comprador y si no cumple con los requisitos de esta Norma, basados en la inspección y en los métodos de prueba especificados, puede ser rechazado, en cuyo caso el fabricante debe ser notificado.

Los tubos que fallen en cualquiera de las operaciones de formado o en el proceso de instalación deben separarse y notificarlo al fabricante para que entre ambos evalúen si las fallas se deben a mala calidad del acero, defectos de fabricación del tubo, inadecuado formado o instalación. El destino de los tubos separados debe ser motivo de acuerdo entre fabricante y comprador.

6. METODOS DE PRUEBA

6.1. Composición química

Los métodos de análisis para determinar la composición química, deben ser los especificados en la NOM-B-1 en vigor.

6.2. Tensión

Los métodos de prueba para determinar las propiedades a la tensión, deben ser los especificados en la NOM-B-172 en vigor.

6.3. Estructura metalográfica y pruebas de ataque

El método para observar la estructura metalográfica y estimar el tamaño promedio de grano deben ser los especificados en la NOM-B-167 en vigor y, los métodos de ataque los acordados entre fabricante y comprador.

7. MARCADO

7.1. Cada tramo de tubo debe marcarse en forma legible con:

- a) Nombre o marca del fabricante.
- b) Número de esta Norma.
- c) Grado.
- d) Presión hidrostática de prueba cuando se sometan a esta prueba o las letras NH, cuando no sean sometidas a esta prueba.
- e) La letra S y la identificación del inciso correspondiente, si los tubos cumplen con uno o más de los requisitos suplementarios indicados en 4.12.
- f) Longitud.
- g) Número de cédula.
- h) Peso, únicamente en tubos de tamaño nominal mayor de 4.

7.2. El marcado se debe hacer aproximadamente 300 mm de uno de los extremos de cada tramo de tubo. Para tubos de diámetro pequeño, -- los cuales se suministran en atados, la información requerida debe incluirse, en forma legible, en una tarjeta firmemente adherida a cada atado para embarque.

7.3. Cuando los tubos, marcados como se ha especificado, sean rechazados, se debe tachar o borrar la designación de esta Norma. Los tubos que han sido reparados con soldadura, de acuerdo con 4.10., deben marcarse con las letras "RS".

7.4. Cuando se especifique que algunos de los requisitos de acuerdo con el Código de Construcción de Calderas y Recipientes a Presión deben ser completados por el comprador al recibo de los tubos, el fabricante debe indicar, de todos los requisitos de esta Norma, -- cuales no han sido completados, mediante la adición de una letra (X, Y o Z) inmediatamente después de la designación de esta Norma. Las letras pueden eliminarse sólo hasta que se haya cumplido con todos los requisitos. La explicación de los requisitos a ser completados se indica en 4.11.

ENT. DGM

APENDICE A-1

ESPESORES DE PARED MINIMOS PARA INSPECCION

Espe ^{so} r mm	Espe ^{so} r mínimo mm	Espe ^{so} r mm	Espe ^{so} r mínimo mm	Espe ^{so} r mm	Espe ^{so} r mínimo mm
1.73	1.52	7.14	6.25	21.95	19.20
2.11	1.85	7.47	6.53	22.22	19.46
2.24	1.96	7.62	6.65	23.01	20.14
2.31	2.03	7.80	6.83	23.83	20.85
2.41	2.11	7.82	6.86	24.59	21.58
2.77	2.41	7.92	6.93	25.40	22.22
2.87	2.51	8.08	7.06	26.19	22.91
3.02	2.64	8.18	7.16	26.97	23.60
3.17	2.77	8.38	7.34	27.79	24.31
3.20	2.79	8.56	7.49	28.57	24.99
3.38	2.95	8.74	7.65	29.36	25.70
3.56	3.10	9.09	7.95	30.96	27.08
3.58	3.12	9.27	8.10	31.75	27.79
3.68	3.23	9.52	8.33	32.54	28.47
3.73	3.28	9.70	8.48	33.32	29.16
3.91	3.43	10.16	8.89	34.93	30.56
3.96	3.45	10.31	9.02	35.71	31.24
4.37	3.81	10.97	9.60	36.53	31.95
4.55	3.99	11.07	9.70	38.10	33.32
4.78	4.17	11.13	9.73	38.89	34.03
4.85	4.24	11.91	10.41	39.67	34.72
5.08	4.44	12.70	11.12	40.49	35.43
5.16	4.52	13.49	11.81	41.53	36.35
5.33	4.67	14.02	12.77	44.45	38.89
5.49	4.80	14.27	12.50	45.24	39.57
5.54	4.85	15.09	13.21	46.02	40.78
5.56	4.88	15.24	13.33	47.62	41.68
5.74	5.03	15.87	13.89	50.01	43.76
6.02	5.26	16.66	14.58	50.80	44.45
6.35	5.56	17.12	14.99	52.37	45.62
6.55	5.74	17.48	15.29	53.98	47.22
7.01	6.15	18.26	15.98	55.88	48.90
7.04	6.20	19.05	16.66	59.54	52.10
7.09	6.22	20.62	18.03	63.50	55.58
7.11	6.22	21.44	18.77	-	-

OFF: DGM
APENDICE A-2

En tanto no se cuente con los Códigos o las Normas Oficiales Mexicanas de procedimientos de soldadura y calificación de soldadores de ben usarse los del "ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX".

BIBLIOGRAFIA

ANSI/ASTM A 106 Standard Specification for Seamless Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service.

ANSI/ASTM A 530 Standard Specification for General Requirements for Specialized Carbon and Alloy Steel Pipe.

México, D.F., a 19 JUN. 1956

EL DIRECTOR GENERAL.

DR. ROMAN SERRA CASTANOS.



**SECRETARIA DE PATRIMONIO
Y
FOMENTO INDUSTRIAL**

**NORMA OFICIAL MEXICANA
TUBOS CON O SIN COSTURA PARA SERVICIO
EN BAJA TEMPERATURA**

**SEAMLESS AND WELDED STEEL PIPE FOR
LOW-TEMPERATURE SERVICE**

NOM-B-180-1981

DIRECCION GENERAL DE NORMAS

CPH-208

TUBOS CON O SIN COSTURA PARA
SERVICIO EN BAJA TEMPERATURA

P R E F A C I O

En la elaboración de esta Norma participaron las siguientes em-
presas e instituciones:

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.

SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y
OBRAS PUBLICAS.

TUBACERO, S. A.

TUBOS DE ACERO DE MEXICO, S. A.

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS
HIDRAULICOS.

EPFI-DGM

TUBOS CON O SIN COSTURA PARA
SERVICIO EN BAJA TEMPERATURA

C O N T E N I D O

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION
2. REFERENCIAS
3. CLASIFICACION Y DESIGNACION
4. ESPECIFICACIONES
 - 4.1. Materiales y fabricación
 - 4.2. Tratamiento térmico
 - 4.3. Requisitos químicos
 - 4.4. Requisitos de tensión
 - 4.5. Requisitos de impacto
 - 4.6. Prueba de aplastamiento
 - 4.7. Prueba hidrostática
 - 4.8. Dimensiones y pesos
 - 4.9. Acabado
 - 4.10. Reparación con soldadura
 - 4.11. Certificación
 - 4.12. Requisitos suplementarios
5. MUESTREO
 - 5.1. Inspección
 - 5.2. Lote
 - 5.3. Probetas
 - 5.4. Número de pruebas
 - 5.5. Repetición de pruebas
 - 5.6. Criterio de aceptación
6. METODOS DE PRUEBA
7. MARCADO
- APENDICE A-1
- APENDICE A-2
- BIBLIOGRAFIA

SEAMLESS AND WELDED STEEL PIPE FOR
LOW-TEMPERATURE SERVICE

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma establece los requisitos que deben cumplir los tubos con o sin costura, de acero al carbono y de acero aleado para servicio en baja temperatura.

En la Tabla 2, se incluyen varios grados de aceros ferríticos en -- que pueden fabricarse estos tubos.

Algunos tamaños de tubos no se encuentran disponibles en el mercado debido a que en espesores de pared gruesos se puede tener un efecto adverso en las propiedades de impacto a baja temperatura.

Se incluye también, un requisito suplementario, de carácter opcional, que cuando se desee que los tubos lo cumplan, debe especificarse claramente en la orden de compra.

Para la aplicación de estos tubos, se recomienda consultar los Códigos o Reglamentos que rijan la función de su uso.

2. REFERENCIAS

Para la correcta aplicación de la presente Norma, es necesario consultar las siguientes Normas Oficiales Mexicanas en vigor:

- NOM-B-1 "Métodos de análisis químico para determinar la composición de aceros y fundiciones".
NOM-B-120 "Método de prueba de impacto para materiales metálicos".
NOM-B-172 "Métodos de prueba mecánicos para productos de acero".
NOM-B-179 "Guía para la designación y clasificación de tubos de acero para conducción".

3. CLASIFICACION Y DESIGNACION

3.1. Los tubos cubiertos por esta Norma se clasifican de acuerdo al grado de acero empleado en su fabricación (Tabla 1) y por su proceso de fabricación, con o sin costura.

3.2. En la designación de los tubos, se deben indicar los siguientes datos para describirlos adecuadamente:

- a) Nombre del material y número de esta Norma.
- b) Grado de acero (véase Tabla 2).
- c) Tamaño nominal y espesor de pared o diámetro exterior y espesor de pared. (véase NOM-B-179).

Referencia Cop

La Comisión Ejecutiva de Acero con el apoyo de la Secretaría de Petróleo y Fomento Industrial, aprobó la presente Norma que fue publicada en el número 67-68 de la Federación de

Estados Unidos

Esta Norma cancela la NOM-E-160-1965.



SEPII-DCN

d) Longitud (específica o de fabricación)

e) Requisitos opcionales:

- Análisis de producto. (véase 4.3.3.)
- Otras temperaturas para prueba de impacto (véase 4.5.7.)
- Relevado de esfuerzos (véase 4.2.4)

- Reparación con soldadura (véase 4.10)
- Certificado de pruebas.

f) Requisitos especiales o excepciones a esta Norma.

g) Además, se debe indicar en el pedido, antes de la designación, la cantidad requerida en metros o número de tubos.

4. ESPECIFICACIONES

4.1. Materiales y fabricación

4.1.1. El acero para la fabricación de los tubos debe obtenerse por los procesos de horno de hogar abierto u horno eléctrico, excepto - los grados 1, 3, 4, 6, 7 y 9, que pueden también obtenerse por el - proceso básico al oxígeno. Las prácticas de aceración deben ser - las adecuadas para producir acero que cumpla los requisitos de in- - pacto especificados.

4.1.2. Se debe efectuar un despunte suficiente de cada lingote pa- - ra evitar que se presente rechupe o segregación perjudiciales.

4.1.3. Los tubos pueden ser fabricados por el proceso sin costura - o con costura con o sin aporte de material en la operación de solda - dura.

Los tubos fabricados con acero del grado 4, sólo pueden ser fabrica - dos por el proceso sin costura.

4.2. Tratamiento térmico

4.2.1. Todos los tubos con o sin costura, excepto los fabricados - con acero del grado 8, deben tratarse térmicamente para control de - su microestructura, por alguno de los siguientes métodos:

4.2.1.1. Normalizado - calentado hasta alcanzar una temperatura - uniforme de 815°C como mínimo y enfriar al aire o en la cámara de - enfriamiento de un horno de atmósfera controlada.

4.2.1.2. Normalizado como se indicó en 4.2.1.1. y, a discreción - del fabricante, recalentar hasta una temperatura adecuada de reveni - do.

4.2.1.3. Para tubos sin costura, recalentar y controlar que la tem - peratura de la operación de acabado en caliente se encuentre dentro - de un intervalo de 843 a 954°C y enfriar en un horno de atmósfera - controlada partiendo de una temperatura mínima de 843°C.

SPHT-DGN

4.2.1.4. Tratar como se indicó en 4.2.1.3. y, a discreción del fabricante, recalentar hasta una temperatura adecuada de revenido.

4.2.2. Los tubos fabricados con acero del grado 8 deben tratarse térmicamente, por el fabricante, por cualquiera de los siguientes métodos:

4.2.2.1. Templado y revenido - Calentar a una temperatura uniforme de $802 \pm 14^\circ\text{C}$; sostener esta temperatura durante una hora como mínimo por cada 25 mm de espesor pero en ningún caso por menos de 15 minutos y templar por inmersión en agua circulante. Recalentar hasta que los tubos alcancen una temperatura uniforme entre 556 y 607°C ; sostener esta temperatura durante una hora por cada 25 mm de espesor, pero en ningún caso por menos de 15 minutos y enfriar en aire o templar en agua a una velocidad no menor de 166°C/h .

4.2.2.2. Doble normalizado y revenido - Calentar a una temperatura uniforme de $899 \pm 14^\circ\text{C}$; sostener esta temperatura durante una hora como mínimo, por cada 25 mm de espesor, pero en ningún caso por menos de 15 minutos y enfriar en aire. Recalentar hasta que los tubos alcancen una temperatura uniforme de $788 \pm 14^\circ\text{C}$; sostener esta temperatura durante una hora como mínimo por cada 25 mm de espesor pero en ningún caso por menos de 15 minutos y enfriar en aire. Recalentar a una temperatura uniforme entre 556 y 607°C ; sostener esta temperatura durante una hora como mínimo, por cada 25 mm de espesor, pero en ningún caso por menos de 15 minutos y enfriar en aire o templar en agua a una velocidad no menor de 166°C/h .

4.2.3. El material del cual se obtengan las probetas debe estar en las mismas condiciones de tratamiento térmico que el tubo suministrado. El material del cual se tomen las probetas debe ser tratado térmicamente antes de la preparación de las probetas.

4.2.4. Cuando se solicite en la orden de compra, las probetas deben tomarse del espesor completo de las piezas de prueba y relevarse de esfuerzos después de que han sido separadas del tubo tratado térmicamente.

Las piezas de prueba deben calentarse gradual o uniformemente a la temperatura indicada, sosteniendo esa temperatura por un período de tiempo de acuerdo con la Tabla 1 y enfriar en el horno a una temperatura no mayor de 316°C . Los aceros del grado 8 deben enfriarse a una velocidad mínima de 116°C/h , en aire o agua hasta una temperatura no mayor de 316°C .

Tabla 1.-Relevado de esfuerzo de las piezas para prueba.

Temperatura del acal en $^\circ\text{C}$ (a) (b)		Tiempo mínimo de permanencia a la temperatura en h/25 mm de espesor de pared
Grados 1,3,6 y 7	Grado 4 (c)	
593	621	1
566	593	2
538	566	3



(a) Para temperaturas intermedias, el tiempo de permanencia a la temperatura debe determinarse por interpolación lineal.

(b) El grado 8 debe relevarse de esfuerzo entre 582 a 585°C sosteniendo la temperatura por un mínimo de 2 horas para espesores de hasta 25.4 mm, más un mínimo de una hora por cada 25.4 mm adicionales de espesor y enfriar a una velocidad mínima de 166°C/h en aire o agua, hasta alcanzar una temperatura que no exceda de 316°C.

(c) A menos que se especifique otra cosa, el grado 4 debe relevarse de esfuerzos a 621°C.

4.2.5. Si las muestras seleccionadas como representativas de cualquier grupo o lote de tubos no cumple con los requisitos especificados en esta Norma, el grupo o lote completo puede tratarse térmicamente de nuevo y probarse, con excepción de los tramos de tubo que hayan cumplido con los requisitos antes del nuevo tratamiento térmico.

El fabricante de los tubos puede repetir el tratamiento térmico como máximo dos veces, excepto que el comprador acepte otra cosa, en base a evidencias metalúrgicas que le indiquen que la causa de la falla puede ser eliminada y la calidad del material sea satisfactoria.

4.3. Requisitos químicos

4.3.1. El acero debe cumplir con los requisitos de composición química especificados en la Tabla 2.

4.3.2. El fabricante debe hacer un análisis de colada para determinar el porcentaje de los elementos especificados. La composición química así determinada, o la determinada en un análisis de producto hecho en un tubo terminado, cuando el fabricante de los tubos no ha producido su propio acero, debe ser reportada al comprador o a su representante y cumplir con los requisitos especificados.

4.3.3. A solicitud del comprador, el fabricante de los tubos debe hacer un análisis de producto. El resultado de este análisis debe ser reportado al comprador o a su representante y cumplir con los requisitos especificados.



IEN

NOM-B-180-1981

- 5/21

Tabla 2.- Composición química, en %

Elemento	Grado 1 (a)	Grado 3	Grado 4	Grado 6 (a)	Grado 7	Grado 8	Grado 9
Carbono, máx.	0.30	0.19	0.12	0.30	0.19	0.13	0.20
Manganeso	0.40-1.06	0.31-0.64	0.50-1.05	0.29-1.06	0.90 máx.	0.90 máx.	0.40-1.06
Fósforo, máx.	0.05	0.05	0.04	0.048	0.04	0.045	0.045
Azufre, máx.	0.06	0.05	0.04	0.058	0.05	0.045	0.050
Silicio	-----	0.18-0.37	0.08-0.37	0.10 mín.	0.13-0.32	0.13-0.32	-----
Níquel	-----	3.18-3.82	0.47-0.98	-----	2.03-2.57	8.40-9.60	1.60-2.24
Cromo	-----	-----	0.40-0.75	-----	-----	-----	0.75-1.25
Aluminio	-----	-----	0.04-0.30	-----	-----	-----	-----

(a) Por cada disminución de 0.01% de carbono, abajo del 0.30%, se puede incrementar el contenido de manganeso en 0.05% por arriba del 0.06%, hasta un máximo de 1.35%.

4.4. Requisitos de tensión.

Los tubos deben cumplir con los requisitos de tensión especificados en la Tabla 3.

El límite de fluencia debe determinarse por el método de la caída de la viga o detención de la aguja indicadora de la máquina de prueba. Cuando el material no exhiba un límite de fluencia definido, se debe determinar la resistencia de fluencia correspondiente a una deformación permanente especificada (offset) de 0.2% de la longitud calibrada de la probeta o a una extensión total bajo carga de 0.5% de la longitud calibrada.

10
 C-11-196N

Tabla 3.- (Continuación)

NOM-D-180-1981
 - 7/21

Para la prueba de tira cuando el espesor de pared sea menor de 7.62 mm, el alargamiento mínimo aceptable debe calcularse de acuerdo con las siguientes fórmulas:
 Donde:
 A = Alargamiento mínimo en una longitud calibrada de 50 mm en t
 e = Espesor de la probeta, en mm

Grado	Dirección de la prueba	Fórmula
1	Longitudinal	$A = 2.20e + 17.50$
	Transversal	
3	Longitudinal	$A = 1.57e + 12.50$
	Transversal	
4	Longitudinal	$A = 1.89e + 12.50$
	Transversal	
6	Longitudinal	$A = 1.20e + 12.50$
	Transversal	
7	Longitudinal	$A = 1.89e + 15.00$
	Transversal	
8	Longitudinal	$A = 1.20e + 8.50$
	Transversal	

4.5. Requisitos de impacto

4.5.1. Para los tubos de acero de los grados 1, 3, 4, 6, 7 y 9, las propiedades de impacto en barras ranuradas, en esta parte de tira probetas incluyendo las de las juntas soldadas de tubos con costura con espesor de pared de 1.27 y mayor, cuando se prueben a las temperaturas especificadas en 4.5.6. no deben ser menores que los valores indicados en la Tabla 4.

Para la prueba de tira cuando el espesor de pared sea menor de 7.94 mm, el alargamiento mínimo aceptable debe calcularse de acuerdo con las siguientes fórmulas:

Donde:

A = Alargamiento mínimo en una longitud calibrada de 50 mm, en %

e = Espesor de la probeta, en mm

Grado	Dirección de la prueba	Fórmula
1	Longitudinal	$A = 2.20e + 17.50$
	Transversal	$A = 1.57e + 12.50$
3	Longitudinal	$A = 1.89e + 15.00$
	Transversal	$A = 1.26e + 10.65$
4	Longitudinal	$A = 1.89e + 15.00$
	Transversal	$A = 1.26e + 6.50$
6	Longitudinal	$A = 1.89e + 15.00$
	Transversal	$A = 1.26e + 6.50$
7	Longitudinal	$A = 1.89e + 15.00$
	Transversal	$A = 1.34e + 11.00$
8	Longitudinal	$A = 1.34e + 11.00$

4.5. Requisitos de impacto

4.5.1. Para los tubos de acero de los grados 1, 3, 4, 6, 7 y 9, las propiedades de impacto en barras ranuradas, en cada juego de tres probetas incluyendo las de las juntas soldadas de tubos con costura con espesor de pared de 3 mm y mayor, cuando se prueben a las temperaturas especificadas en 4.5.6. no deben ser menores que los valores indicados en la Tabla 4.

CFII-D25

Tabla 4. Requisitos de impacto para los grados de acero 1,3,4,6,7 y 9

Tamaño de la probeta, en mm	Promedio mínimo de los valores de impacto en barra ranurada de cada juego de 3 probetas		Valor mínimo de impacto en barra ranurada para una probeta del juego (a) de 3 probetas	
	kgf-m	J	kgf-m	J
10 x 10	1.79	17.6	1.38	13.6
10 x 7.5	1.38	13.6	1.10	10.8
10 x 6.67	1.24	12.2	0.96	9.5
10 x 5	0.96	9.5	0.69	6.8
10 x 3.3	0.69	6.8	0.41	4.1
10 x 2.5	0.55	5.4	0.41	4.1

(a) Para valores intermedios se permite hacer una interpolación lineal.

4.5.2. Si el valor de impacto de una probeta se encuentra por abajo del valor mínimo especificado, o los valores de impacto de dos probetas son menores que el promedio mínimo de los valores especificados pero no son menores que el valor mínimo permitido para una sola probeta, debe permitirse una repetición de la prueba. Esta repetición debe consistir en romper tres probetas adicionales y cada probeta debe igualar o exceder lo requerido para el valor promedio. Cuando se obtienen resultados erróneos por causa de probetas defectuosas o por dudas en los procedimientos de prueba, debe permitirse una repetición de la misma.

4.5.3. Para los aceros grado 8 cada fragmento de la probeta de impacto ranurada debe mostrar una expansión lateral opuesta a la ranura de como mínimo 0.38 mm.

4.5.4. Cuando el valor promedio de expansión lateral para las tres probetas de impacto es igual o excede de 0.38 mm y el valor para una probeta es menor de 0.38 mm pero no menor de 0.25 mm, se debe hacer una nueva prueba en tres probetas adicionales. La expansión lateral de cada una de las nuevas probetas debe ser igual o mayor de 0.38 mm.

4.5.4.1. Los valores de expansión lateral deben determinarse por el método indicado en la NOX-B-172 en vigor.

4.5.5. Los valores de energía absorbida en kgf-m y la apariencia de la fractura en porcentaje de fractura con deslizamiento "dúctil", deben registrarse para información. El registro de estos valores debe conservarse por un período de como mínimo 2 años.



U.S. INGM

4.5.6. A todo material suministrado de acuerdo con esta Norma y marcado como se especifica en 7, se le debe probar su resistencia al impacto a la temperatura mínima especificada en la Tabla 5, para el grado correspondiente.

Tabla 5.- Temperatura para la prueba de impacto

Grado	Temperatura mínima para la prueba de impacto, en °C
1	46
3	101
4	101
6	46
7	73
8	196
9	73

4.5.7. Se puede hacer pruebas especiales de impacto en lotes individuales de material y a otras temperaturas, previo acuerdo entre fabricante y comprador.

4.5.8. Cuando se usen probetas de impacto Charpy en tamaños más pequeños que las normales y el ancho a lo largo de la ranura sea menor que el 80% del espesor real de pared del material original, las temperaturas especificadas para las pruebas de impacto Charpy en los grados de acero 1,3,4,6,7 y 9 deben ser más bajas que la temperatura mínima indicada en la Tabla 5 para el grado correspondiente. En estas circunstancias, los valores de reducción de temperatura deben ser en una cantidad igual a la diferencia (como se indica en la Tabla 6) entre la reducción de la temperatura correspondiente al espesor del material real y la reducción de temperatura correspondiente al ancho de la probeta Charpy, probada.

Tabla 6. - Reducción de las temperaturas de impacto

Ancho de la probeta a través de la ranura o espesor real del material en mm.	Reducción de la temperatura en °C (enfriamiento). (a)
10 (tamaño normal)	0
9	0
8	0
7.5	2.8
7	4.4
6.67	5.5
6	8.3
5	11.1
4	16.6
3.33	19.4
3	22.2
2.5	27.7

(a) Se permite hacer una interpolación lineal para valores intermedios.

4.5.9. La prueba de impacto Charpy en barra ranurada debe realizarse de acuerdo con la NOM-B-120 en vigor.

4.5.10. Las pruebas de impacto especificadas para temperaturas menores de 21°C deben hacerse tomando las siguientes precauciones:

4.5.11. Las probetas así como las tonazas manuales deben enfriarse durante un tiempo suficiente, en un recipiente adecuado, para que alcancen la temperatura requerida. La temperatura debe ser medida con termopares, termómetros o cualquier otro dispositivo adecuado y debe controlarse con una tolerancia $\pm 1.7\%$, la probeta debe llevarse rápidamente desde el dispositivo de enfriamiento al apoyo de la máquina de prueba de impacto Charpy y romperse dentro de los siguientes 5 segundos.

4.6. Prueba de aplastamiento

4.6.1. Para tubos sin costura

Para tubos con tamaño nominal mayor de 2, un tramo de tubo con una longitud mínima de 65 mm debe aplastarse en frío entre dos planchas paralelas, en dos etapas. Durante la primera etapa de esta prueba, la cual es una prueba de ductilidad, no deben desarrollarse grietas

CPTI-DNR

ni fisuras en la superficie interior, exterior o en los extremos de los tubos hasta que la distancia entre las planchas de aplastamiento alcancen el valor "H", calculado con la siguiente fórmula:

$$H = \frac{(1 - c) e}{c + c/D}$$

Donde:

H = Distancia entre las planchas de aplastamiento, en mm.
 c = Deformación por unidad de longitud (constante para un grado de acero dado): 0.07 para los grados 1 y 6 y 0.09 para todos los demás grados.

e = Espesor de pared especificado, en mm.
 D = Diámetro exterior especificado, en mm.

Durante la segunda etapa de esta prueba, la cual es una prueba de sanidad, el aplastamiento debe continuarse hasta que el tubo se rompa o que las paredes del mismo se toquen.

4.6.2. Para tubos soldados

Para tubos con tamaño nominal mayor de 2, un tramo de tubo con una longitud mínima de 100 mm debe aplastarse en frío entre dos planchas paralelas, en dos etapas. El cordón de soldadura (costura) debe colocarse a 90° de la línea de aplicación de la fuerza. Durante la primera etapa de esta prueba, la cual es una prueba de ductilidad no deben desarrollarse grietas ni fisuras en la superficie interior, exterior o en los extremos de los tubos hasta que la distancia entre las planchas de aplastamiento alcancen el valor "H", calculado con la fórmula indicada en 4.6.1. Durante la segunda etapa, la cual es una prueba de sanidad, el aplastamiento debe continuarse hasta que el tubo se rompa o las paredes del mismo se toquen.

4.6.3. Los defectos superficiales, no visibles en la probeta antes de la prueba, que se revelen durante la primera etapa de esta prueba, deben evaluarse conforme a los requisitos de acabado.

Las evidencias de laminación, material y soldadura defectuosos que se revelen durante la prueba de aplastamiento completa deben ser causa de rechazo.

Las rupturas leves resultantes de defectos superficiales no deben ser causa de rechazo.

4.7. Prueba hidrostática

4.7.1. Con excepción de lo indicado en 4.7.2 y 4.7.3, cada tramo de tubo debe probarse en la planta del fabricante, a una presión hidrostática que produzca en la pared del tubo un esfuerzo mínimo de 60% de la resistencia de fluencia mínima especificada. La presión de prueba debe determinarse con la siguiente fórmula:


 DGM

$$P = \frac{2 S e}{D}$$

Donde:

- P = Presión hidrostática de prueba, en kgf/cm^2 (MPa)
- S = Esfuerzo en la pared del tubo, en kgf/cm^2 (MPa)
- e = Espesor nominal de pared especificado, espesor de pared nominal correspondiente al número de cédula especificado o 1.143 veces el espesor mínimo de pared especificado, en cm.
- D = Diámetro exterior especificado, diámetro exterior correspondiente al tamaño nominal del tubo o diámetro exterior calculado añadiendo 2e (como se define antes) al diámetro interior especificado, en cm.

La presión hidrostática de prueba determinada con la ecuación dada anteriormente, debe redondearse:

- para presiones menores de 70 kgf/cm^2 (6.9 MPa) al más cercano 5 kgf/cm^2
- para presiones de 70 kgf/cm^2 y mayores al más cercano 10 kgf/cm^2

La prueba hidrostática puede efectuarse antes de cortar los tubos a la longitud requerida o de someterlos a cualquier operación de forma tal como suajeado, expandido, doblado, etc.

4.7.2. Sin tomar en cuenta el nivel de esfuerzo de la pared del tubo calculado con la ecuación establecida en 4.7.1., la presión hidrostática de prueba mínima, requerida para cumplir con esta especificación, no debe exceder de:

- 175 kgf/cm^2 (17.2 MPa) para tubos con diámetro exterior de 90 mm y menores (véase "D" de 4.7.1.)
- 196 kgf/cm^2 (19.3 MPa) para tubos con diámetro exterior mayor de 90 mm.

Lo anterior no excluye que, a opción del fabricante, la prueba hidrostática se efectúe a presiones más altas de acuerdo a lo establecido en 4.7.3.

4.7.3. Previo acuerdo con el fabricante, se puede especificar en la orden de compra, una presión hidrostática de prueba mínima superior a las especificadas en 4.7.1. ó 4.7.2. o en ambos.

4.7.4. La presión hidrostática de prueba debe sostenerse como mínimo 5 segundos. Para tubos soldados, el tiempo que se debe sostener la presión, debe ser el suficiente para que el inspector examine la longitud completa del cordón de soldadura.

4.8. Dimensiones y pesos

4.8.1. Las dimensiones (diámetro exterior y espesor de pared) y los pesos teóricos para tubos con extremos planos se establecen en la NOM-B-179 en vigor.

4.8.2. Se pueden fabricar tubos de acuerdo con esta Norma en otras dimensiones de las indicadas en la NOM-B-179 en vigor, siempre y cuando se cumpla con todos los demás requisitos que en esta Norma se establecen.

4.8.3. Las longitudes de los tubos deben ser, según lo especifique el comprador, de acuerdo a la siguiente práctica común:

- Longitud específica.- Es decir que la longitud requerida se especifique en la orden de compra, en cuyo caso la tolerancia debe ser de ± 6.4 , - 0.0 mm de la longitud especificada. A menos que se especifique otra cosa, no se permite uniones para obtener la longitud requerida.

- Longitud de fabricación.- Si no se requiere una longitud específica los tubos pueden solicitarse en longitudes de fabricación simples de 4.9 a 6.7 m, permitiéndose un 5% de los tubos en longitudes de 4.9 a 6.7 m, o en longitudes de fabricación dobles con una longitud mínima de 10.7 m y una longitud mínima de 6.7 m, permitiéndose un 5% de los tubos en longitudes de 4.9 a 6.7 m.

4.8.4 La tolerancia en el diámetro exterior debe ser la especificada en la Tabla 7.

Tabla 7.- Tolerancia en el diámetro exterior

Tamaño nominal del tubo		Tolerancia, en mm	
		en más	en menos
De 1/8	hasta 1 1/2	0.4	0.8
Mayor de 1 1/2	hasta 4	0.8	0.8
Mayor de 4	hasta 8	1.6	0.8
Mayor de 8	hasta 18	2.4	0.8
Mayor de 18	hasta 26	3.2	0.8
Mayor de 26	hasta 34	4.0	0.8
Mayor de 34	hasta 48	4.8	0.8

4.8.5. El espesor de pared mínimo para tubos sin o con costura (excepto los últimos sin metal de aporte), en cualquier punto del tubo, no debe ser menor de 87.5% del espesor de pared especificado. En el apéndice A 1, se indican los espesores de pared mínimos para inspección.

4.8.6. La tolerancia en peso para tubos sin costura debe ser la indicada a continuación:

Para tubos con tamaño nominal 12 y menor: $\pm 6.5\%$ - 3.5% del peso especificado.



SENER-DGN

Para tubos con tamaño nominal mayor de 12: $\pm 10\%$ - 5% del peso especificado.

Excepto que se acuerde otra cosa entre fabricante y comprador, los tubos con tamaño nominal 4 y menores pueden pesarse en lotes convenientes y los tubos con tamaño nominal mayor de 4 deben pesarse individualmente.

4.9. Acabado

4.9.1. El fabricante debe examinar un número suficiente de las imperfecciones superficiales visuales que se presenten en los tubos, para asegurarse, razonablemente, que dichas imperfecciones han sido evaluadas en forma adecuada con respecto a su profundidad.

Aunque no se requiere un examen de todas las imperfecciones, este puede ser necesario para asegurar el cumplimiento de lo especificado en 4.9.2.

4.9.2. Las imperfecciones superficiales que penetren más del 12.5% del espesor nominal de pared o disminuyan el espesor de pared mínimo especificado, deben considerarse como defectos. Los tubos con estos defectos deben someterse a una de las siguientes disposiciones:

- Los defectos pueden ser eliminados por esmerilado, siempre y cuando el espesor de pared, después de esta operación, quede dentro de los límites especificados.
- Los defectos pueden repararse con soldadura, de acuerdo a lo indicado en 4.10.
- La sección del tubo que contenga los defectos puede cortarse siempre y cuando no se afecten los requisitos de longitud.
- Los tubos deben rechazarse.

4.9.3. A fin de proveer un buen acabado, basado en la evaluación especificada en 4.9.2., el fabricante de los tubos debe eliminar por esmerillado las imperfecciones no perjudiciales indicadas a continuación:

Marcas mecánicas, raspaduras y picaduras cuya profundidad sea mayor de 1.6 mm (Se entiende por marcas mecánicas y raspaduras a las marcas de cables, abolladuras, marcas de grúas, marcas de rodillos, estriaduras, marcas de dado, etc.).

Imperfecciones visuales detectadas como costuras, fisuras, traslapos, salpicaduras, etc., que se encuentren durante el examen de los tubos de acuerdo con 4.9.1., que sean más profundas del 5% del espesor de pared.

4.9.4. A opción del comprador, los tubos deben rechazarse cuando las imperfecciones aceptables según 4.9.2., no estén disminuidas en todo el tubo, sino que se presenten en un área tal que haga que el tubo presente un mal acabado, la aceptación de los tubos, en estos casos,

111-DGM

debe ser motivo de acuerdo entre fabricante y comprador.

4.9.5. Cuando las imperfecciones o defectos son eliminados por esmerilado, se debe mantener una superficie curva lisa y el espesor de pared no debe disminuirse abajo de lo permitido por esta Norma. El diámetro exterior en el área de esmerilado, puede reducirse en el espesor del material eliminado.

4.9.6. Las mediciones del espesor de pared deben realizarse con un calibrador mecánico o con un dispositivo de prueba no destructivo - calibrado correctamente, de exactitud adecuada. En caso de discrepancias en las mediciones, sólo serán válidas las hechas con el calibrador mecánico.

4.9.7. Las reparaciones con soldadura deben permitirse únicamente - con la aprobación del comprador y sujeto a lo indicado en 4.10.

4.9.8. Los tubos terminados deben ser razonablemente rectos.

4.9.9. A menos que se especifique otra cosa, los tubos deben suministrarse con sus extremos planos. Todas las rebabas en los extremos de los tubos deben eliminarse.

4.10. Reparación con soldadura

Debe permitirse la reparación con soldadura de los defectos perjudiciales tanto en los tubos como en la plancha usada en la fabricación de tubos soldados, sujetándose a la aprobación del comprador, sobreentendiéndose, además, que la composición química del metal de aporte debe ser la adecuada a la composición del metal base.

Los defectos deben eliminarse totalmente antes de soldar y cada tramo de tubo reparado debe tratarse térmicamente de nuevo o recivarse de esfuerzos. Cada tramo de tubo después de reparado, debe probarse hidrostáticamente. La reparación con soldadura debe realizarse con procedimientos adecuados y por soldadores calificados. (Ver Apéndice A-2).

4.11. Certificación

Quando sea requerido por el comprador en su requisición, contrato u orden de compra, el fabricante le debe proporcionar un certificado en el que conste que los tubos han sido fabricados y probados de acuerdo con esta Norma. El certificado debe incluir un informe con los resultados obtenidos en el análisis químico, pruebas físicas y de otras pruebas que puedan ser requeridas por el comprador. El certificado o informe proporcionado por el fabricante, debe incluir una declaración de cuales de los requisitos que se hayan especificado no han sido cumplidos, identificándose éstos mediante la adición de una letra al número de la Norma. El comprador debe certificar que los requisitos faltantes se han llevado a cabo eliminando la letra correspondiente (X, Y o Z). Véase 7.

4.12. Requisitos suplementarios

4.12.1. Probetas de impacto de tamaño más pequeño

Cuando el tamaño del tubo terminado es insuficiente para permitir la obtención de probetas de los tamaños normalizados, la prueba debe ser motivo de acuerdo entre fabricante y comprador.

5. MUESTREO

5.1. Inspección

El inspector representante del comprador debe tener libre acceso, a cualquier hora, mientras el material objeto del contrato se está fabricando, a todas las secciones de la planta relacionadas con el mismo.

El fabricante debe dar al inspector todas las facilidades razonables para que éste se cerciore de que el material, se está fabricando de acuerdo con esta Norma.

A menos que se especifique otra cosa, todas las pruebas requeridas y la inspección deben realizarse en la planta del fabricante, antes del embarque del material y deben llevarse a cabo de tal manera que no interfieran innecesariamente en la operación normal de la planta.

5.2. Lote

5.2.1. El término lote se aplica a todos los tubos del mismo tamaño nominal y espesor de pared, provenientes de una misma colada de acero y sujetos al mismo tratamiento térmico final en un horno continuo.

Cuando el tratamiento térmico final se haya hecho en un horno de carga el lote sólo debe incluir tubos que hayan sido tratados en una misma carga del horno.

5.2.2. Para el análisis de producto un lote debe constituirse como sigue:

Díámetro nominal	Tramos de tubos en el lote
Menor de 2	400 ó fracción
De 2 hasta 6	200 ó fracción
Mayor de 6	100 ó fracción

5.3. Probetas

5.3.1. Las probetas deben cortarse de los extremos de los tubos terminados, antes de someterlos a cualquier operación de formado o corte a una longitud específica. Las probetas deben tener sus extremos lisos y libres de rebabas.

Las probetas cortadas ya sea longitudinal o transversalmente deben -

ser aceptadas para la prueba de tensión.

Si cualquier probeta presenta defectos o maquinado defectuoso, puede desecharse y sustituirse por otra.

5.3.2. Las probetas para la prueba de impacto Charpy deben ser de viga simple, tipo A, con ranura en V, de acuerdo a lo especificado en la NOM-B-120 en vigor. Se debe usar la probeta de 10 x 10 mm de sección transversal a menos que el espesor del material sea insuficiente para prepararle, en cuyo caso, se debe usar el sub tamaño de probeta más grande que el espesor del material permite. Las probetas, cuyo ancho o lo largo de la ranura sea mayor de 10 mm o menor de 2.5 mm no se incluyen en esta Norma. El material del cual se preparen las probetas debe estar en las mismas condiciones de tratamiento térmico del tubo terminado.

5.3.2.1. Las probetas deben obtenerse de modo que el eje longitudinal de las probetas sea paralelo al eje longitudinal del tubo y al mismo tiempo que el eje de la ranura sea perpendicular a la superficie.

En espesores de pared de 25 mm o menores, la probeta debe obtenerse con su plano axial localizado en el punto medio; en espesores de pared mayores de 25 mm, las probetas deben obtenerse con su plano axial localizado a 12.5 mm de la superficie exterior del tubo.

5.3.2.2. Cuando se prueben soldaduras, las probetas deben ser, siempre que el diámetro y espesor lo permita, transversales al eje longitudinal del tubo con la ranura de la probeta en la unión soldada y perpendicular a la superficie. Cuando el diámetro y espesor no permiten obtener probetas transversales, se deben obtener probetas longitudinales, de acuerdo a lo indicado en 5.3.2.1; el fondo de la ranura debe localizarse en la unión soldada.

5.4. Número de pruebas

5.4.1. Análisis de colada: Se debe hacer un análisis químico de cada colada de acero.

5.4.2. Análisis de producto.- Se debe hacer un análisis químico en un lingote o en dos muestras del material plano que se tenga en almacenamiento procedentes de cada colada o en dos tubos procedentes de cada lote (véase 5.2.)

5.4.3. Pruebas de tensión (longitudinal o transversal) y prueba de aplastamiento.- Para material tratado térmicamente en horno de carga, se deben efectuar pruebas en el 5% de los tubos de cada lote.

Quando el tratamiento térmico se dio en horno continuo, se deben efectuar pruebas en un número suficiente de tubos para constituir el 5% de un lote, pero en ningún caso en menos de 2 tubos.

5.4.4. Prueba hidrostática.- La prueba hidrostática especificada en 4.7 debe hacerse en cada tramo de tubo.

5.4.5. Prueba de impacto.

DGN
5.4.5.1. Se debe efectuar una prueba de impacto, consistente en romper tres probetas tomadas de tubos terminados procedentes de una misma colada y tratados térmicamente en una sola carga. Estas pruebas representan únicamente tubos procedentes de la misma colada y de la misma carga de tratamiento térmico, el espesor de pared de los cuales no debe exceder en más de 6.35 mm del espesor de pared del tubo del cual se tomaron las probetas.

5.4.5.2. Si el tratamiento térmico es realizado en horno continuo o en horno de carga controlado dentro de un intervalo de temperatura igual a 28°C y equipado con pirómetros de registro de tal forma que los registros completos puedan aprovecharse, se debe hacer únicamente una prueba de cada colada en una corrida continua en lugar de una prueba de cada colada en cada carga de tratamiento térmico.

5.4.5.3. Para tubos soldados se debe hacer una prueba de impacto adicional en el mismo número requerido en 5.4.5.1. ó 5.4.5.2., para la prueba de soldadura.

5.4.5.4. Las probetas que muestren defectos durante el maquinado o antes de la prueba, pueden ser substituidas por otras, considerándose como probetas originales.

5.4.5.5. Los resultados obtenidos en estas pruebas deben informarse al comprador o a su representante.

5.5. Repetición de pruebas

5.5.1. Análisis de producto.- Si los resultados de uno de los análisis especificados 5.4.2. no concuerdan con los requisitos especificados, se debe hacer un análisis de cada lingote, material plano o tubo procedentes de la misma colada de acero o lote y todos los lingotes o tubos que cumplan con los requisitos especificados deben aceptarse.

5.5.2. Pruebas de tensión.- Si los resultados de estas pruebas, en cualquier grupo o lote de tubos, no cumple con los requisitos especificados, las pruebas pueden repetirse en el doble del número original de muestras, tomadas del mismo grupo o lote, en cuyo caso todas las muestras deben cumplir con los requisitos especificados. Sólo se permite una repetición de prueba por cada grupo o lote de tubos. El incumplimiento con alguno de los requisitos en estas nuevas pruebas debe ser causa de rechazo del grupo o lote completo de tubos.

5.6. Criterio de aceptación

Cada tramo de tubo, que se reciba de la planta del fabricante, puede ser inspeccionado por el comprador y si no cumple con los requisitos de esta Norma, basados en la inspección y en los métodos de prueba especificados, puede ser rechazado, en cuyo caso el fabricante debe ser notificado.

Los tubos que fallen en cualquiera de las operaciones de formado o en el proceso de instalación deben separarse y notificarlo al fabricante para que entre ambos evalúen si las fallas se deben a mala calidad del acero, defectos de fabricación del tubo, inadecuado formado o instalación. El destino de los tubos separados debe ser motivo de acuerdo entre fabricante y comprador.

SFFI-DGN

6. METODOS DE PRUEBA

6.1. Composición química

Los métodos de análisis para determinar la composición química, deben ser los especificados en la NOM-B-1 en vigor.

6.2. Tensión

Los métodos de prueba para determinar las propiedades a la tensión deben ser los especificados en la NOM-B-172 en vigor.

6.3. Prueba de impacto

6.3.1. El método para llevar a cabo esta prueba debe ser el especificado en la NOM-B-120 en vigor.

7. MARCADO

7.1. Cada trazo de tubo debe marcarse en forma legible con:

- a) Nombre o marca del fabricante.
- b) Número de esta Norma.
- c) Grado.
- d) Si los tubos son terminados en caliente, estirados en frío sin costura o con costura.
- e) El número de cédula y las letras LT seguidas de la temperatura a la cual se realizó la prueba de impacto, excepto cuando se requiere una temperatura de prueba menor a causa del tamaño reducido de la probeta, en cuyo caso se debe marcar la temperatura de prueba para la probeta de tamaño normal.

7.2. El marcado se debe hacer aproximadamente 300 mm de uno de los extremos de cada trazo de tubo. Para tubos de diámetro pequeño, los cuales se suministran en atados, la información requerida debe incluirse, en forma legible, en una tarjeta firmemente adherida a cada atado para embarque.

7.3. Cuando los tubos, marcados como se ha especificado, sean rechazados, se debe tachar o borrar la designación de esta Norma. Los tubos que han sido reparados con soldadura, de acuerdo con 4.10., deben marcarse con las letras "RS".

7.4. Cuando se especifique que algunos de los requisitos de acuerdo con el Código de Construcción de Calderas y Recipientes a Presión deben ser completados por el comprador al recibo de los tubos, el fabricante debe indicar, de todos los requisitos de esta Norma, cuáles no han sido completados, mediante la adición de una letra (X, Y o Z) inmediatamente después de la designación de esta Norma. Las letras pueden eliminarse sólo hasta que se haya cumplido con todos los requisitos. La explicación de los requisitos a ser completados se indica en 4.11.

APENDICE A-1

ESPEORES DE PARED MINIMOS PARA INSPECCION

Espeesor mm	Espeesor mínimo mm	Espeesor mm	Espeesor mínimo mm	Espeesor mm	Espeesor mínimo mm
1.73	1.52	7.14	6.25	21.95	19.20
2.11	1.85	7.47	6.53	22.22	19.46
2.24	1.96	7.62	6.65	23.01	20.14
2.31	2.03	7.80	6.83	23.83	20.85
2.41	2.11	7.82	6.86	24.59	21.58
2.77	2.41	7.92	6.93	25.40	22.22
2.87	2.51	8.08	7.06	26.19	22.91
3.02	2.64	8.18	7.16	26.97	23.60
3.17	2.77	8.38	7.34	27.79	24.31
3.20	2.79	8.56	7.49	28.57	24.99
3.38	2.95	8.74	7.65	29.36	25.70
3.56	3.10	9.09	7.95	30.96	27.08
3.58	3.12	9.27	8.10	31.75	27.79
3.68	3.23	9.52	8.33	32.54	28.47
3.73	3.28	9.70	8.48	33.32	29.16
3.91	3.43	10.16	8.89	34.93	30.56
3.96	3.45	10.31	9.02	35.71	31.24
4.37	3.81	10.97	9.60	36.53	31.95
4.55	3.99	11.07	9.70	38.10	33.32
4.78	4.17	11.13	9.73	38.89	34.03
4.85	4.24	11.91	10.41	39.67	34.72
5.08	4.44	12.70	11.12	40.49	35.43
5.16	4.52	13.49	11.81	41.53	36.35
5.33	4.67	14.02	12.27	44.45	38.89
5.49	4.80	14.27	12.50	45.24	39.57
5.54	4.85	15.09	13.21	46.02	40.28
5.56	4.88	15.24	13.33	47.62	41.68
5.74	5.03	15.67	13.89	50.01	43.76
6.02	5.26	16.66	14.58	50.80	44.45
6.35	5.56	17.12	14.99	52.37	45.82
6.55	5.74	17.48	15.29	53.98	47.22
7.01	6.15	18.26	15.98	55.88	48.90
7.04	6.20	19.05	16.66	59.54	52.10
7.09	6.22	20.62	18.03	63.50	55.58
7.11	6.22	21.44	18.77	-	-

EPFI-DGN

APENDICE A-2

En tanto no se cuente con los Códigos o las Normas Oficiales Mexicanas de procedimientos de soldadura y calificación de soldadores deben usarse los del "ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX"

BIBLIOGRAFIA

ANSI/ASTM A 333 76 Standard Specification for Seamless and Welded Steel Pipe for Low-Temperature Service.

ANSI/ASTM A 530 76 Standard Specification for General Requirements for Specialized Carbon and Alloy Steel Pipe.

México, D.F., a 15 JUN 1981

EL DIRECTOR GENERAL.

DR. ROMAN SERRA CASTAÑOS.

GLA/EPFR/JECG/FJFR/osl.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 100 -

7.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- American Society for Testing Materials
Revision Issued Annually
ASTM Philadelphia, U.S.A. 1980
Vol. 1 Steel Piping, Tubing and Fittings
Vol. 10 Metals - Mechanical Fracture, and Corrosion Testing; Erosion,
Primary Metals; Reactive Metals.
- Alberto Jesús Poot Manzanilla
Normas Nacionales para la Determinación de Pruebas Físicas en Metales
Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México
México, D.F. 1980.
- M. G. Bader and R. M. Ellis
The effect of notches and specimen geometry on the petroleum impact -
strength of uniaxial CFRP (uniaxial carbon fibres in a epoxy matrix)
Department of Metallurgy and Materials Technology, University of ---
Surrey, Guildford, Surrey
England Nov. 1974.
- George E. Dieter
Mechanical Metallurgy - Second Edition
International Edition
Mc Graw Hill Series.
Japan 1976.
- American Society for Metals
Metals Handbook 8 th Edition
Atlas of Microstructures of Industrial Alloys Vol. 7
Metals Park, Ohio, U.S.A. 1972
- American Society for Metals
What does the Charpy test really tell us?
Metals Park, Ohio. 1978

- American Society for Metals
Metals Handbook 9th Edition
Properties and Selection: Irons and Steels Vol. 1
Metals Park, Ohio. 1978
- United States Steel
The Making, Shaping and Treating of Steel
Edited by Harold E McGannon 9th 1971
- Helmut Thielsch
Defectos y Roturas en Recipientes a Presión y Tuberías
Ediciones URM0, 1978
- Instituto Mexicano del Petróleo
Revista Trimestral. Vol. XI No. 3
México, D.F. 1979
- Irwin Miller, John E. Freud
Probabilidad y Estadística para Ingenieros
Primera reimpresión
Ed. Reverté Mexicana, S.A.
México, D.F. 1978