

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN TECNOLÓGICA

**CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA ENSAYOS
DE JUNTAS SOLDADAS**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
TECNÓLOGO EN PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA**

LENIN XAVIER AGUIRRE REVELO

DIRECTOR: ING. HOMERO BARRAGÁN

QUITO, ENERO 2008

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por LENIN XAVIER AGUIRRE REVELO, bajo mi supervisión.

.....

Ing. HOMERO BARRAGÁN
DIRECTOR DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Yo, LENIN XAVIER AGUIRRE REVELO, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

LENIN XAVIER AGUIRRE REVELO

DEDICATORIA

El presente proyecto quiero dedicar a mi familia, en especial a mis padres que con mucho cariño han guiado mi vida y han sabido despertar en mí las ganas para emprender los retos que se presenten en la vida. A mi madre Marina Revelo que ha sido mi apoyo incondicional, que me ha guiado, me aconsejado para que sea un hombre de bien, ser responsable con mis actos y sobre todo no desconocer mis raíces.

A mi padre Antonio Aguirre, que con su ejemplo de honradez, respeto por los demás, serenidad y trabajador, me ha enseñado que el título de señor se lo gana en la vida con buenas acciones y decisiones acertadas, además me enseñó que todas las cosas hay que ganárselas por esfuerzo propio.

A mis hermanos Wilson, Cecilia, Marlon y Esmeralda, que han sido mi orgullo y mi razón de vivir, los mismos que me apoyaron de una manera excepcional para poder alcanzar mi objetivo.

También, deseo dedicar con mucho cariño a mi novia Mariela y a mi linda hija Jennifer, las cuales me dan fuerzas para seguir adelante, y sobre todo son mi inspiración de cada día.

AGRADECIMIENTO

A DIOS agradezco por darme la vida y por ser como soy, por haberme privilegiado con todos los sentidos y con todas las facultades para llevar a cabo todas mis labores diarias. El me ha dado la fortaleza, me ha guiado en los momentos más difíciles y las ganas para terminar una de mis metas.

Un especial agradecimiento a mis Padres, por haberme enseñado que las cosas mas gratificantes en la vida son las que se ganan con esfuerzo y dedicación, gracias por todo lo que hicieron por mi, a pesar de ser una familia humilde, me apoyaron para poder salir adelante y cumplir mis metas.

Gracias de todo corazón a mis hermanos, por su apoyo, por sus consejos, ya que de una u otra manera han querido que sea un hombre de bien y un excelente profesional.

También quiero agradecer, al Ing. Homero Barragán que supo ser mi maestro, para llevar este proyecto a su culminación y poder guiar de la mejor manera mis esfuerzos.

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	II
DECLARACIÓN	III
DEDICATORIA	IV
AGREDECIMEINTO	V

Páginas

RESÚMEN	1
INTRODUCCIÒN	2

CAPITULO I

LOS ACEROS EN CONSTRUCCIONES SOLDADAS	3
1.1 DEFINICIÒN Y APLICACIONES.....	3
1.2 CLASIFICACIÒN DE LOS ACEROS.....	5
1.3 CLASIFICACIÒN DE ACUERDO A LA NORMA API 5L.....	18
1.4 CLASIFICACIÒN DE ACUERDO A LA NORMA ASME IX.....	22
1.5 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.....	31

CAPITULO II

CONCEPTOS BÁSICOS DE SOLDADURA	34
2.1 DEFINICIÒN DE SOLDADURA.....	34
2.2 SOLDABILIDAD.....	34
2.3 DISCONTINUIDADES EN LA SOLDADURA.....	36
2.4 NORMAS DE ADMISIBILIDAD.....	41

CAPITULO III

PROCESO DE CALIFICACIÓN EN SOLDADURA	43
3.1 ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA(WPS).....	43
3.2 CALIFICACIÓN DE PROCEDIMEINTOS (PQR).....	43
3.3 REPORTE DE CALIFICACIÓN DEL SOLDADOR(WPQ).....	44
3.3.1 CALIFICACIÓN SIMPLE.....	45
3.3.2 CALIFICACIÓN MULTIPLE.....	46
3.4 INSPECCIÓN VISUAL.....	50
3.5 VARIABLES ESENCIALES.....	50
3.6 VARIABLES SUPLEMENTARIAS ESENCIALES.....	51
3.7 ENSAYO DE DOBLADO DE SOLDADURA NORMA API1104.....	51
3.8 ENSAYO DE DOBLADO DE SOLDADURA NORMA ASME.....	55

CAPITULO IV

DIMENSIONAMIENTO DE LA MÀQUINA	59
4.1 SELECIÒN DE MATERIALES.....	59
4.2 MATERIALES USADOS EN LA CONSTRUCCIÒN DE LA MÀQUINA.....	62
4.3 CÁLCULO DEL TONELAJE DEL GATO HIDRÀULICO.....	63
4.4 CÁLCULO DE ESFUERZOS DE FLEXIÒN EN LA ESTRUCTURA INFERIOR.....	64
4.5 CÁLCULO DE ESFUERZOS DE COMPRESIÒN EN LAS COLUMNAS INFERIORES.....	66
4.6 CÁLCULO DE ESFUERZOS DE FLEXIÒN EN LA VIGA SUPERIOR.....	67
4.7 CÁLCULO DE ESFUERZOS DE TRACCIÒN EN LAS COLUMNAS SUPERIORES.....	68
4.8 CARACTERÍSTICAS Y SELECCIÒN DEL RESORTE DE RETORNO.....	70

CAPITULO V

PROCESOS CONSTRUCTIVOS	74
-------------------------------------	----

5.1 PROCESOS DE REDUCCIÓN DE MASA.....	74
5.2 PROCESOS DE CONSERVACIÓN DE MASA.....	74
5.3 PROCESOS DE ENSAMBLE Y UNIÓN.....	75
5.4 CLASIFICACIÓN DE LAS MAQUINAS HERRAMIENTAS.....	75
5.5 HOJAS DE PROCESOS DE LA FABRICACIÓN DE LA MATRICES ASME IX Y API 1104.....	81

CONCLUSIONES.....	89
--------------------------	-----------

RECOMENDACIONES.....	90
-----------------------------	-----------

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
--	-----------

ANEXO A. PLANOS DE COSNTRUCCIÓN.....	93
---	-----------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Clasificación de los aceros por su contenido de carbono.....	11
Tabla1.2. Clasificación de los aceros de acuerdo a la norma API 5L.....	18
Tabla1.3 Propiedades Mecánicas y Requerimientos de tracción PSL (Product specification level) 1.....	18
Tabla1.4 Requerimientos de tracción para PSL (Product specification level) 2.....	19
Tabla 1.5 Requerimientos químicos por colada y Análisis de producto en porcentaje de peso para PSL 1.....	20
Tabla 1.6 Requerimientos químicos por colada y Análisis de producto en porcentaje de peso para PSL 2.....	21
Tabla 1.7 Clasificación de los aceros de acuerdo a la norma ASME IX.....	22
Tabla 3.1 Clasificación del metal de aporte según el número de grupo.....	50
Tabla 3.2 Tipos y números de pruebas de doblado de raíz y de cara.....	56
Tabla 4.1 Propiedades de los Materiales.....	61

Tabla 4.2 Materiales para la construcción de la prensa.....	61
Tabla 4.3 Materiales e índices de fabricación de resortes.....	72
Tabla. 4.4 Perfiles IPN de acuerdo a la norma UNE 36-526-94.....	73
Tabla 5.1 Clasificación de las maquinas herramientas	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 Horno Bessemer.....	6
Fig. 1.2 Horno Eléctrico.....	8
Fig. 1.3 Proceso de fabricación del acero.....	9
Fig. 1.4 Diagrama Hierro-Carbono.....	12
Fig. 1.5 Micro estructura de la ferrita.....	13
Fig. 1.6 Micro estructura de la cementita.....	14
Fig. 1.7 Micro estructura de la perlita.....	15
Fig. 1.8 Micro estructura de la austerita.....	16
Fig. 1.9. Micro estructura de la martensita.....	15
Fig. 1.10. Micro estructura de la troostita.....	17
Fig. 1.11 Micro estructura de la sorbita.....	17
Fig. 1.12 Diagrama de esfuerzo-deformación.....	31
Figura 2.1. Porosidades.....	37
Figura 2.2 Fusión incompleta.....	38
Figura 2.3 Falta de penetración.....	38
Figura 2.4 Inclusión de escoria.....	39
Figura 2.5 Socavamiento.....	40
Figura 2.6. Grietas.....	41
Figura 3.1 Posiciones de Soldadura.....	49
.Figura 3.2 Tipos de juntas.....	50
Fig.3.3 Probeta ensayada.....	52
Figura 3.4 Probetas para el ensayo de doblado de raíz y de cara.....	53
Figura 3.5 Matriz de doblado especificado en la norma API 1104.....	54
FIGURA 3.6 Matriz de doblado especificado en la norma ASME IX.....	57
Figura 3.7 Ensayo de doblado de doblado con rodillo.....	57
Figura 3.8 Ensayo alternativo de doblado con rodillos en tres puntos y descarga la probeta por la parte inferior.....	58

Figura 4.1	Parámetros en las selección de materiales.....	60
Figura 4.2	Estructura de la Prensa Hidráulica.....	71
Figura 5.1	Máquinas herramientas con arranque de viruta.....	75
Figura 5.2	Torno convencional.....	77
Figura 5.3	Fresadora convencional.....	78
Figura 5.4	Taladro de Pedestal.....	78
Figura 5.5	Cepilladora Horizontal.....	79
Figura 5.6	Sierra Manual.....	79
Figura 5.7	Pulidora de superficies.....	80

RESUMEN

Al construir una Máquina para Ensayos de doblado de probetas soldadas se pensó siempre en poder mejorar el proceso de ensayo, ayudar en aprendizaje de nuestros estudiantes y además satisfacer las necesidades del medio exterior que demanda con frecuencia este tipo de ensayos mecánicos.

Este ensayo permite determinar propiedades mecánicas de la soldadura, muy importantes y esenciales en la producción industrial, y que sirven para calificación de soldadores, procedimientos de soldadura, materiales, por cuanto el mismo podemos juzgar la ductilidad de los materiales. Las características de este ensayo se especifican en la norma ASME IX Y API 1104, en las cuales se muestra todo lo relacionado a este ensayo, la instalación necesaria, sus dispositivos, el proceso, las probetas y las condiciones de admisibilidad.

Para la construcción de esta máquina se usaron herramientas, procesos, conceptos y conocimientos mecánicos, los cuales están relacionados al proceso constructivo.

Con la construcción de esta máquina para ensayos de doblado de piezas soldadas, se optimiza el proceso, y se obtiene datos reales y eficaces, de este modo podemos interpretar resultados y tomar decisiones correctas en la producción por soldadura.

INTRODUCCIÓN

La construcción de la Máquina para Ensayos de Soldadura tiene como finalidad mejorar la enseñanza teórica, práctica, que nos transmiten nuestros profesores en los laboratorios, especialmente en el Laboratorio de Soldadura.

Este dispositivo permitirá apoyar tanto al medio interno como al exterior de la universidad, ya que en nuestro país existe una gran demanda para realizar los ensayos de doblado de piezas soldadas y materiales.

En la actualidad la universidad tiene algunos dispositivos para realizar este proceso, y satisfacer la demanda existente, pero no son lo suficientemente aptos, por lo cual se tomó la decisión de construir un dispositivo que sea lo suficientemente capaz, de fácil uso, fácil montaje, el mismo que permita obtener resultados reales, ayudando así, en el campo productivo en la toma de decisiones y evitando tener desgracias humanas o pérdidas materiales.

Para la fabricación de este dispositivo se aplicará conceptos y procesos de fabricación aprendidos a lo largo de nuestra formación profesional, siendo un apoyo muy útil y práctico para la realización de este equipo.

CAPÍTULO I

1. LOS ACEROS EN CONSTRUCCIONES SOLDADAS

Para la construcción de la máquina de ensayos de doblado es necesario realizar un estudio general de los aceros, ya que los ensayos que se van a realizar son de probetas de acero al carbono, aceros aleados, de los cuales se podrá determinar las propiedades, tal como la ductilidad del material soldado. A continuación se va definir y a detallar las aplicaciones de los aceros usados en construcciones soldadas.¹

1.1 DEFINICIÓN Y APLICACIONES

1.1.1 DEFINICIÓN

El acero es el principal producto siderúrgico utilizado en construcciones soldadas, especialmente el 90% son aceros al carbono y el 10% son aceros aleados, por lo que el material mas importante usado en la industria es el acero al carbono.

El acero es una aleación de composición química compleja, con una aleación de hierro que contiene entre un 0,04 y un 2,25% de carbono y a la que se añaden elementos como níquel, cromo, manganeso, silicio o vanadio, entre otros, para mejorar sus características industriales. El acero combina la resistencia y la posibilidad de ser trabajado, lo que se presta para fabricaciones mediante muchos métodos. Además, sus propiedades pueden ser manejadas de acuerdo a las necesidades específicas mediante tratamientos con calor, trabajo mecánico, o mediante aleaciones.

Con las investigaciones que se han venido haciendo para poder satisfacer las necesidades en el área industrial, se esta obteniendo cada vez aceros más resistentes, con propiedades y características excepcionales; aceros más soldables, con la ayuda de tecnología de punta y usando normas de fabricación establecidas por los organismos internacionales.

1. VAN Lawrence, "Tecnología de Materiales", Ed: Fondo Educativo Interamericano, México, 1984. Pág. 40

En el campo industrial el acero tiene muchas aplicaciones que se anotan a continuación.

1.1.1 APLICACIONES

El acero es uno de los materiales más usados en la industria por lo que tiene diversas aplicaciones, dependiendo de las propiedades y características de cada material.

Los diversos tipos de acero de acuerdo a las necesidades industriales se agrupan en dos bloques que se explican a continuación: acero para construcciones (o acero de construcción) y acero de herramientas. Dentro de estos dos grupos hay aceros sin alea que contienen de 0.06 a 1.5% de carbono

a) ACEROS PARA CONSTRUCCIONES

Se llaman así a los aceros que sirven tanto para fabricación de bienes de servicio (estructuras metálicas) como para la fabricación de piezas o elementos (bienes de capital) de máquinas. Los aceros para construcciones constituyen más del 90% de la fabricación total del acero. Hay aceros para construcciones que han de satisfacer las más fuertes exigencias.

Se incluyen los aceros cuyas propiedades dependen principalmente del porcentaje de carbono que contienen. Se emplean en grandes cantidades para la construcción de estructuras metálicas de edificios, para elementos y piezas de maquinaria, motores, ferrocarriles, etc., y su contenido de carbono suele variar desde 0.03 a 0.70%. Además siempre contienen pequeñas cantidades de manganeso y silicio que se emplean como elementos auxiliares en los procesos de fabricación, fósforo y azufre que son impurezas perjudiciales que provienen de las materias primas (lingotes, chatarra, combustibles y minerales). De acuerdo con las propiedades mecánicas, se establecen una serie de grupos de aceros ordenados por su resistencia a la tracción. Cuando se desean resistencias de 38 a 55 Kg/mm² se emplean aceros en bruto de forja o laminación. Para resistencias de 55 a 80 Kg/mm² se emplean

los aceros al carbono en bruto de forja y laminación, y otras veces se emplean los aceros al carbono tratados (templados y revenidos), para resistencias superiores a 80 Kg/mm² se suelen emplear aceros tratados

b) ACEROS DE HERRAMIENTAS

Los aceros de herramientas sirven para trabajar otros materiales con o sin arranque de viruta.

En los aceros para herramientas sin alear cuyo contenido de carbono va de 0.5 a 1.5% C. Cuando más elevado sea el contenido de carbono mayor será la dureza y resistencia alcanzada. Los aceros de herramientas sin alear se templan a 760° hasta 850° C y según el empleo que hayan de tener se revienen a 200° C hasta 300° C. La temperatura de forja de los aceros para herramientas sin alear está comprendida entre los 800° C y los 1000° C.

1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS

Los aceros se pueden clasificar de acuerdo al proceso de fabricación, por el contenido de carbono, por su estructura de fase, etc. Sin embargo también se pueden clasificar de acuerdo a las normas: API 5L, y ASME IX, por cuanto tienen una aplicación amplia en la industria petrolera especialmente.

1.2.1 POR EL PROCESO DE PRODUCCIÓN

Según la fabricación los aceros se los puede obtener mediante los procesos:

- Aceros en Horno Bessemer
- Aceros al crisol abierto
- Aceros en hornos eléctricos

El acero se obtiene a partir de la fundición del hierro procedente de los altos hornos y la chatarra recuperada, reduciendo su contenido de carbono hasta un máximo de carbono del 1.7 %, al ser oxidado por una corriente de aire a presión.

1.2.1.1 ACEROS EN HORNO BESSEMER

Es el proceso más antiguo de fabricación, el cual emplea un horno de gran altura en forma de pera, que podía inclinarse en sentido lateral para la carga y el vertido, se utiliza un flujo considerable de oxígeno, este se combina con el carbono y otros elementos no deseados e inicia una reacción de agitación que quema con rapidez las impurezas del arrabio (material fundido que se obtiene en el alto horno mediante reducción del mineral de hierro) y lo transforma en acero. El proceso de refinado tarda 50 minutos o menos, y es posible fabricar unas 275 toneladas de acero en una hora.

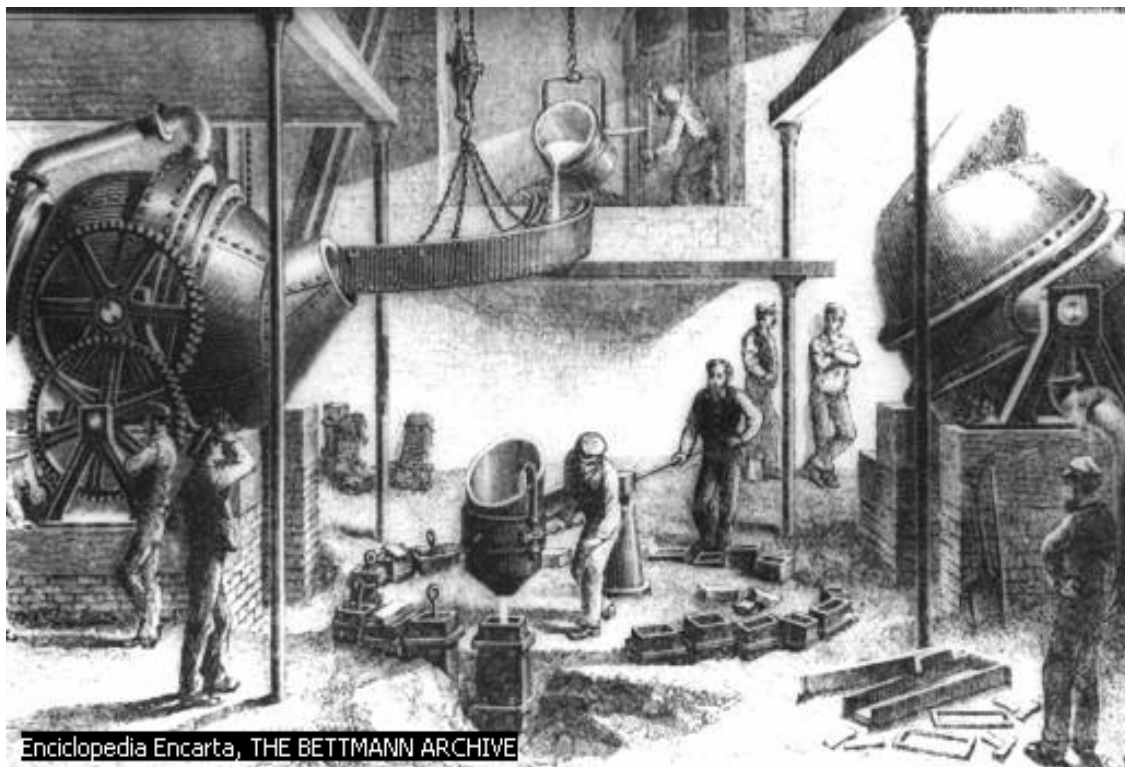


Fig. 1.1. Horno Bessemer

1.2.1.2 PROCESO DE CRISOL ABIERTO

Este tipo de horno funciona a altas temperaturas gracias al precalentado regenerativo del combustible gaseoso y el aire empleados para la combustión. En el precalentado regenerativo los gases que escapan del horno se hacen pasar por una serie de cámaras llenas de ladrillos, a los que ceden la mayor parte de su calor. A continuación se invierte el flujo a través del horno, el combustible y el aire pasan a través de las cámaras y son calentados por los ladrillos. Con este método, los hornos de crisol abierto alcanzan temperaturas de hasta 1650 °C.

El horno propiamente dicho suele ser un crisol de ladrillo plano y rectangular de unos 6 × 10 m, con un techo de unos 2,5 m de altura. Una serie de puertas da a una planta de trabajo situada delante del crisol. Todo el crisol y la planta de trabajo están situados a una altura determinada por encima del suelo, y el espacio situado bajo el crisol lo ocupan las cámaras de regeneración de calor del horno. Un horno del tamaño indicado produce unas 100 toneladas de acero cada 11 horas.

1.2.1.3 ACERO DE HORNO ELÉCTRICO

En algunos hornos el calor para fundir y refinar el acero procede de la electricidad y no de la combustión de gas. Como las condiciones de refinado de estos hornos se pueden regular más efectivamente en comparación con los hornos ya explicados anteriormente, los hornos eléctricos son sobre todo útiles para producir acero inoxidable y aceros aleados que deben ser fabricados según especificaciones muy exigentes. El refinado se produce en una cámara hermética, donde la temperatura y otras condiciones se controlan de forma rigurosa mediante dispositivos automáticos.

En las primeras fases de este proceso de refinado se inyecta oxígeno de alta pureza a través de una lanza, lo que aumenta la temperatura del horno y disminuye el tiempo necesario para producir el acero. La cantidad de oxígeno

que entra en el horno puede regularse con precisión en todo momento, lo que evita reacciones de oxidación no deseadas.

En la figura 1.2 se muestra un horno eléctrico.

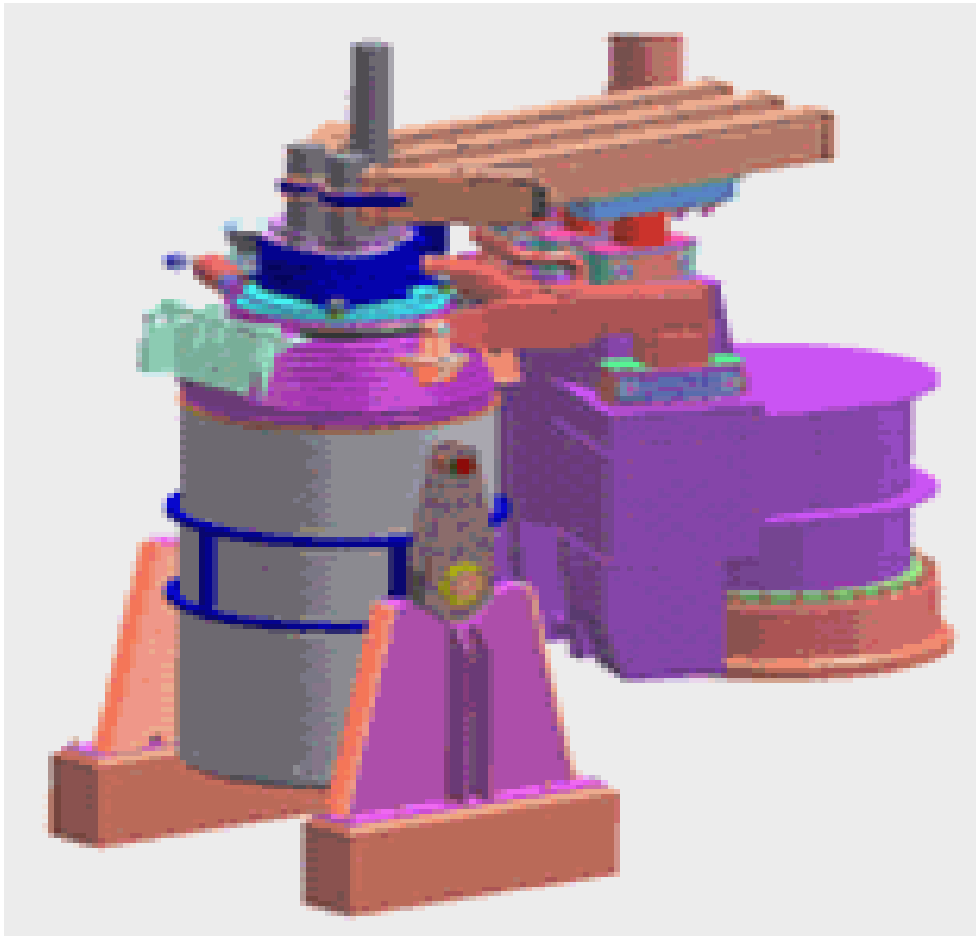


Fig. 1.2. Horno Eléctrico

La figura 1.4 muestra un esquema del proceso de fabricación del acero.

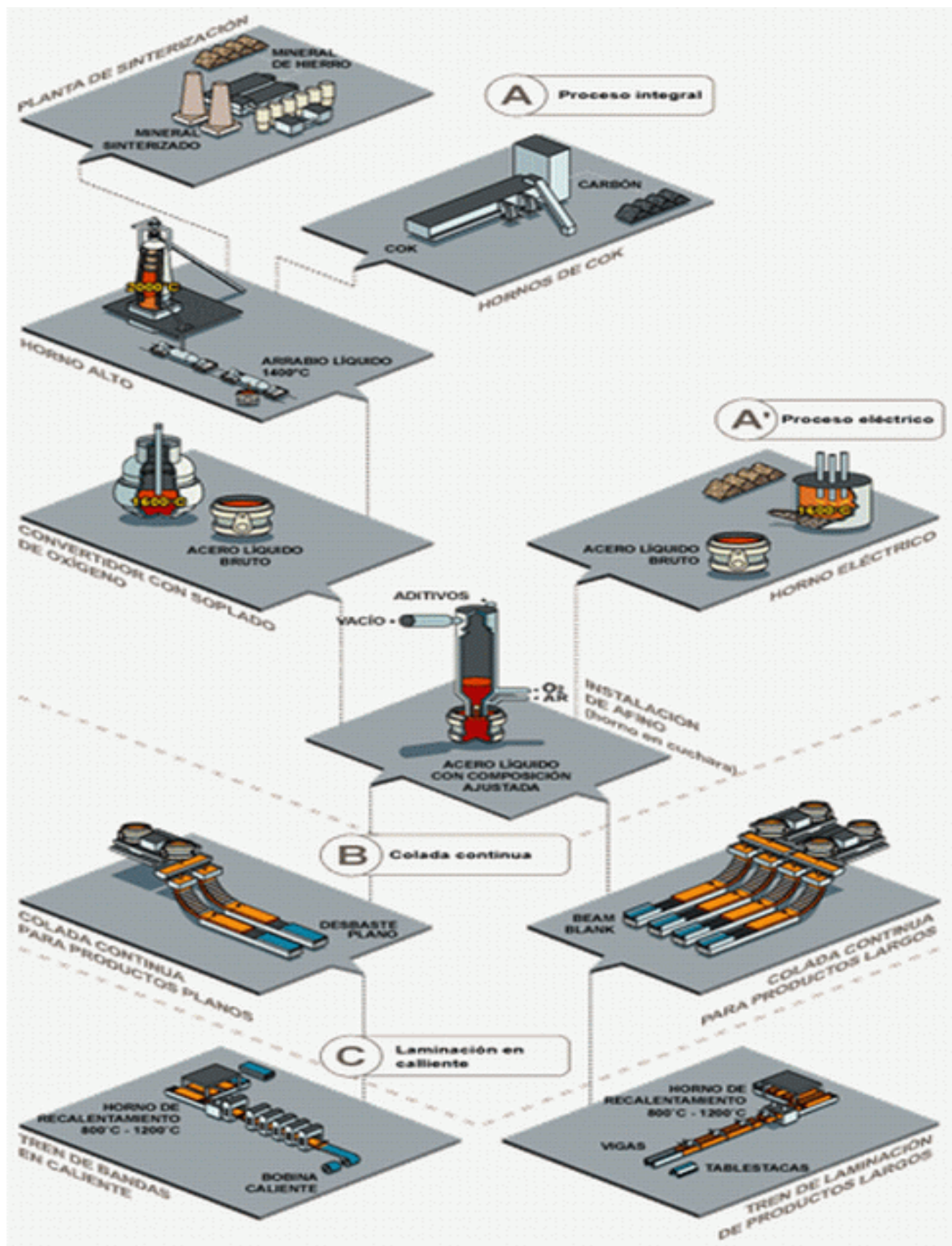


Fig. 1.3. Proceso de fabricación del acero

1.2.2 POR SU CONTENIDO DE CARBONO

El contenido de carbono en los aceros al carbono simple es muy importante ya que de este dependen sus características y propiedades.

Por el porcentaje de carbono los aceros se clasifican en: aceros de bajo contenido de carbono, aceros de medio contenido de carbono, aceros de alto contenido de carbono, se explican a continuación.

1.2.2.1 ACEROS DE BAJO CONTENIDO EN CARBONO

Estos aceros contienen menos del 0.25% C, no adquieren dureza sensible con un temple y son los más dúctiles y blandos de los aceros, no responde de manera apreciable al calentamiento y al enfriamiento por inmersión y por lo común no se endurecen por estos métodos. En las barras y lingotes y las secciones ligeras, se fortalecen por lo general por el trabajo en frío.

Los aceros de 0.06 a 0.25% de carbono, son usados tal como vienen de las acerías, sin darle ningún tratamiento térmico o algún proceso de conformado mecánico para variar las propiedades del material, estos aceros tienen una alta capacidad para ser soldados, en consecuencia a esto se han creado aceros que tienen mayor contenido de carbono como se explica a continuación.

1.2.2.2 ACEROS DE MEDIO CONTENIDO DE CARBONO

Este tipo de acero contiene aproximadamente de 0,30% a 0,50% de carbono. Este contenido de carbono es suficiente para permitir el endurecimiento por lo tanto estas composiciones se pueden someter a tratamiento térmico para mejorar sus propiedades.

1.2.2.3 ACEROS DE ALTO CONTENIDO EN CARBONO

Estos aceros tienen más del 0.55% de carbono, llegan hasta aproximadamente 0.95% de carbono, son aceros más duros, fuertes y menos dúctiles.

Estos aceros poseen mayor cantidad de la fase de carburo duro y son útiles cuando se requiere mayor resistencia, dureza y resistencia al desgaste.

Con el alto contenido de carbono mejora las características mecánicas, facilita la aplicación del tratamiento térmico, disminuye la temperatura de fusión, aumenta la fragilidad, se disminuye la soldabilidad del acero y dificulta el mecanizado.

La tabla 1.1 muestra el porcentaje de carbono y la resistencia de cada tipo de acero.

Porcentaje de Carbono	Denominación	Resistencia
0.1 a 0.2	Aceros extrasuaves	38 - 48 Kg / mm ²
0.2 a 0.3	Aceros suaves	48 - 55 Kg / mm ²
0.3 a 0.4	Aceros semisuaves	55 - 62 Kg / mm ²
0.4 a 0.5	Aceros semiduros	62 - 70 Kg / mm ²
0.5 a 0.6	Aceros duros	70 - 75 Kg / mm ²
0.6 a 0.7	Aceros extraduros	75 - 80 Kg / mm ²

Tabla 1.1 Clasificación de los aceros por su contenido de carbono

1.2.3 POR LA ESTRUCTURA DE FASE ²

Las propiedades físicas de los aceros y su comportamiento a distintas temperaturas dependen sobre todo de la cantidad de carbono y de su distribución en el hierro.

Los constituyentes metálicos que pueden presentarse en los aceros al carbono son los siguientes: ferrita, cementita, perlita, sorbita, troostita, martensita, bainita, y rara vez austenita, aunque nunca como único constituyente. También pueden estar presentes constituyentes no metálicos como óxidos, silicatos, sulfuros y aluminatos.

2. VAN Lawrence, "Tecnología de Materiales", Ed: Fondo Educativo Interamericano, México, 1984. Pág. 55-79

Las micro-estructuras que presenta en el siguiente diagrama de equilibrio para los aceros al carbono mostrados en la figura 1.4, son las siguientes: ferrita, cementita, perlita, austenita, martensita, bainita, troostita, sorbita.

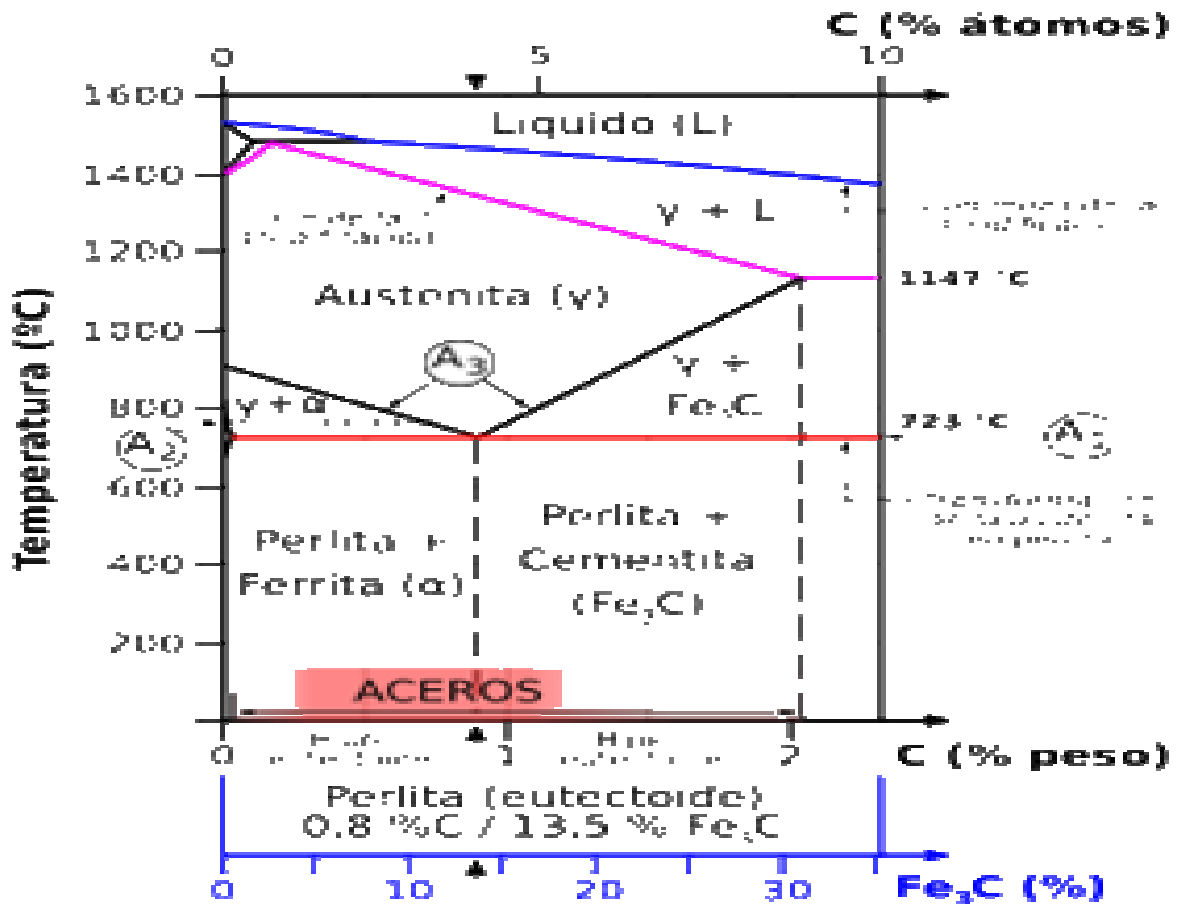


Fig. 1.4. Diagrama Hierro-Carbono

1.2.3.1 FERRITA (Hierro α)

Es una solución sólida de carbono en hierro alfa, su solubilidad a la temperatura ambiente es del orden de 0.008% de carbono, por esto se considera como hierro puro, la máxima solubilidad de carbono en el hierro alfa es de 0,02% a 723 °C.

La ferrita es la fase más blanda y dúctil de los aceros, cristaliza en la red cúbica de cuerpo centrado, tiene una dureza de 90 Brinell y una resistencia a la tracción de 28 kg/mm², llegando hasta un alargamiento del 40%. La ferrita se observa al microscopio como granos poligonales claros, como se observa en la figura 1.5.

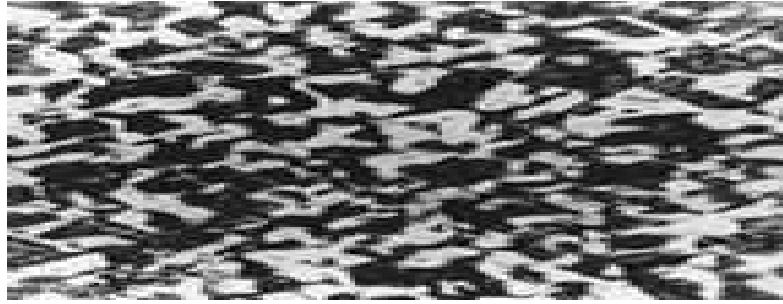


Fig. 1.5. Micro estructura de la ferrita

En los aceros, la ferrita puede aparecer como cristales mezclados con los de perlita, en los aceros de menos de 0.6% C, formando una red o malla que limita los granos de perlita, en los aceros de 0.6 a 0.85% C en forma de agujas o bandas circulares orientados en la dirección de los planos cristalográficos de la austenita como en los aceros en bruto de colada o en aceros que han sido sobrecalentados. Este tipo de estructura se denomina Widmanstätten.

1.2.3.2 CEMENTITA

Es el carburo de hierro de fórmula Fe_3C , contiene 6.67 %C y 93.33 % de hierro, es el micro constituyente más duro y frágil de los aceros al carbono, alcanzando una dureza Brinell de 700 (68 HRc) y cristaliza en la red ortorrómbica

En las probetas atacadas con ácidos se observa de un blanco brillante y aparece como cementita primaria o proeutéctica en los aceros con más de 0.9% C formando una red que envuelve los granos de perlita, formando parte de la perlita como láminas paralelas separadas por otras láminas de ferrita, se presenta en forma de glóbulos o granos dispersos en una matriz de ferrita, cuando los aceros de alto carbono se han sometido a un recocido de globulización, en los aceros hipoeutectoides que no han sido bien templados.

En la siguiente figura 1.6 se observa una micro-estructura de un acero con 1% de carbono.



Fig. 1.6. Micro estructura de la cementita

1.2.3.3 PERLITA

Es el micro constituyente eutectoide formado por capas alternadas de ferrita y cementita, compuesta por el 88 % de ferrita y 12 % de cementita, contiene el 0.8 %C. Tiene una dureza de 250 Brinell, resistencia a la tracción de 80 kg/mm² y un alargamiento del 15%; el nombre de perlita se debe a las irisaciones que adquiere al iluminarla, parecidas a las perlas. La perlita aparece en general en el enfriamiento lento de la austenita y por la transformación isotérmica de la austenita en el rango de 650 a 723° C. En la figura 1.7 se observa una micro-estructura con cristales oscuros de perlita.

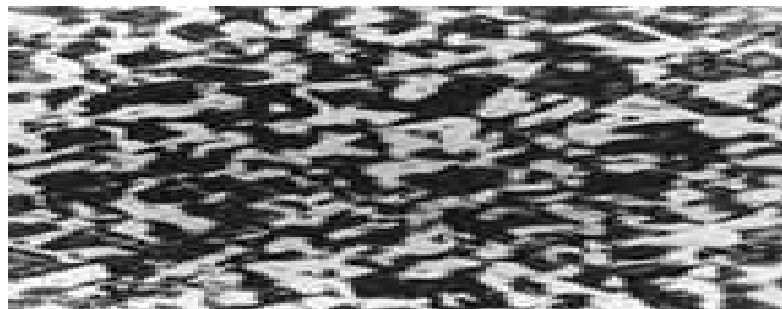


Fig. 1.7. Micro estructura de la perlita

Si el enfriamiento es rápido (100-200° C/seg.), la estructura es poco definida y se denomina Sorbita, si la perlita laminar se somete a un recocido a temperatura próxima a 723° C, la cementita adopta la forma de glóbulos incrustados en la masa de ferrita, denominándose perlita globular.

1.2.3.4 AUSTENITA

Es el constituyente más denso de los aceros y está formado por una solución sólida por inserción de carbono en hierro gamma. La cantidad de carbono

disuelto, varía de 0.8 al 2 % C que es la máxima solubilidad a la temperatura de 1130 °C. La austenita no es estable a la temperatura ambiente pero existen algunos aceros al cromo-níquel denominados austeníticos cuya estructura es austenita a temperatura ambiente.

La austenita está formada por cristales cúbicos de cara centrada, con una dureza de 300 Brinell, una resistencia a la tracción de 100 kg/mm² y un alargamiento del 30 %, no es magnética. En la figura 1.8 se muestra una microestructura de la austenita.

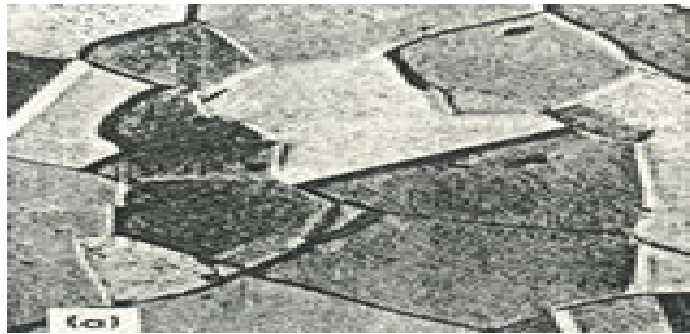


Fig. 1.8. Micro estructura de la austenita

1.2.3.5 MARTENSITA

Es el constituyente de los aceros templados, está conformado por una solución sólida sobresaturada de carbono o carburo de hierro en ferrita y se obtiene por enfriamiento rápido de los aceros desde su estado austenítico a altas temperaturas.

La martensita tiene una dureza de 50 a 68 HRc, resistencia a la tracción de 170 a 250 kg/mm² y un alargamiento del 0.5 al 2.5 %, muy frágil y presenta un aspecto acicular formando grupos en zigzag con ángulos de 60 grados.

En la figura 1.9 se muestra una micro estructura de la martensita.

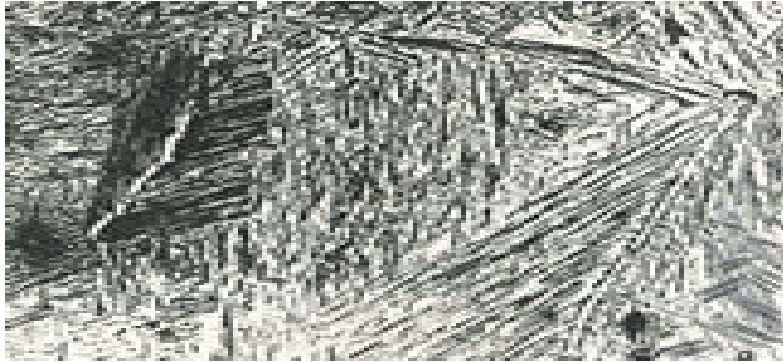


Fig. 1.9. Micro estructura de la martensita

Los aceros templados suelen quedar demasiado duros y frágiles, inconveniente que se corrige por medio del revenido que consiste en calentar el acero a una temperatura inferior a la crítica inferior (727°C), dependiendo de la dureza que se desee obtener, enfriándolo luego al aire o en cualquier medio.

1.2.3.6 BAINITA

Es el constituyente que se obtiene en la transformación isotérmica de la austenita cuando la temperatura del baño de enfriamiento es de 250 a 500°C . Se diferencian dos tipos de estructuras: la bainita superior de aspecto arborescente formada a 500 - 580°C , compuesta por una matriz ferrítica conteniendo carburos. Bainita inferior, formada a 250 - 400°C tiene un aspecto acicular similar a la martensita y constituida por agujas alargadas de ferrita que contienen delgadas placas de carburos.

La bainita tiene una dureza variable de 40 a 60 HRc comprendida entre las correspondientes a la perlita y a la martensita. Los constituyentes que pueden presentarse en los aceros aleados son los mismos de los aceros al carbono, aunque la austenita puede ser único constituyente y además pueden aparecer otros carburos simples y dobles o complejos.

1.2.3.7 TROOSTITA

Es un agregado muy fino de cementita y ferrita, se produce por un enfriamiento de la austenita con una velocidad de enfriamiento ligeramente inferior a la crítica de temple o por transformación isotérmica de la austenita en el rango de temperatura de 500 a 600°C , o por revenido a 400°C .

Sus propiedades físicas son intermedias entre la martensita y la sorbita, tiene una dureza de 400 a 500 Brinell, una resistencia a la tracción de 140 a 175 kg/mm² y un alargamiento del 5 al 10%. En la figura 1.10 se muestra una micro-estructura de troostita.



Fig. 1.10. Micro estructura de la troostita

1.2.3.8 SORBITA

Es también un agregado fino de cementita y ferrita. Se obtiene por enfriamiento de la austenita con una velocidad de enfriamiento bastante inferior a la crítica de temple o por transformación isotérmica de la austenita en la zona de 600 a 650 °C, o por revenido a la temperatura de 600 °C. Su dureza es de 250 a 400 Brinell, su resistencia a la tracción es de 88 a 140 kg/mm², con un alargamiento del 10 al 20%.

Con pocos aumentos aparece en forma muy difusa como manchas, pero con 1000X toma la forma de nódulos blancos muy finos sobre fondo oscuro, de hecho tanto la troostita como la sorbita pueden considerarse como perlita de grano muy fino., como se muestra en la figura 1.11.



Fig. 1.11. Micro estructura de la sorbita

Para realizar los ensayos de las juntas soldadas debemos basarnos en aceros especificados en las normas API 5L y ASME IX, las cuales se explican a continuación.

1.3 CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A LA NORMA API 5L³

De acuerdo a la norma API 5L los aceros se los clasifican como se muestra a continuación en la tabla 1.2.

Grado (ver nota)	Símbolo
A25, Class I	A25
A25, Class II	A25R
A	A
B	B
X42	X42
X46	X46
X52	X52
X56	X56
X60	X60
X65	X65
X70	X70
X80	X80

Tabla1.2. Clasificación de los aceros de acuerdo a la norma API 5L

Nota: Para los grados intermedios entre X42 y X80, el símbolo será X seguido por los primeros dos dígitos, que significan el esfuerzo mínimo de fluencia, en unidades Americanas, es decir en Kpsi.

En las tablas 1.3 y 1.4 se muestran las características propias de un grupo determinado de aceros.

(1)	(2)		(3)		(4)
Grado	Esfuerzo mínimo de fluencia		Esfuerzo mínimo A la tracción		Alargamiento en 2 in, (50.8mm),
	psi	MPa	psi	MPa	

A25	25,000	(172)	45,000	(310)	a
A	30,000	(207)	48,000	(331)	a
B	35,000	(241)	60,000	(414)	a
X42	42,000	(290)	60,000	(414)	a
X46	46,000	(317)	63,000	(434)	a
X52	52,000	(359)	66,000	(455)	a
X56	56,000	(386)	71,000	(490)	a
X60	60,000	(414)	75,000	(517)	a
X65	65,000	(448)	77,000	(531)	a
X70	70,000	(483)	82,000	(565)	a

Tabla1.3. Propiedades Mecánicas y Requerimientos de tracción PSL (Product specification level) 1

(1) Grado	(2) Esfuerzo mínimo de fluencia		(3) Esfuerzo Máximo ^b de fluencia,		(4) Mínimo esfuerzo a la tracción		(5) Máximo ^c esfuerzo a la tracción,		(6) Alargamiento en 2 in. (50.8mm) Mínimo
	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	
B	35,000	(241)	65,000 ^d	(448)	60,000	(414)	110,000	(758)	a
X42	42,000	(290)	72,000	(496)	60,000	(414)	110,000	(758)	a
X46	46,000	(317)	76,000	(524)	63,000	(434)	110,000	(758)	a
X52	52,000	(359)	77,000	(531)	66,000	(455)	110,000	(758)	a
X56	56,000	(386)	79,000	(544)	71,000	(490)	110,000	(758)	a
X60	60,000	(414)	82,000	(565)	75,000	(517)	110,000	(758)	a
X65	65,000	(448)	87,000	(600)	77,000	(531)	110,000	(758)	a
X70	70,000	(483)	90,000	(621)	82,000	(565)	110,000	(758)	a
X80	80,000	(552)	100,000 ^c	(690)	90,000	(621)	120,000	(827)	a

Tabla1.4. Requerimientos de tracción para PSL (Product specification level) 2

A continuación se muestra las especificaciones para la Tab.1.3 y Tab. 1.4, con las cuales podemos interpretar de una manera mejor.

^aEl alargamiento mínimo en 50.8 mm (2 in) expresado se determina según la siguiente formula:

Ecuación en unidades Inglesas

Sistemas en unidades SI

$$e = 625,000 \frac{A^{0.2}}{U^{0.9}}$$

$$e = 1,944 \frac{A^{0.2}}{U^{0.9}}$$

Donde

e= Alargamiento mínimo en 50.8mm (2 in), expresado en porcentaje y redondeado al 5%.

A= Área de la sección transversal de la probeta, basado en el diámetro externo y espesor de la pared especificados con aproximación de 6.5 mm², (0.001 in²) ó 484 mm², (0.75 in²), el menor valor.

U= Resistencia a la tracción especificada en Mpa (psi).

b= El esfuerzo de fluencia máximo para un grado intermedio debe ser al máximo del grado superior inmediato.

c= Todos los grados inmediatos deben tener un esfuerzo máximo de tracción de 110000psi (758 Mpa).

d= El esfuerzo de fluencia máximo para tubería de grado B para ensayos con orientaciones longitudinales es de 72000 psi (496 Mpa).

En las tablas 1.5 se muestra la composición de los diferentes aceros, dependiendo el grado o clase del material.

(1)	(2)	(3)	(4)		(5)	(6)
Grado y Clase	Carbono %Máximo ^a	Magnesio %Máximo ^a	Fósforo		Sulfuro, %Máximo	Otros
			Mínimo	Máximo		
Scamless						
A25,C1 I	0.21	0.60	0.045	0.030	0.030	
A25,C1 II	0.21	0.60		0.080	0.030	
A	0.22	0.90		0.030	0.030	
B	0.28	1.20		0.030	0.030	b, d
X42	0.28	1.30		0.030	0.030	c, d
X46,X52,X56	0.28	1.40		0.030	0.030	c, d
X60 ^c ,X65 ^c , X70	0.28	1.40		0.030	0.030	c,d
Soldadura						

A25,C1 I	0.21	0.60	0.045	0.030	0.030	
A25,C1 II	0.21	0.60		0.080	0.030	
A	0.22	0.90		0.030	0.030	
B	0.26	1.20		0.030	0.030	b, d
X42	0.26	1.30		0.030	0.030	c, d
X46,X52,X56	0.26	1.40		0.030	0.030	c, d
X60 ^c	0.26	1.40		0.030	0.030	c, d
X65 ^c	0.26	1.45		0.030	0.030	c, d
X70	0.26	1.65		0.030	0.030	c, d

Tabla 1.5 Requerimientos químicos por colada y Análisis de producto en porcentaje de peso para PSL 1

En las tablas 1.6 se muestra la composición de los diferentes aceros, dependiendo el grado o clase del material.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Grado	Carbono %Máximo a	Magnesio %Máximo a	Fósforo	Sulfuro, %Máximo	Otros
			Máximo		
Scamless					
B	0.24	1.20	0.025	0.015	b, d
X42	0.24	1.30	0.025	0.015	c, d
X46,X52,X56	0.24	1.40	0.025	0.015	c, d
X60 ^c ,X65 ^c ,X70 ^c ,X80 ^c	0.24	1.40	0.025	0.015	c, d
Soldadura					
B	0.22	1.20	0.025	0.015	b, d
X42	0.22	1.30	0.025	0.015	c, d
X46,X52,X56	0.22	1.40	0.025	0.015	c, d
X60 ^c	0.22	1.40	0.025	0.015	c, d
X65 ^c	0.22	1.45	0.025	0.015	c, d
X70 ^c	0.22	1.65	0.025	0.015	c, d
X80 ^c	0.22	1.85	0.025	0.015	c, d

Tabla 1.6 Requerimientos químicos por colada y Análisis de producto en porcentaje de peso para PSL 2

A continuación se muestra las especificaciones para la Tab.1.5 y Tab. 1.6, con las cuales podemos interpretar de una manera mejor.

^aPor cada reducción del 0.01% por debajo del máximo contenido de carbono especificado, se permite un incremento del 0.05% del contenido máximo de magnesio especificado, hasta un máximo de 1.50% para los grados X42 y X52 y hasta un máximo de 1.65% para el grado X60.

^bLa suma de columbio (niobio) y vanadio no debe exceder el 0.03% excepto que, por acuerdo entre el fabricante y el comprador, se establezca una alternativa máxima.

^cLos siguientes elementos deben ser usados con discreción por el fabricante, columbio, vanadio, titanio o las combinaciones de estos.

^dLa suma de columbio (niobio), vanadio, titanio no debe exceder el 0.15%.

^eOtras composiciones químicas pueden ser suministradas previo acuerdo entre fabricante y el comprador.

En el anexo A, se muestra la clasificación de la norma ASME IX, ya que se harán ensayos de doblado de soldadura, basándonos en las normas API 1104 y ASME IX.

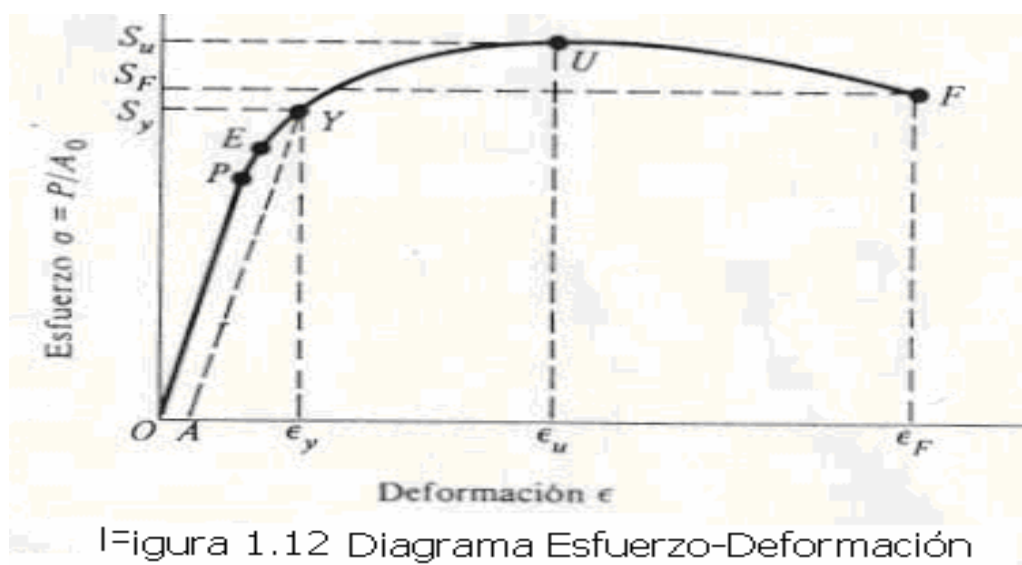
Para nuestro estudio se escogió los aceros al carbono, ya que las probetas a ser ensayadas son del material ya mencionado, especificadas en las normas ASME IX y API 1104:

La concentración y el porcentaje de carbono influyen en forma directa en las propiedades de los materiales, las mismas que se explicaran a continuación.

1.5 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

En el presente estudio se va a hacer énfasis en las propiedades mecánicas de los aceros al carbono, ya que la mayoría de ensayos que se realizan son en los materiales de acuerdo a la norma ASME IX y en la API 1104. Las propiedades mecánicas son las características inherentes que permiten diferenciar un material de otro, desde el punto de vista del comportamiento. Debido a que cada material se comporta diferente, es necesario analizar su comportamiento mediante pruebas experimentales.

A través del diagrama esfuerzo - deformación podemos determinar las propiedades y características de los materiales como se muestra en la Fig.1.12, y que se explican a continuación.



Estas propiedades se deben tomar en cuenta en el momento de soldar, para poder establecer las técnicas, y accesorios para soldar.

1.5.1 Dureza: es una propiedad con la que debe estar perfectamente familiarizado el soldador. El calor de la soldadura puede cambiar la dureza de los materiales que se estén soldando o el resultado final puede ser una diferencia en dureza entre el metal de la soldadura depositado y el material

base. La dureza es la capacidad que tienen los materiales para resistir a la indentación o la penetración. Un material es tanto más duro cuanto mayor tenga que ser la fuerza que lo penetre o indente.

La dureza elevada indica también una baja resistencia al impacto, aunque algunos aceros que han recibido un tratamiento térmico correcto tienen alta dureza y además una buena resistencia al impacto.

Las pruebas de dureza se usan mucho para verificar la uniformidad del material, ya que por la falta de uniformidad el material puede presentar elevada dureza o excesiva blandura.

Contrario a la dureza es la blandura que es la facilidad con la que un cuerpo se raya por otro, un cuerpo es tanto más blando cuando la fuerza necesaria para rayarlo es tanto más pequeña, y los materiales blandos se utilizan en piezas que se someten a fatiga.

1.5.2 Tenacidad: es la resistencia que opone un cuerpo a romperse por impacto, un cuerpo es tanto más tenaz cuando el choque necesario para romperlo tenga que ser más fuerte.

1.5.3 Fragilidad: es la facilidad con la que un cuerpo se rompe por un choque, es la propiedad opuesta a la tenacidad, los materiales frágiles son los que fallan sin deformación permanente apreciable. Una sustancia frágil tiene también baja resistencia al choque o al impacto, es decir; a la aplicación rápida de fuerzas. Un ejemplo de metal frágil es la fundición blanca ordinaria de hierro.

1.5.4 Elasticidad: es la capacidad de los cuerpos para recuperar su forma original tras una deformación, un cuerpo elástico se deforma cuando se ejerce una fuerza sobre él, pero cuando esa fuerza desaparece, el cuerpo recupera su forma original, la propiedad opuesta a elasticidad es plasticidad, la goma es elástica si se ejerce una fuerza, por ejemplo sobre una pelota de goma, esta se deforma, cuando deja de ejercer la fuerza, la pelota recupera su forma original.

La mayoría de los metales no se rompen de manera repentina. Hasta cierto punto, los metales se comportan como un caucho, son elásticos. Se estiran, se

doblan, o se tuercen bajo la acción de una fuerza, y regresan a su tamaño original.

1.5.5 Plasticidad: es la propiedad del cuerpo, en la cual una deformación se hace permanente, si sobre un cuerpo plástico ejercemos una fuerza este se deforma, cuando la fuerza desaparece la deformación permanece, la propiedad opuesta a plasticidad es la elasticidad, ejemplo la arcilla fresca es plástica, si se aplica una fuerza sobre ella se deforma, cuando deja de ejercer la fuerza la deformación permanece.

1.5.6 Maleabilidad: es la propiedad de la materia, que junto a la ductilidad permiten que los cuerpos puedan ser trabajados por deformación. Se diferencia de aquella en que mientras la ductilidad se refiere a la obtención de hilos, la maleabilidad permite la obtención de delgadas láminas de material sin que éste se rompa, teniendo en común que no existe ningún método para cuantificarlas.

1.5.7 Ductilidad : es la propiedad que presentan algunos metales y aleaciones cuando, bajo la acción de una fuerza, pueden estirarse sin romperse permitiendo obtener alambres o hilos. A los metales que presentan esta propiedad se les denomina dúctiles.

En el ámbito de la metalurgia se entiende por metal dúctil aquel que sufre grandes deformaciones antes de romperse, siendo el opuesto al metal frágil, que se rompe sin apenas deformación.

CAPÍTULO II

2. CONCEPTOS BÁSICOS DE SOLDADURA

2.1 DEFINICIÓN DE SOLDADURA

LA SOLDADURA es el proceso por el cual dos o más piezas de metal se unen en forma permanente por aplicación de calor, presión, o una combinación de ambos, con o sin aporte de otro metal, llamado metal de aportación. La mayor parte de procesos de soldadura se pueden separar en dos categorías: soldadura por presión, que se realiza sin la aportación de otro material mediante la aplicación de la presión suficiente y normalmente ayudada con calor, y soldadura por fusión, realizada mediante la aplicación de calor a las superficies, que se funden en la zona de contacto, con o sin aportación de otro metal.

Para poder realizar una soldadura debemos conocer la capacidad de soldabilidad de los materiales que van a ser unidos, por lo que este tema lo explicaremos a continuación.

2.2 SOLDABILIDAD

Es la capacidad que tienen los materiales, de la misma o diferente naturaleza, para ser unidos de forma permanente mediante los procesos de soldadura hasta constituir una sola unidad. Esta unión puede hacerse siempre y cuando las superficies a soldar estén perfectamente limpias. El aluminio es difícil de soldar debido al constante recubrimiento de óxido, por lo que se habla de mala soldabilidad. En cambio, el hierro, puede ser unido fácilmente, pues tiene excelente soldabilidad.

Dependiendo del material que se a va unir existe varios tipos de soldabilidad que se anotan a continuación.

2.2.1 TIPOS DE SOLDABILIDAD

La definición de soldabilidad incorpora algunos puntos de vista diferentes por lo que para su mejor comprensión de esta propiedad se la divide en tres aspectos principales:

2.2.1.1 SOLDABILIDAD OPERATIVA

Hace referencia a todas las condiciones tecnológicas de ejecución de uniones soldadas por cualquier proceso de soldadura ya sea por fusión o presión.

Existen condiciones que determinan esta soldabilidad, tales como:

1. Tipo de material
2. Tamaño, espesor y forma de las partes soldadas
3. Posición de las juntas
4. Niveles de corrientes
5. Tipo de polaridad
6. Voltaje
7. Velocidad de la soldadura
8. Tipo de protección del arco y de la unión soldada

La mala soldabilidad operativa se podría producir si el metal u oxido tiene altas temperaturas de fusión.

2.2.1.2 SOLDABILIDAD METALÚRGICA

Es la capacidad que tienen los materiales, de la misma o diferente naturaleza para ser unidos de forma permanente mediante los procesos de soldadura sin presentar transformaciones micro estructurales o variación en las propiedades mecánicas y químicas.

No se debe producir el temple del metal base ni del de aporte, en aceros de bajo carbono aunque esta posibilidad es mínima, pero en aceros aleados hay mayor posibilidad de que se generen estructuras martensíticas que tornan frágil al material.

2.2.1.3 SOLDABILIDAD CONSTRUCTIVA

Se liga al proyecto de construcción, a las propiedades físicas del material como son la dilatación y contracción que originan fisuramientos en la unión soldada.

Depende también de factores externos como son: la temperatura y humedad ambiental, estos dos aspectos son mucho mas evidentes en países de cuatro estaciones severas, en nuestro medio se puede encontrar ambientes húmedos.

También se define como una combinación de propiedades las cuales controlan la facilidad de unir un metal por soldadura bajo una serie de condiciones impuestas para formar una unión, siendo estas propiedades adecuadas para el propósito deseado.

2.3 DISCONTINUIDADES Y DEFECTOS EN LA SOLDADURA

Para poder comprender mejor que es una discontinuidad y un defecto a continuación se describe la definición de cada uno.

Discontinuidad. – se define como la falta de continuidad; falta de cohesión (de unión); interrupción en la estructura física normal del material o producto.

Defecto. – se define como una discontinuidad cuyo tamaño, forma, orientación, ubicación o propiedades son inadmisibles para alguna norma específica.

En particular, al realizar un ensayo no destructivo (END) se cataloga como defecto a toda discontinuidad o grupo de discontinuidades cuyas indicaciones no se encuentran dentro de los criterios de aceptación especificados por la norma aplicable.

A continuación se detallan los defectos y discontinuidades más frecuentes en la soldadura.

2.3.1 POROSIDAD

Se usa para describir los huecos globulares, libre de todo material sólido, que se encuentra con frecuencia en los cordones de soldadura, las porosidades son poros de gas o huecos en el metal de soldadura, es el resultado de la formación de gases por reacciones químicas que ocurren durante la soldadura.

Si se emplea una corriente elevada o un arco largo, los desoxidantes que un electrodo requiere se pierden fácilmente durante la aportación; la cantidad que queda no basta para desoxidar el metal fundido de una forma correcta, por lo que se puede generar poros si existe humedad en el ambiente o en el proceso, como se muestra en la figura 2.1.



Figura 2.1. Porosidades

2.3.2 FUSION INCOMPLETA

Es la incapacidad para fusionar franjas adyacentes de metal de soldadura, o en el metal de soldadura, o el metal de soldadura con el metal base. Se puede tratar de una condición localizada o generalizada y puede ocurrir en cualquier lugar del surco de soldadura, incluso en la raíz de la misma unión.

Esto se debe a que el metal base o la franja de metal depositado no se elevó al punto de fusión, la carencia de fundente, no se disolvieron los óxidos o demás materiales extraños que podrían estar presentes.

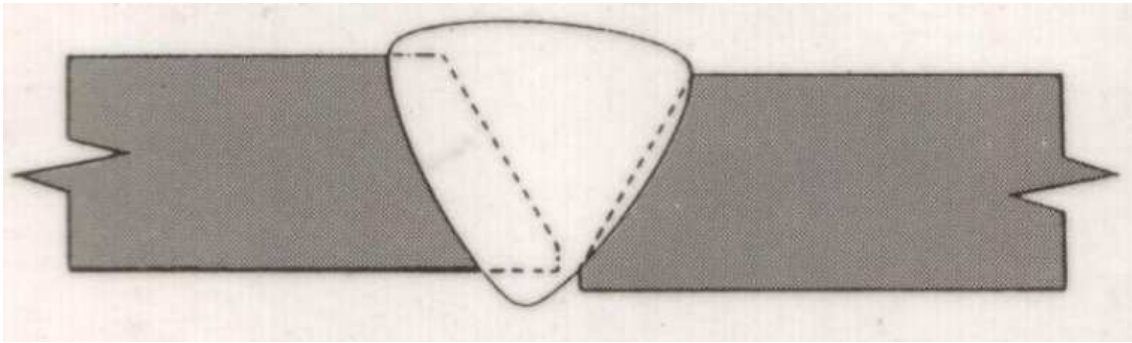


Figura 2.2. Fusión incompleta

2.3.3 FALTA DE PENETRACIÓN

Este defecto se produce porque el metal fundido no ingresa en la ranura hasta el fondo de la raíz a causa de insuficiente separación o una corriente insuficiente que ocasiona temperaturas bajas de fusión.

Aunque la penetración incompleta se debe en unos cuantos casos a la falta de disolución de los óxidos e impurezas de la superficie, las condiciones de transmisión de calor que existen en la junta son la fuente mas frecuente de este defecto.

La penetración incompleta es indeseable, particularmente si la raíz de la soldadura esta sujeta ya sea a tensión directa o a esfuerzos flexionantes. El área que no se funde permite concentraciones de esfuerzos que pueden resultar en fallas sin deformación apreciable.



Figura 2.3. Falta de penetración

2.3.4 INCLUSIONES DE ESCORIA

Se hace referencia a los óxidos y sólidos no metálicos que se quedan en el cordón de soldadura entre franjas adyacentes o entre el metal de soldadura y el metal base.

La escoria puede aparecer cuando se suelda sobre una grieta entre dos franjas paralelas convexas, entre una franja convexa y una pared lateral o cuando se suelda en posición descendente, esto puede ocasionar una escoria muy viscosa o que se solidifica con rapidez.



Figura 2.4. Inclusión de escoria

2.3.5 SOCAVAMIENTO

Se obtiene cuando se derriten las paredes laterales del surco de la soldadura, cuando ocurre en pases interiores se suele ocasionar con la inclusión de escoria en las oquedades producidas por el socavamiento.

La aceptación del socavamiento esta dada por las normas y códigos.

El socavamiento se lo detecta con inspección visual, se lo corrige con abrasión y con el depósito de cordones de relleno.

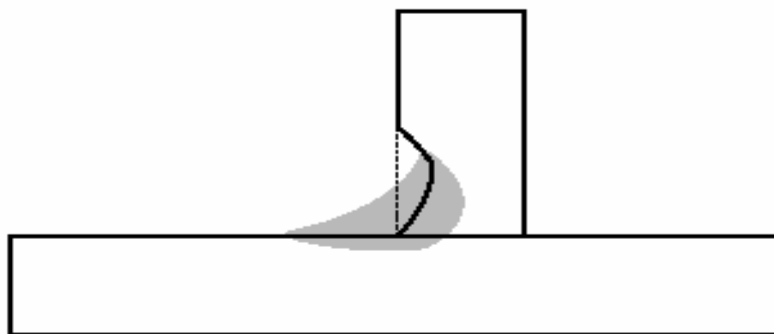


Figura 2.5. Socavamiento

2.3.6 GRIETAS O FISURAS

El agrietamiento de las juntas soldadas ocurre por la presencia de esfuerzos multidireccionales localizados, que en algún punto rebasan la resistencia máxima del metal. Cuando se abren grietas durante la soldadura o como resultado de ésta, generalmente solo es aparente una ligera deformación de la pieza de trabajo

Generalmente se producen por agrietamientos en frío o en caliente, pueden estar en: el metal base, el metal de soldadura o la zona afectada por el calor.

Si se observa fisuras durante la soldadura, se las debe eliminar antes de seguir soldando, pues al depositar metal de soldadura sobre una grieta esta puede continuar hacia la franja recién depositada.

Después que se ha enfriado una junta soldada, hay más probabilidades de que ocurra agrietamiento cuando el material es duro o frágil. Un material dúctil soporta concentraciones de esfuerzo que pudieran ocasionar falla en un material duro o frágil.

Cuando se encuentra el problema de agrietamiento de la primera capa de metal de la soldadura, pueden lograrse mejoras aplicando uno o más de las siguientes modificaciones:

- Modificar la manipulación del electrodo o las condiciones eléctricas, lo que cambiará el contorno o la composición del depósito.
- Disminuir la rapidez de avance, para aumentar el espesor del depósito, aportando con ello más metal de soldadura para resistir los esfuerzos que se están generando.
- Auxiliarse con precalentamiento, para modificar la intensidad del sistema de esfuerzos que esta imponiendo.

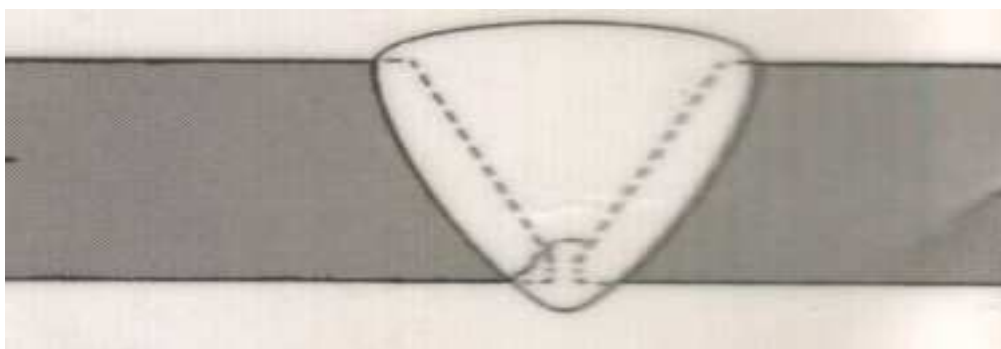


Figura 2.6. Grieta longitudinal

2.4 NORMAS DE ADMISIBILIDAD ⁴

Las normas de admisibilidad usadas para todo el proceso de calificación son la norma ASME IX y API 1104, en las cuales nos especifican los criterios de aceptación de los defectos y discontinuidades que se producen e la soldadura.

2.4.1 Porosidad: se define como un gas atrapado por la solidificación del material de soldadura, antes de que el gas pueda salir a la superficie, se puede considerar como defecto cuando unido las especificaciones que se anotan a continuación:

- La medida del poro no debe exceder 1/8 in (3 mm). (18)
- La medida del poro no debe exceder el 25% de la medida nominal del espesor de la junta soldada. (18)

Además se puede establecer otro tipo de criterio de aceptación cuando los poros se encuentran agrupados en el material, que se muestran a continuación:

- El diámetro de los poros agrupados excede 1/2 in (13mm). (18)
- Cuando un poro individual dentro de agrupación excede 2 mm de la longitud. (18)

2.4.2 Fusión Incompleta: se define como la imperfección entre el material base y el cordón de soldadura, a continuación se muestra los criterios de aceptación.

- Cuando la longitud de la fusión incompleta exceda 1in (25mm). (18)
- Cuando la longitud agregada de indicación continua en 12 in (300mm) y excede 1 in (25 mm) de longitud. (18)
- Cuando la longitud de la fusión incompleta excede el 8% de la longitud nominal del cordón de soldadura. (18)

2.4.3 Grietas o fisuras: se pueden considerar como defectos cuando tengan las siguientes condiciones:

- Cuando en la soldadura se presenta dentro de un cráter o la formación del mismo en forma estrellada.
- Las fisuras no deben exceder 5/32 in (4 mm) de longitud. (18)

2.4.4 Inclusiones de escoria: se define como la inclusión de un material no metálico en el cordón de soldadura, para poder definir este defecto se usa el proceso de ensayo radiográfico en el cual establece que si la medida de la inclusión es considerable se considera como defecto, en tuberías cuando el diámetro es de 2.375 in (60.3 mm), la inclusión no debe sobre pasar un longitud de 50 mm. (18)

2.4.5 Socavamiento: este defecto se definió anteriormente, para poder determinar su grado de admisibilidad es necesario realizar una radiografía y comparar con el dispositivo de medida colocado en el material base, y sacar una conclusión.

CAPÍTULO III

- **PROCESOS DE CALIFICACIÓN EN SOLDADURA**

A través de la calificación de procedimientos podemos evaluar la calidad de la soldadura y la habilidad de soldadores, por lo que en las propias normas que se explican a continuación, se especifica todo lo relacionado con estos procesos.

Todo proceso de soldadura industrial debe manejarse de acuerdo a normas que existe para cada tipo de construcción. En cualquier caso, la documentación consta de tres documentos fundamentales que son: WPS, PQR y WPQ.

3.1. ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA. WPS.-

Este documento consiste en la descripción total del procedimiento de soldadura, involucrando todas las variables que intervienen en el mismo. Por lo tanto, el WPS constituye la guía que cualquier soldador u operador debe que seguir fielmente para obtener soldaduras de calidad aceptable.

Las variables y especificaciones que se usan para esta calificación son: el material base, con sus respectivas dimensiones; el diseño de la junta; el material de aporte; el número de pasadas; La características eléctricas del proceso de soldadura, la posición de soldadura, entre otras.

3.2. REPORTE DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS. PQR.-

En este documento se recogen todos los resultados de las pruebas o ensayos realizados a la soldadura ejecutada siguiendo el procedimiento y por lo tanto este formato es aquel que califica o no a un procedimiento. De la misma manera, en este formato se describen todas las variables utilizadas en el procedimiento con sus respectivos rangos o límites de calificación y debe tener relación directa con las del WPS

3.3. REPORTE DE CALIFICACIÓN DEL SOLDADOR. WPQ.-⁵

Una vez que se dispone de un procedimiento calificado se pueden realizar las pruebas para la calificación del soldador y por tanto, el desenvolvimiento del mismo se recoge en este documento que valida y certifica su acreditación como soldador calificado y por tanto habilitado para realizar cualquier trabajo de soldadura dentro de los límites especificados en el procedimiento WPS y del PQR y también dentro del WPQ.

Todos estos tres documentos son propiedad de la empresa y el WPS y el PQR, son documentos de vigencia indefinida mientras no se altere el procedimiento. Sin embargo el WPQ tiene una vigencia limitada por las normas y por las propias políticas de las Empresas que buscan siempre personal competente.

El propósito de la calificación es evaluar las habilidades del soldador, previamente debe estar calificado un procedimiento de soldadura. Antes de realizar una soldadura de producción, los soldadores deben ser calificados de acuerdo a los requerimientos aplicados en la calificación simple de soldadores.

Este es el requisito que un soldador debe cumplir satisfactoriamente en el proceso de calificación, realizando todas las pruebas descritas en las normas y especificaciones. Se debe tomar en cuenta que el soldador debe tener un tiempo razonable para poner a punto los equipos de soldadura que van a ser usados, los soldadores deben usar la misma técnica y seguir fielmente el procedimiento, ya que estos son factores muy importantes en el proceso.

Además debe realizar una calificación con segmentos de tubería, o en tubería con medidas estándar, como se especifica en la calificación simple de soldadores. Cuando se usa pedazos de tubería, los soldadores deben hacer soldadura en posición plana, vertical y sobre cabeza.

Este proceso es el mismo tanto para la norma ASME IX y API 1104.

Las variables asociadas con el proceso y la calificación de los soldadores no son idénticas.

Esta calificación debe ser conducida por un inspector de soldadura o un representante de una prestigiosa compañía para dar un veredicto.

3.3.1 CALIFICACIÓN SIMPLE ⁶

Para una calificación simple, un soldador debe hacer una prueba de soldadura usando un procedimiento calificado para juntar tuberías o planchas de acero, en una posición determinada. Normalmente en posición fija, es decir, el material debe estar en el plano horizontal, en el plano vertical, o con una inclinación de 45° con respecto al plano horizontal.

3.3.1.1 ALCANCE

Un soldador quien ha completado satisfactoriamente la prueba de calificación descrita anteriormente, deberá ser calificado teniendo en consideración el límite de las variables esenciales descritas a continuación. Si algunas de las siguientes variables esenciales son cambiadas, el soldador deberá ser calificado nuevamente:

a. Cambio en el proceso de soldadura; o la combinación de procesos, como los siguientes:

- Cambio de un proceso de soldadura a otro diferente; o
- Cambio en la combinación de procesos de soldadura a menos que el soldador haya sido calificado en una prueba separada, usando los procesos de soldadura que suelen ser usados comúnmente.

b. Cambio en la dirección de la soldadura de vertical ascendente a vertical descendente, o viceversa.

6. Norma API 1104. "Welding of Pipelines and Related Facilities", Septiembre 1999. Pág: 23-26

c. Cambio en la clasificación del metal de aporte del grupo 1 o 2 al grupo 3, o desde un grupo 3 a grupo 1 o 2 (ver en la tabla 3.1).

d. Cambio de diámetros exteriores en tuberías.

Estos grupos son definidos a continuación:

- Diámetros exteriores menores que 2.375 pulgadas. (60.3mm) (18)
- Diámetros exteriores desde 2.375 pulgadas. (60.3mm) a 12.750 pulgadas (323.9mm). (18)
- Diámetros exteriores mayores que 12.750 pulgadas (323.9mm). (18)

e. Cambio de espesores. Estos grupos están definidos a continuación:

1. Medida nominal (espesor de la tubería menor que 0.188 pulgadas) (4.8mm). (18)
2. Medida nominal (espesor de la tubería menor que 0.188 pulgadas) (4.8mm) a 0.750 pulgadas (19.1mm). (18)
3. Medida nominal (espesor de la tubería mayor que 0.750 pulgadas (19.1mm).

f. Cambio de posición de soldadura.

Si ya ha pasado satisfactoriamente la prueba de calificación, en una prueba designada con un ángulo de inclinación de 45°, queda calificado para soldadura de filete en todas las posiciones. (18)

g. Cambio en el diseño de junta de soldadura, por ejemplo: una junta en V ha una junta en U, como se indica en la fig.3.2.

3.3.2 CALIFICACIÓN MÚLTIPLE ⁷

Para la calificación múltiple, un soldador debe completar satisfactoriamente las dos pruebas que se exponen a continuación.

En la primera prueba, debe hacer una soldadura a tope en posición fija ubicando el eje de la tubería en plano horizontal (5G) o con una inclinación de 45° (6G) en relación al plano horizontal. Las soldaduras se deben hacer en tuberías con diámetros exteriores de por lo menos 6.625 pulgadas (168.3mm) y con un espesor de 0.250 pulgadas (6.4 mm).El soldador debe soldar en las posiciones mostradas en la fig. 3.1. (18)

7. Norma API 1104. "Welding of Pipelines and Related Facilities", Septiembre 1999. Pág: 26-30

En la segunda prueba, debe ser realizada con una tubería de por lo menos 6.625 pulgadas de diámetro (168.3 mm) y un espesor nominal de 0.250pulgadas (6.4 mm). La suelda final o el cordón de soldadura deberán estar limpios, uniformes, sin porosidades, ni mordeduras, y en general libres de defectos.

La soldadura deberá tener una excelente penetración alrededor de la tubería. El cordón no debe sobrepasar un ancho de 13 mm.

3.3.2.1 ALCANCE

El soldador quien ha completado con satisfacción de la calificación a tope, deberá ser calificado en todas las posiciones, en todos los espesores, en juntas especificadas en la norma.

Si alguna de las variables esenciales son cambiadas, el soldador deberá nuevamente ser calificado en los siguientes casos:

a. Cambio en el proceso de soldadura, o la combinación de procesos, como los siguientes:

1. Cambio de un proceso de soldadura a otro diferente; o

2. Cambio en la combinación de proceso de soldadura a menos que el soldador haya sido calificado en una prueba separada, usando cada proceso de soldadura que suelen ser usados en la combinación de procesos de soldadura.

b. Cambio en la dirección de la soldadura de vertical ascendente a vertical descendente, o viceversa.

c. Cambio en la clasificación en el metal de aporte del grupo 1 o 2 al grupo 3, o desde un grupo 3 a grupo 1 o 2 (ver en la tabla 3.1).

Grupo	AWS Especificación	Electrodo	Flux ^c
1	A5.1 A5.5	E6010,E6011 E7010,E7011	
2	A5.5	E8010,E8011 E9010	
3	A5.1 o A5.5 A5.5	E7015,E7016,E7018 E8015,E8016,E8018 E9018	
4 ^a	A5.17	EL8 EL8K EL12 EM5K EM12K EM13K EM15K	P6XZ F6X0 F6X2 F7XZ F7X0 F7X2
5 ^b	A5.18 A5.18 A5.28 A5.28	ER70S-2 ER70S-6 ER80S-D2 ER90S-G	
6	A5.2	RG60,RG65	
7	A5.20	E6IT-GS ^d E7IT-GS ^d	
8	A.5.29	E71T8-K6	
9	A5.29	E91T8-G	

Tabla 3.1 Clasificación del metal de aporte según el número de grupo

^aNinguna combinación de fundente y en el grupo de electrodo 4 se podrá usar el proceso de calificación. La combinación podrá ser utilizada por el número de la clasificación AWS, tales como F7AO-EL12 o F6A2-EM12K.. Solo sustituciones que resulten iguales a la clasificación AWS son permitidas.

^bUna soldadura a gas deberá ser usada con electrodos del grupo 5.

3.3.3 POSICIONES EN SOLDADURA

Son las diferentes orientaciones del soldador respecto al material base y de acuerdo a la AWS son las siguientes, como se indica en la figura 3.1.

POSICIONES EN SOLDADURA

Designación de acuerdo con ANSI/AWS A 3.0-85.

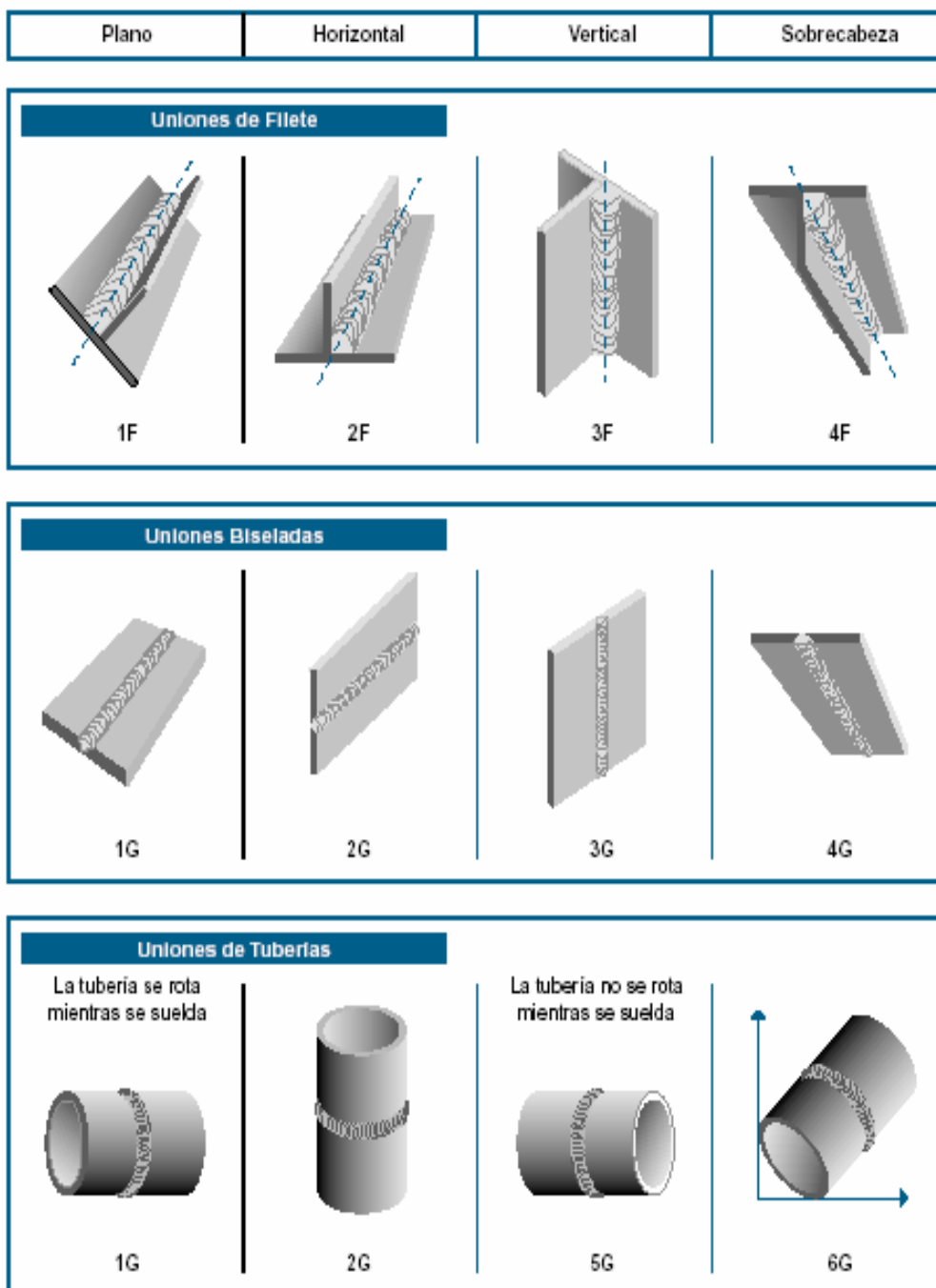


Figura 3.1 Posiciones de Soldadura

3.3.4 TIPOS DE JUNTAS

Son las diferentes formas que la tecnología de soldadura utiliza para realizar las uniones y son las siguientes:

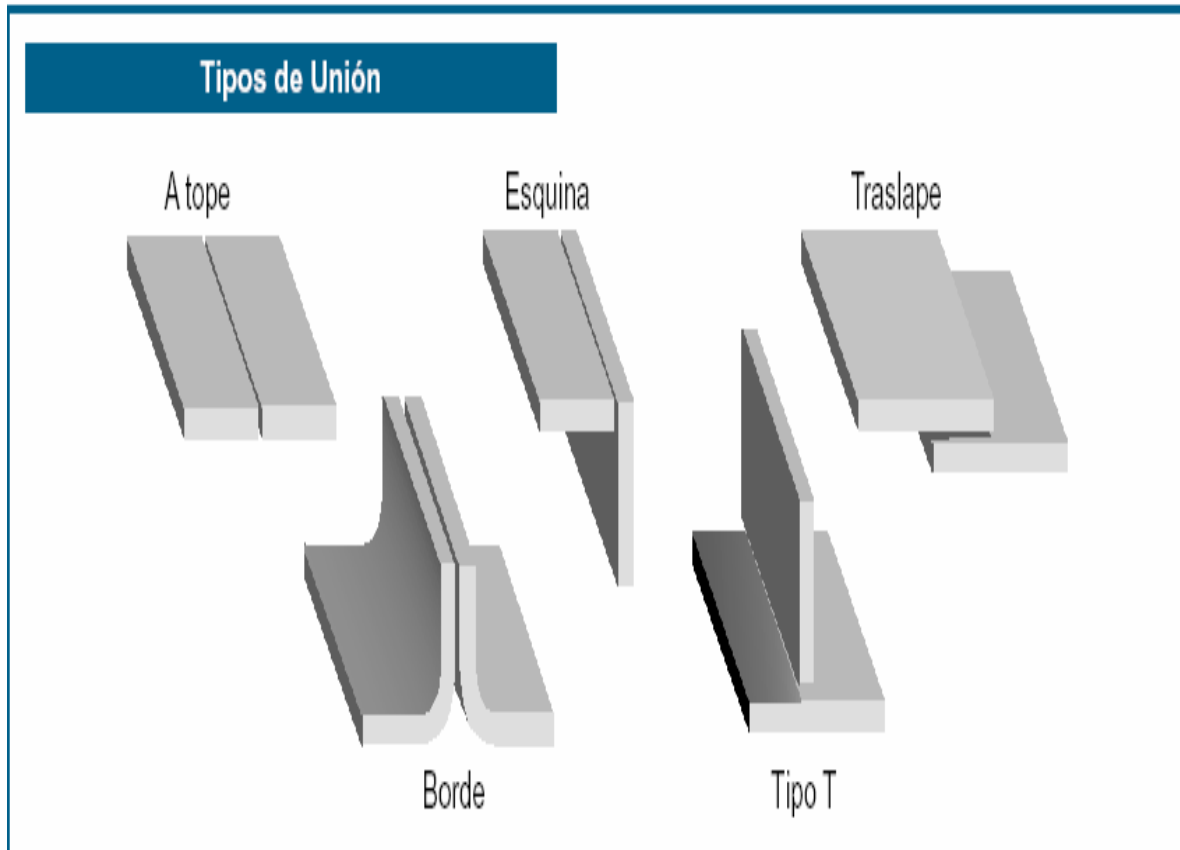


Figura 3.2. Tipos de juntas

3.4 INSPECCIÓN VISUAL

Se debe realizar una inspección visual al cordón de soldadura, el mismo que permitirá determinar si existe discontinuidades y defectos tales como: fisuras, inadecuada penetración, sobrecalentamiento, escoria, etc.

3.5 VARIABLES ESENCIALES

El cambio de algunas de estas variables que se exponen a continuación implica que el soldador deberá ser calificado nuevamente:

- a) Proceso de soldadura
- b) Material base

- c) Tipo de junta
- d) Posición de soldadura
- e) Espesor del material

3.6 VARIABLES SUPLEMENTARIAS ESENCIALES

Son cambios en condiciones de soldadura que pueden afectar las condiciones de tenacidad de la soldadura. Por ejemplo: cambio en proceso, posición, calor entregado en precalentamiento o post calentamiento.

3.7. ENSAYO DE DOBLADO DE SOLDADURA

NORMA API 1104

3.7.1 ENSAYO DOBLADO DE RAIZ Y DE CARA

Este ensayo es solicitado en todas las normas y especificaciones para calificar materiales, procedimientos de soldadura y soldadores, por cuanto mediante el mismo podemos juzgar la ductilidad de los materiales. Por ello en las propias normas se especifica todo lo relacionado con este ensayo, es decir la instalación necesaria, sus dispositivos, el proceso, las probetas y las condiciones de admisibilidad.

3.7.1.1 PREPARACIÓN

La longitud de la probeta debe ser aproximadamente de 9 pulgadas (230mm) y un ancho de 1 pulgada (25.4mm), y sus esquinas deben ser redondeas, como se muestra en la figura 3.3.

Estas podrán ser mecanizadas o cortadas con oxicorte, las superficies deben ser lisas y si existe alguna rayadura deberá ser eliminada.

3.7.2 MÉTODO

Esta prueba se realizará en un dispositivo similar al de la figura 3.5, cada probeta soldada debe ser puesta en la mitad de la matriz, procurando que el cordón de soldadura este en el centro de la matriz hembra y del émbolo., tanto para la prueba de doblado de raíz y de cara.

El émbolo deberá forzar a la probeta a formar una curvatura similar a una U, después de aplicar una carga. Como se muestra en la Fig. 3.3



Fig.3.3 Probeta ensayada

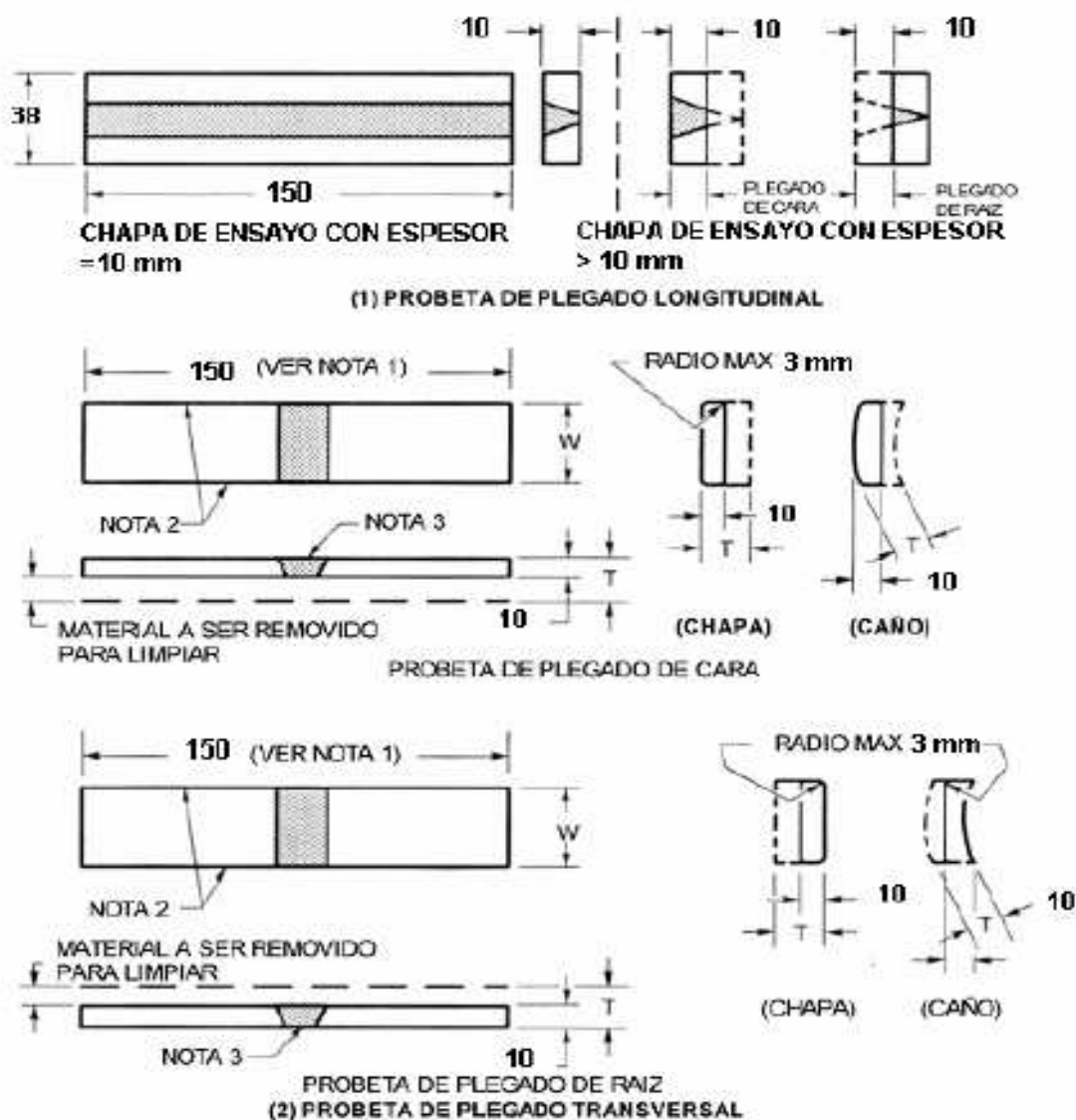
3.7.3 REQUERIMIENTOS

La prueba de doblado deberá ser considerada aceptable, si no tiene fisuras u otras imperfecciones que excedan 1/8 de pulgada (3 mm) o la mitad del espesor nominal, las cuales pueden ser pequeñas, o pueden estar entre la zona de soldadura y el cordón soldado después de la prueba de doblado.

Las fisuras que se originan fuera del radio de doblado a lo largo de la superficie durante la prueba no deben sobre pasar ¼ pulgadas (6 mm).

En la siguiente figura se muestra la preparación de las probetas para el ensayo de doblado.

Figura 3.4 Probetas para el ensayo de doblado de raíz y de cara



Dimensiones	
Soldadura para ensayo realizada en:	Ancho de la probeta de ensayo (W) mm
Chapa	40
tubo o caño de ensayo ≤ 100 mm en diámetro.	25
tubo o caño de ensayo > 100 mm en diámetro.	40

- Notas:
1. Puede ser necesario una probeta de un largo mayor cuando se usa un plegado con fijación del tipo punzón o rodillo de envoltura o cuando se ensaye un acero con una resistencia a la fluencia igual o mayor que 620 Mpa.
 2. Estos bordes pueden ser realizados con corte térmico y pueden ser o no mecanizados.
 3. El refuerzo de la soldadura y el respaldo, si hay, deberá ser removido a ras con la superficie de la probeta (ver 5.24.4.1 y 5.24.4.2). Si se usa un respaldo ahuecado, esa superficie puede ser mecanizada a una profundidad que no exceda la correspondiente al hueco para remover el respaldo; en ese caso, el espesor de la probeta terminada deberá ser el espesor especificado arriba. Las superficies cortadas deben ser planas y paralelas.
 4. T = espesor de la chapa, tubo o caño.
 5. Cuando el espesor de la chapa de ensayo es menor que 10 mm, usar para el plegado de cara o raíz el espesor nominal.

A continuación se muestra el dispositivo para el ensayo de doblado especificado en la norma API 1104

A continuación la figura 3.5 muestra el dispositivo para el ensayo de doblado especificado en la norma API 1104.

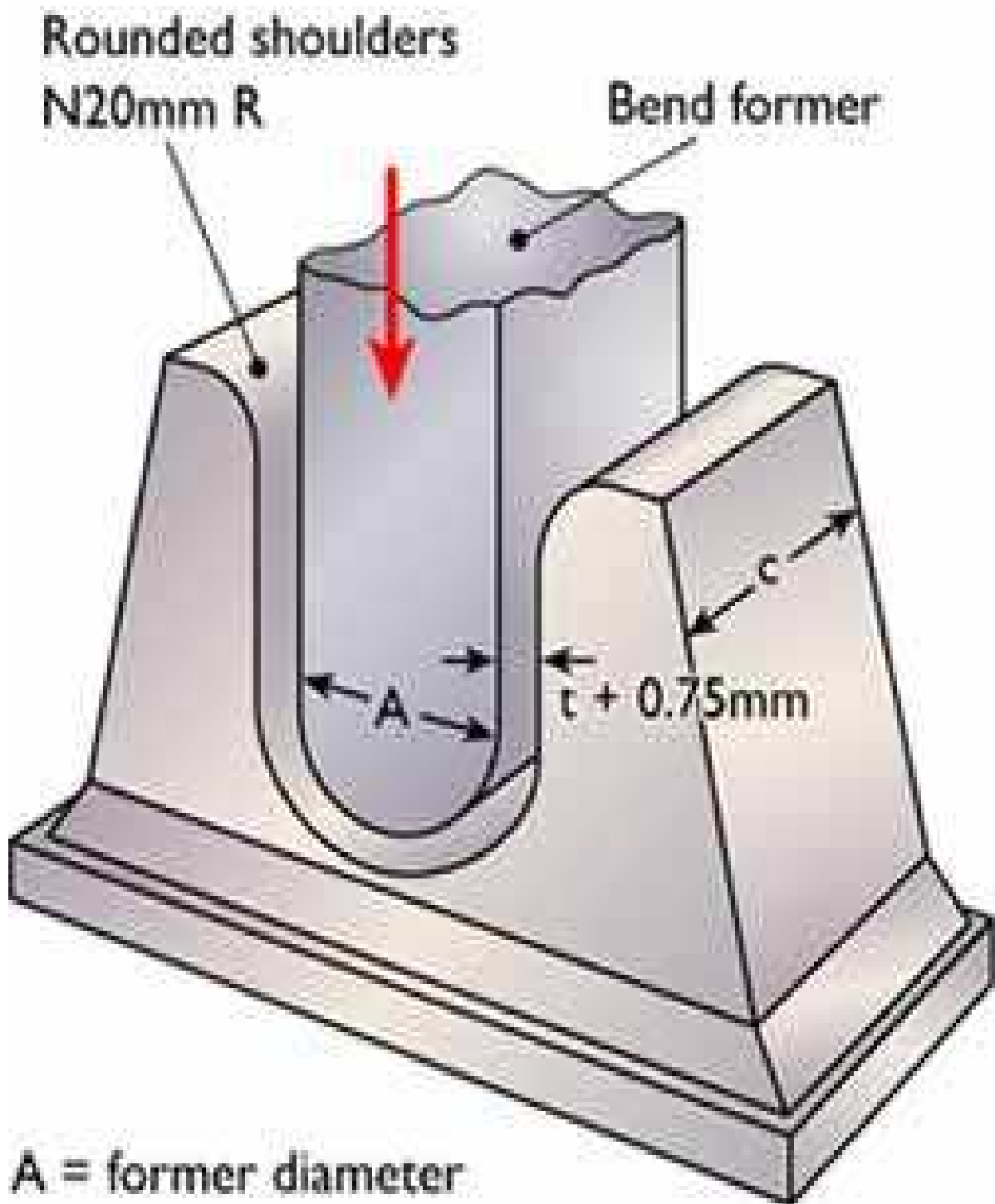


Figura 3.5 Matriz de doblado especificado en la norma API 1104

3. 8 ENSAYO DE DOBLADO DE SOLDADURA

NORMA ASME IX

Es una prueba similar al proceso que se detallo anteriormente, la diferencia consiste en el material que va ha ser ensayado, las dimensiones de su dispositivo de prueba, entre otras.

En esta prueba se coloca la probeta horizontalmente entre los dos soportes de un dado hembra, con la costura soldada a la mitad del claro.

El punzón macho se direcciona hacia abajo, para deformar la probeta hasta darle forma de U, continuando hasta que resulta imposible introducir un alambre de 1/32 de pulgada de diámetro entre la probeta y el punzón. Si después del doblado, la superficie convexa de la probeta no muestra grietas u otros defectos evidentes con longitud mayor de 1/8 de pulgada, se considera que la probeta (la Soldadura) ha pasado la prueba.

No se toman en consideración las grietas de las esquinas de la probeta. Se hacen dos pruebas con este método: una prueba de cara y otra de raíz ya antes mencionadas.

La única diferencia entre las pruebas es la de que la Prueba de cara se coloca la cara de la soldadura hacia el punzón, mientras que la en Prueba de raíz se coloca la raíz de la soldadura hacia el punzón.

En este proceso se usan las mismas variables esenciales, preparación de las probetas, entre otras ya antes mencionadas.

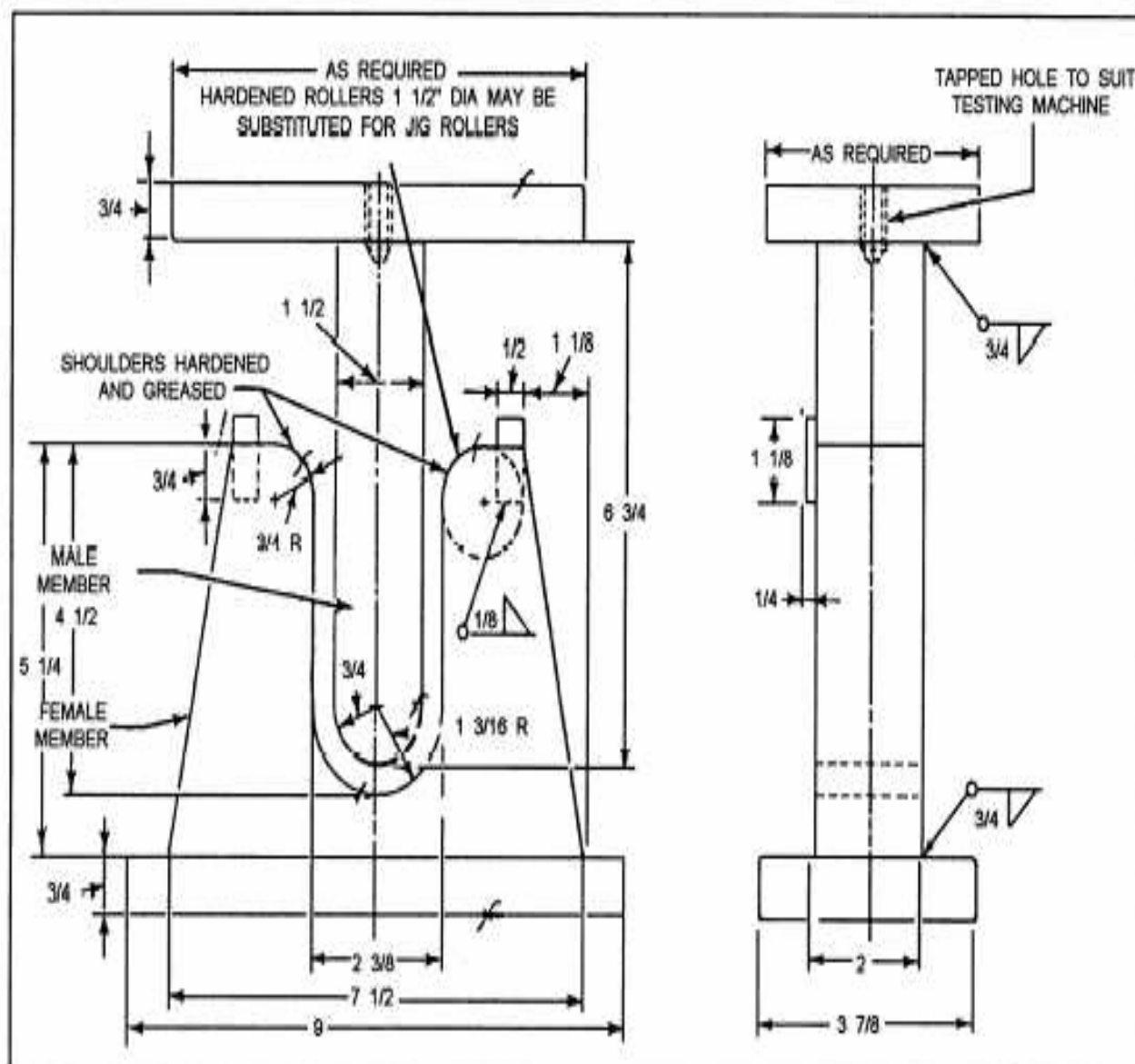
3.8.1 TIPOS Y NÚMEROS DE PRUEBAS DE DOBLADO DE RAÍZ PARA SOLDADURA USADAS EN LA CALIFICACIÓN DE SOLDADORES.

Diámetro exterior		Número de especificación		
Pulgadas	Milímetros	Doblado de Raíz	Doblado de Cara	Doblado de lado
<2.375	<60.3	2	0	0
2.375-4.500	60.3-323.9	2	0	0
>4.500-12.750	114.3-323.9	2	0	0
>12.750	>323.9	2	2	0
≤4.500	≤ 114.3	0	0	2
>4.500-12.750	>114.3-323.9	0	0	2
>12.750	>323.9	0	0	4

Tabla 3.2. Tipos y números de pruebas de doblado de raíz y de cara

3.8.2 DISPOSITIVO PARA EL ENSAYO DE DOBLADO DE ACUERDO A LA NORMA ASME IX.

A continuación se muestra el dispositivo para el ensayo de acuerdo a la norma ASME IX, con todas sus características técnicas.

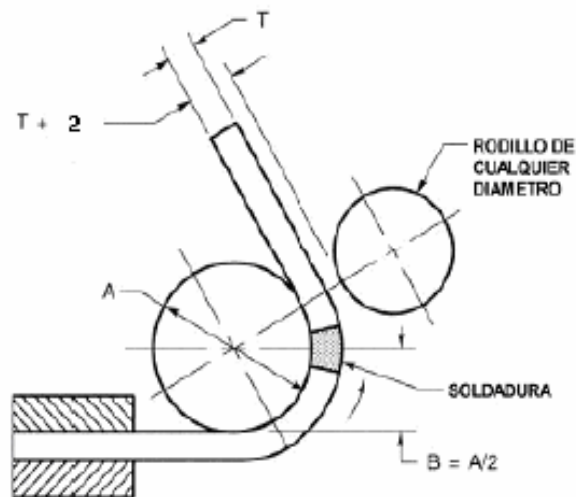


Resistencia a la fluencia especificada o real del metal base [MPa]	A [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]
≤ 345	38,1	19	60,3	30,2
> 345 a < 620	50,8	25,4	73	36,6
≥ 620	63,5	31,8	85,7	42,9

Nota: El punzón y la superficie interior de la matriz deberán ser mecanizados.

FIGURA 3.6 Matriz de doblado especificado en la norma ASME IX

A demás de los dispositivos ya descritos anteriormente, en la siguiente figura se puede observar un dispositivo de doblado con un rodillo simple.



Resistencia a la fluencia especificada o real del metal base [MPa]	A [mm]	B [mm]
≤ 345	38,1	19,0
> 345 a < 620	50,8	25
≥ 620	63,5	31,8

Figura 3.7 Ensayo de doblado de doblado con rodillo

En la siguiente figura 3.8 muestra un dispositivo de doblado con rodillos en tres puntos.

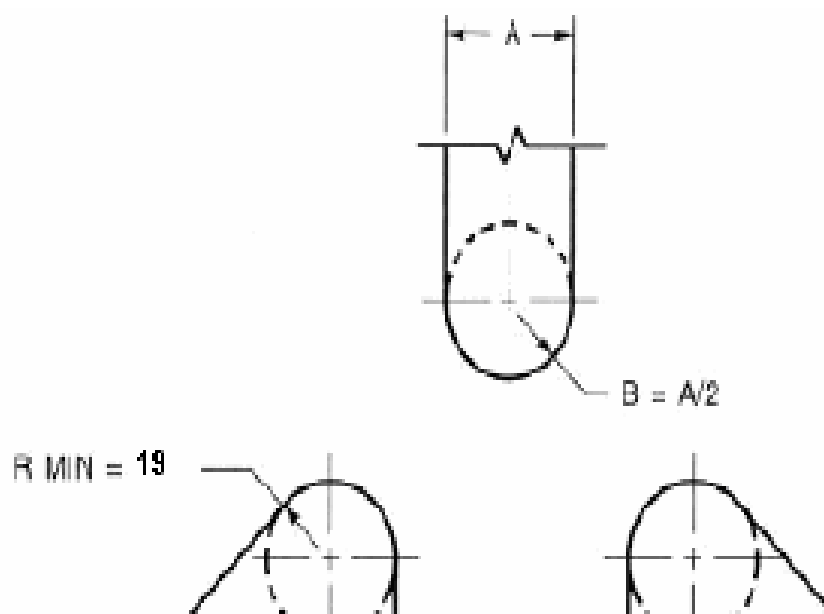


Figura 3.8 Ensayo alternativo de doblado con rodillos en tres puntos y descarga la probeta por la parte inferior

CAPÍTULO IV

4. DIMENSIONAMIENTO DE LA MÁQUINA

INTRODUCCIÓN

El dimensionamiento significa la especificación de las mediciones externas de cada uno de los elementos de la máquina, detalladas en planos, necesarios para que máquinas, estructuras, sistemas o proceso; desarrollen las funciones deseadas, a través de la investigación y con la ayuda de cálculos.

Además se debe tener en cuenta algunos criterios que se van explicar continuación.

4.1 SELECCIÓN DE MATERIALES

La selección de materiales consiste en escoger los materiales adecuados para satisfacer los requerimientos de un diseño específico (producción, operación y mantenimiento) y a la vez producir el componente o mecanismo a un costo aceptable.

En el mercado actual existen disponibles una gama de materiales, con propiedades mecánicas y físicas muy aceptables.

La gran mayoría de avances tecnológicos logrados en la sociedad moderna, se han apoyado en el descubrimiento y desarrollo de materiales de ingeniería y proceso de fabricación usados en su obtención. Una adecuada selección de materiales y procesos, garantiza a los diseñadores de partes mecánicas su correcto funcionamiento de los componentes diseñados.

Sin embargo, la selección de un material no es un ejercicio que puede llevarse a cabo de manera aislada. La selección de un material debe incluir la consideración de factores de diseño y manufactura.

Existe una interdependencia compleja entre los elementos: diseño, material y fabricación.

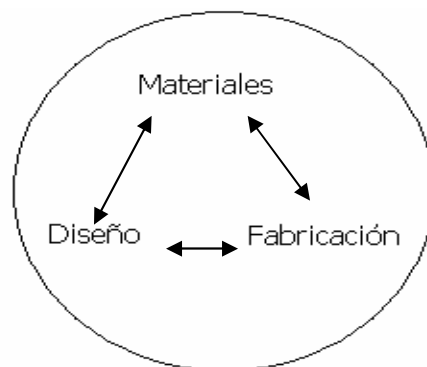


Figura 4.1 Parámetros en las selección de materiales

Parámetros que deben considerarse:

4.1.1 COSTO

El costo de un material es un parámetro muy importante que se debe considerar al seleccionar un material. El objetivo es elaborar una máquina para ensayos de doblado en soldadura, que funcione de una manera adecuada durante la totalidad de su vida de diseño, a un costo aceptable.

En un gran número de casos, el costo de los materiales equivale a alrededor de la mitad de los costos de producción del artículo terminado. Esto nos indica que la utilización de materia prima de menor precio debe tener un efecto significativo en el costo final del producto. En algunos casos la selección de un material costoso puede permitir la utilización de métodos de procesos relativamente simples y de bajo costo, en tanto que un material de menor precio puede requerir métodos de producción más largos, complejos y costosos.

4.1.2 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Los materiales tienen una gama de propiedades, las mismas que se deben considerar para la selección de un material.

En la tabla 4.1 se expone algunas propiedades muy importantes, tales como, el Módulo de elasticidad (E), Resistencia a la fluencia en tensión, de resistencia a la tracción, tenacidad, densidad, etc.

MATERIAL	E (Gpa)	Resistencia a la fluencia (Mpa)	Resistencia a la tracción (Mpa)	Tenacidad de fractura (Mpa m^{1/2})	Densidad (Kg m⁻³)
Aceros	200-220	200-1800	350-2300	80-170	7,8-7,9
Hierros de fundición	150-180	100-500	300-1000	6,-20	7,2-7,6
Aleaciones de aluminio	70	25-500	70-600	5,-70	2,7-2,8
Aleaciones de cobre	90-130	70-1000	220-1400	30-120	8,4-8,9
Aleaciones de manganesio	40-50	30-250	60-300		1,7-1,8
Aleaciones de níquel	180-220	60-1200	200-1400	>100	7,9-8,9
Aleaciones de titanio	100-120	800-1400	350-1500	50-100	4,4-4,5
Aleaciones de zinc	70-90	50-300	150-350		6,7-7,1
Polietileno (PEBD)	0,12-0,25		1,-16	1,-2	0,91-0,94
Polietileno (PEAD)	0,45-1,4		20-38	2,-5	0,95-0,97
Polipropileno	0,5-1,9		20-40	3,5	0,90-0,91

PTFE	0,35-0,6		17-28		2,1-2,25
Poliestireno (PS)	2,8-3,5		38-85	2	1,0-1,1
PVC rígido	2,4-4,0		24-64	2,4	1,4-1,5
Acrílico (PMMA)	2,7-3,5		50-80	1,6	1,2
Nylons (PA)	2,0-3,5		60-100	3,-5	1,05-1,15
Resinas de fenol					1,05-1,15
formaldehído	5,-8		35-55		
Resinas de poliéster	1,3-4,5		45-85	0,5	1,25
Resinas epóxicas	2,1-5,5		40-85	0,6-1	1,1-1,4
Plásticos con refuerzos					1,1-1,4
de fibra de vidrio	10,-45		100-300	20-60	
Plásticos con refuerzos					
de fibra de carbono	70-200		70-650	30-45	1,55-2,0
Vidrio de soda	74		50*	0,7	2,5
Alúmina	380		300-400*	3,-5	3,9
Carburo de silicio	410		200-500*		3,2
Nitruro de silicio	310		300-850*	4	3,2
Concreto	30-50		7*	0,2	2,4-2,5

* valores del módulo de ruptura

Tabla 4.1 Propiedades De Los Materiales

Son muchas las propiedades de los materiales, la mayoría de ellas cuantificables, y que tal vez requieran considerarse en un proceso de selección. Entre otras tenemos:

Módulo elástico, resistencia a la fluencia y resistencia máxima, dureza y resistencia al desgaste, ductilidad, tenacidad, tenacidad de fractura, resistencia a la fatiga, características de fluencia lenta, resistencia a la corrosión y a la oxidación, propiedades eléctricas, propiedades magnéticas, dilatibilidad y conductividad térmicas, densidad o masa específica, como ya se mencionó en el capítulo anterior.

4.2 MATERIALES USADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA PARA ENSAYOS DE DOBLADO Y SUS COSTOS.

Para la construcción del dispositivo y sus accesorios para el ensayo de doblado se usó los siguientes materiales que muestran en la tabla 4.2.

MATERIAL	CARACTERÍSTICAS	COSTO/USD
IPNS	240X100X10 180X90X8 (ESTRUCTURA)	280
PLACAS DE ACERO SAE 1040	50X20X6	60
GATA HIDRAÚLICO	30 TONELADAS	78.24
MATRIZ ASME (MACHO Y HEMBRA) ACERO K100	Fig. 3.6	380
ELECTRODOS	6011, 7018	10
EJES	ACERO SAE 1040	50
RESORTE		35
VARIAS PLACAS	ACERO SAE 1030	150
PERNOS Y TUERCAS	ACERO PAVONADOS	7
PINTURA	ANTICORROSIVA	25
TRATAMIENTO TÉRMICO	CEMENTADO	50
	TOTAL	1125.24

Tabla 4.2 Materiales para la construcción de la prensa

Para poder determinar el tonelaje del gato hidráulico tomaremos en cuenta los radios de curvatura de las matrices hembras, tanto de la norma API 1104 y ASME IX. Por lo que necesitamos aplicar los conocimientos de Resistencia de Materiales y Estructuras Metálicas.

4.3 CÁLCULO DEL TONELAJE DEL GATO HIDRAÚLICO

A continuación se muestra los datos reales para realizar el cálculo mencionado.

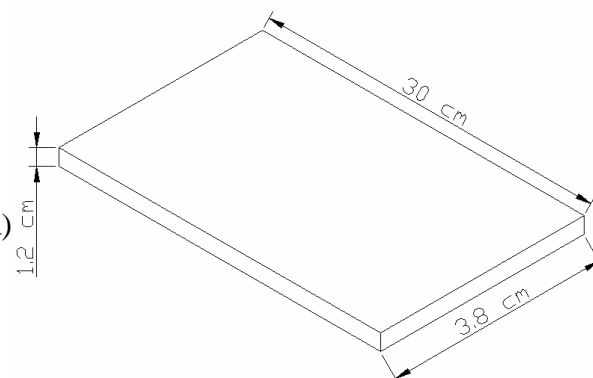
DATOS DE LA PROBETA ASME IX

L= 30 cm. (longitud)

A= 3.8 cm. (ancho)

e= 1.2 cm. (espesor)

$\Delta_{m\acute{a}x} = 12.05\text{cm}$ (Radio de curvatura de la matriz hembra)



$$E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}$$

RESOLUCIÓN

$$I = \frac{1}{12}bh^3$$

$$I = \frac{1}{12}3.8\text{cm} \times 1.2^3$$

$$I = 0.547\text{cm}^4$$

$$\Delta_{\text{máx}} = \frac{PL^3}{48EI}$$

$$12.05\text{cm} = \frac{Px(30)^3 \text{ cm}}{48(2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm})0.547\text{cm}^4}$$

$$P = \frac{12.05\text{cm} \times (48(2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm})0.547\text{cm}^4)}{(30)^3 \text{ cm}}$$

$$P = 24607 \text{ Kgf} = 25\text{ton}$$

NORMA API 1104

DATOS DE LA PROBETA

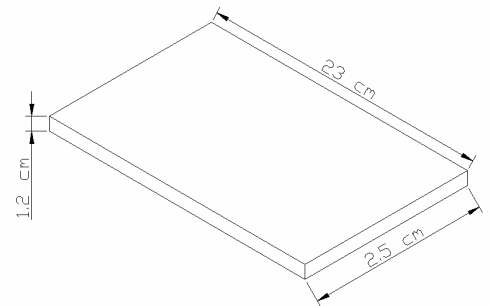
L = 23 cm. (longitud)

A = 2.5 cm. (ancho)

e = 1.2 cm. (espesor)

$\Delta_{\text{máx}} = 10\text{cm}$ (Radio de curvatura de la matriz hembra)

$$E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}$$



RESOLUCIÓN

$$\Delta_{\text{máx}} = \frac{PL^3}{48EI}$$

$$I = \frac{1}{12}bh^3$$

$$10\text{cm} = \frac{Px23^3 \text{ cm}}{48(2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm})0.36\text{cm}^4}$$

$$I = \frac{1}{12}2.5\text{cm} \times 1.2^3$$

$$P = \frac{10\text{cm} \times (48(2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm})0.36\text{cm}^4)}{23^3 \text{ cm}}$$

$$I = 0.36\text{cm}^4$$

$$P = 29824.93 \text{ Kgf} = 30\text{tn}$$

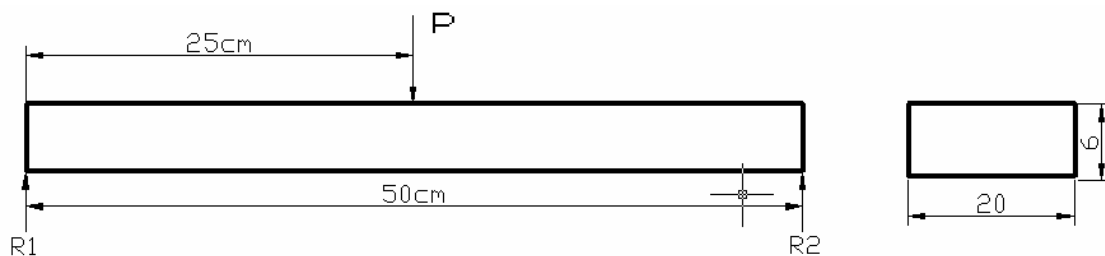
Después de realizar los cálculos se concluye que el gato que se va usar es de 30 toneladas, el mismo que servirá para el ensayo de doblado para las normas API 1104 y ASME IX.

4.4 CÀLCULO DE ESFUERZOS DE FLEXIÒN EN LA ESTRUCTURA INFERIOR

Es necesario realizar el dimensionamiento de la estructura, por lo que para facilitar nuestro estudio lo haremos como se muestra a continuación.

Por seguridad para el cálculo de la viga de la estructura vamos a tomar un factor de seguridad de 1.2.

$$P = 30000 \text{Kgf} * 1.2 = 36000 \text{Kgf}$$



DATOS DE LA VIGA

L= 50 cm. (longitud)

A= 20 cm. (ancho)

e= 6cm. (espesor)

E= $2.1 \times 10^6 \text{ kg} / \text{cm}^2$

P=36000 kgf (factor de seguridad)

$\Delta_{\text{máx}} = ?$

RESOLUCIÓN

$$R1 = \frac{25 \times 36000}{50} = 18000 \text{ Kg}$$

$$R2 = \frac{25 \times 36000}{50} = 18000 \text{ Kg}$$

$$R1 = R2$$

$$I = \frac{1}{12} bh^3$$

$$I = \frac{1}{12} 20 \text{ cm} \times 6^3$$

$$I = 360 \text{ cm}^4$$

$$\Delta m_{\text{máx}} = \frac{PL^3}{48EI}$$

$$\Delta m_{\text{máx}} = \frac{(36000 \text{ Kg} \times 50^3 \text{ cm})}{48(2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2) 360 \text{ cm}^4}$$

$$\Delta m_{\text{máx}} = 0.12 \text{ cm}$$

$$\sigma = \frac{Mv}{I}$$

$$\sigma = \frac{Mv}{360}$$

$$\sigma = \frac{36000 \text{ Kg} \times 25 \text{ cm}}{360 \text{ cm}^4}$$

$$\sigma = 625 \text{ Kg/cm}^2$$

La deformación en la viga no debe sobre pasar el $\frac{1}{300}$ de la longitud de la viga,

por lo tanto la viga es muy rígida, y soporta la carga aplicada.

4.5 CÀLCULO DE ESFUERZOS DE COMPRESIÒN EN LAS COLUMNAS

INFERIORES

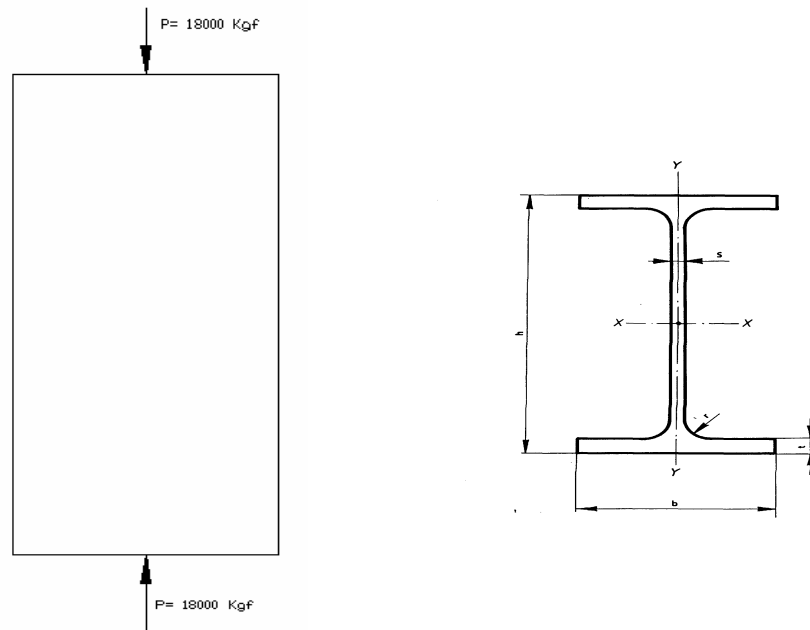
DATOS DE LA COLUMNA

PERFIL IPN 240X100X10 (mm)

L= 80 cm. (longitud)

A= 39.1 cm. (Área) Tabla 4.3

P= 18000 Kgf



$$E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{18000 \text{ KgF}}{39.1 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma = 460.35 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\delta = \frac{PxL}{AxE}$$

$$\delta = \frac{(18000 \text{ Kg} \times 80 \text{ cm})}{39.1 \text{ cm}^2 \times (2.1 \times 10^6 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2})}$$

$$\delta = 0.017 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Podemos concluir que las columnas elegidas si soportan la carga a la que son sometidas, sin tener una deformación elevada.

4.6 CÁLCULO DE ESFUERZOS DE FLEXIÓN EN LA VIGA SUPERIOR

De los cálculos realizados anteriormente se concluyó que el gato hidráulico a ser usado es de 30 toneladas, lo cual nos sirve como referencia para los siguientes cálculos.

DATOS DE LA VIGA

PERFIL IPN 180x91x8 (mm)

L= 60.5 cm. (longitud)

P= 30 000 Kgf (gato)

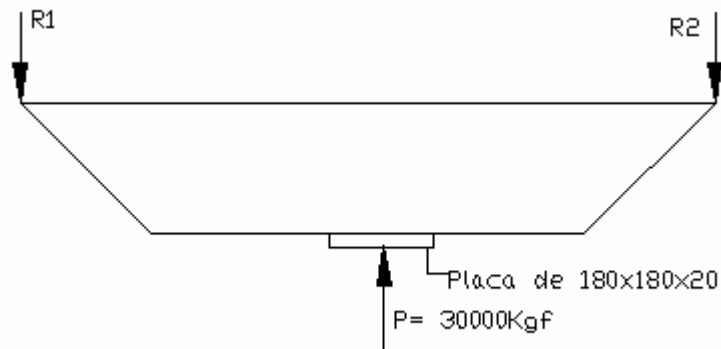
A=23.9 cm. (área) Tabla .3

e= 8cm. (espesor)

E= $2.1 \times 10^6 \text{ kg} / \text{cm}^2$

I_I= 101 cm⁴ (Tablas)

I_{palca}= 12 cm⁴



I_t=113 cm⁴

$\Delta_{\text{máx}} = ?$

RESOLUCIÓN

$$R1 = \frac{35.5 \times 30000}{71} = 15000 \text{ Kg}$$

$$R2 = \frac{35.5 \times 30000}{71} = 15000 \text{ Kg}$$

$$R1 = R2$$

$$I_{\text{placa}} = \frac{1}{12} b h^3$$

$$I_{\text{placa}} = \frac{1}{12} 18 \text{ cm} \times 2^3 \text{ cm}$$

$$I_{\text{placa}} = 12 \text{ cm}^4$$

$$\Delta_{\text{máx}} = \frac{PL^3}{48EI_t}$$

$$\Delta_{\text{máx}} = \frac{(30000 \text{ Kg} \times 60.5^3 \text{ cm})}{48(2.1 \times 10^6 \text{ kg} / \text{cm}^2) 113 \text{ cm}^4}$$

$$\Delta_{\text{máx}} = 0.00015 \text{ cm}$$

$$\sigma = \frac{M_v}{I}$$

$$\sigma = \frac{Mv}{113}$$

$$\sigma = \frac{\frac{30000Kg \times 30.25cm}{4}}{113cm^4}$$

$$\sigma = 2007.74Kg / cm^2$$

La deformación en la viga no sobrepasa el Esfuerzo de Fluencia del material que es de 2400 Kgf, además no sobre pasa el $\frac{1}{300}$ de la longitud total de la viga, por lo tanto esta dentro de los límites normales.

4.7 CÁLCULO DE ESFUERZOS DE TRACCIÓN EN LAS COLUMNAS SUPERIORES

DATOS DE LA COLUMNA

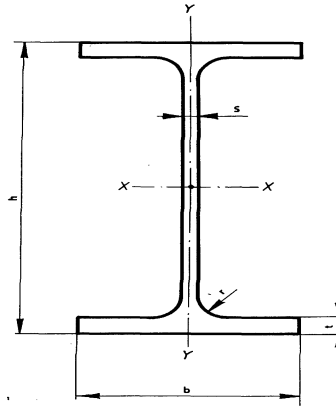
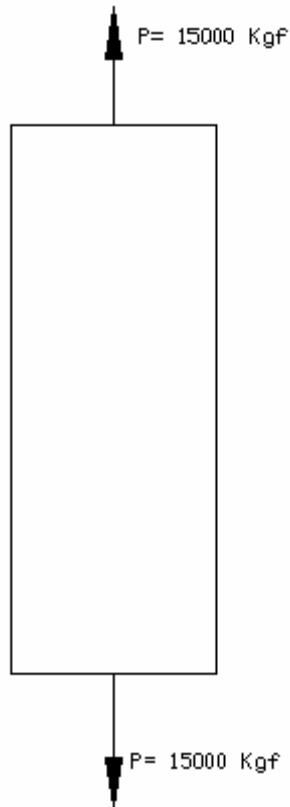
PERFIL IPN 180X91X9 (mm)

L= 71 cm. (longitud)

A= 23.9 cm. (Área) Tablas

P= 15000 Kgf

E= $2.1 \times 10^6 kg / cm^2$



$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{15000 \text{Kgf}}{23.9 \text{cm}^2}$$

$$\sigma = 627.61 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\delta = \frac{PxL}{AxE}$$

$$\delta = \frac{(15000 \text{Kg} \times 71 \text{cm})}{23.9 \text{cm}^2 \times (2.1 \times 10^6 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2})}$$

$$\delta = 0.021 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Podemos concluir que las columnas elegidas si soportan la carga a la que son sometidas, sin tener una deformación elevada.

La figura 4.2 muestra la estructura de la prensa hidráulica.

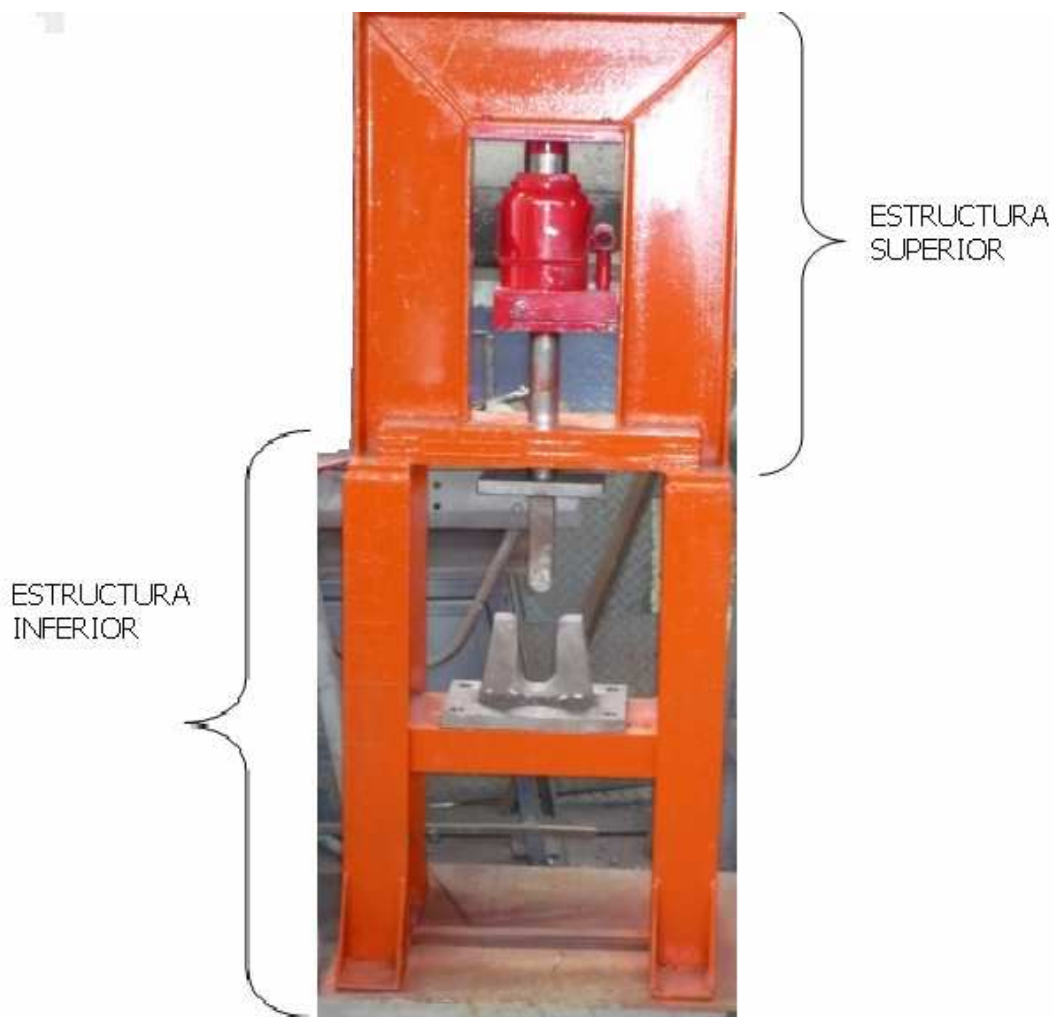


Figura 4.2 Estructura de la Prensa Hidráulica

4.8 CARACTERÍSTICAS Y SELECCIÓN DEL RESORTE DE RETORNO

El resorte que se eligió para nuestra construcción es de compresión cilíndrica, el cual tiene las siguientes características:

Material: alambre revenido en aceite

Diámetro del alambre: 7.70 mm (0.303 plg) (d)

Diámetro exterior: 68.28 mm (2.69 plg) (D)

Diámetro interior: 54 mm

Fuerza aplicada= 30 000 kgf (F)

A continuación vamos se calculan los parámetros fundamentales para realizar la construcción de esta pieza:

a) Evaluar la resistencia de Fluencia a la torsión del alambre (σ_y)

Los valores de A y de m se obtuvieron de la tabla 4.3 que se muestra en la página 64.

$$\sigma_{ut} = \frac{A}{d^m}$$

$$\sigma_{ut} = \frac{146kpsi}{0.303^{0.193}} = 183.83kpsi$$

$$\sigma_y = 0.45S_{ut}$$

$$\sigma_y = 0.45 \times 183.83kpsi$$

$$\sigma_y = 82.7kpsi //$$

$$F_{aplicada} = 82700 \frac{lbf}{pulg^2} \times \frac{1Kgf}{2.2} \times \pi (2.60 pulg)^2$$

$$F_{aplicada} = 798324.38Kgf.$$

Por lo tanto comparando la fuerza aplicada con fuerza necesaria para alcanzar el esfuerzo de fluencia resulta completamente menor, por lo que el resorte esta seleccionado con un alto nivel de seguridad.

b) Carga estática correspondiente a la resistencia de fluencia (F_s)

$$K_s = \frac{2C+1}{2C}$$

$$C = \frac{D}{d}$$

$$C = \frac{2.69pulg}{0.303pulg} = 8.87$$

$$K_s = \frac{(2 \times 8.87) + 1}{2 \times 8.87} = 1.05$$

$$F_s = \frac{S_{syx} \pi x d^3}{8 \times K_s \times D}$$

$$F_s = \frac{82.7 \times \pi \times 0.303^3 \times 10^3}{8 \times 1.05 \times 2.69} = 4.3 \text{ lb}$$

Por los valores obtenidos podemos concluir que el resorte seleccionado es el adecuado para este trabajo.

MATERIAL	ASTM	EXPONENTE	INTERCEPCIÓN	
	Núm.	m	A, kpsi	A, kpsi
Alambre para cuerda musical ^a	A 228	0.163	186	2060
Alambre revenido en aceite ^b	A 229	0.193	146	1610
Alambre estirado duro ^c	A 227	0.201	137	1510
Al cromo-vanadio ^d	A 232	0.155	173	1790
Al cromo-silicio ^e	A 401	0.091	218	1960

Tabla 4.3 Materiales e índices de fabricación de resortes

^aLa superficie es lisa, no tiene defectos y posee brillante acabado lustroso.

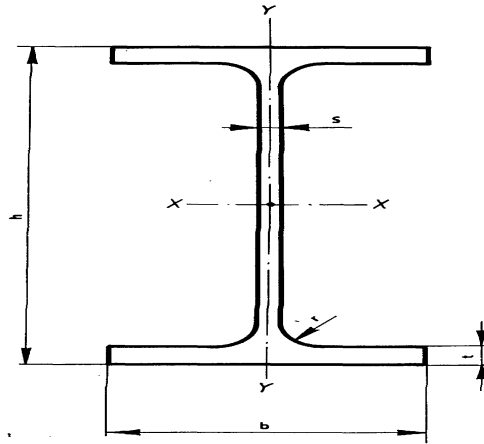
^bTiene una ligera capa de escoria proveniente del tratamiento térmico, la que debe quitarse antes de aplicar recubrimiento.

^cLa superficie es lisa, brillante, sin marcas visibles.

^dAlambre revenido de calidad para aviones; puede también obtenerse recocado.

^eRevenido a Rock well C49, pero también puede obtenerse sin revenir.

La tabla 4.4 muestra los diferentes tipos de IPN más frecuentes en la industria.



Designación del perfil	Medidas					A cm ²	m Kg/m	Momento de inercia		Módulo resistente		Radio de giro		Superficie	
	mm							I _x	I _y	W _x	W _y	i _x	i _y	m ² /m	m ² /t
	h	b	s	t	r										
IPN 80	80	46	3,8	5,2	5	7,64	6,0	80,1	8,49	20,0	3,69	3,24	1,05	0.328	49.33
IPN 100	100	55	4,1	5,7	7	10,3	8,1	171	15,9	34,2	5,79	4,07	1,24	0.400	
IPN 120	120	64	4,4	6,3	7	13,2	10,4	316	27,7	53,0	8,65	4,90	1,45	0.475	
IPN 140*	140	73	4,7	6,9	7	16,4	12,9	541	44,9	77,3	12,3	5,74	1,65	0.551	42.70
IPN 160*	160	82	5,0	7,4	9	20,1	15,8	869	68,3	109	16,7	6,58	1,84	0.623	39.47
IPN 180*	180	91	5,3	8,0	9	23,9	18,8	1317	101	146	22,2	7,42	2,05	0.698	37.13
IPN 200*	200	100	5,6	8,5	12	28,5	22,4	1943	142	194	28,5	8,26	2,24	0.768	34.36
IPN 220*	220	110	5,9	9,2	12	33,4	26,2	2772	205	252	37,3	9,11	2,48	0.848	32.36
IPN 240*	240	120	6,2	9,8	15	39,1	30,7	3892	284	324	47,3	9,97	2,69	0.922	30.02
IPN 270*	270	135	6,6	10,2	15	45,9	36,1	5790	420	429	62,2	11,2	3,02	1.04	28.86
IPN 300*	300	150	7,1	10,7	15	53,8	42,2	8356	604	557	80,5	12,5	3,35	1.16	27.46
IPN 330*	330	160	7,5	11,5	18	62,6	49,1	11770	788	713	98,5	13,7	3,55	1.25	25.52
IPN 360*	360	170	8,0	12,7	18	72,7	57,1	16270	1043	904	123	15,0	3,79	1.35	23.70
IPN 400*	400	180	8,6	13,5	21	84,5	66,3	23130	1318	1160	146	16,5	3,95	1.47	22.12
IPN 450*	450	190	9,4	14,6	21	98,8	77,6	33740	1676	1500	176	18,5	4,12	1.61	20.69
IPN 500	500	200	10,2	16,0	21	116	90,7	48200	2142	1930	214	20,4	4,31	1.74	19.23
IPN 550	550	210	11,1	17,2	24	134	106	67120	2668	2440	254	22,3	4,45	1.88	17.78
IPN 600	600	220	12,0	19,0	24	156	122	92080	3387	3070	308	24,3	4,66	2.01	16.45

Tabla 4.4. Perfiles IPN de acuerdo a la norma UNE 36-526-94

CAPÍTULO V

5. PROCESOS CONSTRUCTIVOS

En la industria se utiliza un número considerable de diferentes procesos o métodos de manufactura. Para poder seleccionar un método de manufactura debemos tener en cuenta el costo y aplicar una visión técnica. Es necesario considerar un amplio conocimiento de las posibilidades y limitaciones de los diversos procesos de manufactura, incluyendo todos los materiales empleados así como las formas geométricas, tolerancias y acabados superficiales.

El término PROCESO, se define como el conjunto de actividades que empleando insumos organizacionales le agregan valor a estos (generan una transformación) y suministran un producto para un cliente interno o externo.

Los procesos de construcción se clasifican en:

- Procesos de conservación de masa
- Procesos de reducción de masa
- Procesos de ensamble y unión.

5.5 PROCESOS DE CONSERVACIÓN DE MASA

1. Fundición
2. Conformado mecánico por deformación plástica
3. Sinterizado

5.6 PROCESOS DE REDUCCIÓN DE MASA

- Torneado
- Cepillado fresado
- Taladrado
- Rectificado
- Maquinado por electro- erosión
- Maquinado electroquímico
- Oxicorte

5.3 PROCESOS DE ENSAMBLE Y UNIÓN.

- Soldadura por arco eléctrico
- Soldadura por fricción
- Soldadura oxiacetilénica
- Soldadura de punto por resistencia
- Soldadura con pegamento o adhesivo
- Remachado
- Empernado/ atornillado
- Diferentes ensamblajes mecánicos

Todos estos procesos de reducción de masa se utilizan para modificar formas, dimensiones y grado de acabado superficial, arrancando a la pieza una capa se sobre espesor que es transformada en viruta, como se muestra en la fig. 5.1.

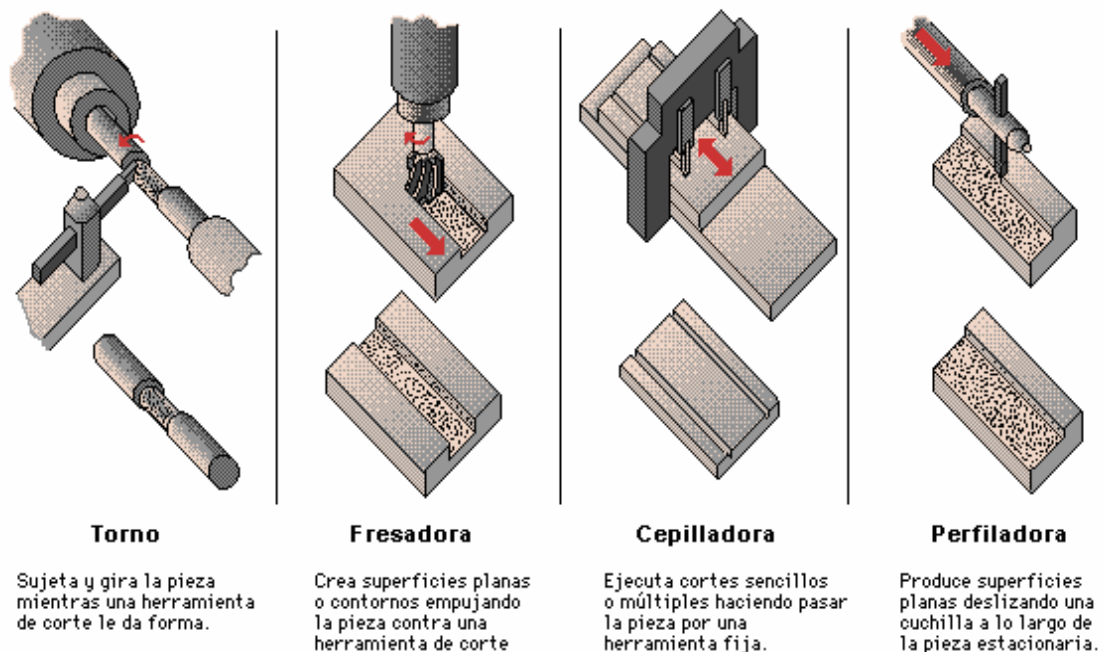


Figura 5.1 Máquinas herramientas con arranque de viruta

5.4 CLASIFICACIÓN DE LAS MAQUINAS HERRAMIENTAS

Se pueden clasificar como se indica en la tabla 5.1:

MOVIMIENTO DE TRABAJO	MÁQUINA	MOVIMIENTO DE CORTE	MOVIMIENTO DE AVANCE
ROTATORIO CONTINUO	TORNO PARALELO	REALIZADO POR: PIEZA	REALIZADO POR: HERRAMIENTA
	TORNO REVOLVER		
	TORNO AUTOMÁTICO		
	TORNO COPIADOR		
	TORNO VERTICAL		
ROTATORIO CONTINUO	TALADRO DE:	HERRAMIENTA	HERRAMIENTA
	COLUMNA		
	RADIAL MÚLTIPLE,		
ROTATORIO CONTINUO	MANDRINADORA	HERRAMIENTA	HERRAMIENTA O PIEZA
RECTILÍNEO ALTERNATIVO	LIMADORA	HERRAMIENTA	PIEZA
	CEPILLADURA	PIEZA	HERRAMIENTA
	ESCOPLEADORA	HERRAMIENTA	PIEZA
RECTILÍNEO INTERMITENTE	BROCHADORA	HERRAMIENTA	INCREMENTO DE LOS DIENTES
ROTATORIO CONTINUO	FRESADORA:	HERRAMIENTA	PIEZA
	HORIZONTAL		
	VERTICAL		
	UNIVERSAL		
ROTATORIO CONTINUO	SIERRA DE DISCO	HERRAMIENTA	HERRAMIENTA
RECTILÍNEO CONTINUO	SIERRA CINTA	HERRAMIENTA	HERRAMIENTA
ROTATORIO CONTINUO	RECTIFICADORA:	HERRAMIENTA	HERRAMIENTA Y PIEZA
	UNIVERSAL		
	VERTICAL		
	SIN CENTROS FRONTAL		
ROTATORIO ALTERNADO	ROSCADORA	HERRAMIENTA	HERRAMIENTA
RECTILÍNEO ALTERNADO	GENERADORA DE	HERRAMIENTA	PIEZA
	ENGRANES CON		
	SISTEMA PFAUTHER.		

Tabla 5.1 Clasificación de las máquinas herramientas

A continuación se va a describir las máquinas usadas en la construcción del dispositivo para ensayos de soldadura.

5.4.1 Torno: Es una de las máquinas más antiguas y trabaja mediante el arranque de material a través de unas cuchillas y brocas. Para ello la pieza gira y la cuchilla va desbastando, como resultado se obtiene partes cilíndricas y cónicas.

Hay varios tipos de tornos: **los paralelos**, que son los convencionales; los de **control numérico**, que están controlados por un sistema electrónico programable; **los de levas**, que el control se realiza mediante unas levas también son llamados de decoletaje; los **tornos revólver**, que poseen una torreta que gira, el revólver, en la cual se sitúan los diferentes útiles de trabajo. En la figura 5.2 podemos observar a un torno convencional.



Figura 5.2 Torno convencional

5.4.2 Fresadora: En las fresadoras, la pieza entra en contacto con un dispositivo circular que cuenta con varios puntos de corte. La pieza se sujeta a un soporte que controla su avance contra el útil de corte. El soporte puede avanzar en tres direcciones: diagonal, horizontal y vertical. En algunos casos también puede girar. Las fresadoras son las máquinas herramientas más versátiles. Permiten obtener superficies curvas con un alto grado de precisión y un acabado excelente. Los distintos tipos de herramientas de corte permiten obtener ángulos, ranuras, engranajes o muescas. En la figura 5.3 podemos observar una fresadora convencional.



Figura 5.3 Fresadora convencional

5.4.3 Taladradora: Las máquinas taladradoras se utilizan para abrir orificios, para modificarlos, para adaptarlos a una medida, para rectificar o esmerilar un orificio a fin de conseguir una medida precisa o una superficie lisa. Hay taladradoras de distintos tamaños y funciones, desde taladradoras portátiles a radiales, pasando por taladradoras de varios cabezales, máquinas automáticas o máquinas de perforación de gran longitud. La perforación implica el aumento de la anchura de un orificio ya taladrado. Esto se realiza con una broca de corte giratoria con una sola punta, colocado en una barra y dirigido contra una pieza fija. Entre las máquinas perforadoras se encuentran las perforadoras de calibre y las fresas de perforación horizontal y vertical. En la figura 5.4 podemos observar una taladradora de pedestal.

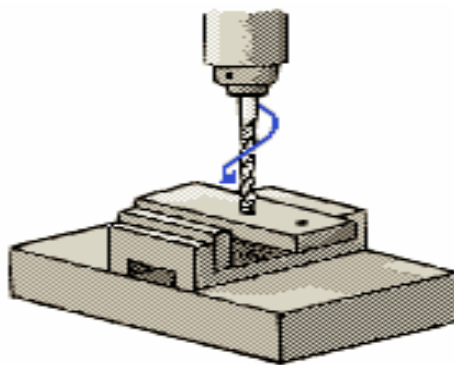


Figura 5.4 Taladro de Pedestal

5.4.4 Cepilladora: Esta es la más común entre las máquinas herramientas de vaivén. Al contrario que en las perfiladoras, donde la herramienta se mueve sobre una pieza fija, la cepilladora mueve la pieza sobre una herramienta fija. Después de cada vaivén, la pieza se mueve lateralmente para utilizar otra parte de la herramienta. Al igual que la perfiladora, la cepilladora permite hacer cortes verticales, horizontales o diagonales. También puede utilizar varias herramientas a la vez para hacer varios cortes simultáneos, como se muestra en la figura 5.5

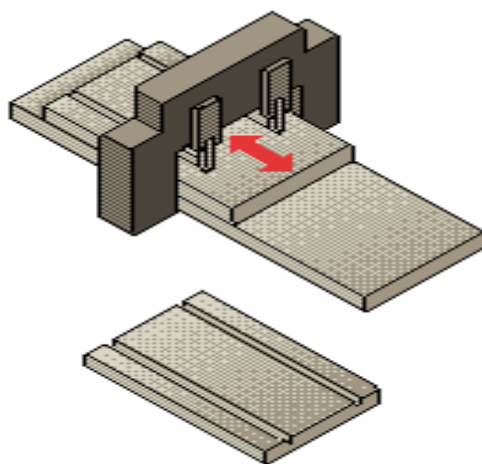


Figura 5.5 Cepilladora Horizontal

5.4.5 Sierras: Las sierras mecánicas más utilizadas pueden clasificarse en tres categorías, según el tipo de movimiento que se utiliza para realizar el corte: de vaivén, circulares o de banda. Las sierras suelen tener un banco o marco, un tornillo para sujetar la pieza, un mecanismo de avance y una hoja de corte. En la figura 5.6 podemos ver una sierra de tipo vaivén.



Figura 5.6 Sierra Manual

5.4.6 Pulidora: El pulido es la eliminación de metal con un disco abrasivo giratorio que trabaja como una fresadora de corte. El disco está compuesto por un gran número de granos de material abrasivo conglomerado, en que cada grano actúa como un útil de corte minúsculo. Con este proceso se consiguen superficies muy suaves y precisas. Dado que sólo se elimina una parte pequeña del material con cada pasada del disco, las pulidoras requieren una regulación muy precisa, como se puede observar en la figura 5.7. La presión del disco sobre la pieza se selecciona con mucha exactitud, por lo que pueden tratarse de esta forma materiales frágiles que no se pueden procesar con otros dispositivos convencionales.

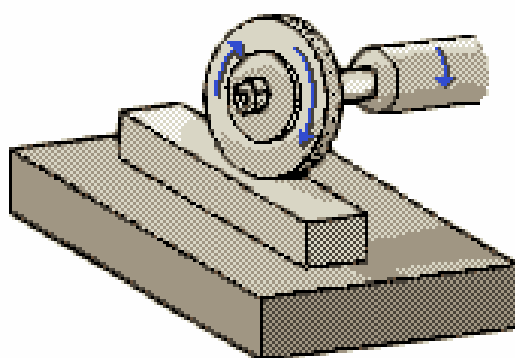


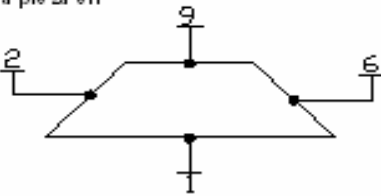
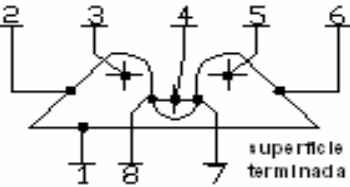
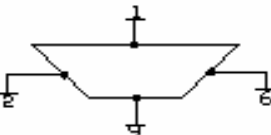
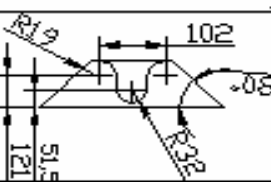
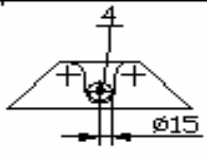
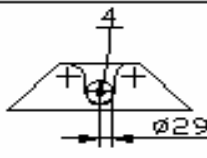
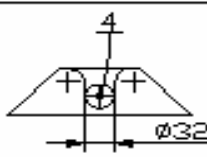
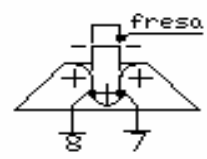
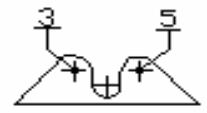
Figura 5.7 Pulidora de superficies

5.5 HOJAS DE PROCESOS DE LA FABRICACIÓN DE LA MATRICES ASME IX Y API 1104

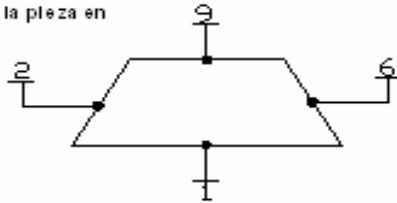
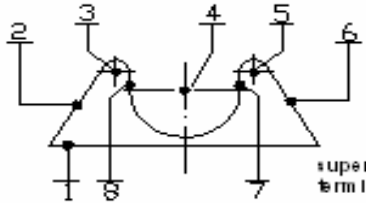
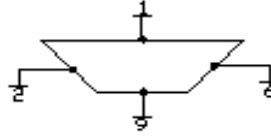
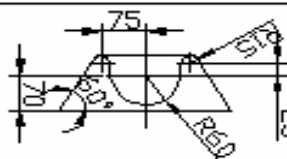
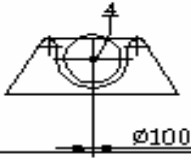
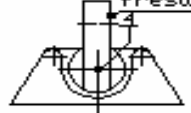
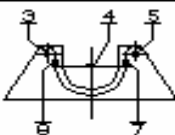
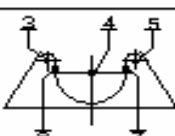
En las páginas 73 hasta 80 se muestran las hojas de procesos de las matrices para el ensayo de doblado de juntas soldadas.

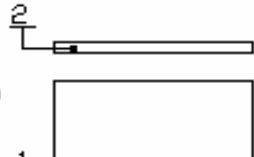
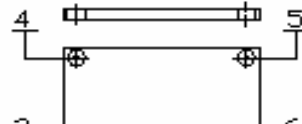
- **HOJAS DE PROCESO DE LA MATRIZ HEMBRA DE ACUERDO A LA NORMA API 1104**

HOJA 1

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT							
HOJA DE PROCESO		NÚMERO : 1	HOJA S: 1	AUTOR: LENIN AGUIRRE	FECHA: 10-01-2008		
PIEZA: MATRIZ ASME IX		DIBUJO: N.- 13	TIPO:	MATERIAL: Acero al K100	DIMENSION: 160 x 200 X 60		
<p>superficie de la pieza en bruto</p>   <p>superficie de la pieza terminada</p>							
N.º ETAPA	N.º FASE	N.º OPER.	DENOMINACIÓN DE OPERACIÓN	SUPERFICIE	CROQUIS DE OPERACIÓN	HERRAMIENTAS DE OPERACIÓN	PARAMETROS DE OPERACIÓN
1.- FRESA FRENAL UNIVERSAL	1	1	FRESAR	1		Fresa frontal Ø 20 HSS	50 rpm 1 pasada de desbaste 1 pasada de acabado en cada superficie avance a discreción
	2	2		9			
	3	3		2			
	4	4		6			
2.- BANCO DE TRABAJO	1	1	TRAZAR CENTROS Y CONTORNO	3 4 5 7 8		Compas, rayador, calibrador, granete, cuartilla	-----
3.- TALADRO DE COLUMNA	1	1	TALADRAR	4		Broca espiral Ø 15 HSS	a= 0.5 mm V= 320 RPM
		2	TALADRAR	4		Broca espiral Ø 29 HSS	a= 0.5 mm V= 300 RPM
		3	ESCARREAR	4		Escarredor Ø 32 HSS	a= 0.5 mm V= 350 RPM
4.- FRESA FRENAL UNIVERSAL	1	1	FRESAR	7 8		Fresa de disco Ø 130 x 32 Hss 10 dientes	55 rpm avance automático
5.- BANCO DE TRABAJO	1	1	DESBASTADO	3 5		Lima plana guesa, plantilla de control Ø32	-----

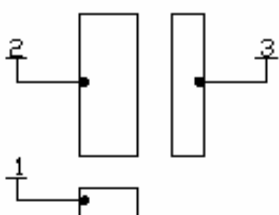
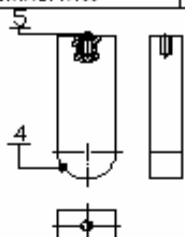
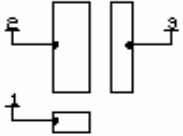
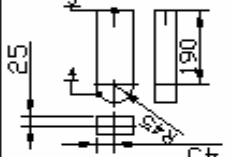
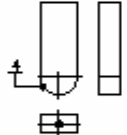
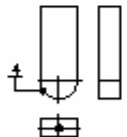
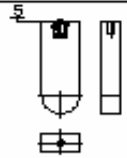
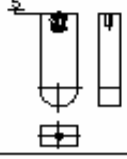
HOJA 1

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL - ESFOI							
HOJA DE PROCESO	NÚMERO : 1	HOJAS : 1	AUTOR : LENIN AGUIRRE	FECHA : 10-01-2008			
PIEZA: MATRIZ AP1 1104	DIBUJO: N.-4	TIPO:	MATERIAL: K100	DIMENSIÓN: 300 ± 140 X 60			
superficie de la pieza en bruto				superficie de la pieza terminada			
N.- ETAPA	N.-FASE	N.- OPER.	DENOMINACIÓN DE OPERACIÓN	SUPERFICIE	CROQUIS DE OPERACIÓN	HERRAMIENTAS DE OPERACIÓN	PARAMETROS DE OPERACIÓN
1.- FRESA FLEXACUM UNIVERSAL	1	1	FRESAR	1		Fresa frontal Ø 20 HSS	505 rpm 1 pasada de desbaste 1 pasada de acabado en cada superficie a avance a discreción
	2	2		9			
	3	3		2			
	4	4		6			
2.- BANCO DE TRABAJO	1	1	TRAZAR CENTROS Y CONTORNO	3 4 5 7 8		Compas, rayador, calibrador, granete, cuartilla	-----
3.- TALADRO DE COLUMNA		1	TALADRAR	4			350 rpm avance normal
4.- FRESA FLEXACUM UNIVERSAL	1	1	FRESAR	4		Fresa de disco Ø 130 x 30 Hss 10 dientes	300 rpm avance automatico
5.- BANCO DE TRABAJO	1	1	DESBASTADO	4 8 7		Lima plana gruesa, plantilla de control R=20	-----
		2		3 5			
	1	1	ACABADO	4 8 7		Lima plana fina, plantilla de control R=20	-----
		2		3 5			

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL - ESFOI				ACERO DE BAJA 70 C			
HOJA DE PROCESO	NÚMERO : 2	HOJAS : 1	AUTOR : LENIN AGUIRRE	FECHA : 10-01-2008			
PIEZA	DIBUJO: N.-4	TIPO:	MATERIAL: Acero 0.3%C	DIMENSIÓN: 380 ± 210			
superficie de la pieza en bruto				superficie de la pieza terminada			

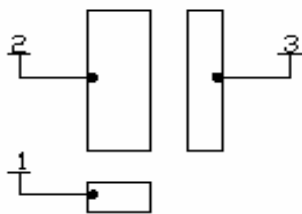
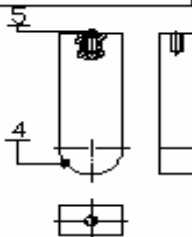
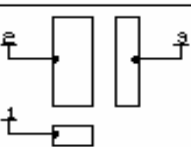
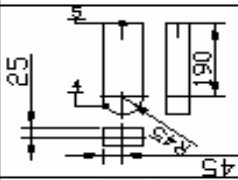
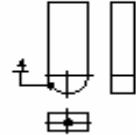
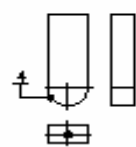
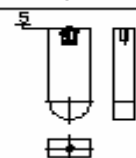
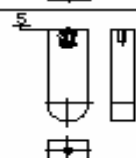
➤ **HOJA DE PROCESO DEL PUNZÓN DE ACUERDO A LA NORMA API
1104**

HOJA 1

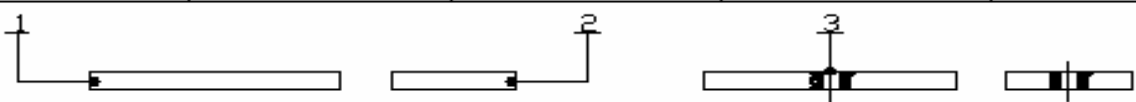
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL - ESFOT				K100			
HOJA DE PROCESO	NUMERO : 1	HOJAS : 1	AUTOR: LENIN AGUIRRE	FECHA: 10-01-2008			
PIEZA	DIBUJO: N.- 18	TIPO:	MATERIAL: K100	DIMENSION: 250x100x55			
<p>superficie de la pieza en bruto</p>  <p>superficie de la pieza terminada</p> 							
N.- ETAPA	N.-FASE	N.- OPER.	DENOMINACIÓN DE OPERACIÓN	SUPERFICIE	CROQUIS DE OPERACIÓN	HERRAMIENTAS DE OPERACIÓN	PARAMETROS DE OPERACIÓN
1.- LIMADORA PEZAC UN UNIVERSAL	1	1	LIMADO	1		cuchilla acero rápido	505 rpm 1 pasada de de baste 1 pasada de acabado en cada superficie avance a discreción
	2	2		2			
	3	3		3			
2.- BANCO DE TRABAJO	1	1	TRAZAR CENTROS Y CONTORNO	4 5		Compas, rayador, calibrador, granete, cuartilla	-----
3.- BANCO DE TRABAJO	1	1	DESBASTADO	4		Lima plana gruesa, plantilla de control R=45	-----
		1	ACABADO	4		Lima plana fina, plantilla de control R=20	-----
4.- TALADRAR	1	1	PERFORAR	5		Broca espiral Ø 16 HSS	300 rpm avance normal
5.- MACHUELAR	1	1	MACHUELAR	5		Machuelo M 18	

➤ **HOJA DE PROCESO DEL PUNZÓN DE ACUERDO A LA NORMA ASME IX**

HOJA 1

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL - ESFOT				K 100			
HOJA DE PROCESO	NUMERO : 1	HOJAS : 1	AUTOR : LENIN AGUIRRE	FECHA : 10-01-2008			
PIEZA	DIBUJO : N.- 18	TIPO :	MATERIAL : K100	DIMENSION : 250 ± 100 X 55			
<p>superficie de la pieza en bruto</p>  <p>superficie de la pieza terminada</p> 							
N.- ETAPA	N.-FASE	N.- OPER.	DENOMINACIÓN DE OPERACIÓN	SUPERFICIE	CROQUIS DE OPERACIÓN	HERRAMIENTAS DE OPERACIÓN	PARAMETROS DE OPERACIÓN
1.- LIMADORA PEQUEÑA UNIVERSAL	1	1	LIMADO	1		cuchilla acero rápido	505 rpm 1 pasada de desbaste 1 pasada de acabado en cada superficie a vance a discreción
	2	2		2			
	3	3		3			
2.- BANCO DE TRABAJO	1	1	TRAZAR CENTROS Y CONTORNO	4 5		Compas, rayador, calibrador, granete, cuartilla	-----
3.- BANCO DE TRABAJO	1	1	DESBASTADO	4		Lima plana gruesa, plantilla de control R=45	-----
		1	ACABADO	4		Lima plana fina, plantilla de control R=20	-----
4.- TALADRAR	1	1	PERFORAR	5		Broca espiral Ø 16 HSS	300 rpm avance normal
5.- MACHUELAR	1	1	MACHUELAR	5		Machuelo M 18	

HOJA 2

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL - ESFOT				ACERO DE BAJO % C	
HOJA DE PROCESO	NUMERO : 3	HOJAS : 2	AUTOR : LENIN AGUIRRE	FECHA : 10-01-2008	
PIEZA	DIBUJO : N.- 5	TIPO :	MATERIAL : Acero 0.3% C	DIMENSION : 200 ± 100 ± 20	
					

CONCLUSIONES

- A través del ensayo de doblado de juntas soldadas podemos determinar la ductilidad del material, calificar al soldador y el procedimiento de soldadura.
- La máquina construida en este proyecto se reduce el tiempo y el esfuerzo empleado para realizar el ensayo de doblado de juntas soldadas, basándonos en las normas API 1104 y ASME IX.
- Todas las recomendaciones para determinar la especificación del procedimiento de soldadura (WPS), calificación de procedimientos (PQR), reporte de calificación del soldador (WPQ); se encuentran en las normas API 1104 y ASME IX, anotadas en el capítulo III.
- El ensayo de doblado de ser supervisado por una persona que tenga una certificación y experiencia en dicho ensayo, para así poder sacar conclusiones del proceso de calificación.
- La prensa hidráulica está diseñada y construida para satisfacer las necesidades existentes en el Laboratorio de Soldadura de la Facultad de Ingeniería Mecánica, ya que se hizo un análisis de las exigencias del medio exterior, como el interno de la universidad.
- La realización de un ensayo de doblado debe ser realizado correctamente a fin de determinar las verdaderas propiedades mecánicas del material o de la soldadura, por lo que la máquina construida garantiza una mejor calidad del ensayo.
- La máquina para ensayos de doblado está diseñada para ubicarse en el Laboratorio de Soldadura de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional, en forma estacionaria.

RECOMENDACIONES

- Cuando se realice el ensayo de doblado se recomienda centrar de una manera adecuada el punzón con la matriz , para evitar dañar la probeta, y de esta manera garantizamos que los datos obtenidos son reales.
- Se debe seguir paso a paso las especificaciones del ensayo, las mismas que se exponen en las normas API 1104 y ASME IX, anotadas en el capítulo III.
- Se recomienda realizar el ensayo de doblado en placas hasta 13 mm de espesor, para evitar dañar los componentes de la prensa hidráulica.
- Verificar periódicamente el nivel de aceite en el gato hidráulica de 30 toneladas.
- La máquina debe ser fijada en el piso para evitar accidentes de trabajo.
- Se recomienda realizar los Ensayos de doblado en forma continua hasta alcanzar el ángulo especificado en los dispositivos de doblado.

BIBLIOGRAFÍA

4. BACHMANN Albert, "*Dibujo Técnico*", Barcelona, 1959.
5. BRUINS D, "*Herramientas y Máquinas*", Editorial: Urmo, Bilbao, 1962.
6. CHEVALIER A, "*Dibujo Industrial*", Editorial: Montanery Simón, Barcelona, 1979.
7. FILM Richard; TROJAN Paúl, "*Materiales de Ingeniería y sus aplicaciones*", Editorial: McGraw-Hill Latinoamericana, Bogotá, 1979.
8. FORREST P, "*Fatiga de los Metales*", Editorial: Urmo, Bilbao, 1972.
9. GORGEN Kart; TREDLKE Alfred, "*Mecánica y Resistencia de Materiales*", Editorial: Urmo, Bilbao, 1972.
10. HOLOWENCO A, "*Diseño de Máquinas*", McGraw-Hill, Colombia, 1971.
11. LARBURU, N. "*Prontuario de máquinas*". Editorial Paraninfo. Séptima edición. España. 1995.
12. POLLACK Herman, "*Máquinas Herramientas y Manejo de Materiales*", Editorial: Prentice-Hall, Bogotá, 1979.
13. SINGER Ferdinand, "*Resistencia de Materiales*", Editorial: Jarla, México, 1971.
14. SHIGLEY, Joseph. *El proyecto en ingeniería mecánica*. Editorial McGraw Hill. México. 1970
15. "*Tecnología de Taller Mecánico*", Editorial: CEAC, Barcelona, 1972.
16. TIMOSHENKO S, "*Resistencia de Materiales*", Madrid/España, 1978.
17. VAN Lawrence, "*Tecnología de Materiales*", Editorial: Fondo Educativo Interamericano, México, 1984.

18. WILLIAMS Clifford, *“Diseño de Estructuras Metálicas”*, Editorial: CECSA, México, 1960.
19. Norma API 1104. *“Welding of Pipelines and Related Facilities”*, Septiembre 1999.
20. Norma ASME IX. *“Boiler and pressure vessel code”*, 2001.
21. Norma API 5L *“Especificación de tubos de Línea”*, Enero 2000.
22. www.monografias.com
23. www.elprisma.com
24. www.infomecanica.com

ANEXO

CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS DE ACUERDO A LA NORMA ASME IX

CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A LA NORMA ASME IX

Num.De especificación	Tipo o grado	UNS No.	Esfuerzo mínimo, De fluencia, ksi	Soldadura				Soldadura Blanda		Composición	Forma del producto
				P. No.	Grupo No.	S. No.	Grupo No.	P. No.	S. No.		
SA-36	....	K0260	58	1	1	....	....	101	....	C-Mn-Si	Plate, bar, shapes
SA-53	Type F	....	48	1	1	....	....	101	....	C	Furnace welded pipe
SA-53	Type S, Gr.A	K02504	48	1	1	....	....	101	....	C	Smis. pipe
SA-53	Type E, Gr.A	K02504	48	1	1	....	....	101	....	C	Resistance welded pipe
SA-53	Type E, Gr.B	K03005	60	1	1	....	....	101	....	C	Resistance welded pipe
SA-53	Type S, Gr.B	K03005	60	1	1	....	....	101	....	C	Smis. Pipe
SA-105	....	K03504	70	1	2	....	....	101	....	C-Si	Flages & fittings
SA-106	A	K02501	48	1	1	....	....	101	....	C-Si	Smis. pipe
SA-106	B	K03006	60	1	1	....	....	101	....	C-Mn-Si	Smis. pipe
SA-106	C	K03501	70	1	2	....	....	101	....	C-Mn-Si	Smis. pipe
A 108	1015 CW	G10150	60	....	....	1	1	....	101	C	Bar
A-108	1018 CW	G10180	60	....	....	1	1	....	101	C	Bar
A-108	1020 CW	G1020	60	....	....	1	1	....	101	C	Bar
SA-134	SA283 Gr.A	...	45	1	1	....	....	101	....	C	Welded pipe
SA-134	SA283 Gr. B	...	50	1	1	....	....	101	....	C	Welded pipe
SA-134	SA283 Gr. C	K0241	55	1	1	....	....	101	....	C	Welded pipe
SA-134	SA283 Gr.D	K0272	60	1	1	....	....	101	....	C	Welded pipe
SA-134	SA283 Gr.A	K0170	45	1	1	....	....	101	....	C	Welded pipe
SA-134	SA283 Gr. B	K0220	50	1	1	....	....	101	....	C	Welded pipe
SA-134	SA283 Gr. C	K0281	55	1	1	....	....	101	....	C	Welded pipe

Numero De especificación	Tipo o grado	UNS No.	Esfuerzo mínimo, De fluencia, ksi	Soldadura				Soldadura Blanda		Composición	Forma del producto
				P. No.	Group No.	S. No.	Group No.	P. No.	S. No.		
SA-135	A	...	48	1	1	.....	....	101	....	C	E.R.W. pipe
SA-135	B	....	60	1	1	.....	....	101	....	C	E.R.W. pipe
A-139	A	....	48	....	....	1	1	....	101	C	Welded pipe
A-139	B	K03003	60	....	....	1	1	....	101	C	Welded pipe
A-139	C	K03004	60	....	....	1	1	....	101	C	Welded pipe
A-139	D	K03010	60	....	....	1	1	....	101	C	Welded pipe
A-139	E	K03012	66	....	....	1	1	....	101	C	Welded pipe
SA-178	A	K01200	47	1	1	.....	....	101	....	C	E.R.W. tube
SA-178	C	K03503	60	1	1	.....	....	101	....	C	E.R.W. tube
SA-178	D	....	70	1	2	.....	....	101	....	C-Mn-Si	E.R.W. tube
SA-179	....	K01200	47	1	1	.....	....	101	....	C	Smis. Tube
SA-181	CI. 60	K03502	60	1	1	....	....	101	....	C-Si	Pipe Flange & Fittings
SA-181	CI. 70	K03502	70	1	2	....	....	101	....	C-Si	Pipe Flange & Fittings
SA-182	F1	K12822	70	3	2	.....	....	101	....	C-0.5Mo	Forgings
SA-192	....	K01201	47	1	1	.....	....	101	....	C-Si	Smis. Tube
SA-204	A	K11820	65	3	1	.....	....	101	....	C-0.5Mo	Plate
SA-204	B	K12020	70	3	2	.....	....	101	....	C-0.5Mo	Plate
SA-204	C	K12320	75	3	2	.....	....	101	....	C-0.5Mo	Plate
SA-209	T1b	K11422	53	3	1	.....	....	101	....	C-0.5Mo	Smis. Tube

Numero De especificación	Tipo o grado	UNS No.	Esfuerzo mínimo, De fluencia, ksi	Soldadura				Soldadura Blanda		Composición	Forma del producto
				P. No.	Group No.	S. No.	Group No.	P. No.	S. No.		
SA-209	T1	K11522	55	3	1	.....	....	101	....	C-0.5Mo	Smis. Tube
SA-209	T1a	K12023	60	3	1	.....	....	101	....	C-0.5Mo	Smis. Tube
SA-210	A-1	K02707	60	1	1	.....	....	101	....	C-Si	Smis. Tube
SA-210	C	K03501	70	1	2	.....	....	101	....	C-Mn-Si	Smis. Tube
A-211	A570-30	K02502	49	....	....	1	1	....	101	C	Welded pipe Welded pipe Welded pipe
A-211	A570-33	K02502	52	....	....	1	1	....	101	C	
A-211	A570-40	K02502	55	....	....	1	1	....	101	C	
SA-214	....	K01807	47	1	1	.....	....	101	....	C	E.R.W. tube
SA-216	WCA	J02502	60	1	1	.....	....	101	....	C-Si	Castings Castings Castings
SA-216	WCC	J02503	70	1	2	.....	....	101	....	C-Mn-Si	
SA-216	WCB	J03002	70	1	2	.....	....	101	....	C-Si	
SA-217	WC1	J12524	65	3	1	....	....	101	....	C-0.5Mo	Castings
SA-234	WPB	K03006	60	1	1	....	....	101	.....	C-Mn-Si	Piping Fitting Piping Fitting Piping Fitting
SA-234	WPC	K03501	70	1	2	.....	....	101	....	C-Mn-Si	
SA-234	WP1	K12821	55	3	1	.....	....	101	....	C-0.5Mo	
SA-250	T1b	K11422	53	3	1	.....	....	101	....	C-0.5Mo	E.R.W. tube
SA-250	T1	K11522	55	3	1	.....	....	101	....	C-0.5Mo	E.R.W. tube E.R.W. tube
SA-250	T1a	K12023	60	3	1	.....	....	101	....	C-0.5Mo	

Numero De especificación	Tipo o grado	UNS No.	Esfuerzo mínimo, De fluencia, ksi	Soldadura				Soldadura Blanda		Composición	Forma del producto
				P. No.	Grupo No.	S. No.	Grupo No.	P. No.	S. No.		
A-254	CI.1	K01001	42	....	....	....	....	....	101	C	Cu brazed tube
A-254	CI.2	K01001	42	....	....	....	....	....	101	C	Cu brazed tube
SA-266	4	K03017	70	1	2	....	....	101	....	C-Mn-Si	Forgings
SA-266	1	K03506	60	1	1	....	....	101	....	C-Si	Forgings
SA-266	2	K03506	70	1	2	....	....	101	....	C-Si	Forgings
SA-266	3	K05001	75	1	2	....	....	101	....	C-Si	Forgings
SA-283	A	K01400	45	1	1	....	....	101	....	C	Plate
SA-283	B	K01702	50	1	1	....	....	101	....	C	Plate
SA-283	C	K02401	55	1	1	....	....	101	....	C	Plate
SA-283	D	K02702	60	1	1	....	....	101	....	C	Plate
SA-285	A	K01700	45	1	1	....	....	101	....	C	Plate
SA-285	B	K02200	50	1	1	....	....	101	....	C	Plate
SA-285	C	K02801	55	1	1	....	....	101	....	C	Plate
SA-299	....	K02803	75	1	2	....	....	101	....	C-Mn-Si	Plate
SA-333	6	K03006	60	1	1	....	....	101	....	C-Mn-Si	Smis. & welded pipe
SA-333	1	K03008	55	1	1	....	....	101	....	C-Mn	Smis. & welded pipe
SA-333	10	....	80	1	3	....	....	101	....	C-Mn-Si	Smis. & welded pipe
SA-334	6	K03006	60	1	1	....	....	101	....	C-Mn-Si	Welded tube
SA-334	1	K03008	55	1	1	....	....	101	....	C-Mn	Welded tube

Numero De especificación	Tipo o grado	UNS No.	Esfuerzo mínimo, De fluencia, ksi	Soldadura				Soldadura Blanda		Composición	Forma del producto
				P. No.	Grupo No.	S. No.	Grupo No.	P. No.	S. No.		
A-381	Y56	....	71	....	....	1	2	....	101	C	Welded pipe > 3/8 in. (10mm)
A-381	Y52	....	72	....	....	1	2	....	101	C	Welded pipe, to 3/8 in. (10mm)
A-381	Y56	....	75	....	....	1	2	....	101	C	Welded pipe, to 3/8 in. (10mm)
A-381	Y60	....	75	....	....	1	2	....	101	C	Welded pipe > 3/8 in. (10mm)
A-381	Y60	....	78	....	....	1	2	....	101	C	Welded pipe ≤ 3/8 in. (10mm)
SA-414	A	K01501	45	1	1	....	....	101	....	C	Sheet
SA-414	B	K02201	50	1	1	.....	....	101	....	C	Sheet
SA-414	C	K02503	55	1	1	..	....	101	....	C	Sheet
SA-414	D	K02505	60	1	1	....	....	101	....	C-Mn	Sheet
SA-414	E	K02704	65	1	1	....	....	101	....	C-Mn	Sheet
SA-414	F	K03102	70	1	2	....	....	101	....	C-Mn	Sheet
SA-414	G	K03103	75	1	2	....	....	101	....	C-Mn	Sheet
SA-420	WPL6	K03006	60	1	1	....	....	101	....	C-Mn-Si	Piping fitting
SA-426	CP15	J11522	60	3	1	....	....	101	....	C-0.5Mo-Si	Centrifugal cast pipe
SA-426	CP1	J12521	65	3	1	....	....	101	....	C-0.5Mo	Centrifugal cast pipe
A-446	A	....	45	....	.....	1	1	....	101	C	Sheet

Numero De especificación	Tipo o grado	UNS No.	Esfuerzo mínimo, De fluencia, ksi	Soldadura				Soldadura Blanda		Composición	Forma del producto
				P. No.	Grupo No.	S. No.	Grupo No.	P. No.	S. No.		
SA-455	....	K03300	70	1	2	....	....	101	....	C-Mn-Si	Plate >0.580-0.750 in. (15-19mm)
SA-455	....	K03300	73	1	2	....	....	101	....	C-Mn-Si	Plate >0.375-0.580 in. (10-15mm)
SA-455	....	K03300	75	1	2	....	....	101	....	C-Mn-Si	Plate, up to 0.375 in. (10mm)
SA-487	Gr. 16, Cl.	J31200	70	1	2	....	....	101	....	Low C-Mn-Ni	Castings
A-500	C	K02705	62	....	....	1	1	....	101	C	Tube
A-500	B	K03000	58	....	....	1	1	....	101	C	Tube
A-501	....	K03000	58	....	....	1	1	....	101	C	Tube
SA-508	1	K13502	70	1	2	....	....	101	....	C-Si	Forgings
SA-508	1A	....	70	1	2	....	....	101	....	C-Mn-Si	Forgings
SA-513	1008	G10080	42	1	1	....	....	101	....	C	Tube
SA-513	1010	G10100	45	1	1	....	....	101	....	C	Tube
SA-513	1015	G10150	48	1	1	....	....	101	....	C	Tube
A-513	1015 CW	G10150	65	....	....	1	1	....	101	C	Tube
A-513	1020 CW	G10200	70	....	....	1	2	....	101	C	Tube
A-513	1025 CW	G10250	75	....	....	1	2	....	101	C	Tube
A-513	1026 CW	G10260	80	....	....	1	3	....	101	C	Tube
A-514	J	K11625	110	....	....	11B	6	....	101	C-0.5Mo	Plate, 1 1/4 in. (32mm)

Numero De especificación	Tipo o grado	UNS No.	Esfuerzo mínimo, De fluencia, ksi	Soldadura				Soldadura Blanda		Composición	Forma del producto
				P. No.	Grupo No.	S. No.	Grupo No.	P. No.	S. No.		
SA-515	60	K02401	60	1	1	.....	....	101	....	C	Plate
SA-515	65	K02800	65	1	1	....	....	101	....	C-Si	Plate
SA-515	70	K03101	70	1	2		....	101	....	C-Si	Plate
SA-516	55	K01800	55	1	1	....	....	101	....	C-Si	Plate
SA-516	60	K02100	60	1	1	....	....	101	....	C-Mn-Si	Plate
SA-516	65	K02403	65	1	1	....	....	101	....	C-Mn-Si	Plate
SA-516	70	K02700	70	1	2		....	101	....	C-Mn-Si	Plate
SA-517	J	K11625	115	11B	6	.....	....	101	....	C-0.5Mo	Plate 1 ¼ in. (32mm)
A-519	1018 HR	G10180	50	....	....	1	1	....	101	C	tube
A-519	1018 CW	G10180	70	....	....	1	2	....	101	C	tube
A-519	1020 HR	G10200	50	....	....	1	1	....	101	C	tube
A-519	1020 CW	G10200	70	....	....	1	2	....	101	C	tube
A-519	1022 HR	G10220	50	....	....	1	1	....	101	C	tube
A-519	1022 CW	G10220	70	....	....	1	2	....	101	C	tube
A-519	1025 HR	G10250	55	....	....	1	1	....	101	C	tube
A-519	1025 CW	G10250	75	....	....	1	2	....	101	C	tube
A-519	1026 HR	G10260	55	....	....	1	1	....	101	C	tube
A-519	1026 CW	G10260	75	....	....	1	2	....	101	C	tube
A-521	CI,CC	.....	60	....	....	1	1	....	101	C	Forgings
A-521	CI,CE	....	75	....	....	....	2	....	101	C	Forgings
SA-524	II	K02104	55	1	1	....	....	101	....	C-Mn-Si	Smis. pipe
SA-524	I	K02104	60	1	1		....	101	....	C-Mn-Si	Smis. Pipe

Numero De especificación	Tipo o grado	UNS No.	Esfuerzo mínimo, De fluencia, ksi	Soldadura				Soldadadura Blanda		Composición	Forma del producto
				P. No.	Grupo No.	S. No.	Grupo No.	P. No.	S. No.		
SA-537	CI. 1	K12437	65	1	2	....	....	101	....	C-Mn-Si	Plate > 2 ½-4in. (64-102mm)
SA-537	CI. 1	K12437	70	1	2	....	....	101	....	C-Mn-Si	Plate, 2 ½ in.(64mm) & under
SA-537	CI. 2	K12437	70	1	3	....	....	101	....	C-Mn-Si	Plate >4-6 in. (102-152 mm), incl
SA-537	CI. 2	K12437	75	1	3	....	....	101	....	C-Mn-Si	Plate >2 ½-4 in. (64-102mm)
SA-537	CI. 2	K12437	80	1	3	....	....	101	....	C-Mn-Si	Plate, 2 ½ in. (64mm) & under
SA-537	CI. 3	K12437	70	1	3	....	....	101	....	C-Mn-Si	Plate > 4 in. (102 mm)
SA-537	CI. 3	K12437	75	1	3	101	C-Mn-Si	Plate, 2 ½ in. <t ≤ 4 in. (64 mm <t ≤ 102mm)
SA-537	CI. 3	K12437	80	1	3	....	....	101	....	C-Mn-Si	Plate ≤ 2 ½ in. (64mm)
SA-541	1	K03506	70	1	2	....	....	101	....	C-Si	Forgings
SA-541	1A	....	70	1	2	....	....	101	....	C-Mn-Si	Forgings
SA-556	A2	K01807	47	1	1	....	....	101	....	C	Smis. tube
SA-556	B2	K02707	60	1	1	....	....	101	....	C-Si	Smis. tube
SA-556	C2	K03006	70	1	2	....	....	101	....	C-Mn-Si	Smis. Tube
SA-557	A2	K01807	47	1	1	....	....	101	....	C	E.R.W. tube
SA-557	B2	K03007	60	1	1	....	....	101	....	C	E.R.W. tube
SA-557	C2	K03505	70	1	2	....	....	101	....	C-Mn	E.R.W. tube
SA-562	....	K11224	55	1	1	....	....	101	....	C-Mn-Ti	Plate

Numero De especificación	Tipo o grado	UNS No.	Esfuerzo mínimo, De fluencia, ksi	Soldadura				Soldadura Blanda		Composición	Forma del producto
				P. No.	Grupo No.	S. No.	Grupo No.	P. No.	S. No.		
A-570	30	K02502	49	....	....	1	1	....	101	C	Sheet & Strip
A-570	33	K02502	52	....	....	1	1	....	101	C	Sheet & Strip
A-570	36	K02502	53	....	....	1	1	....	101	C	Sheet & Strip
A-570	40	K02502	55	....	....	1	1	....	101	C	Sheet & Strip
A-570	45	K02507	60	....	....	1	1	....	101	C	Sheet & Strip
A-570	50	K02507	65	....	....	1	1	....	101	C	Sheet & Strip
A-572	42	....	60	....	....	1	1	....	101	C-Mn-Si	Plate & shapes
A-572	50	....	65	....	....	1	1	....	101	C-Mn-Si	Plate & shapes
A-572	60	....	75	....	....	1	2	....	101	C-Mn-Si	Plate & shapes
A-573	58	....	58	....	....	1	1	....	101	C	Plate
A-573	65	....	65	....	....	1	1	....	101	C	Plate
A-573	70	....	70	....	....	1	2	....	101	C	Plate
A-575	M1008	K03006	70	1	2	....	....	101	....	C-Mn-Si	Smis. Tube

Tabla 1.7 Clasificación de los aceros de acuerdo a la norma ASME IX

ANEXO B

PLANOS DE CONSTRUCCIÓN