

300617
6
2ej



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

Incorporada a la U.N.A.M.

FABRICACION DE TUBERIA Y CONEXIONES DE ACERO INOXIDABLE AUSTENITICO EN MEXICO

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

CON AREA PRINCIPAL EN INGENIERIA MECANICA

P r e s e n t a :

GONZALO DEL PEON SUAREZ

México, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1985



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 está 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

	<u>PÁGINA</u>
INTRODUCCION	1
CAPITULO I, GENERALIDADES DEL ACERO INOXIDABLE . . .	5
1.1 Definición	5
1.2 Origen de los Aceros Inoxida- bles	10
1.3 Evolución de la fabricación en el mundo	12
CAPITULO II, CARACTERISTICAS DEL ACERO INOXIDA- BLE	17
2.1 Los aspectos fundamentales de la corrosión	17
2.2 Formas de corrosión	20
2.3 Metalurgia de los Aceros Ino- xidables	34
2.4 Metalurgia de la soldadura	36
2.5 Propiedades de los Aceros Ino- xidables	40

CAPITULO III. FABRICACION DE TUBERIA EN ACERO INOXIDABLE AUSTENITICO EN MEXICO	44
3.1 Tipos de tuberfa y utilización . .	44
3.1.1 Resistencia a la corrosión	46
3.1.2 Resistencia a bajas y altas - temperaturas	46
3.1.3 Resistencia a altas presiones internas y externas	47
3.1.4 Aplicaciones arquitectónicas . . .	50
3.1.5 Aplicaciones más comunes por - línea de producto	51
3.2 Proceso de fabricación	53
3.3 Control de Calidad y Normas	59
3.3.1 Análisis para la materia prima . .	59
3.3.2 Normas de fabricación de tube- ría de acero inoxidable y prue bas de Control de Calidad	60

CAPITULO IV. CONEXIONES DE ACERO INOXIDABLE AUSTENITICO A PARTIR DE TUBERIA EN MEXICO	77
4.1 Tipos y utilización	77
4.1.1 Aspectos generales de lo que - es una unión	77
4.1.2 Conexiones soldables a tope	79
4.1.3 Usos y aplicaciones	81
4.2 Proceso de fabricación	81

PÁGINA

4.3	Control de Calidad y Normas . . .	89
4.3.1	Control de Calidad	89
4.3.2	Materia prima	90
4.3.3	Partes maquinadas	90
4.3.4	Revisión final	91
4.3.5	Pruebas	92
4.3.6	Normas de fabricación	92
CONCLUSIONES		94
BIBLIOGRAFIA		97

INTRODUCCION

Debido al incesante desarrollo de la industria, cada vez se requieren materiales que ofrezcan las mejores características tanto del punto de vista económico como higiénico y de seguridad.

Es por ésto, que esta tesis tiene el propósito de mostrar la necesidad que existe y que aumenta día tras día de utilizar acero inoxidable en la industria en general, mostrando las ventajas que de ésto se obtienen, al eliminar casi por completo los daños que ocasiona la corrosión.

Asimismo, esta tesis trata también de ejemplificar uno de los procesos de manufactura más importantes del acero inoxidable, "el proceso de fabricación de tubería de acero inoxidable austenítico en México" y de las conexiones que a partir de esta tubería son manufacturadas.

Por lo tanto, esta tesis no pretende ser un manual de un proceso de fabricación, ni un manual de los tipos de procesos de fabricación de tubería existentes, ni tampoco un código de normas, sino que se limita al estudio de la aplicación del acero inoxidable austenítico en el proceso principal de fabricación de tubería.

TIPOS DE FABRICACION

Existen 2 tipos de tubería según el proceso de fabricación del que provengan:

- a) Tubería sin costura
- b) Tubería con costura (único tipo de fabricación -

de acero inoxidable en México)

Ventajas que presenta el tubo con costura contra el tubo sin costura:

1. El control del espesor de la pared en el fleje es muy sencillo dando como resultado uniformidad perfecta.
2. Tanto el diámetro exterior como el diámetro interior son controlables con mayor facilidad dentro y fuera del proceso de fabricación.
3. La resistencia a la presión es homogénea en cualquier punto del tubo.
4. Las normas de fabricación son más estrictas para el tubo con costura que para el tubo sin costura, reeditando en un mayor control en su manufactura y por ende un producto de mejor calidad.
5. Debido a la uniformidad de sus paredes el tubo con costura presenta una resistencia a la corrosión más uniforme, o sea el desgaste es homogéneo en cualquier punto.

Debido a estas ventajas y a la tecnología con que contamos en México, en la actualidad esta tesis enfoca únicamente la fabricación de tubería de acero inoxidable austenítico con costura.

Con respecto a las conexiones que se fabrican a partir de tubería de acero inoxidable austenítico, esta tesis se limita a analizar los dos tipos de conexiones más importantes en cuanto a costo y volumen: "Codos y Tes".

Estas conexiones constituyen aproximadamente el 80% del volu-

men de conexiones vendidas (54% codos y 26% tes).

De igual manera, se ejemplifica con el proceso de fabricación de conexiones con extremos soldables a tope, ya que por lo - que a tipos de extremos se refiere, son las que presentan mayores ventajas.

VENTAJAS DE LAS CONEXIONES SOLDABLES DE ACERO INOXIDABLE

- a) Las conexiones soldables en términos generales, ya sean de acero inoxidable o de cualquier otro material, por su economía, facilidad y eficiencia al ser aplicadas en una línea de tubería o cualquier clase de equipo, son las de mayor demanda en el mercado.
- b) Son fáciles de colocar y habiendo probado convenientemente que no tengan fugas, se convierten en parte de la línea - con la que fue instalada, nunca requerirán mantenimiento - alguno debido a que por las técnicas actuales tan avanza-- das que existen en soldadura, esta parte quedará más refor-- zada que la línea misma.
- c) Las conexiones soldables son ligeras, por no requerir re-- fuerzo alguno como en el caso de las conexiones roscadas, eliminando en esta forma un peso excesivo innecesario prin-- cipalmente en sistemas muy complejos.
- d) Por la forma de fabricación, presenta superficie interna - muy tersa la cual favorece ampliamente al fluido que vaya a transportarse, evitando la formación de turbulencias que afectan a las caídas de presión en la línea.

En términos de resistencia a la corrosión las conexiones - soldables con superficies tersas presentan mayor resistencia a ser atacadas por fluidos corrosivos.

- e) En muchos casos, una línea debe ser cubierta con materiales diversos para aislarla del medio ambiente, con la finalidad de evitar pérdidas de calor o simplemente para proteger la línea de golpes exteriores, de medios corrosivos, - etc. Utilizando conexiones soldables, se facilita considerablemente este trabajo y debido a que forman una sola pieza con la tubería a la cual fue unida, se tendrá la seguridad de nunca tener que remover el aislante aplicado para cualquier tipo de reparación.

CAPITULO I. GENERALIDADES DEL ACERO INOXIDABLE

1.1. DEFINICION

Los metales, excluyendo los metales preciosos como el platino y el oro, constituyen algunos de los productos industriales menos estables. Los metales comunes tienen tendencia a alterarse en contacto con la atmósfera, agua y diversos medios corrosivos utilizados en la industria y a regresar progresivamente al estado de mineral.

El proceso de este regreso progresivo al estado mineral es un fenómeno complejo, ya sea puramente químico, puramente electroquímico o una combinación de ambos.

Toda heterogeneidad en la superficie puede ser de origen químico o físico, de nacimiento a pares eléctricos, tales como soldaduras, remaches, contactos de metal con otro metal o con un sólido no metálico, o por diferencias locales de composición o de temperatura, etc.

La destrucción de metales por la corrosión presenta un problema de primera importancia. No es posible evidentemente evaluar esta destrucción con precisión, pero aparentemente el reemplazo anual de fierro y acero debido a la corrosión, alcanza 2% del tonelaje total en servicio, que desde luego aumenta sin cesar.

Para luchar contra la corrosión de los metales, se ensayó primeramente el recubrimiento protector metálico, pero estos procesos presentan numerosos inconvenientes resultantes de la falta de adherencia, de la porosidad o de la fragilidad de estas capas. En la industria química, se ha recurrido a diversos metales como el níquel, aluminio, plomo, cobre o di-

versos materiales como la piedra, porcelana, vidrio, caucho, etc.

Estos materiales o bien tienen una resistencia química - muy relativa y se alteran a la presencia del aire (cobre), o bien presentan características mecánicas insuficientes (plomo, vidrio, plástico, etc.).

Los aceros inoxidable constituyen la solución más reciente y la más perfecta para evitar la corrosión. Poseen la resistencia a la corrosión de diversos materiales como el níquel, plomo, aluminio, cobre, vidrio, caucho y además aportan a los constructores preciosas propiedades mecánicas, es decir las de los aceros.

El término general "aceros inoxidable", es el nombre dado a una serie de aleaciones hierro, cromo-níquel, las cuales muestran una alta resistencia al ataque químico y al calor.

El elemento de aleación al cual se le debe el comportamiento notable de los aceros inoxidable en la mayoría de los medios corrosivos es el cromo. Este elemento se agrega al fierro o al acero en proporciones muy variables, pero los aceros inoxidable propiamente dichos lo contienen en mayor cantidad que 12%. El cromo es químicamente muy activo y oxidable y provoca en la superficie de la aleación la formación de una película de óxido generalmente invisible que tiene la propiedad de desacelerar o de parar totalmente la progresión de la corrosión.

Otros elementos de aleación como se ha indicado anteriormente, son frecuentemente agregados a las aleaciones de base hierro-cromo y son generalmente metales nobles como el níquel, molibdeno, cobre, etc. que mejoran aún más la resistencia química.

Los aceros inoxidables toman el nombre de las circunstancias de su descubrimiento, es decir la ausencia de toda oxidación sobre muestras de laboratorios que se habían dejado en la presencia del aire.

Actualmente el acero inoxidable es utilizado desde la orfebrería fina hasta la industria pesada.

Estos aceros se rigen por las mismas leyes de corrosión que otros metales, son sensibles a la corrosión en frío únicamente en presencia de humedad, de tal manera que los gases más corrosivos como el cloro se encuentran sin acción en frío mientras están perfectamente secos.

La acción de soluciones acuosas sigue la teoría electroquímica, es decir que en la mayoría de los casos, la parte de corrosión electroquímica es mucho más importante que la de corrosión química. La resistencia del metal depende esencialmente del nivel de potenciales de los diferentes puntos en contacto y sobre todo de su repartición.

Los aceros inoxidables difieren por lo tanto de otros metales y aleaciones (excepto probablemente el aluminio), por una de sus características esenciales, se presentan desde el punto superficial bajo dos estados totalmente diferentes:

ESTADO ACTIVO: Con un potencial metal-solución electronegativo inferior al del hidrógeno, es el estado que presenta una superficie que acaba de ser decapada o maquinada.

ESTADO PASIVO: Con potencial electropositivo vecino al del platino, éste se adquiere a partir del estado anterior, ya sea por una exposición prolongada al aire húmedo de la atmósfera, por un tra

tamiento en medio oxidante, por un abrillantado electrolítico o por pulido.

En estado pasivo, los átomos de cromo fijan más o menos sólidamente los átomos de oxígeno, lo que hace disminuir de una manera considerable la actividad química superficial.

De todas maneras, el paso de un estado a otro es bastante fácil y puede ser brusco. Digamos que estos aceros se encuentran siempre en estado pasivo, puesto que resisten con éxito los medios en que se encuentran, cosa que no sucede en el curso de la terminación y acabado de la pieza, donde el acero se encuentra en estado activo.

Sin embargo, el fabricante debe obtener una superficie terminada con estado pasivo en todos sus puntos.

Es de gran importancia tomar en cuenta la sensibilidad de los aceros inoxidables a las partículas ferrosas que pueden depositarse sobre la superficie. Esta contaminación puede provenir:

- a) Del contacto con herramienta de fierro o acero
- b) Por la misma atmósfera del taller
- c) Por utilizar herramientas, lijas, etc. que se hayan utilizado para fierro, etc.
- d) O bien, estas partículas se depositan sobre la pieza y se oxidan terminando por picar el metal

LOS ELEMENTOS DE ADICION

Como se ha indicado, el cromo únicamente es el que confiere al acero inoxidable su resistencia a los medios oxidantes. Desde luego como se ha dicho, se agregan otros elementos suplementarios como:

NIQUEL

Es el principal de estos elementos, tiene por función esencial asegurar a los aceros la estructura austenítica y no magnética, que con su grano fino y su aptitud para mantener en solución diversas impurezas como el carbono, es el más favorable desde el punto de vista de la resistencia general a la corrosión y desde luego, ligeramente más noble que el fierro mejora la posición de la aleación en la escala de los potenciales electroquímicos.

MOLIBDENO Y COBRE

Estos metales nobles, que acompañan a las aleaciones, mejoran netamente el comportamiento del acero en la mayoría de los medios corrosivos y en particular en los medios ácidos.

El molibdeno aumenta en notable proporción la velocidad de formación y la estabilidad de la película de óxido que se denomina también de pasivación.

TUNGSTENO

Agregado a los aceros austeníticos aumenta fuertemente la resistencia mecánica a altas temperaturas.

TITANIO

A un contenido de cuatro veces el del carbono, estabiliza los aceros austeníticos y les evita toda alteración estructural debi

bido a calentamiento y trabajos de soldadura.

1.2. ORIGEN DE LOS ACEROS INOXIDABLES

Cuando la preocupación por la destrucción de la materia debido a la acción de la corrosión parecía inevitable, varios investigadores empezaron a realizar ensayos aleando al hierro elementos tales como el cromo, níquel, vanadio, etc., comprobando que con ello se conseguía disminuir la acción de la corrosión.

El primer ensayo que se puede considerar como positivo - fue el realizado en 1819 por Faraday, quien comprobó que los aceros al cromo presentaban una notable resistencia a la corrosión de los agentes atmosféricos, así como a la de diversos ácidos y en especial a la del ácido nítrico.

En 1820, el francés Berthier fabricó los primeros cuchillos de acero inoxidable, con un contenido al cromo del 2 al 3%. Como este contenido en cromo era claramente insuficiente y como estos aceros debían estar muy carburados, ya que en aquellos tiempos no se conocían los ferrocromos afinados, se comprende que aquellos aceros no resistiesen a la acción del agua del mar y del ácido sulfúrico.

En 1914 los alemanes Strauss y Maurer, de la casa Krupp, obtuvieron unos aceros al cromo níquel de estructura cristalina austenítica y comprobaron que estos aceros presentaban una gran resistencia a la corrosión en la mayoría de los ambientes. Estaban pues, inventados los famosos aceros 18/8.

A partir de este descubrimiento se multiplicaron las investigaciones y se fueron añadiendo a estas aleaciones bases de hierro-cromo-níquel, elementos tales como molibdeno, titanio, niobio, azufre, etc., con el fin de reforzar su estructura austenítica y obtener con ello un incremento en la resistencia a la corrosión o lograr determinadas características físicas o mecánicas.

Fue en el año 1923 cuando se produjo la primera utilización a escala industrial de los aceros inoxidables por obra del metalúrgico de Sheffield, Harry Brearley, el cual fabricó unos cuchillos de acero inoxidable con un contenido en cromo del 13% y del 0.3% de carbono, teniendo inicialmente un éxito rotundo y viéndose imitado inmediatamente por otros cuchillos ingleses y franceses. No obstante, debido probablemente a no existir en aquellos tiempos el control térmico apropiado, en muchos casos no adquirían el temple debido, por lo que los cuchillos de acero inoxidable adquirieron la fama de no cortar.

La primera gran aplicación industrial del acero inoxidable fue la fábrica de productos nitrogenados de Billingham (Inglaterra), que se convirtió con ello en la precursora de las modernas fábricas químicas y petroquímicas actuales, a cuyo desarrollo tecnológico tanto han contribuido los aceros inoxidables.

El acero inoxidable se introdujo en el campo de la arquitectura con la restauración de la catedral de San Pablo en Londres, no tan sólo por motivos meramente decorativos, sino resolviendo importantes problemas técnicos.

Una de las manifestaciones más espectaculares de los primeros tiempos de los aceros inoxidables, lo constituye el edificio Chrysler de Nueva York, en cuya construcción en el año

1929 se emplearon más de 500 toneladas sólo en la parte correspondiente a carpintería metálica, ascensores, etc.

Sin embargo, lo más importante y que marcó un hito en el desarrollo de los aceros inoxidable, fue el revestimiento de su cúpula con acero inoxidable. A los veinticinco años de su construcción un equipo de técnicos de ASTM realizó cuidadosas investigaciones sobre el estado de dicha cúpula, informando que prácticamente no habían podido apreciar ataque alguno de corrosión. A partir de estos pasos iniciales de los aceros inoxidable, cada año se incorporan nuevos tipos de estos aceros que se han llamado nobles y debido a la escasez en los últimos años de níquel, se han desarrollado incluso los aceros inoxidable sin níquel, en los que se logra la misma estructura austenítica que los tipos 18/8 con otros elementos, especialmente manganeso.

Podemos decir que las posibilidades de desarrollo de los nuevos tipos de acero inoxidable son infinitas y con ello se encuentran cada día nuevos campos de aplicación, por ello no es de extrañar que la fabricación de aceros inoxidable que se inició de forma simultánea en Alemania, Inglaterra, Estados Unidos y Francia, se extendiera rápidamente a otros países y alcanzara un espectacular desarrollo en todos ellos.

1.3. EVOLUCION DE LA FABRICACION EN EL MUNDO

La producción de barras de acero inoxidable se realiza aún actualmente en los mismos trenes comerciales de los aceros especiales, pero con un proceso de fabricación bastante -

diferente al de éstos. En los últimos años se han empezado a producir barras y especialmente alambros de acero inoxidable en trenes continuos, pero siendo la variedad de productos exigidos por el mercado muy grande y las series aún generalmente muy pequeñas, resultan aún más económicos los trenes clásicos. Es en el calibrado, trefilado, etc. de barras y alambros de acero inoxidable, donde se han realizado los mayores progresos en los últimos años, así como en la obtención de tipos especiales, tales como acero inoxidable para rápida mecanización, para estampado en frío, etc.

Los procedimientos de acabado de estas barras de acero inoxidable son muy diferentes a los de los otros aceros especiales.

Asimismo, las chapas gruesas se han venido laminando en instalaciones de acero común adaptadas para la fabricación de acero inoxidable, pero siempre tratando los productos en curso de transformación con muchísimo más cuidado y con un proceso completamente distinto a los de acero común.

La tendencia cada día más acusada es producir láminas lo más anchas posible (de hasta 2,000 mm.) que eviten operaciones de soldadura siempre delicadas y costosas, con inoxidable. Especialmente en placas gruesas, se tiende también a utilizar tipos bajos en carbono, que ofrecen una mayor garantía y simplicidad de elaboración que los tipos estabilizados, tan utilizados hasta hace poco tiempo. Esta fabricación de tipos bajos en carbono se ha visto facilitada por las modernas técnicas de desgasificado en vacío o de tratamiento en convertidores que se están divulgando mucho en los últimos años.

Si en la fabricación de barras y placas gruesas no se ha producido una brecha tecnológica apreciable, ésta sí se ha

producido en la fabricación de las láminas y rollos laminados en frío con la invención del laminador en frío de Tadeus Sendzimir.

En las primeras épocas, el proceso de fabricación de laminas en frío, de acero inoxidable, era el siguiente:

- Producción de pequeños lingotes, en su mayoría torneados
- Forja y más tarde laminación a planchones
- Laminación a placas gruesas
- Recocido y decapado
- Laminación en frío, lámina en trenes tipo cuarto, recocido y decapado, aplanado o estirado, etc.

Se comprende que aún con lo laborioso de este proceso, los productos obtenidos eran muy imperfectos y los costos muy elevados, especialmente en espesores finos, cuya fabricación requería varias operaciones intermedias de recocido y decapado.

Con la aparición del tren Sendzimir, basado en un conjunto de cilindros encerrados en un bloque macizo de fundición especial, en donde la presión del conjunto es transmitida sobre dos cilindros de trabajo de pequeño diámetro (de 40 a 70 mm.), con lo que se ejerce una gran presión unitaria sobre la banda y en consecuencia se obtienen fuertes reducciones por pasada, que era impensable conseguir en los trenes cuartos clásicos con relativamente poco endurecimiento, lo que permite incluso en acero inoxidable llegar a reducciones de hasta el 87%, sin necesidad de recocer. Se consiguen también unas

tolerancias estrechísimas y en fin una gran calidad superficial.

Con el rápido éxito de los trenes Sendzimir, el acero inoxidable ha alcanzado su mayor divulgación, pues junto a unas perfectas calidades se obtiene una productividad y con ello unos costos que antes hubieran parecido inverosímiles.

Los Estados Unidos fueron los pioneros en la instalación de trenes Sendzimir, con lo que se pusieron rápidamente a la cabeza de la producción de los aceros inoxidables. Washington Steel instaló su primer Sendzimir para aceros inoxidables en el año de 1946 e inmediatamente Armco Steel instaló otro en 1947, Republic Steel lo hizo en 1948 y a éstos fueron siguiendo otros, de tal manera que a fines de 1959 ya había 21 trenes Sendzimir laminando acero inoxidable en Estados Unidos.

En Europa, el primer Sendzimir dedicado a la laminación de fleje de acero inoxidable lo instaló Arthur Lee (Inglaterra) en 1949, al que siguió en el mismo país Sepcot Lane en 1950 y FIAT en Italia en 1951, más tarde en 1955 Gueugnon (Francia) y en 1956 DEW (Alemania).

Los trenes de laminación Sendzimir instalados en los últimos años son para rollos de bastante peso, de alta velocidad y en resumen de gran productividad.

Otro logro reciente en el campo de los trenes Sendzimir, lo constituyen los trenes de 1,500 mm. de ancho, que llevan anexas como es lógico, unas instalaciones de laminación en caliente.

Se comprende que cada tren laminador en frío Sendzimir, necesita por lo menos una línea de recocido y decapado, una -

línea de preparación de rollos, un tren Skin-Pass, una línea de corte longitudinal y otra línea de corte transversal.

Las primeras "unidades Sendzimir" para rollos de 1,000 ó 1,200 mm. de ancho apenas producían las 10,000 toneladas/año.

Progresivamente se fueron aumentado la velocidad de los trenes y el peso de los rollos hasta sobrepasar en las modernas unidades las 40,000 toneladas/año.

CAPITULO II. CARACTERISTICAS DEL ACERO INOXIDABLE

2.1. LOS ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA CORROSION

EL DAR UN ENFOQUE PRACTICO AL CONTROL DE LOS PROBLEMAS DE CORROSION AYUDARA A REDUCIR EL SOBRE DISEÑO DE LOS EQUIPOS Y A DISMINUIR LAS PERDIDAS DEBIDAS AL REEMPLAZO DE EQUIPO O A PRODUCTOS CONTAMINADOS.

La corrosión es un factor existente en todas las plantas de procesamiento químico. Representa la diferencia entre una operación sin problemas y tiempo muerto costoso. Sin embargo, la corrosión resulta una cifra desconocida para aquellos que no intenten comprenderla.

La mayoría de los componentes metálicos se deterioran, eventualmente por el uso, debido a la naturaleza química de los procesos utilizados. Puesto que no resulta práctico eliminar la corrosión, el secreto de una ingeniería eficiente descansa generalmente en su control y no en su eliminación. De preferencia, esto se debe realizar durante la etapa de diseño del proceso. Sin embargo, de todas formas los problemas de corrosión surgen después que la planta se ha construido y se encuentra en operación.

Depende del ingeniero el controlar la corrosión. Debe saber por donde empezar y debe tener conocimientos básicos sobre: cómo reconocer la corrosión, en qué forma se ocasiona, cómo medir su seriedad, de qué herramientas se dispone, técnicas de inspección, las variables de diseño que afectan la corrosión, la selección de materiales, cómo interpretar y aplicar la información sobre corrosión y en dónde se puede obtener asistencia.

Todos los metales y las aleaciones están sujetas a la - corrosión. Ningún material en especial es adecuado para todas las aplicaciones. Por ejemplo: el oro reconocido por su excelente resistencia a la corrosión atmosférica, se corroerá sin embargo, si se le expone al mercurio a la temperatura - ambiente.

Por otro lado, el hierro no se corroe al contacto con el mercurio; sin embargo, se "oxida" fácilmente expuesto al medio ambiente.

Asimismo, existen métodos para el control de la corrosión que reducen el problema.

¿Qué es la corrosión?

Corrosión se define como el deterioro que ocurre cuando un metal reacciona con su medio ambiente. Y esto ocurre de - diferentes formas.

El que las plantas cierren puede y ocurre en realidad, - debido a la corrosión. Esta es sólo una de las muchas consecuencias directas e indirectas de la corrosión. Algunas son de tipo económico y dan por resultado:

- . El reemplazo del equipo que se encuentra corroído
- . Un sobrediseño que incluya la corrosión
- . Exceso de mantenimiento preventivo
- . Interrupción de la operación del equipo debido a fallas por la corrosión
- . Contaminación de productos

- . Pérdida de eficiencia, por ejemplo: el sobrediseño por los productos corrosivos disminuye la transferencia de calor en los intercambiadores de calor
- . La pérdida de productos valiosos, por ejemplo: debido a un recipiente que se ha corroído totalmente
- . La imposibilidad de utilizar productos que de otra forma, - resultarían adecuados
- . Daños al equipo que se encuentra junto a aquel en que existen fallas debido a la corrosión

Sin embargo, otras consecuencias pueden ser de tipo social y éstas pueden incluir:

- . Seguridad, por ejemplo: la falla repentina que puede ocasionar fuego, explosión, la liberación de gases tóxicos, el derrumbe del edificio, etc.
- . Salud, por ejemplo: contaminación debido a los gases que escapan del equipo que está corroído o debido a un producto - corrosivo
- . La reducción de los recursos naturales, por ejemplo: los metales y los combustibles que se utilizan para manufacturar los elementos sujetos a corrosión
- . Generalmente los materiales que tienen una apariencia corroída son desagradables a la vista

Por supuesto, todos los puntos de tipo social que se citan arriba también provocan problemas económicos. Como pueden observarse claramente, existen muchas razones para desear evitar la corrosión.

2.2. FORMAS DE CORROSION

EXISTEN MUCHAS FORMAS DE CORROSION

La corrosión ocurre de varias y totalmente diferentes - formas. La clasificación generalmente está basada en los siguientes factores:

1. La naturaleza del corrosivo

La corrosión puede clasificarse en "húmeda" y "seca". Para que acontezca la primera es necesario contar con un líquido o con humedad, la corrosión seca generalmente incluye una reacción debido a gases a altas temperaturas.

2. Los mecanismos de la corrosión

Esto involucra a las reacciones electroquímicas o a reacciones químicas directas.

3. La apariencia del material corroído

La corrosión puede ser uniforme, en cuyo caso el metal se corroe en la misma proporción a través de toda la superficie; o local, en cuyo caso sólo se ven afectadas pequeñas áreas.

La clasificación de la apariencia (uniforme o local) resulta útil durante la exposición preliminar y en este caso la trataremos aquí. Para obtener una comprensión más completa, deberemos hacer una distinción todavía más definitiva entre la corrosión ubicada en forma macroscópica y el ataque microscópico. En esta última, la cantidad de metal disuelto es mínima y puede haber un daño considerable antes de que ésta resulte visible.

Asimismo, en el ataque microscópico, la corrosión raramente se extiende más allá de la debilidad estructural que la ocasiona. Esto la distingue de algunas de las formas macroscópicas como son las picaduras pequeñas, las cuales aún cuan-

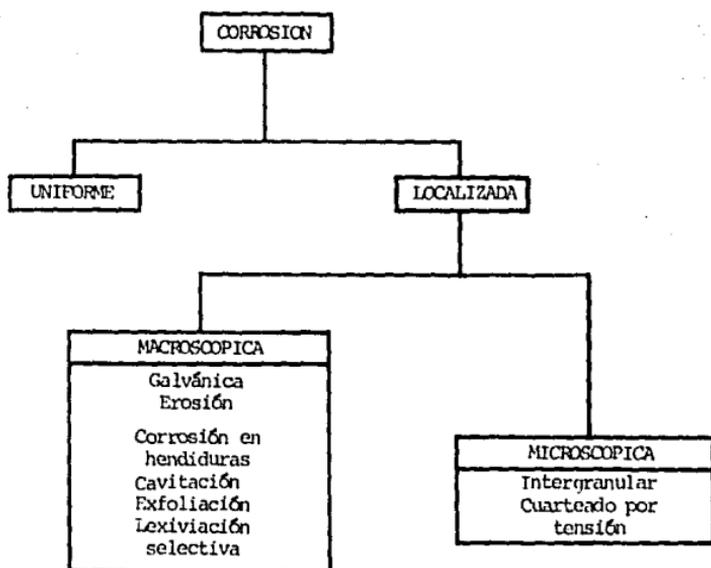


TABLA 1

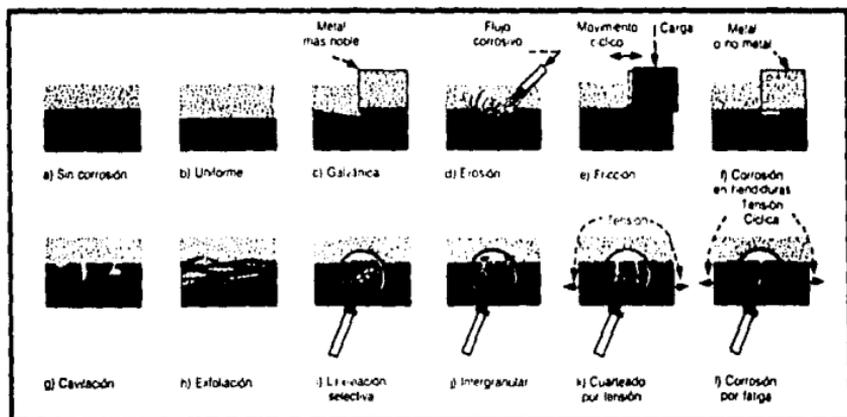


FIGURA 1

do pueden iniciarse debido a un defecto estructural crecen - hasta corroer el material "bueno". En la tabla 1 aparece una relación de varios tipos de corrosión, los cuales aparecen en la Fig. 1. También se muestran fotomicrograffias de especímenes reales de varias de estas formas de corrosión.

Ahora pasaremos a discutir las muchas formas de corrosión que existen.

CORROSION UNIFORME Y GALVANICA

La forma más común es el ataque uniforme sobre grandes - áreas de la superficie del metal. Puede ser húmeda o seca, - electroquímica o química. Para controlarla se realiza una selección especializada de los metales y se utilizan métodos de protección (por ejemplo: pintura).

La corrosión uniforme es la más fácil de medir y pueden evitarse sorpresas desagradables mediante una inspección regular.

La corrosión galvánica puede ocurrir cuando dos metales diferentes se encuentran en contacto (o están conectados mediante un conductor eléctrico) y se encuentran expuestos a una solución conductora.

Existe una diferencia en el potencial eléctrico entre los diferentes metales, lo que sirve como fuerza de empuje para llevar la corriente a través del corrosivo. Esta corriente da por resultado la corrosión de uno de los metales que están unidos o acoplados.

Entre mayor es la diferencia de potencial entre los dos metales, mayor será la probabilidad de que haya una corrosión galvánica. Nótese que la corrosión galvánica sólo aumenta el

deterioro de uno de los metales, el cual sería el que se hubiese corroído más en el corrosivo, que si sólo hubiese sido sumergido por sí mismo (se le llama el metal más activo).

En este caso, se corroe muchísimo más mientras que el otro metal acoplado, que se corroe menos de lo que se hubiese corroído por sí mismo (se le llama el metal más noble).

Las áreas relativas de los dos metales son también importantes. Una área mucho mayor del metal noble en comparación con el metal activo, acelerará el ataque y viceversa.

La corrosión galvánica puede identificarse en muchas ocasiones debido al incremento en la corrosión en las partes que se encuentran cercanas a la unión de los dos metales (Fig. 1c). Esto puede evitarse mediante la insulación o prohibiendo el uso conjunto de metales que producen una importante diferencia de potencial en el medio en cuestión. Esta diferencia de potencial puede medirse o identificarse mediante los cuadros (llamados series galvánicas), que se encuentran disponibles para una variedad muy amplia de metales y aleaciones - al ser sumergidos en las soluciones más comunes.

Otra forma de reducir al mínimo la corrosión galvánica, es la de evitar grandes proporciones de cualquiera de los metales noble o activo.

EROSION POR CORROSION

A medida que aumenta el movimiento de un corrosivo sobre la superficie de un metal, aumenta el promedio de ataque debido al desgaste mecánico y a la corrosión, dicho ataque se denomina erosión por corrosión. La importancia relativa del desgaste mecánico y de la corrosión son difíciles de evaluar y varían de una situación a otra. El papel de la erosión ge-

neralmente se atribuye a la pérdida de películas protectoras de la superficie, por ejemplo: películas formadas por aire y óxido protector o productos contra la adherencia de los corrosivos.

La erosión por corrosión generalmente tiene la apariencia de picaduras lisas poco profundas, como se muestra en la Fig. 1d. El ataque también puede mostrar un patrón de dirección relacionado con el rumbo que toma el corrosivo al caminar sobre la superficie del metal (también aparece en la Fig. 1d). La erosión por corrosión florece bajo condiciones de alta velocidad, turbulencia, etc. Generalmente aparece en las aspas de las bombas, en los agitadores y en la tubería, en especial en los dobles y uniones.

Los ductos con fluidos de rápido movimiento que contienen partículas sólidas, también tienden a causar problemas. Estos pueden evitarse mediante cambios a los diseños o mediante la selección de materiales más resistentes. Este material generalmente, aún cuando no siempre tiene una resistencia superior a la corrosión, bajo condiciones en las cuales no hay movimiento, también será más duro.

La corrosión tipo herrumbre y la corrosión por fricción son formas especiales de corrosión por erosión. La herrumbre se ocasiona debido a la formación y derrumbe de burbujas de vapor en la superficie del metal. Las altas presiones que producen este derrumbe pueden deformar el metal que se encuentra en las capas inferiores, eliminar las películas protectoras, etc. La corrosión por fricción se ocasiona cuando los metales se deslizan uno sobre otro y ocasiona daños mecánicos a cualquiera de ellos (Fig. 1e). El deslizamiento generalmente ocurre como resultado de las vibraciones. Se considera que la corrosión tcma parte en cualquiera de los siguientes puntos, ya sea que el calor de la fricción oxida el metal y -

entonces esta oxidación ocasiona el desgaste o la eliminación mecánica de productos protectores contra los óxidos, o la corrosión ocasiona una continua exposición de la superficie, la cual se corroe en forma continua y activa. La corrosión por desgaste se reduce mediante la utilización de materiales más duros, diseños que reduzcan la fricción (por ejemplo: lubricación), o mediante el incremento de la fricción a un punto tal que ya no exista movimiento.

CORROSION EN HENDIDURAS

Las condiciones del medio ambiente de las hendiduras pueden con el tiempo llegar a ser bastante diferentes de aquellas que aparecen en una superficie abierta. Puede desarrollarse un medio ambiente más agresivo que puede ocasionar la corrosión en la hendidura (Fig. 1f). Generalmente existen hendiduras en las juntas, tornillos, remaches, etc. También pueden ser ocasionadas por depósitos de suciedad, productos corrosivos, rayones en las capas de pintura, etc.

La corrosión en las hendiduras generalmente se le atribuye a una o más de las siguientes causas:

- a. Cambios de la acidez de la hendidura
- b. Falta de oxígeno en la hendidura
- c. Acumulación de especies ionizadas en la hendidura
- d. La falta de un inhibidor en la hendidura

Como todas las formas de erosión local, la corrosión en las hendiduras no ocurre en todas las combinaciones de metales que se corroen. Algunos materiales están más expuestos a

este efecto que otros, en especial aquellos que dependen de una capa óxida formada a base de aire que los hace resistentes a la corrosión, como en el caso del acero inoxidable y el titanio. Estos pueden ser incluidos en las aleaciones para mejorar su resistencia y este enfoque junto con el diseño de superficies con un mínimo de hendiduras, se utilizan para combatir el problema.

LA CORROSION POR CAVITACION

La corrosión por cavitación es la formación de hoyos en una superficie que de otra manera aparece como libre de toda corrosión. Estos hoyos pueden tener diferentes formas (Fig. 1g). La forma del hueco es generalmente responsable del crecimiento continuo, por las mismas razones que las mencionadas en la corrosión en las hendiduras.

El hueco puede de hecho ser considerado como una hendidura de formación propia.

Para reducir al mínimo la erosión de los hoyuelos, se recomienda contar con una superficie homogénea. Por ejemplo: un metal puro y homogéneo que cuente con una superficie altamente pulida, generalmente será más resistente que aquella que cuente con muchas hendiduras, defectos y superficie áspera.

La formación de los hoyuelos generalmente lleva un proceso retardado (llegando a tomar varios meses o años antes de que sea notoria); sin embargo, de todas formas puede ocasionar fallas inesperadas. El tamaño tan pequeño de las cavidades y la cantidad tan pequeña de metal que debe disolverse para formarlas, hacen que la detección del efecto en las etapas iniciales, sea bastante difícil. El mantener las superficies limpias y la selección de materiales que son reconocidos como

resistentes a la formación de hoyuelos en determinado medio, son generalmente la forma más segura de evitar este problema.

EXFOLIACION Y LIXIVIACION SELECTIVA

La exfoliación es una corrosión que se encuentra entre la superficie y que se inicia sobre una superficie limpia pero que se extiende hacia abajo de ella. Se diferencia de la erosión por hoyuelos en que esta forma de ataque tiene una apariencia laminada. Capas completas de material se corroen (Fig. 1h).

El efecto generalmente puede apreciarse debido a una superficie de hojuelas y en algunas ocasiones por ampollas que aparecen en la superficie. La orilla de una muestra tiene la apariencia de un paquete de barajas, en el cual varias barajas se han desgastado. Se le conoce ampliamente en las aleaciones de aluminio y puede combatirse mediante tratamientos de calor y de aleaciones.

La lixiviación selectiva (algunas veces llamada separación), es la eliminación de un elemento de una aleación. El ejemplo más común es la eliminación de zinc en las aleaciones cobre-zinc (dezincificación). La corrosión causa problemas básicamente debido a que produce un metal poroso (Fig. 1i), con propiedades mecánicas muy bajas. La solución incluye el uso de aleaciones no susceptibles.

CORROSION INTERGRANULAR

Primero, debemos tomar en consideración la metalúrgica básica. Cuando un metal fundido se moldea, su solidificación se inicia dentro de muchos núcleos distribuidos al azar. Cada uno de estos crece en un orden atómico regular para formar

lo que conocemos como granos. La disposición de los átomos y los espacios que existen entre las capas de los átomos, son - las mismas en todos los granos de un metal específico.

Sin embargo, debido a la distribución de los núcleos al azar, los planos de los átomos de los granos adyacentes no - concuerdan. El área de no concordancia entre los granos se - le llama la frontera de los granos. Si se pintara una línea de una pulgada de largo sobre la superficie de una aleación, ésta cruzaría cerca de 1,000 fronteras de granos.

En algunas ocasiones, los corrosivos atacan de preferen-
cia a las fronteras de los granos. El ataque generalmente es
tá relacionado con la segregación de elementos específicos o
debido a la formación de un compuesto en la frontera (la no -
concordancia atómica hace que este lugar sea favorecido en -
cuanto a la segregación y a la precipitación). La corrosión
generalmente ocurre debido a que un corrosivo, ataque de prefe
rencia una fase de la frontera-grano o una zona adyacente a -
la misma, la cual haya perdido un elemento necesario para que
se cuente con una resistencia adecuada a la corrosión.

En los casos de una corrosión aguda en las fronteras-gra-
nos, granos enteros se desprenden tendientes a una deteriori-
zación completa de estas fronteras (Fig. 1j).

En este caso, la superficie aparecerá áspera a la vista
y se sentirá "granulada" debido a la pérdida de granos.

El fenómeno granos-frontera que ocasiona la corrosión in
tergranular, es sensible al calor. La susceptibilidad a los
ataques intergranulares generalmente es un subproducto de un
tratamiento calorífico (por ejemplo: una operación de fundi-
ción o de eliminación de stress) y puede corregirse median-
te otro tratamiento calorífico o mediante el uso de una alea-

ción modificada.

DESQUEBRAJAMIENTO POR CORROSION Y FATIGA

La acción conjunta de la fatiga por tensión y un corrosivo puede en algunas ocasiones dar por resultado el desquebrajamiento de una aleación metálica. La mayoría de las aleaciones son susceptibles a este problema; sin embargo, afortunadamente el número de combinaciones de aleaciones-corrosivos que la ocasionan es relativamente bajo.

Sin embargo, ésto persiste en ser el problema actual metalúrgico más serio que no ha sido solucionado. Las tensiones que ocasionan el desquebrajamiento provienen de trabajos residuales fríos, de fundiciones, tratamientos térmicos o pueden ser aplicados en forma externa durante el servicio.

Las grietas pueden seguir trayectorias intergranulares o transgranulares y en muchas ocasiones existe la tendencia hacia un agrietamiento ramificado (Ver Fig. 1k).

Los métodos para combatir el desquebrajamiento debido a la tensión-corrosión incluyen el relajamiento de la tensión, el eliminar las especies del medio críticas o la selección de un material más resistente.

El término "hidrógeno quebradizo" en muchas ocasiones se le confunde con el agrietamiento por la tensión-corrosión. - Esto se debe, principalmente a que el hidrógeno juega un papel importante en algunos casos de desquebrajamiento debido a la tensión-corrosión.

Las opiniones sobre lo que es y lo que no es el desquebrajamiento por tensión-corrosión varían.

1. El agrietamiento (debido al hidrógeno) que ocurre sin que se corroa el metal (por ejemplo: cargas caóticas), no es agrietamiento debido a la tensión-corrosión.
2. El agrietamiento (debido al hidrógeno) producido por un alto índice de corrosión uniforme (por ejemplo: pickling), generalmente no es un agrietamiento producido por la tensión-corrosión, ya que raramente es necesario que la tensión se encuentre presente mientras que se produce el hidrógeno. El agrietamiento puede surgir cuando se aplica tensión una vez que se llevan a cabo la reacción corrosiva y el hidrógeno. Esto no quiere decir que en algunas ocasiones no exista diferencia en el comportamiento si se encuentra presente la tensión al momento en que se introduce el hidrógeno.
3. Sin embargo, cuando en un metal bajo tensión, el hidrógeno se produce mediante la corrosión local en una grieta o hendidura y esto resulta en la propagación de la grieta, entonces en este caso se considera como un agrietamiento debido a la tensión-corrosión (el mecanismo del cual en este caso, está relacionado el hidrógeno).

La fatiga por corrosión es una forma especial de la tensión-corrosión que ocasiona el agrietamiento. Las fallas por fatiga suceden cuando existe una ausencia de corrosivos y se ocasionan mediante tensiones repetitivas cíclicas. Dichas fallas son comunes en estructuras que se encuentran sujetas a una continua vibración. Cuando la susceptibilidad a la fatiga se incrementa mediante la presencia de un corrosivo, la falla resultante se le atribuye a una fatiga por corrosión. En algunas ocasiones, un corrosivo disminuirá a la mitad la tensión normalmente requerida para ocasionar una falla por fatiga en aire seco.

Un metal que ha fallado debido a fatiga por corrosión, generalmente tendrá productos corrosivos sobre la superficie desquebrajada, los cuales serán visibles.

En algunos casos ésto puede llevar a conclusiones erróneas, ya que una superficie que muestra una fractura por fatiga normal en algunas ocasiones se corroerá antes de que sea inspeccionada.

En este caso, habrá generalmente menos ramificación de las grietas en los casos de grietas por una tensión-corrosión normal (Fig. 11). No se sabe mucho acerca de la corrosión por fatiga. Los métodos que existen para evitarla generalmente intentan evitar que se inicie el agrietamiento por fatiga (por ejemplo: cambios en los diseños, protección, etc.), puesto que resulta difícil evitar que una grieta se extienda una vez que la misma se ha iniciado.

CUIDADO CON LA CORROSION LOCAL

La lección que se aprendió durante el siguiente caso resultó muy costosa. Todo empezó cuando hubo la necesidad de cambiar una tubería de acero suave. La tubería había estado en servicio durante dos años y la corrosión uniforme que existía en las paredes interiores habían reducido el grueso de las mismas al 75%. Se decidió cambiarla por una de acero inoxidable. El índice de la corrosión uniforme en el acero inoxidable es mucho más bajo y si no cambiaba nada en el medio ambiente, se esperaba que este acero durase por lo menos veinte años.

Después de un año de servicio, la tubería de acero inoxidable había fallado totalmente en la pared del tubo. Este material tan caro sólo había durado la mitad del tiempo de lo que había durado el acero suave y lo que es peor, la falla -

había sido repentina y el material corrosivo que pasaba por la tubería se había goteado.

La investigación que se realizó mostró que el corrosivo fluía muy despacio (menos de 1 pie/segundo) y que contenía de pósitos sólidos, los cuales tendían a asentarse en el fondo de los tubos horizontales. La solución también contenía varias partes por millón de iones de cloruro. La falla se atribuyó a una concentración de cloruro y a la falta de oxígeno en la parte inferior de los depósitos sólidos. Esto resultó en una corrosión por hendiduras y posteriormente, en orificios que aparecieron en el acero inoxidable.

¿Cómo podría haberse evitado esta falla?

Debería de haberse considerado que existen muchas formas de corrosión. La ausencia de un alto índice de corrosión unforme no siempre significa la falta de problemas. Asimismo, la ausencia de una forma específica de corrosión en un material no significa que no sucederá en otro.

El personal involucrado debió haber tenido mayores conocimientos sobre las propiedades de los materiales que se estaban empleando. No es ningún secreto el hecho de que las condiciones de lento movimiento, los depósitos sólidos y los cloros pueden ocasionar problemas en el acero inoxidable. Si ésto hubiese sido de su conocimiento, el problema podría haberse evitado mediante la filtración de corrosivo para retirar los depósitos, mediante el uso de un flujo de mayor rapidez y/o mediante una limpieza mecánica del mismo para evitar que éstos se concentrarán. También podría haberse pensado en un acero inoxidable que tuviese mayor resistencia a la corrosión del cloruro.

En realidad el acero inoxidable sí era el mejor material

para realizar la operación, pero debieron haberse considerado el llevar a cabo unos pequeños cambios en las condiciones de operación.

La posibilidad de una corrosión local (en especial el agrietamiento por tensión-corrosión y los orificios), deben tomarse en consideración al seleccionar los materiales. Este tipo de corrosión es mucho más común que ocurra cuando el índice de la corrosión uniforme es bajo.

Al cambiar de materiales no sólo es suficiente el pensar en términos del problema que necesita resolverse. En el ejemplo anterior, el problema de la corrosión uniforme se solucionó; sin embargo, ocasionó otro que resultó más grave.

Asimismo, no siempre resulta suficiente el concentrarse en el medio que ocasionó el problema y que dió por resultado el cambio.

En el caso anterior, la solución sobre la parte externa de la tubería abarcó tanto al acero suave como al acero inoxidable; sin embargo, no siempre resulta así. La solución, por ejemplo pudo haber sido una que ocasionara el agrietamiento por tensión-corrosión en el acero inoxidable, aún cuando esto no constituía un problema en el acero suave.

Además de que esto sirve para reconocer el hecho de que existen varios tipos de corrosión y la gravedad de la corrosión local, el planteamiento sirve para demostrar que ningún material es perfecto.

2.3. METALURGIA DE LOS ACEROS INOXIDABLES

De acuerdo a la composición de los aceros inoxidables - se clasifican en tres:

a) ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS

El contenido del cromo en estos aceros varía del 12% al - 14% y el carbono del 0.08% al 0.15%. El cromo le confiere resistencia al ataque de la corrosión y el carbono es responsable principalmente de las propiedades mecánicas que - pueden ser desarrolladas a través del tratamiento térmico adecuado.

Al someterse a temperaturas elevadas (de 950°C a 1050°C de - dependiendo del tipo de aleación), los aceros inoxidables - martensíticos se transforman a la forma austenítica. Con enfriamiento rápido la estructura se transforma a otra, - martensítica circular asociada con un aumento en la dureza del material.

El grado de dureza depende directamente del contenido del carbono. Si el contenido de éste es menos de 0.1% sólo se llevará a cabo un endurecimiento moderado.

Al ser enfriados rápidamente estos aceros se vuelven duros pero frágiles. Para mejorar su ductibilidad son "templados". El templado a baja temperatura le imparte ductibilidad al material con poca pérdida de dureza, el caso contrario sucede al hacerlo a altas temperaturas.

Un típico tratamiento de endurecimiento para el acero inoxidable martensítico, incluye endurecimiento al enfriarse por aire a partir de 1000°C, seguido de templado a temperaturas de hasta 750°C. Para suavizar estos aceros se utilizan temperaturas de recocido de alrededor de 750°C.

Los aceros inoxidables martensíticos son comúnmente llamados hierros inoxidables.

b) ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS

En este grupo de aceros el contenido de cromo es del 17% - al 30%, generalmente con bajo contenido de carbono (0.1%). La cantidad de cromo presente imparte una buena resistencia a la corrosión y es suficiente para mantenerlos predominantemente ferríticos a todas temperaturas. Es por ésto que no pueden ser endurecidos por tratamiento térmico.

Estos aceros se clasifican generalmente en tres grupos, a saber aceros al 17% de cromo, al 20% y al 27%. El aumento en el contenido de cromo eleva la resistencia a la corrosión y la oxidación. En atmósferas sulfurosas la resistencia de los tipos 27% de cromo es superior a la de los tipos austeníticos en temperaturas superiores a los 650°C.

De presentarse una estructura de grano gruesa en estos aceros, por ejemplo al calentar arriba de 900°C, la estructura no podrá ser refinada con sólo el tratamiento térmico, será necesario trabajar el material en frío antes del tratamiento térmico.

Esta característica es de importancia considerable, ya que el desarrollo de estructura de grano gruesa va relacionada con la pérdida en ductibilidad. La secuencia de las operaciones realizadas para producir tubería con este tipo de material, debe ser tal que se logren las combinaciones adecuadas de trabajo en frío y tratamiento térmico para desarrollar la estructura de grano requerida.

El recocido de estos aceros se lleva a cabo generalmente a 750°C seguido de enfriamiento por aire o por inmersión en agua.

c) ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS

Estos aceros contienen por lo general un mínimo de 18% de cromo, 8% de níquel y contenido de carbono por debajo del 0.08%, y poseen una alta resistencia a la oxidación y corrosión.

Un acero de este tipo se mantiene austenítico a todas temperaturas; sin embargo, en algunas composiciones se presenta una pequeña proporción de ferrita, lo que no tiene efecto negativo alguno en la resistencia general a la corrosión y en algunos casos es deseable para evitar fisuras y grietas en la soldadura.

No ocurre ninguna transformación al endurecer los aceros austeníticos por enfriamiento en agua. El carbono presente está completamente en solución a temperaturas de más de 1000°C. Al enfriar, la solubilidad decrece de manera que ocurre precipitación de carburos de cromo en las venciadas de los 700°C, a menos que el efecto se suprima enfriando por inmersión en agua.

2.4. METALURGIA DE LA SOLDADURA

En una soldadura se presenta una gama completa de condiciones, de una estructura "fundida" en la zona de fusión a las partes del tubo original que ha sido calentado a diversas temperaturas (Fig.2d). El comportamiento del metal bajo estas condiciones de calentamiento y enfriado subsecuente, determina en gran manera el éxito o fracaso en la soldadura reg tante. Debido a que la respuesta del metal durante la soldadura es controlada por sus propiedades físicas y mecánicas y sus características metalúrgicas, es importante discutir dichos factores en cuanto a lo que afecta la operación de soldadura.

Los problemas encontrados en la soldadura de acero inoxidable varían de acuerdo al grupo al que el acero pertenece, - es decir si es martensítico, ferrítico o austenítico.

a) ACERO INOXIDABLE MARTENSITICO

La característica común de los aceros inoxidables martensíticos es su tendencia a endurecer al ser enfriados de altas temperaturas. Consecuentemente, en este grupo el efecto de endurecimiento en el metal base adyacente a la soldadura es la mayor dificultad a vencer. Para reducir el endurecimiento del metal base en la zona afectada por calor, se recomienda precalentar la unión de 200°C a 400°C, reduciendo así el gradiente de temperatura y aplicar calor posteriormente a 750°C. En el último caso, la temperatura no debe exceder los 800°C o se puede volver a formar austenita.

Una soldadura más resistente se obtendrá utilizando material de aporte austenítico, pero una relevación de esfuerzos posterior sigue siendo necesaria. Sin embargo, el diferencial de expansión térmica, entre el metal base y el de aporte, puede afectar la resistencia mecánica de la pieza soldada, ya que está sujeta a ciclos repetidos de calentamiento y enfriamiento. Si los tubos fuesen a operar en una atmósfera de gas sulfuroso, el material de aporte preferentemente no deberá contener níquel debido al riesgo inherente de corrosión. La utilización de electrodos austeníticos deberá ser cuidadosamente evaluada en cada caso particular.

b) ACERO INOXIDABLE FERRITICO

En estos aceros el efecto de endurecimiento en las zonas - afectadas por calor no es significativo. Sin embargo, debe ser mencionado que a pesar de la baja dureza de las soldaduras y las zonas térmicamente afectadas, la soldadura -

presenta algunas dificultades a menos que el acero haya sido especialmente preparado.

La primera dificultad es la fragilidad que puede presentarse en las zonas afectadas térmicamente al ser calentadas más allá de los 1100°C. En algún tiempo se pensó que esta fragilidad era causada por un marcado crecimiento del grano, pero actualmente se asocia con un fenómeno metalúrgico más complejo. El templeado a aproximadamente 750°C ayuda a mejorar la ductibilidad pero la estructura de grano fina no puede recobrase del todo en un subsecuente trabajo en frío.

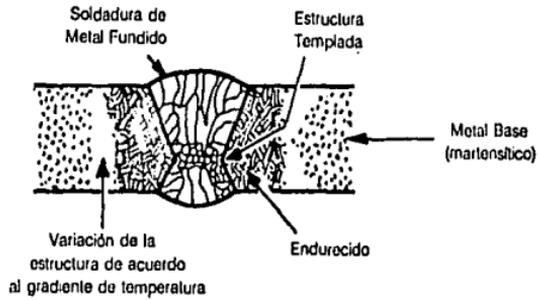
Los aceros ferríticos de alto contenido de cromo como el tipo 446 (27% de cromo) son muy frágiles a menos de 150 ó 200°C. Por lo tanto, el tipo 446 debe ser precalentado a por lo menos 200°C antes de ser soldado. De manera similar, el enderezado de una estructura soldada de material con alto contenido de cromo sólo se debe realizar tras un precalentamiento a aproximadamente la misma temperatura para evitar fracturas por fragilidad (Fig.2b).

c) ACERO INOXIDABLE AUSTENITICO

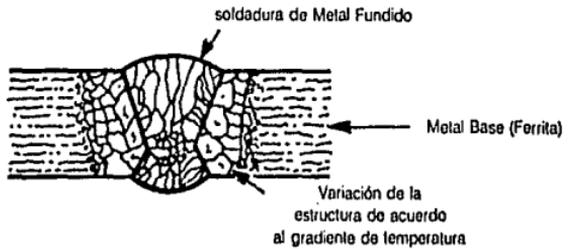
El tercer grupo de aceros, los austeníticos son mucho más soldables que los otros dos, particularmente porque no sufren efectos de endurecimiento en las zonas térmicamente afectadas del metal base. De ahí que el crecimiento del grano y la posible fragilidad carezcan de importancia. Sin embargo, estos aceros tienen un alto coeficiente de expansión y una conductibilidad del calor mucho menor que los otros tipos. Esto significa que la distorsión es un grave problema.

El principal acero de este grupo es aquel que contiene 18% de cromo y 8% de níquel (18-8). Se ha encontrado que los

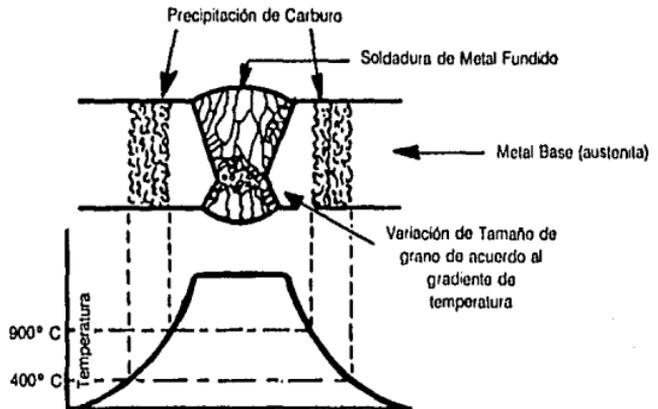
- 2 (a) Hierro Inoxidable
Cr = 12-14%
C = 0.1%



- 2 (b) Hierro alto Cr.
Cr = 16-30%
C = 0.1%



- 2 (c) Austenítico
Cr = 16-20%
Ni = 10-14%
C = 0.08%



- 2 (d) Estructura de Soldaduras Típicas

FIGURA 2

aceros de este tipo en servicio, crean un problema de corrosión intercrystalina en las vecindades de la soldadura. En algunos casos ésto fue tan desastroso que el efecto llegó a conocerse como "decaimiento de la soldadura".

La investigación demostró que ésto se debía a la precipitación de complejos de carburo de cromo en los alrededores - del grano (Fig.2c).

2.5. PROPIEDADES DE LOS ACEROS INOXIDABLES

a) ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS

Composición

Los límites usuales son del 12% al 14% de cromo y del 0.08% al 0.15% de carbono. No existe una composición de límite entre los grados martensíticos y ferríticos, la transición gradual depende principalmente de los contenidos de cromo y carbono.

Propiedades mecánicas

Los aceros inoxidables martensíticos pueden ser endurecidos con los procedimientos adecuados de tratamiento térmico, el templeado subsecuente puede utilizarse para desarrollar las propiedades mecánicas requeridas.

Propiedades magnéticas

Los aceros inoxidables martensíticos son fuertemente atraídos por imanes.

Soldabilidad

Se deben tomar las precauciones debidas para asegurar re

sultados satisfactorios en la soldadura.

Expansión térmica

El coeficiente de expansión térmica lineal es del orden de 11×10^{-6} (este valor es semejante al de los grados ferríticos y 65% del valor para los grados austeníticos).

Resistencia a la corrosión

Las condiciones de endurecido y templado generalmente resultan en una óptima resistencia a la corrosión. Sin embargo, los aceros inoxidable martensíticos son menos resistentes al ataque corrosivo que los grados ferríticos o austeníticos, la posible combinación de una elevada dureza y una útil resistencia a la corrosión tiene ventajas obvias. Los aceros inoxidable del 12% al 14% de cromo poseen una buena resistencia al escamado hasta los 700°C.

b) ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS

Composición

El cromo es una vez más el principal elemento de aleación. Su proporción se aumenta desde el 17% al 30%. Los rangos de composición martensítica y ferrítica se traslapan, esto ocurre generalmente en el rango del 14% al 18% de contenido de cromo.

Propiedades mecánicas

Los aceros inoxidable ferríticos no pueden endurecerse por enfriado en agua, los tubos producidos en este grado de material son proporcionados en condición suavizada.

Propiedades magnéticas

Este tipo de aceros inoxidable son fuertemente atraídos por imanes.

Soldabilidad

Aunque menos susceptibles a cuarteaduras que los grados martensíticos, se presenta fragilidad en la soldadura o en las zonas afectadas por temperatura.

Expansión térmica

Los aceros ferríticos poseen características muy similares a los grados martensíticos, es decir un coeficiente de aproximadamente 11×10^6 .

Resistencia a la corrosión

En general la resistencia a la corrosión de los grados ferríticos aumenta con el contenido de cromo. La resistencia de los aceros inoxidable ferríticos a los ambientes corrosivos es aproximadamente intermedia entre aquella de los martensíticos y los austeníticos. Un aspecto importante de la resistencia a la corrosión, es el comportamiento de las aleaciones a temperaturas elevadas. Los grados ferríticos son particularmente resistentes a la oxidación bajo tales condiciones. La máxima temperatura de trabajo recomendada para una aleación en particular varía muy poco, dependiendo de la atmósfera con la que está en contacto. Generalmente, existe una excelente resistencia al escamado con los tipos 17% de cromo hasta 800°C, con 20% de cromo hasta 950°C y con los tipos de 27% hasta 1100°C.

c) ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS

Composición

Los límites generales de esta clase son 16% a 26% de cromo y 8% a 25% de níquel. El contenido de carbono es menor al 0,08%. Para ciertos ambientes corrosivos es necesario utilizar aceros con adiciones a la aleación tales como molibdeno. Elementos estabilizantes como el titanio o el niobio son agregados a ciertos grados para inhibir formas indeseables de precipitación de carburos dentro de la estructura de la aleación.

Propiedades mecánicas

Los aceros inoxidables austeníticos en su condición suave son fuertes y dúctiles. A pesar de su aparente desventaja al no poder ser endurecidos por tratamiento térmico, sí es posible mejorar sus propiedades mecánicas por trabajo en frío.

Soldabilidad

Los aceros austeníticos son en general, mucho más soldables que los grados martensítico y ferrítico. La incorporación de elementos estabilizantes en la composición de la aleación o la utilización de un bajo contenido de carbono, descarta muchas de las dificultades prácticas tales como el tratamiento térmico después de la soldadura. La sensibilización - como resultado de la soldadura puede ocasionar corrosión intergranular bajo ciertas condiciones.

Expansión térmica

Los tipos austeníticos de acero inoxidable tienen un coeficiente de expansión lineal de aproximadamente 17×10^6 (este valor es aproximadamente 45% mayor que el valor de las variedades ferrítica y martensítica).

Resistencia a la corrosión

La resistencia a la corrosión en los aceros austeníticos es generalmente superior a la de otros grados de acero inoxidable en una amplia variedad de medios ambientes. La resistencia al escamado es generalmente buena hasta los 850°C.

Debido a que los aceros inoxidables austeníticos tienen las mejores propiedades anti-corrosivas y que esta tesis trata de mostrar la necesidad de evitar el ataque de la corrosión, en los siguientes capítulos se analizará el proceso de fabricación de tubería y conexiones de acero inoxidable austenítico utilizado en México.

CAPITULO III. FABRICACION DE TUBERIA EN ACERO INOXIDABLE AUSTENITICO EN MEXICO

3.1. TIPOS DE TUBERIA Y UTILIZACION

EN MEXICO SE FABRICAN DOS TIPOS DE ACERO INOXIDABLE AUSTENITICO SOLDADO, CONOCIDOS EN LA INDUSTRIA COMO PIPE Y TUBING.

PIPE (TUBO ESTANDAR)

El diámetro exterior real no coincide con el diámetro especificado, el espesor de la pared se identifica por cédulas (5, 10, 40, 80, etc.), las tolerancias tanto del diámetro exterior como el espesor de pared son más amplias que el tubing.

El rango de fabricación es el siguiente: 1/8 hasta 4 pulgadas, soldadura longitudinal. 6 hasta 14 pulgadas soldadura espiral.

TUBING (TUBO CALIBRADO)

El diámetro exterior sí coincide con el diámetro especificado, el espesor de pared se identifica por calibres (del 1 al 30 según B.W.G.), las tolerancias tanto del diámetro exterior como las del espesor de pared son muy estrictas, el rango de fabricación es 1/4 hasta 4 pulgadas, soldadura longitudinal.

Existen cuatro tipos de Tubing que son:

1. Tubo normal
2. Tubo flexible
3. Tubo sanitario

4. Tubo ornamental

1. TUBO NORMAL (FLUX, CALIBRADO)

Producido en un amplio rango de medidas con costura longitudinal, esta tubería es sometida a inspecciones y pruebas rígidas, ya que sus aplicaciones se pueden considerar como las más críticas en la industria.

2. TUBO FLEXIBLE

Es un tubing cuyo diámetro normalmente es menor de 1/2 pulgada (12.7 mm.) y el espesor de pared es muy delgado, dando como resultado un tubo extremadamente flexible.

3. TUBO SANITARIO

Se presenta con pulido interior, pulido exterior o ambos, el rango de fabricación es de 1 hasta 4 pulgadas.

4. TUBO ORNAMENTAL

La fabricación de esta tubería es de común acuerdo con el consumidor, ya que no está amparada con norma alguna. Únicamente se presenta con pulido exterior, sus tolerancias no son muy estrictas, se suministra sin tratamiento térmico ni pruebas mecánicas.

APLICACIONES

La tubería de acero inoxidable austenítico se utiliza para los servicios siguientes:

1. Resistencia a la corrosión
2. Resistencia a bajas y altas temperaturas
3. Resistencia a altas presiones internas y externas
4. Aplicaciones arquitectónicas

3.1.1. RESISTENCIA A LA CORROSION

Es conveniente, considerar ahora las aplicaciones específicas del acero inoxidable en ciertos tipos de corrosión de importancia industrial.

La tubería de acero inoxidable, es inherentemente resistente a la corrosión por la habilidad de formar una capa protectora de óxido de cromo en la superficie.

Esta capa o película invisible es una protección química - en atmósferas oxidantes (llamada pasivado).

La corrosión general puede ser prevenida por la selección de un tipo de acero inoxidable compatible con el servicio deseado.

En cada caso, el medio corrosivo ha sido escogido arbitrariamente como representativo de problemas planteados en - distintas industrias (los resultados en la práctica pueden variar ligeramente, influenciados por impurezas, presiones, variaciones de la concentración, etc.).

La corrosión relativa para diferentes tipos de acero inoxidable ha sido clasificada bajo los términos siguientes:

<u>Grado de ataque</u>	<u>Comportamiento del material</u>	<u>Pérdida de peso por hora</u>
A	Completamente resistente	menor 0.1 g/m^2
B	Bastante resistente	$0.1-1.0 \text{ g/m}^2$
C	No resistente	mayor 1.0 g/m^2

3.1.2. RESISTENCIAS A BAJAS Y ALTAS TEMPERATURAS

La tubería de acero inoxidable resiste elevaciones de temperatura y su resistencia longitudinal es mayor que la de otras aleaciones.

La capa de oxígeno de cromo que se le forma a altas temperaturas protege al material de sufrir varios deterioros.

El nivel seguro de calentamiento varía con el tipo de acero.

El acero inoxidable austenítico tiene excelente estabilidad en rangos de temperatura de subcero o criogénicas. No se vuelve quebradizo como otros materiales.

3.1.3. RESISTENCIA A ALTAS PRESIONES INTERNAS Y EXTERNAS

El empleo de tubería de acero inoxidable con costura en equipos que requieren ser trabajados a altas presiones, está basado de una manera general en el análisis dimensional.

Tenemos que el espesor mínimo necesario de una tubería que estará sujeta a una presión interna o externa será:

$$t_m = t + c \text{ en donde:}$$

t_m = espesor mínimo requerido (incluye pérdida de peso por corrosión, tolerancias y propiedades mecánicas del acero).

t = espesor de la presión de diseño (ya sea presión interna o externa).

c = suma de las propiedades mecánicas y consideraciones de la corrosión.

conforme a A.S.M.E. (American Society of Mechanical Engineering), especificaciones UG - 27 y UG - 31.

$$\text{Presión de ruptura} = \frac{2e St}{D-0.8 t}$$

en donde:

e = eficiencia de la soldadura (fusión eléctrica 0.85)

s = esfuerzo de tracción grados "L" 70000 PSI, otros grados -
75000 PSI mínimo

t = espesor de la pared del tubo

D = Diámetro exterior del tubo

ESFUERZOS DE TENSION PERMISIBLES

<u>Material</u>	<u>Especificación</u>	<u>Grado</u>	<u>Resistencia a la tensión mínima P.S.I.</u>	<u>Límite elástico min. P.S.I.</u>	<u>Temp. min.</u>	<u>100°F (PSI)</u>	<u>500°F (PSI)</u>	<u>1000°F (PSI)</u>	<u>1500°F (PSI)</u>
18 Cr-8Ni Pipe	ASTM-A312	TP-304	75000	30000	-425	17000	14850	11700	1200
18 Cr-8Ni Pipe	ASTM-A312	TP-304L	70000	25000	-425	14200	12500	8600	750
16Cr-12Ni-2Mo Pipe	ASTM-A312	TP-316	75000	30000	-325	17000	15200	13000	1050
16Cr-12Ni-2Mo Pipe	ASTM-A312	TP-316L	70000	25000	-325	14200	12250	9500	850

TABLA 3

Presión interna de trabajo: se considera la cuarta parte de -
la presión de ruptura.

$$P_i = 1/4 P_r$$

P_i = Presión interna

P_r = Presión ruptura

conforme a A.S.M.E. especificaciones: LG - 28 y UHA - 28.

$$\text{Presión de aplastamiento} = \frac{2S (\underline{t})}{D}$$

o también:

$$\text{Presión de aplastamiento} = \frac{2.2E (\underline{t})^3}{D}$$

en donde:

E = módulo de elasticidad

S = esfuerzo de compresión

Presión de trabajo exterior: se considera la cuarta parte de
la presión de aplastamiento.

$$P_e = 1/4 P_a$$

P_e = Presión exterior

P_a = Presión aplastamiento

3.1.4. APLICACIONES ARQUITECTONICAS

El tubo ornamental es entregado en condiciones "as-weld-ed", o sea que no se le proporciona el tratamiento térmico ni se le efectúan pruebas hidrostáticas, ya que el tubo básicamente se usará con fines decorativos y arquitectónicos.

Esta tubería puede ser pulida exteriormente hasta obtener un acabado brillante, por medio de lijas abrasivas y otros medios.

El material removido en el pulido es aproximadamente .002" del espesor de pared para calibres 14 ó menores, y de .004" para calibres mayores de 14 (B.W.G.).

3.1.5. APLICACIONES MAS COMUNES POR LINEA DE PRODUCTO

1. Pipe

Se utiliza para líneas de conducción, la cual substituye tuberías de otros materiales que no resistan las condiciones antes anotadas, por ejemplo:

- a) Serpentine
- b) Líneas de tubería roscada
- c) Líneas de tubería para la industria química
- d) Procesos con altas y bajas temperaturas
- e) Procesos con altas presiones
- f) Resistencia a los ácidos

2. Tubing normal

Su mayor aplicación es en el equipo de proceso que por su diseño requiere tubería de acero inoxidable, tales como:

- a) Intercambiadores de calor
- b) Condensadores
- c) Calderas
- d) Evaporadores
- e) Líneas abastecedoras para la industria química y petroquímica
- f) Instrumentación
 - . manómetros
 - . termopares
 - . resistencias
- g) Condiciones altamente corrosivas
- h) Temperaturas extremadamente bajas

3. Flexible

Por su flexibilidad esta tubería puede ser enrollada en forma de serpentín, también puede ser abocinada con herramientas manuales.

Sus aplicaciones más comunes son:

- a) Plantas embotelladoras
- b) Instrumentación
- c) Serpentes
- d) Refrigerantes

4. Sanitario

Por su superficie tersa impide que se acumulen pequeñas partículas que puedan contaminar el proceso.

Además de permitir que el paso del fluido sea más libre, el acabado pulido facilita la limpieza del equipo.

Los tipos de industria que comúnmente lo utilizan:

- a) Cervecería
- b) Lechera
- c) Alimentación en general

Las ventajas que se obtienen al usar este tipo de tubería son:

- Reduce el peligro de la proliferación de bacterias
- El peligro de la contaminación metálica del proceso de elaboración de los alimentos se minimiza
- Se facilita la limpieza del equipo en general

5. Ornamental

Su uso principal es para aplicaciones decorativas, ya que nunca pierde su acabado, por ejemplo:

- a) Equipo de hospitales
- b) Equipo de cafeterías

- c) Accesorios arquitectónicos
- d) Accesorios marinos
- e) Accesorios automotrices

3.2. PROCESO DE FABRICACION

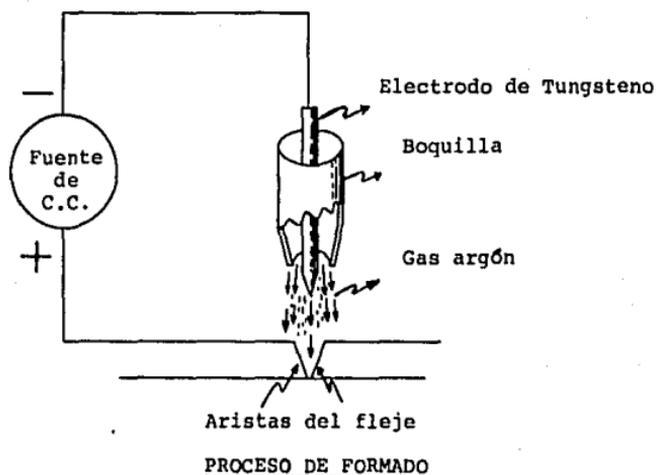
La materia prima a partir de la cual se fabrica la tubería de acero inoxidable austenítico, es un fleje o rollo de acero inoxidable, ya sea laminado en frío o en caliente.

I. FORMADO

El proceso se inicia con la operación de formado, que consiste en darle al fleje la forma de tubo progresivamente, a medida que es alimentado el fleje en forma continua a través de unos rodillos formadores a velocidades que varían de 0.20 a 1.3 metros/minuto.

Después de conformado el tubo se lleva a cabo la operación de soldadura automática (en esta misma máquina formadora), que es realizada sin efectuar cambios en los ajustes de control requeridos.

El método para soldar (unir las aristas del fleje) es de arco eléctrico con protección de gas inerte. En este proceso la unión del material se produce con el calor obtenido por el arco eléctrico entre un electrodo de tungsteno (material no consumible con un elevado punto de fusión) y el material base que se encuentra protegido por una atmósfera de argón (gas inerte). A este tipo de proceso de soldadura se le conoce como TIG (Tungsten Inert Gas).



En el caso de Pipe, para diámetros mayores de 4", la soldadura del tubo es en forma espiral. Esto es debido a que el ancho del fleje está limitado, de manera que al rolarse el tubo no puede ser mayor de 4". Rolando el fleje en forma espiral, se pueden obtener diferentes diámetros dependiendo el ángulo de rolado.

La desventaja es que se tiene mayor área soldada, lo que podría repercutir en propiedades anticorrosivas y mecánicas un poco inferiores al tubo con soldadura longitudinal.

Durante la soldadura no se agrega material alguno, por lo que se obtiene un cordón de soldadura de la misma composición química que el metal base. La protección de las aristas del material con gas argón suministrado a través de la

boquilla de la antorcha, asegura que al momento de soldarse no habrá presencia de oxígeno, con lo que se evita la oxidación del material.

2. Tratamiento térmico

Es la operación de calentar y enfriar el material en estado sólido para que cambien sus propiedades físicas.

Tenemos que al soldar el material, parte del metal base adyacente a la línea de fusión alcanza la temperatura de 454 a 898°C, durante la que ocurre la precipitación del carburo de cromo, que da lugar a la corrosión intergranular.

Asimismo, tenemos que en el proceso de formado se desarrollan en el tubo severos esfuerzos residuales, los cuales son indeseables y se eliminan con el tratamiento térmico.

El proceso consiste en calentar la tubería a una temperatura mínima de 1050°C, manteniendo los tubos un determinado tiempo a esta temperatura para después enfriarlos bruscamente con agua, se observará una pequeña capa de óxido en la superficie del material (que después será removido en el proceso del decapado).

3. Calibrado

El calibrado se efectúa en un banco de estirado, las operaciones efectuadas son las siguientes:

- a) Un extremo del tubo se reduce en su diámetro por una operación de forjado, para permitir que entre en un dado de carburo de tungsteno.
- b) Es sujetado este extremo reducido por medio de unas mordazas sostenidas por un carro móvil.

c) Se engancha el carro móvil a la cadena del banco de estirado y se efectúa la operación del calibrado, sometiendo al tubo a una tensión arriba de su límite elástico para permitir el flujo del material a través del dado calibrado.

Esta operación aumenta la dureza del tubo en tal forma que si se desean hacer varias reducciones, el material deberá ser tratado térmicamente después de cada pasada.

4. Decapado

El decapado es una operación que se hace a la tubería para eliminar la escama de óxido formada en el tratamiento térmico del material.

Se efectúa mediante la inmersión de la tubería en soluciones acuosas de ácidos nítrico, sulfúrico y fluorhídrico.

La solución que se emplea comúnmente en el decapado de la tubería, es la de ácido nítrico-ácido fluorhídrico.

Además de la eliminación de la escama de óxido, se le proporciona un PASIVADO al material, que consiste en provocar una corrosión controlada, la cual formará una capa protectora en toda la superficie del material, que servirá para proteger aún más al acero inoxidable de los medios corrosivos.

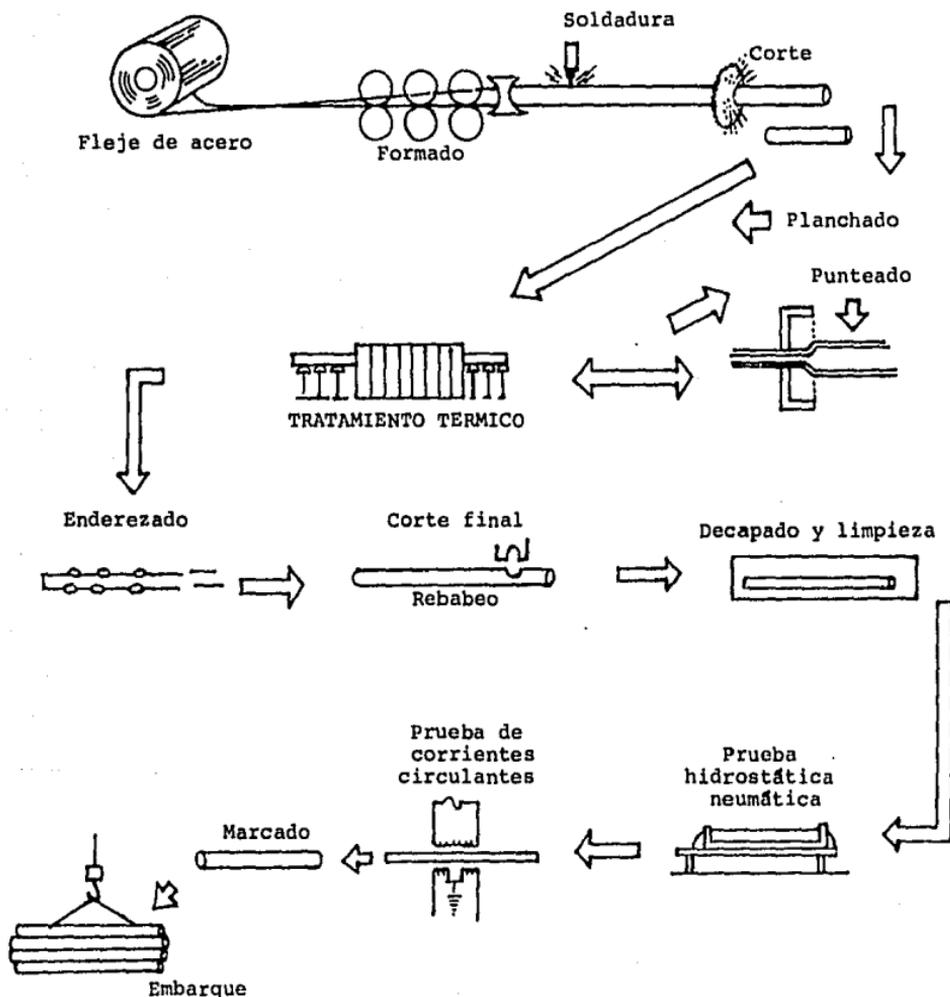
5. Limpieza

Esta operación consiste en limpiar la tubería interior y exterior con agua a presión, esto es con el fin de remover los residuos de ácido que se hayan acumulado durante el decapado.

Este lavado se puede hacer con detergente seguido por -

un enjuague con agua.

DIAGRAMA DEL PROCESO DE FABRICACION DE TUBERIA CON
COSTURA, DE ACERO INOXIDABLE AUSTENITICO



PROCESOS DE FABRICACION PARA CADA TIPO DE TUBO DE ACERO INOXIDABLE AUSTENITICO

<u>Proceso</u>	<u>Tuberfa de cédula (pipe)</u>	<u>Tub. nor- mal estirado</u>	<u>Tub. Flexible</u>	<u>Tub. Sanitario</u>	<u>Tub. Ornamental</u>
Formado	X	X	X	X	X
Desengrase	X	X	X	X	
Tratamiento térmico	X	X	X	X	
Punteado		X			
Calibrado		X			
Enderezado	X	X	X	X	X
Cortado y rebabeado	X	X	X	X	X
Decapado	X	X	X	X	
Lavado	X	X	X	X	
Pulido int.				X	
Pulido ext.				X	X
Inspección	X	X	X	X	X
Marcado y empacado	X	X	X	X	X

3.3. CONTROL DE CALIDAD Y NORMAS

CONTROL DE CALIDAD

La fabricación de tubería inoxidable en México está incorporada al extraordinario desarrollo tecnológico de la era moderna y consciente de la preocupación que significa el mejorar los estándares de calidad para dinamizar aún más dicho desarrollo, ha hecho de su control de calidad el proceso más estricto y meticuloso por el que se somete la tubería de acero inoxidable. Pruebas mecánicas tales como las de abocinado, -pestañado, aplastamiento, etc. durante el proceso, dureza y -tensión, posterior al trabajo térmico, como finalmente las pruebas hidrostáticas y neumáticas, que aunadas a las pruebas de -corrosión en el laboratorio, dan la garantía más absoluta al producto.

El control de calidad es aplicado durante cada paso del proceso al que se somete la tubería de acero inoxidable, incluyendo la revisión al producto terminado y contando con una estricta vigilancia a la calidad de la materia prima.

Estos factores aseguran positivamente un producto en óptimas condiciones cualitativas, competente, no sólo en el plano nacional, sino también en el internacional, con cualquier tubo de acero inoxidable existente.

3.3.1. ANALISIS PARA LA MATERIA PRIMA

La materia prima para la fabricación de tubería con costura, es conocida como cinta o fleje de acero inoxidable, la cual podrá ser rolada en frío o en caliente.

La norma que especifica las bases para la compra es la -ASTM A-240, la cual incluye la siguiente información:

1. Cantidad (peso y número de piezas)
2. Nombre del material (acero inoxidable)
3. Forma (cinta de acero inoxidable)
4. Dimensiones (ancho y espesor)
5. Tipo de acero (304, 304L, 316 y 316L)
6. Arista (No. 3 en nuestro caso según A-480)
7. Propiedades mecánicas (límite elástico, Res. Ten. % A)
8. Acabado (No. 1 según A-480)
9. Designación ASTM y fecha de edición (A-480)
10. Prueba de corrosión intergranular
11. Adiciones a las especificaciones o requerimientos especiales

3.3.2. NORMAS DE FABRICACION DE TUBERIA DE ACERO INOXIDABLE Y PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD

1. Normas de fabricación

Las especificaciones en que está basada la fabricación de estos productos son:

Las normas A.S.T.M. (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales) y las aplicables para cada uno de ellos son las siguientes:

- A. Para tubería Pipe, la A-312 y A-530
- B. Para Tubing, la A-249, A-269 y A-450

C. Para tubería Sanitaria, la A-270 y A-450

Título de cada norma

A. Pipe A.S.T.M. A-312

"Tubería de acero inoxidable austenítico con y sin costura para servicios de alta temperatura y corrosivos"

Esta norma cubre tubería en diámetro nominal desde 1/8 - hasta 12 pulgadas y espesores de pared en cédula 5, 10, - 40 y 80.

Para diámetros mayores, se emplea otra norma, la A-409. - Esta norma cubre diámetros de 14 a 30 pulgadas, con espesores de pared en cédula 5 y 10.

B. Tubing A.S.T.M. A-249

"Tubing de acero inoxidable austenítico soldado, para sobrecalentadores, intercambiadores de calor, calderas y - condensadores"

Esta norma cubre tubería en diámetro nominal (el cual es también su diámetro exterior) de 1/8 hasta 5 pulgadas y - con espesor de pared de 0.015 hasta 0.320 pulgadas.

Tubing A.S.T.M. A-269

"Tubing de acero inoxidable austenítico con y sin costura para usos generales"

Los diámetros cubiertos son de 1/4 pulgada en el diámetro interior y mayores, el espesor de pared varía de 0.020 - pulgadas en adelante.

C. Tubing Sanitario A.S.T.M. A-270

"Tubing de acero inoxidable austenítico con y sin costura

para usos sanitarios"

Esta norma cubre diámetros exteriores hasta 4 pulgadas.

Designación A.S.T.M. A-530

Título: "Requerimientos generales para pruebas e inspección de Pipe de acero inoxidable austenítico"

Designación A.S.T.M. A-450

Título: "Requerimientos generales para pruebas e inspección de Tubing de acero inoxidable austenítico"

• PRUEBAS EFECTUADAS A LA TUBERIA

Hay pruebas que entrañan la destrucción de la parte sobre la que se realizan y de ahí que se conozcan como DESTRUCTIVAS, pero hay otras donde su ejecución produce un daño mínimo o ninguno a la parte probada y por lo tanto se les llama NO DESTRUCTIVAS.

1. PRUEBAS DESTRUCTIVAS

1.1 ENSAYO DE TRACCION

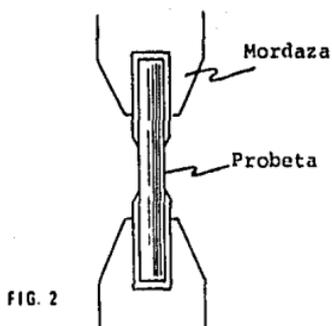
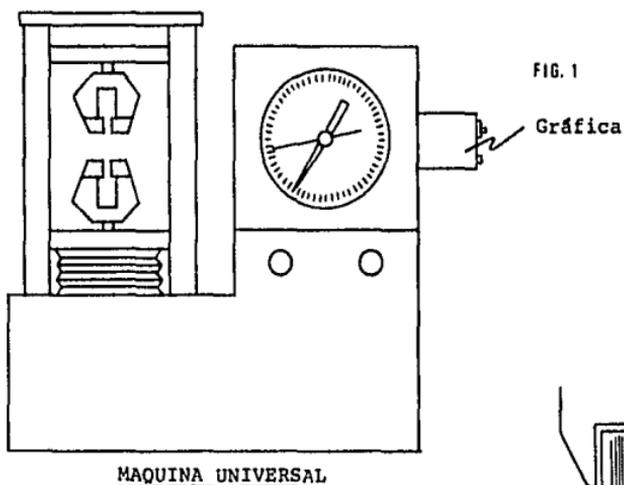
Esta prueba es una de las más aplicadas para determinar algunas características mecánicas de los materiales en general.

La prueba se lleva a cabo mediante una máquina llamada Universal, con la cual se aplican cargas axiales a una probeta. La fig. 1 ilustra uno de los modelos que existen en el mercado.

La máquina básicamente consiste de un dispositivo mecánico o hidráulico que hace variar la distancia entre dos mordazas que sujetan la probeta, según lo indica la Fig. 2.

Este cambio en la distancia entre mordazas se traduce en un esfuerzo creciente sobre la probeta. Cuenta generalmente con una carátula que va indicando la carga aplicada, además de un mecanismo graficador de la deformación de la probeta en función de esa carga.

La forma y dimensiones de la probeta deben cumplir con ciertos requisitos previstos por las normas respectivas de cada material, con el propósito de obtener repetibilidad en los resultados, con este mismo fin se limita la velocidad de desplazamiento de las mordazas a un valor cercano a 1 cm. por minuto.



La prueba termina cuando la probeta se fractura a esfuerzo de tracción creciente, después de lo cual solo resta evaluar los resultados al relacionar los esfuerzos contra las deformaciones, ya sea a partir de la gráfica obtenida por la misma máquina o de los valores recabados durante la prueba por algún otro medio.

Los aspectos que pueden determinarse son los siguientes:

a) Límite elástico

En algunos materiales, al iniciar la prueba y hasta - cierto nivel de carga, la gráfica es una línea recta, que indica que los alargamientos sufridos son proporcionales a las cargas, o sea que en ese espacio se sigue la ley de Hooke.

$$\epsilon = \frac{1}{E} \sigma$$

donde:

E = módulo de Young

ϵ = deformación

σ = esfuerzo

En este lapso el material se comporta elásticamente, es decir las deformaciones desaparecen al quitar las cargas que las producen, una forma de comprobarlo es aplicar una carga pequeña y quitarla, después de lo cual se puede comprobar que la probeta recobra sus dimensiones originales, si se repite la operación con cargas crecientes se llegará a una carga a partir de la cual las deformaciones son permanentes y se inicia la zona plástica, la carga máxima que al dejar de actuar no produce deformaciones permanentes en el material dividida entre el área original de la probeta es

el límite elástico.

Este valor es de gran interés, pues sirve de base a muchas consideraciones de ingeniería de materiales.

En la gráfica este punto queda representado por un cambio en la pendiente de la curva, como se muestra en la Fig. 3.

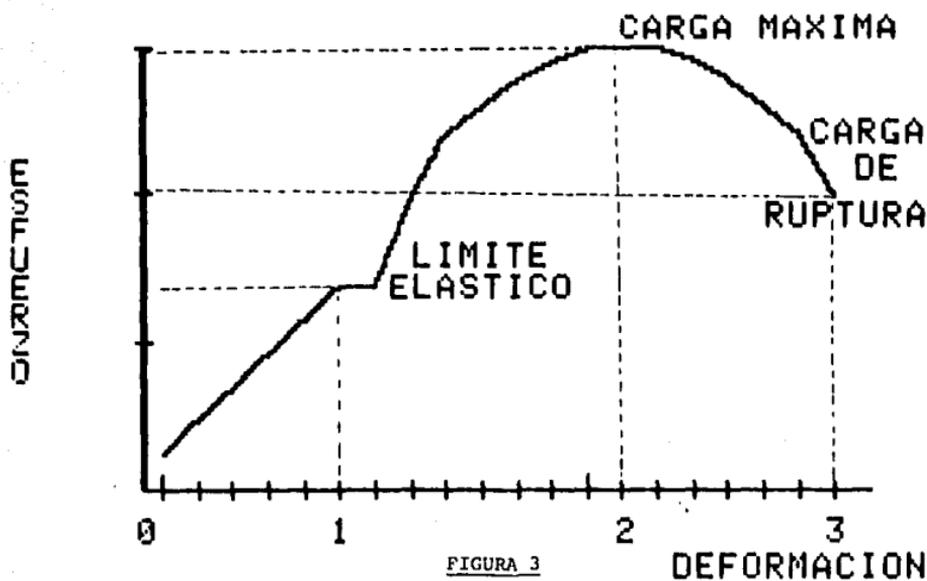


FIGURA 3

- 0 - 1 Deformación elástica
- 1 - 2 Deformación plástica uniforme
- 2 - 3 Deformación plástica no uniforme
- 0 - 3 Deformación total

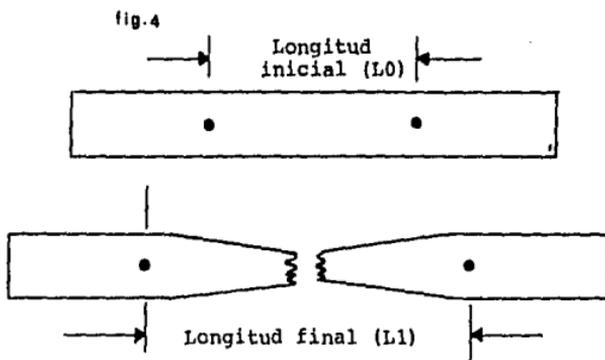
b) Resistencia a la tracción

Después del límite elástico, la gráfica muestra un - continuo ascenso en las cargas soportadas, aunque con deformaciones mayores hasta que alcanza un máximo y - luego se producen deformaciones con una disminución - de carga, la carga máxima dividida entre el área original es la resistencia a la tracción, que es el es- fuerzo máximo soportado por el material.

c) Alargamiento

Este valor es otro aspecto de gran importancia que se obtiene del ensayo de tracción, pues es un índice de la ductibilidad del material.

Los valores se reportan como porcentajes de aumento - de la longitud útil de la probeta, medida entre dos - puntos marcados inicialmente Fig. 4.



$$\frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100 = \% \text{ alargamiento}$$

L0 = Longitud inicial

L1 = Longitud final

1.2 PRUEBA DE DUREZA

La dureza es una propiedad difícil de definir, ya que - en realidad no es una característica fundamental de los materiales y la forma en que se mida sólo arrojará valores relativos que permiten comparar a los diferentes materiales medidos con el mismo método.

Para medir la dureza, en los metales existen varios métodos, pero los más empleados lo hacen considerando la resistencia que presentan estos materiales al ser penetrados o marcados por otro. En general, estos procedimientos consisten en un penetrador que actúa sobre el material por probar, bajo una carga definida y constante.

Los métodos más utilizados en los metales son: Rockwell, Brinell y Vickers.

La diferencia entre estos métodos está en la forma del penetrador y la cantidad de la carga; sin embargo, los valores de dureza de una escala a otra no guardan ninguna correspondencia de tipo matemático, por lo que para encontrar una equivalencia aproximada es necesario recurrir a tablas o gráficas preparadas para el efecto, con la particularidad de que sólo éstas son válidas para ciertos materiales específicos. También es importante señalar que la resistencia a la tracción tiene cierta relación con la dureza y de ahí que existan tablas que relacionan estos valores.

a) Dureza Rockwell

Este ensayo es el más utilizado, debido a su rapidez y por requerimiento de las normas (Rockwell escala - B).

Los penetradores más usados por este método son: Bola

de acero de 1/16" de diámetro y un cono de diamante - con un ángulo de 120°, las cargas son de 60, 100 ó 150 Kg. y según se combinen cargas y penetradores se tienen diferentes escalas para la lectura.

Cuando se trata de medir la dureza de espesores delgados, se puede emplear una máquina similar que usa cargas más pequeñas y por lo tanto las huellas son de menor profundidad, en este caso se llama Rockwell superficial, las cargas son 15, 30 ó 45 Kgs. y las escalas varían según se use la bola o el cono de diamante.

1.3 APLASTAMIENTO

La prueba se hace en una máquina Universal (Fig. 5), sólo que operada para que trabaje a compresión.

Esta prueba se realiza en dos etapas:

1a. ETAPA: PRUEBA DE DUCTILIDAD

Se utiliza una muestra de tubo de 4 pulg., la cual se somete a un aplastamiento entre dos placas paralelas colocando el cordón de soldadura a 90° de la dirección de la fuerza aplicada, hasta que la separación entre las placas sea menor a la obtenida en la fórmula.

$$H = \frac{(1-0.09)t}{0.09 + t/D}$$

en donde:

H = separación entre placas

t = espesor de pared del tubo

D = diámetro exterior del tubo

constante 0.09 = deformación por unidad de longitud para aceros inoxidables austeníticos.

En esta etapa no deben de aparecer grietas en el cordón de soldadura o en el material base.

2a. ETAPA: PRUEBA DE SOLDADURA

La muestra se coloca nuevamente entre las placas y éstas se continúan cerrando hasta que las paredes del tubo se junten. La muestra se saca y se observa, no deberá existir grietas o soldadura incompleta.

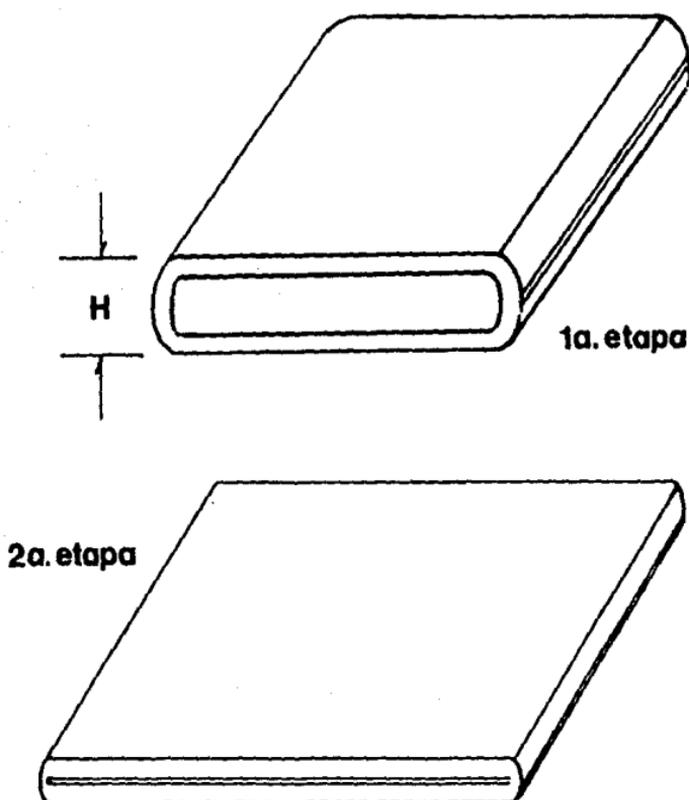
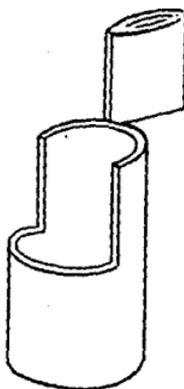


FIGURA 5

1.4 DOBLEZ REVERSIBLE

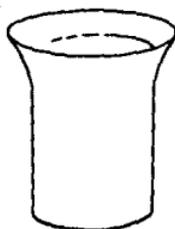
Se utiliza una muestra de tubo de 4 pulg. cortando longitudinalmente a 90°a cada lado de la soldadura. Se abre y se aplasta con la soldadura en el punto de máxima flexión.

No debe de haber grietas o falta de penetración de la soldadura.



1.5 ABOCINADO

Se coloca la muestra de tubo de 4 pulg. de longitud. -
Haciendo uso de la máquina Universal o de una prensa y -
con una herramienta de 60°, se expande el diámetro interior el porcentaje descrito en la tabla siguiente, sin -
que se observen grietas en el tubo.



Relación del diámetro
interior sobre exterior

Expansión mínima del
diámetro interior en %

0.9	21
0.8	22
0.7	25
0.6	30
0.5	39
0.4	51
0.3	68

1.6 PESTAÑADO

Es similar a la prueba de abocinado, Únicamente se lleva la muestra hasta formar una ceja perpendicular al eje del tubo, el ancho específico de la ceja debe alcanzarse sin que la probeta sufra fracturas.

El cálculo para el ancho de la pestaña será:

15% mínimo del diámetro exterior para todos los tamaños.

<u>Diámetro exterior</u>	Ancho mínimo de la pestaña (pulgadas)
1/4" (0.15)	0.0375"

1.7 HIDROSTATICA

Cada tubo terminado deberá de someterse a una presión interna (con agua), que será de acuerdo al cálculo de la siguiente fórmula.

$$P = 32000 t/D$$

donde:

P = presión de prueba, lb/pulg.²

t = espesor de pared, pulg.

D = diámetro del tubo, pulg.

32000 = presión, lb/pulg.²

La presión debe sostenerse el tiempo necesario para inspeccionar la longitud total de la soldadura, con el fin de verificar que no existe fuga alguna.

1.8 NEUMATICA

Como confirmación de la prueba hidrostática, puede efectuarse la prueba neumática que consiste en probar el tubo con aire a una presión interna de 150 psi.

La tubería es sumergida en un tanque con agua y se mantiene ahí hasta que la superficie del agua se ha aclarado, es entonces cuando cualquier fuga puede ser detectada.

2. PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

En la industria, las pruebas no-destructivas tienen un campo bien definido de aplicación, ya que si bien permite el examen del 100% del material, se encuentra que cada método tiene ciertas limitaciones propias además de

las generales entre las que se pueden mencionar:

- a) No sirven para medir directamente las propiedades mecánicas
- b) Sus resultados precisan de una buena interpretación hecha por personal muy especializado

De los métodos existentes de pruebas no-destructivas, - el que se aplica en México rutinariamente en la fabricación de artículos de acero inoxidable, es el denominado corrientes circulantes.

Este método se basa en la facultad de producirse corrientes inducidas en los tubos cuando están bajo la acción de un campo magnético (creado por bobinas).

La intensidad de la corriente circulante y su propagación dependen del acoplamiento entre las bobinas y el tubo, de la conductividad y de la permeabilidad, así como de los posibles defectos de la tubería, tales como: grietas, abolladuras, poros, rebabas, falta de penetración en la soldadura, etc., que se encuentren en el paso de las corrientes circulantes.

Para descubrir estas fallas se usan dos embobinados en conexión diferencial que detectan al mismo tiempo dos partes distintas del tubo y comparan el material en dichas partes.

Esta señal es registrada por un sistema electrónico y - amplificada en una pantalla (osciloscopio) en las que se muestran visualmente las variaciones (picos) que sobrepasan el nivel de calibración de fallas puesto con anterioridad.

Los tubos a probarse por este método son generalmente - hasta de 4.5 pulg. (115 mm.) de diámetro exterior y - 0.203 pulg. (5 mm.) máximo de espesor de pared.

Ventajas de la prueba.

La prueba por corrientes circulantes se caracteriza por su alta sensibilidad a los defectos y a la ausencia total de contacto físico con el tubo.

Se descubren con gran seguridad las fallas superficiales, la experiencia nos muestra que pueden detectarse - fallas que se presenten a un 10% del espesor de pared.

Es claro que existe una gran variedad de pruebas tanto destructivas como no-destructivas que pueden ser aplicables al acero inoxidable para medir sus diferentes propiedades, pero esta tesis se ha concretado al análisis de las pruebas que son mandatorias por las normas de fabricación empleadas.

Entre otras se pueden mencionar:

- Prueba de termofluencia (creep), para medir básicamente la deformación en caliente
- Prueba de fatiga, que mide la capacidad para soportar esfuerzos cíclicos
- Prueba de impacto, para medir la fragilidad del material
- Observación metalográfica, como medio para detectar - fases indeseables

- Pruebas de conductividad eléctrica
 - Pruebas de conductividad térmica
 - Pruebas de corrosión
 - Pruebas con líquidos penetrantes para detectar defectos superficiales
 - Examen radiográfico, para detectar defectos internos
- y otras muchas pruebas diferentes que son de gran ayuda para aplicaciones específicas.

3. PRUEBAS METALOGRAFICAS

TAMAÑO DE GRANO

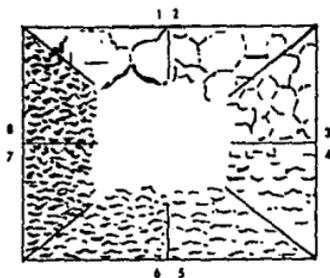
El tamaño de grano es un aspecto metalúrgico de gran importancia debido a que su efecto se deja sentir en algunas propiedades mecánicas del material, tales como la resistencia, el límite elástico, la ductilidad, comportamiento en caliente, aspecto de la superficie dejada por el trabajo en frío, etc. Este efecto en términos generales es positivo entre más pequeño es el grano y de ahí la importancia de su control.

La medición del tamaño de grano se hace por observación directa de la microestructura con la ayuda del microscopio metalúrgico, esto implica que debe hacerse una preparación previa de la probeta (pedazo del material).

La preparación incluye un pulido en una serie de pasos con lija cada vez más fina hasta llegar a un abrasivo en suspensión que deja un acabado espejo y finalmente

mediante un ataque químico, se revela la estructura.

Para realizar la medición se acostumbra hacerlo por comparación de la estructura contra patrones, ya sea directamente en el microscopio mediante oculares que superponen el patrón a la estructura que se está observando o bien, sacando una fotografía a 75 aumentos y comparándola contra una carta que presenta los tamaños normalizados.



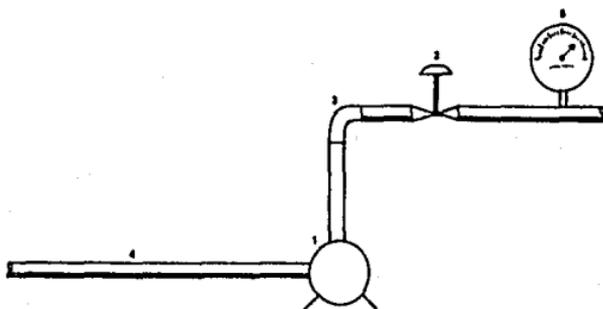
PLACA PARA TAMAÑOS DE GRANULACIONES

CAPITULO IV, CONEXIONES DE ACERO INOXIDABLE AUSTENITICO A - PARTIR DE TUBERIA EN MEXICO

4.1. TIPOS Y UTILIZACION

4.1.1. ASPECTOS GENERALES DE LO QUE ES UNA UNION

Un sistema de tubería consta normalmente de cinco componentes básicos que se describen a continuación en un dibujo -
esquemático.



1. Bomba
2. Válvula
3. Conexión
4. Tubería
5. Instrumento

Como nuestro interés está enfocado en las conexiones, va--
mos a centrar nuestra atención en este componente.

El orden indica la importancia que cada uno de ellos repre--
senta en cuanto a costo se refiere.

Su clasificación está basada en dos aspectos, que son:

1. Por sus extremos
 - a) Soldables a tope
 - b) Soldables en caja
 - c) Roscadas

2. Por su forma
 - a) Codo de 90°
 - b) Codo de 45°
 - c) Conexión traslape (Stub end)
 - d) Cople
 - e) Cruz
 - f) Reducción concéntrica
 - g) Te
 - h) Tapón
 - i) Tuerca unión

Como se mencionó anteriormente, enfocaremos la atención - sobre tes y codos de extremos soldables, ya que son las co nexiones más importantes en cuanto a costo y volumen se re fiere.

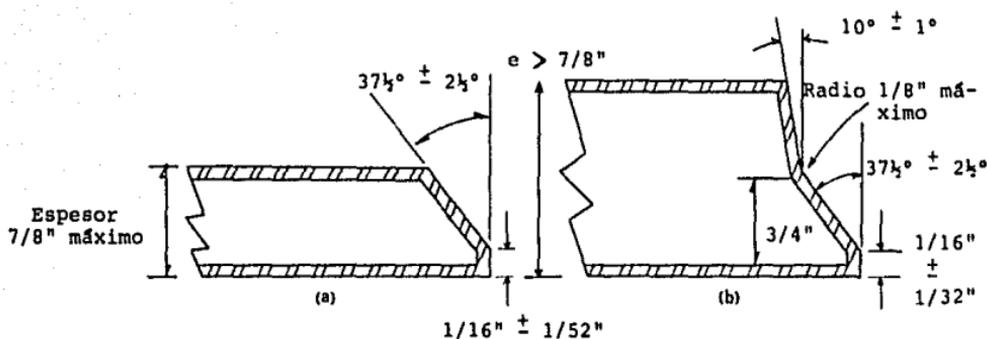
Los extremos soldables a tope corresponden a las conexio-- nes fabricadas a partir de tubos de acero al carbón o ino-- xidable austenítico.

Debido a que es necesario aplicar soldadura entre la tube-- ría y la conexión, se debe maquinar un ángulo en ambas con objeto de depositar el metal agregado.

El valor del ángulo depende del espesor de pared de la co-- nexión.

A continuación se presentan los dos casos:

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA



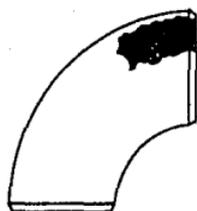
BISEL PARA SOLDAR LA TUBERIA Y CONEXION

<u>Espesor nominal de pared</u>	<u>Preparación del extremo</u>
Menos de 1/8"	Corte cuadrado o ligeramente un chaflán, a opción del fabricante
1/8" hasta 7/8" incl.	Bisel (a)
Más de 7/8"	Bisel (b)

4.1.2. CONEXIONES SOLDABLES A TOPE

Codos de 90° y 45°

Se utilizan para cambiar la dirección del flujo. Su resistencia a la ruptura varía según el espesor de pared que tengan. Sin embargo, su resistencia a la ruptura es mayor que la del tubo para un espesor dado.

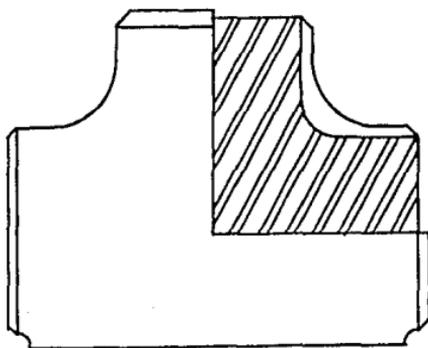


CODO 90°

TE

Resiste una presión interna más grande que cualquier otra conexión con la misma cédula. Tiene una relación balanceada entre el espesor de pared del metal y la distribución de esfuerzos.

Se utiliza para hacer derivaciones en la línea.



TE

4.1.3. USOS Y APLICACIONES

Por su gran versatilidad, las conexiones soldables de acero inoxidable pueden ser utilizadas en un sin número de casos, tales como:

- a) Invariablemente, toda línea de tubería de cualquier sistema llevará una gran variedad de conexiones tales como codos, tes, retornos, reducción, etc. y cuando se vayan a conducir fluidos corrosivos, se utilizarán estas conexiones soldables y de acero inoxidable.
- b) A la salida de bombas, compresoras, tanques almacenadores, derivaciones en una línea principal, etc., es decir, todo proceso industrial requiere de diferentes tipos de conexiones.

4.2. PROCESO DE FABRICACION

PROCESO DE FABRICACION DE CONEXIONES DE ACERO INOXIDABLE - AUSTENITICO DE EXTREMOS SOLDABLES A PARTIR DE TUBERIA

a) CORTE

La tubería de acero inoxidable austenítico con costura previamente aprobada por Control de Calidad, es transportada al departamento de Corte donde de acuerdo a longitudes establecidas por el departamento de Ingeniería, se cortará en tramos (blanks) que darán origen a las conexiones, el corte se efectúa en máquinas cortadoras, ya sea con sierra cinta o disco abrasivo.

Control de Calidad verifica mediante muestreos, que los

ángulos y longitudes sean los especificados por el departamento de Ingeniería, ya que si los blanks no reúnen estas condiciones, resultarán conexiones fuera de especificaciones.

b) PREPARACION DE BLANKS (Consta de tres pasos)

1. Rebabeo

Consiste en eliminar la rebaba que queda en los blanks por la operación de corte, mediante el uso de esmeril.

2. Limpieza

Los blanks deberán estar libres de impurezas propias de la tubería, residuos de limadura y refrigerantes ocasionados por el corte y rebabeo, utilizando para tal limpieza solventes, ejemplo: tolueno.

3. Lubricado

Cumplidos los incisos 1 y 2, los blanks son recubiertos de una película de lubricante para evitar la abrasión entre el acero del blank y el del formador.

Cumplidos los incisos 1, 2 y 3, los blanks son enviados a las máquinas formadoras para continuar su proceso, excepto en el caso de tes, cuyos blanks son transportados al área de recuperación de cera para su llenado y posteriormente pasar a las máquinas formadoras.

c) FORMADO

Formado de codos (45° y 90°)

A los blanks ya preparados se les coloca en el diámetro interior poliuretanos blandos en la parte media y duros en los extremos, para evitar deformaciones. Se introduce el blank dentro del dado y se cierra la prensa ini--

ciándose el proceso de formado mediante la fuerza ejercida por un pistón empujador y otro que retiene hasta - dar la forma al blank.

Formado de tes

El formado se efectua mediante la acción de dos pisto- nes empujadores, ejerciendo presión sobre la cera, de - esta manera el blank se deforma tomando la forma del da do.

Antes del proceso de formado, es aplicado otro lubrican te a los blanks, que tiene como finalidad disminuir la fricción producida por el rozamiento entre el blank y - el dado formador, además favorece el avance de dicho - blank.

NOTA:

Ya formadas las tes son enviadas al área de recupera- ción de cera, donde por inmersión la cera es fundida en agua caliente.

d) CORTE FINAL/ELIMINACION DE COSTURA E IMPERFECCIONES

El departamento de Ingenierfa al diseñar los blanks, - considera en las longitudes un excedente en las puntas como medida de seguridad, para obtener conexiones que - reúnan las dimensiones que indican las especificaciones nacionales e internacionales, por lo que se debe reali- zar un corte final.

Debido a problemas de formado de las conexiones y de la tuberfa, existen imperfecciones en las conexiones, di- chas imperfecciones son eliminadas mediante herramien- tas neumáticas manuales (moto-tool y roto-lijadora), de la misma manera se eliminan defectos de la costura inte rior y exterior.

e) TRATAMIENTO TERMICO

Las conexiones deberán tener un precalentamiento, para obtener una temperatura aproximada de 150 a 200°C e introducir las al horno en buenas condiciones para su tratamiento.

La norma ASTM-A-312 indica que las conexiones deberán ser tratadas térmicamente a una temperatura mínima de 1040°C.

De acuerdo a numerosas pruebas de laboratorio (análisis químicos, pruebas físicas, estudios metalográficos, pruebas de corrosión), se encontró que la temperatura ideal es de 1150°C; el tiempo no lo marca la norma, pero de acuerdo a dichas pruebas se han establecido tres y cinco minutos para cédulas 10 y 40 respectivamente.

f) GRANALLADO

Esta parte del proceso no está regida por normas, es un acabado único en México.

Consiste en dar un acabado semejante a la cáscara de naranja y se logra en una máquina con movimiento giratorio, dentro de un cilindro mediante un ataque con pequeños balines de acero inoxidable.

g) BISELADO

Debido a que las conexiones serán soldadas a la tubería, deberán tener un bisel. Este se maquinará de acuerdo a la norma ANSI B16.9, la cual nos indica un ángulo de $37.5^\circ \pm 2.5^\circ$ y una parte plana con un espesor de $0.062" \pm 0.031"$, esto nos dice que el ángulo puede variar de 35° a 40° y la parte plana de $0.031"$ a $0.093"$.

h) DIMENSIONADO

Debido al proceso de formado, las conexiones sufren alteraciones en sus diámetros interior o exterior (cerrados o abiertos), principalmente debido al espesor de pared, por lo que se requiere dar las dimensiones de acuerdo a la norma ANSI-B16.9, dentro de las tolerancias requeridas por dicha norma.

Al hacer notar el espesor de pared como influencia en la variación de diámetros, se quiere expresar que éstos fluctúan entre tolerancias mínimas y máximas.

i) DECAPADO

Consiste en la eliminación de impurezas propias del tratamiento térmico (escamas de óxido), así como estabilizar el óxido de cromo en la superficie de la conexión, esto se realiza mediante inmersión en una solución de ácido nítrico, ácido fluorhídrico y agua. La película de óxido de cromo favorece la resistencia a la corrosión.

j) SAND BLAST

Este es un proceso que consiste en dar un acabado mate a las conexiones. Este proceso no está regido por normas y consiste en un ataque de microesferas de vidrio, manual y directo, para eliminar el acabado brillante del granallado.

k) ELECTRO MARCADO

El marcado para las conexiones de acero inoxidable, es un estampado por medio de electrólisis, mediante un transformador de corriente alterna, solución de cloruro de sodio, agua y papel stencil. Los datos que tendrá el marcado están registrados por la norma MSS SP-25.

Datos de marcado

Marca del fabricante	X
Medida	mm. y pulgadas
Cédula	C-10 6 40 WP
Norma de fabricación	A-403
Tipo	304-316

Cuando por el tamaño de la conexión no sea posible marcarse con todos los datos, se procederá a omitirlos en sentido contrario a lo expuesto anteriormente.

1) EMPAQUE

Al verificar que el marcado es correcto, se procede a empacar las conexiones en bolsas de polietileno, éstas con el motivo de protegerlas del polvo y posibles manchas a que están expuestas debido al movimiento de materiales, ya que es manual. Asimismo se trata de evitar el choque entre ellas mismas ocasionando que se dañen los biseles. Posteriormente se procede a empacar en cajas de cartón.

m) ALMACEN DE PRODUCTO TERMINADO

Empaquetadas en cajas de cartón, las conexiones son entregadas al Almacén de Productos Terminados para su distribución al cliente.

DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS CONEXIONES SOLDABLES DE
ACERO INOXIDABLE AUSTENITICO

87

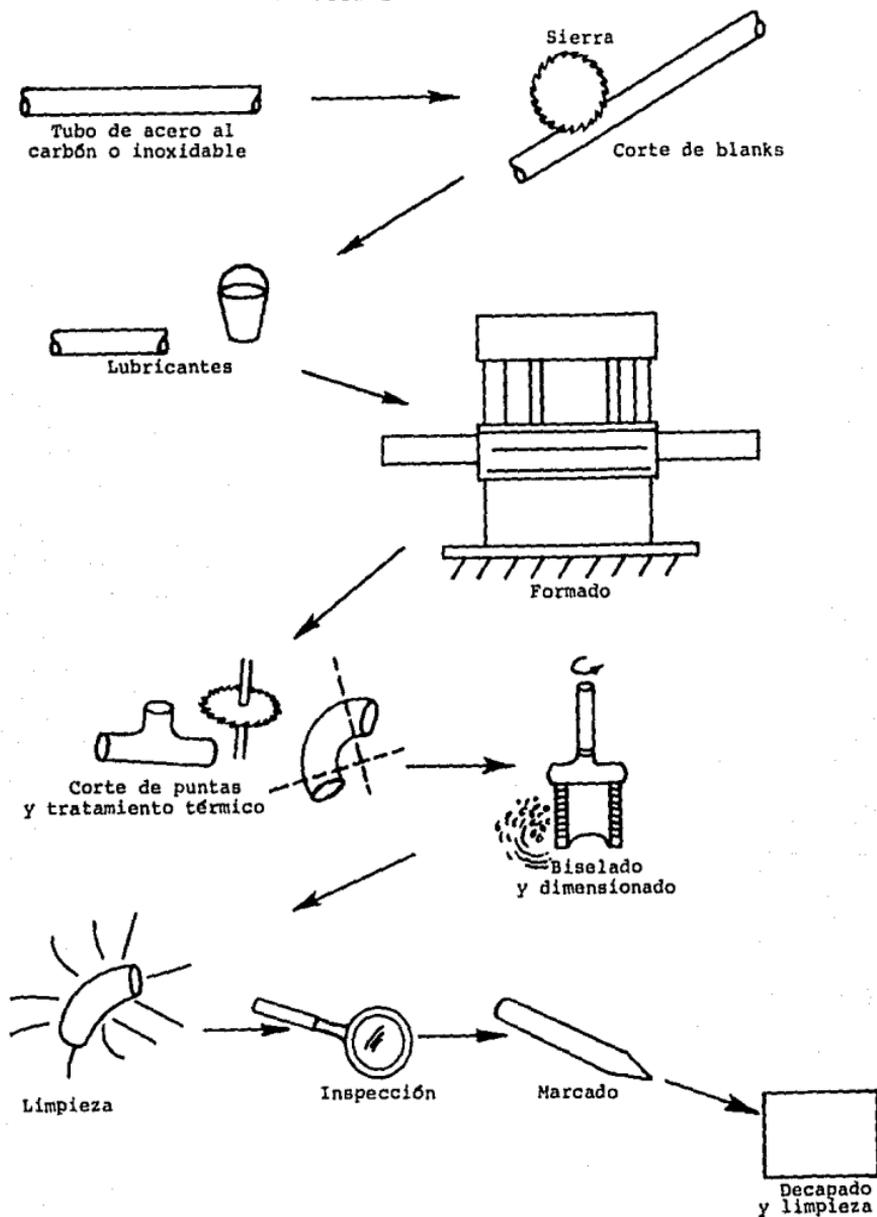


DIAGRAMA DE FLUJO CODOS Y TES ACERO INOXIDABLE

<u>Núm.</u>	<u>Nombre</u>	<u>Descripción</u>		
1	Corte inicial	Se corta el tubo (blank) de acuerdo a las especificaciones del departamento de Ingeniería		
2	Preparado	Se eliminan las rebabas con esmeril para proteger los dados		
3	Primer lubricante	Es aplicado al tubo para protección de los dados		
4	Segundo lubricante	Se aplica húmedo en el momento de formar	Vaciado de cera	Se llena el blank de cera
5	Formado	Como su nombre lo indica en este paso se forma el codo o te		
6	Corte final	Se cortan los excedentes	Recuperación cera	Se funde la cera
7	Horno	Se hornea para relevar esfuerzos y tensiones		
8	Granallado	Se obtiene un acabado terso en toda la superficie		
9	Dimensionado	Se dan las dimensiones de acuerdo a las normas		
10	Biselado	Se maquinan los biselos de acuerdo a las normas		
11	Decapado	Se da acabado brillante		
12	Marcado	Se marcan los codos de acuerdo a las normas		

4.3. CONTROL DE CALIDAD Y NORMAS

4.3.1. CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad que se lleva en la fabricación de conexiones soldables de acero inoxidable, se efectúa durante todo el proceso de fabricación y lo podemos resumir en los siguientes puntos:

1. Se inicia al verificar que la materia prima o sea que el tubo cumple con las características mecánicas, físicas y químicas según se establece en las normas ASTM-A-312 y ASTM-A-409.
2. Verificación que exista uniformidad en el espesor de las paredes de la pieza después del formado.
3. Deberán estar perfectamente a escuadra tanto codos como tes.
4. Concentricidad en los extremos (diámetro exterior vs. diámetro interior).
5. Tersura en las superficies interior y exterior, deberá estar libre de cualquier tipo de asperezas.
6. Verificar las tolerancias de ovalamiento en cualquier punto según se indica en la norma correspondiente.
7. Verificar el tratamiento térmico que se le aplica (tiempo de tratamiento, temperatura, etc.).
8. Limpieza de la pieza después del decapado químico.
9. Angulos correctos en el bisel del extremo.

10. Y en general, verificar que cumpla 100% con las normas de fabricación ASTM, ANSI, MSS.

4.3.2. MATERIA PRIMA

La primera inspección se lleva a cabo en la materia prima. El departamento de Control de Calidad debe verificar que se cumplan los siguientes requisitos para la materia prima de las conexiones soldables a tope.

- a) Certificado de pruebas físico-químicas
- b) El diámetro exterior debe estar en el rango correcto según la tolerancia
- c) El espesor de pared debe tener una tolerancia
- d) Debe cumplirse la tolerancia para el peso nominal por metro
- e) La dureza máxima en escala Brinell, Rockwell o Vickers; debe cumplirse

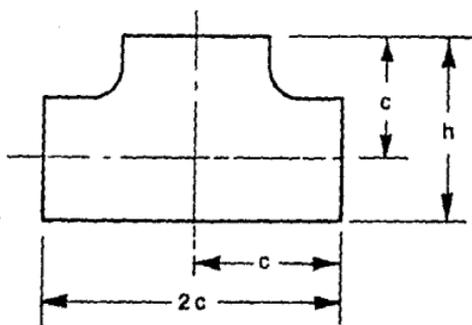
4.3.3. PARTES MAQUINADAS

Al cortar el tramo de tubo (blank), debe hacerse con un ángulo de cero grados respetando también una tolerancia.

Control de Calidad hace muestreos de blanks para verificar que su peso varíe en el rango requerido.

Después de formado se verifica que haya simetría con la tolerancia requerida.

Ejemplo: En una te de 2" cédula 40, la mitad de su largo es $C = 2 \frac{1}{2}'' \pm \frac{1}{16}''$ y su altura es $h = 3 \frac{11}{16}'' \pm \frac{1}{16}''$.



El espesor debe ser uniforme. Si en un codo se hiciera un corte en un ángulo cualquiera, debería haber una perfecta redondez para que éste quede ajustado perfectamente al ser soldado.

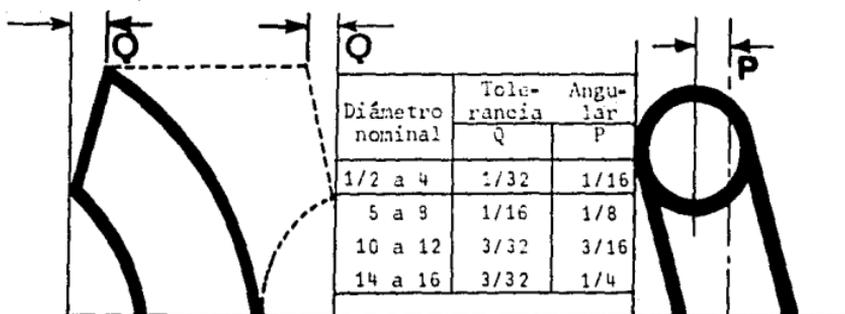
Para una te de 2", cédula 40:

Se verifica que el espesor de pared de la burbuja en dicha te, sea de 0.154". Si fuera inferior a 0.135" se desecha (el 87 1/2% de 0.154" es 0.135").

El tratamiento térmico debe variar entre 593° y 677° en un tiempo de 9.2 minutos (1 hora/pulgada de espesor) para el caso de la Te de 2".

4.3.4. REVISION FINAL

Control de Calidad debe revisar las dimensiones de los biseles que se indicaron anteriormente dependiendo del espesor nominal de pared.



DIMENSIONES DE LAS CONEXIONES EN FUNCION DE SU DIAMETRO NOMINAL (PULG.)

4.3.5. PRUEBAS

La prueba hidrostática no la requieren las normas utilizadas. Sin embargo, se especifica en ellas que todas las conexiones deben soportar sin fuga una presión de prueba igual a la prescrita en la especificación del tubo, con el cual se va a acoplar la conexión.

En la norma MSS SP-43 para conexiones soldables a tope, se especifica que la presión de prueba hidrostática aplicada a una conexión es:

$$P = \frac{2 St}{D}$$

donde:

P = Presión de prueba hidrostática máxima en Lb/pulg.²

S = 0.50 veces el límite de fluencia especificada en Lb/pulg.²

T = Espesor de pared nominal en pulgadas

D = Diámetro exterior en el bisel en pulgadas

4.3.6. NORMAS DE FABRICACION

Las conexiones soldables de acero inoxidable se rigen bajo las siguientes normas de fabricación:

ASTM-A-403

American Society for Testing and Materials
Standard specification for wrought austenitic stainless steel

nitic stainless steel piping fittings.

Norma general de fabricación.

ASTM-A-312

American Society for Testing and Materials
Standard specification for seamless and
welded austenitic stainless steel pipe.

Norma que rige al tubo y por consiguiente
a las conexiones.

ANSI-B-16.0

American National Standard Institute
Standardization of pipe flanges and fittings

Norma que rige las dimensiones y toleran-
cias de cada una de las conexiones en cédu
las 40 y 80.

MSS-SP-25

Manufacturers standardization society
Standard marking system for valves, fitt-
ings flanges and unions.

Norma que rige el mercado del producto.

CONCLUSIONES

La demanda de acero inoxidable está aumentando considerablemente a nivel mundial.

México actualmente está produciendo la tubería necesaria para su consumo; sin embargo, el hecho de que el fleje de acero inoxidable (materia prima para la elaboración del tubo), sea de importación (Japón, E.U.A., Francia, Suecia, etc.), refleja un constante incremento en su precio.

El consumo de acero inoxidable está repartido en diferentes sectores de la industria (cocinas, muebles, cubiertos, automóviles, tubería, etc.), siendo el más importante de éstos el que concierne a la tubería, cuyo consumo es aproximadamente del 15% del total del acero inoxidable importado.

Asimismo, en México la demanda de fleje de acero inoxidable está concentrada en el Distrito Federal, Edo. de México., Monterrey y Guadalajara, siendo dicha concentración el 90% del consumo nacional.

De igual manera, comparando el consumo nacional con el consumo de Japón (máximo consumidor mundial), México consume el 1% del consumo promedio de Japón.

Por lo tanto, podemos suponer que el consumo de acero inoxidable crece a medida en que aumenta el desarrollo industrial de un país, por lo que es de esperarse que la demanda aumente en los países en vías de desarrollo como México.

Debido a ésto y al alto costo de la importación del fleje, en 1973 "Fundidora Monterrey" y la empresa francesa "Ugine Aceirs", tomaron la decisión de formar una sociedad en Méxi--

co, con el objeto de producir acero inoxidable, en particular en la forma de productos planos.

Así se formalizó la sociedad MEXINOX que tuvo el encargo de realizar dicho proyecto.

Sin embargo, después de un largo estudio que terminó en 1980, el proyecto fracasó, ya que no es sencillo acometer la producción de acero inoxidable en un país en vías de desarrollo industrial como el nuestro, que aún no alcanza niveles de consumo suficientemente altos.

En primer lugar, las inversiones requeridas eran demasiado altas en esa época, y por lo tanto, actualmente resultaría imposible llevarlas a cabo debido a la situación económica nacional.

En segundo lugar, la tecnología necesaria es compleja y sería indispensable además, disponer de equipos en la industria siderúrgica básica para complementar las instalaciones que exclusivamente se destinan a la producción de acero inoxidable.

Por lo tanto, de momento no existe otra alternativa más que seguir importando el fleje, aunque debido a que los volúmenes de tubería de acero inoxidable tienden a aumentar a medida en que se desarrolla la industria, el hecho de que México cuente con plantas para la fabricación de la tubería de acero inoxidable demandada, proporciona las siguientes ventajas:

1. Contribuye a la política trazada por el Gobierno.
2. Constituye una fuente de empleo directo para cientos de personas.
3. Propicia el establecimiento y desarrollo de empresas de---

rivadas del acero inoxidable, con los correspondientes -
efectos multiplicadores de empleos.

4. Constituye una fuente de ahorro de divisas para el país, -
por substitución de importaciones.

BIBLIOGRAFIA

- TECHNICAL DATA
TI Chesterfield Limited
Stainless Steel Division Second Edition 1978
- EL ACERO INOXIDABLE Y SU DESARROLLO EN MÉXICO
Mexinox, S.A. 1975
- DATOS TÉCNICOS SOBRE TUBERÍA DE ACERO INOXIDABLE
Asociación Técnica del Acero Inoxidable 1a. Edición, 1982
- BOLETINES INFORMATIVOS
Asociación Técnica del Acero Inoxidable, 1983
- INFORMACIÓN DE GILSA COMERCIAL (GRUPO LANZAGORTA), 1984
- EXPERIMENTAL STRESS ANALYSIS
Cook N.H. y E. Rabinowics, 1981
- ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS, 1978
American Society for Testing and Materials
- STAINLESS STEEL TUBING AND PIPE
Republic Electronite Enduro, 1982
- RESISTENCIA DE MATERIALES
William A. Wash, 1978
- TUBERÍA DE ACERO INOXIDABLE TUBIX
Unión Mex, S.A. de C.V. 1982
- MANGUERAS METÁLICAS PROPIEDADES
Manguera Flex, S.A. de C.V. 1982

- CONEXIONES SOLDABLES RESISTENTES A LA CORROSIÓN
Speedmex, S.A. de C.V. 1982
- CONEXIONES SOLDABLES A TOPE
Magna, Speedmex, S.A. de C.V. 1982
- ACADEMIA MEXICANA DE INGENIERÍA
Alternativas Tecnológicas de Crecimiento de la Industria Si
derúrgica Mexicana, México 1980
- STAINLESS STEEL PIPE
American National Standard ANSI (1976)
The American Society of Mechanical Engineers
- MANUFACTURERS STANDARDIZATION SOCIETY - STANDARD PRACTICE
MSS - SP - 25, 1969