



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES
CUAUTITLAN



37
20j

DISEÑO POR SOLDADURA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
ING. MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N:
JUVENTINO SOLIS GIL
CARLOS REYES GUTIERREZ

Asesor: Ing. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx.

1994



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
SECRETARIA ACADEMICA
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

"Diseño por soldadura"

que presenta el pasante: Juventino Solís Gil
con número de cuenta: 8509822-4 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista ; en colaboración con :
Carlos Reyes Gutiérrez

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 11 de Julio de 1964.

PRESIDENTE	<u>Inq. Samuel Pérez Díaz</u>	<i>Rov</i> 12-VII-64
VOCAL	<u>Inq. Ma. Soledad Alvarado Martínez</u>	<i>51-74</i>
SECRETARIO	<u>Inq. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez</u>	<i>del off 15-07-64</i>
PRIMER SUPLENTE	<u>Inq. Enrique Certés González</u>	<i>15/VII/64</i>
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Inq. Jesús García Lira</u>	<i>12/07/64</i>



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
SECRETARIA ACADEMICA
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

"Diseño por soldadura"

que presenta el pasante: Carlos Reyes Gutiérrez

con número de cuenta: 8409670-8 para obtener el TITULO de:

Ingeniero Mecánico Electricista ; en colaboración con :

Juventino Solís Gil

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 11 de Julio de 1994.

PRESIDENTE

Ing. Samuel Pérez Díaz

Recibido 12-VII-94

VOCAL

Ing. Ma. Soledad Alvarado Martínez

Recibido 11-VII-94

SECRETARIO

Ing. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez

Recibido 15-VII-94

PRIMER SUPLENTE

Ing. Enrique Cortés González

Recibido 15/VII/94

SEGUNDO SUPLENTE

Ing. Jesús García Lira

Recibido 12/07/94

I GRACIAS I

A Dios:

Por mateneme vivo y con fé.

A mi madre Ma. Marcelina Gil M.:

***Por tu ejemplo de responsabilidad
al trabajo y las obligaciones; y por
tu apoyo económico y moral en el
transcurso de mis estudios; por tus
sacrificios callados y constantes;
por hacer de mí un hombre de provecho
a la sociedad y a mi familia.***

***Y a todas las personas e
instituciones que de alguna
manera participaron en mi
formación profesional.***

Juventino Solís Gil.

*Este trabajo lo dedico con
todo cariño a mis padres,
Rufina Gutiérrez Gtz.y
Manuel Reyes Hndez.*

*Como testimonio de
agradecimiento infinito
por haber encontrado
siempre en ellos el
ejemplo y apoyo necesarios
durante mi formación.*

*A mis profesores
por la transmisión de
sus conocimientos.*

A mi facultad.

Carlos Reyes Gutiérrez.

INDICE

INTRODUCCION.	1
CAPITULO I: PROCESOS DE FABRICACION.	
Generalidades.	4
1.1.- Clasificación de los procesos en el trabajo de los metales.	4
1.2.- Proceso de soldadura.	5
CAPITULO II: EL ACERO Y SUS PROPIEDADES.	
2.1.- Clasificación y producción del acero.	7
2.2.- Soldabilidad de los aceros.	13
2.3.- Propiedades mecánicas	19
2.4.- Aceros estructurales.	21
CAPITULO III: SOLDADURA POR ARCO METALICO CON ELECTRODO REVESTIDO (SMAW).	
3.1.- Generalidades.	25
3.2.- Tipos de corriente.	27
3.3.- Maquinas para soldar.	29
3.4.- Electrodo revestidos.	31
3.5.- Características estructurales en la unión soldada.	37
CAPITULO IV: CONCEPTOS BASICOS DEL DISEÑO POR SOLDADURA.	

4.1.- Terminología básica de la soldadura.	39
4.2.- Comparación de las soldaduras de filete y de ranura.	44
4.3.- Detalles de la unión soldada.	48
4.4.- Simbología de la soldadura.	56

CAPITULO V: DISEÑO DE ELEMENTOS SOLDADOS.

5.1.- Factores que intervienen en la construcción soldada.	62
5.2.- Influencia de las especificaciones sobre el diseño.	78
5.3.- Fórmulas del diseño de soldaduras.	80
5.4.- Métodos para diseñar elementos soldados.	88
5.5.- Diseño soldado de elementos de máquinas.	101

CAPITULO VI: DISEÑO DE UNA PRENSA MECANICA (1000 KG)

UTILIZANDO SOLDADURA.

6.1.- Diseño de la prensa.	116
6.2.- Memoria de cálculo.	116
CONCLUSIONES.	149
APENDICES.	151
BIBLIOGRAFIA.	155

INTRODUCCION

La unión de metales por medio la soldadura es muy importante en una sociedad industrializada, pues se utiliza tanto para fines de fabricación como en la construcción, mantenimiento y reparación de un sinfín de maquinaria y estructuras.

Actualmente, hay una variedad de procesos para fabricar piezas metálicas. La selección del proceso depende fundamentalmente de la forma del producto y de su complejidad, del material que vaya a estar hecho, del número de piezas que se vayan a fabricar y, en algunos casos, del equipo disponible.

Con frecuencia se considera que la fabricación por soldadura se presta particularmente para trabajos en pequeñas cantidades. Asimismo, como método de fabricación, la soldadura aporta rapidez; permite diseños más simples, que se construyen con productos comerciales (perfiles, placas y barras) y esto a su vez permite, obtener piezas más ligeras (de 30 a 40 % menos), que el obtenido por ejemplo, en la fundición debido a que el acero es más resistente y permite utilizar espesores menores. Además, en muchos casos la fabricación por soldadura es menos costosa.

El acero es el material más usado en la industria metal-mecánica. La variedad de aceros que hay en el mercado, permite al diseñador seleccionar el que más se adapte a los requerimientos específicos del producto. Para ello, es importante conocer las propiedades de los

materiales que se utilizan para fabricar piezas mecánicas. Cuando se usa la soldadura como proceso de fabricación, se debe tener conocimiento de las propiedades de resistencia mecánica del acero, así como de los efectos de los elementos químicos sobre la soldabilidad del mismo. Es importante recordar que deben emplearse, en lo posible, aceros comerciales para bajar los costos del producto.

Por otra parte, de los numerosos procesos de soldadura sólo 4 ó 5 son usados comunmente para fabricar elementos soldados. Uno de estos, es el proceso de soldadura de arco eléctrico con electrodo revestido, que no requiere de equipo sofisticado y de personal muy especializado, de tal forma que es barato. Para hacer el mejor uso de este proceso de soldadura, se necesita saber su principio de funcionamiento, máquinas soldadoras disponibles en el mercado y las propiedades y usos de los electrodos.

Es de suma importancia, analizar los factores principales que intervienen en el diseño por soldadura, puesto que puede utilizarse la soldadura como un proceso alternativo para la fabricación de piezas mecánicas. Para diseñar correctamente por soldadura, se requiere saber la terminología básica de la soldadura, tales como los tipos de unión, los tipos de soldaduras y la representación simbólica de la soldadura y recurrir, además, a las especificaciones a que se sujeta el producto. Asimismo, es importante saber las consideraciones y suposiciones que se hacen en el diseño para uniones soldadas, los tipos de esfuerzos a

que se someten las soldaduras para las diferentes uniones, y los esfuerzos permisibles de diseño.

En base a lo anterior y conociendo los métodos para calcular soldaduras resistentes, es posible diseñar por soldadura elementos de máquinas como soportes, contenedores, engranes, poleas, palancas, manivelas, cojinetes, bastidores, etc.

CAPITULO I : PROCESOS DE FABRICACION.

La industria requiere que los ingenieros comprendan las muchas formas mediante las cuales pueden procesarse los materiales, como se realiza esto y los efectos que tienen tales procesos sobre sus propiedades.

1.1.- Clasificación de los procesos en el trabajo de los metales.

El trabajo de los metales se puede clasificar de acuerdo con diferentes tipos de procesos, muchos de los cuales con algunas modificaciones, son aplicables a la mayoría de los materiales no metálicos.

A. Procesos usados para cambiar la forma del material: laminado, extrusión, forjado, vaciado, etc.

B. Procesos usados para labrar partes a dimensiones fijas: torneado, cepillado, fresado, taladrado, etc.

C. Procesos para obtener acabado en las superficies: pulido, galvanoplastia, esmerilado con banda abrasiva, etc.

D. Procedimientos usados para unir partes o materiales: soldadura, remachado, unión con tornillos, etc.

E. Procesos usados para cambiar las propiedades físicas, incluyen: tratamiento térmico, trabajo en frío, trabajo en caliente, etc.

La selección del proceso para fabricar piezas metálicas depende fundamentalmente de la forma del producto y de su complejidad, del material que vaya a estar hecho y del número de piezas que se vayan a fabricar.

En general puede decirse que los costos finales de un trabajo dan la medida de las ventajas del tipo de fabricación empleada para el mismo.

1.2.- Proceso de soldadura.

Soldadura.- Es una fusión localizada del metal, la cual se produce por calentamiento a temperatura adecuada, con la aplicación de presión o sin ella y con el empleo de metal de aporte o sin él.

Tiene como objeto fundamental unir varias piezas de metal en tal forma que éstas operen como una estructura compacta capaz de soportar las cargas a las cuales será sometida.

Algunas ventajas de la soldadura son:

1.- Mayor fortaleza y rigidez combinadas con ductilidad y resistencia a las cargas de impacto.

2.- Los conjuntos soldados pueden ser más livianos y al mismo tiempo más fuertes.

3.- Se elimina la necesidad de modelos, obteniéndose así reducciones en costo para trabajos de bajas cantidades.

A continuación se mencionan los procesos de soldadura más comunes.

Soldadura de arco.- Para las soldaduras de arco se emplea un arco eléctrico en la producción de calor.

Soldadura de gas.- En la soldadura de gas el metal se calienta con una llama producida por combustión de gas; la mezcla más comúnmente usada esta constituida por acetileno y oxígeno. Este proceso se emplea con gran frecuencia en labores de mantenimiento y reparación.

Soldaduras de resistencia.- En la soldadura de resistencia se hace pasar un corriente eléctrica de alta intensidad a través de los metales y en el punto de soldadura.

Más adelante se hablará con mayor detalle del proceso de soldadura de arco.

CAPITULO II: EL ACERO Y SUS PROPIEDADES.

El acero es el más importante de los materiales industriales usados actualmente. El acero es un material metálico y consiste, básicamente, de una aleación de hierro y carbono, con un contenido de este último que varía entre 0.025 a 2.0%. Además, si se añaden otros elementos (Ni, Mn, Cr, Mo, Co, V, W, Ti.) a dicha aleación se obtienen gran variedad de aceros, cada uno con propiedades propias y útiles para determinadas aplicaciones.

2.1. Clasificación y producción del acero.

Los aceros se han clasificado en formas diferentes, de acuerdo con factores tales como métodos de obtención, composición química y aplicación entre otros.

La clasificación de acuerdo a los métodos de obtención del acero es :

- 1.- Aceros de horno de hogar abierto (Proceso Martín-Siemens).
- 2.- Aceros de convertidor (Proceso Bessemer).
- 3.- Aceros de horno eléctrico.

El acero se produce básicamente de arrabio y chatarra. El arrabio es producido en un alto horno a partir de mineral de hierro, coque, piedra caliza y aire caliente, reduciendo el oxígeno del mineral de hierro. El arrabio obtenido es duro, quebradizo, con poca resistencia a la tracción y con un contenido excesivo de carbono (3 a 4 %), de azufre

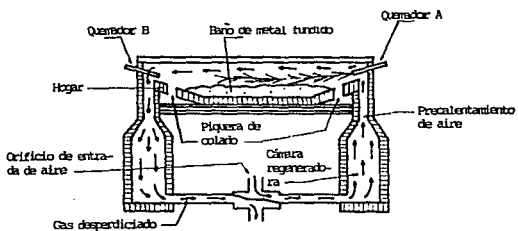
(0.05 a 0.10%), de fósforo (0.10 a 0.50%), de silicio (1 a 3%) y algunas impurezas.

Para transformar el arrabio en acero es necesario ajustar o eliminar el exceso de dichos elementos por alguno de los procesos mencionados.

En el proceso Martin-Siemens, o de hogar abierto, la carga consta de arrabio, chatarra de acero, mineral de hierro y piedra caliza. El horno es de reverbero y esta revestido con material refractario. En el horno el metal esta abierto, osea en contacto, al paso de los gases previamente calentados y a alta presión, procedentes de la combustión de gas combustible, oxígeno y aire. El oxígeno oxida el exceso de carbono y lo elimina en forma de bióxido de carbono (CO_2). El proceso dura de 8 a 10 horas. Con este proceso se produce más del 90% del acero al carbono. Véase fig. 2.1.

El proceso Bessemer tiene lugar dentro de un convertidor en forma de pera capaz de bascularse alrededor de un eje medio. Después de cargar el material, que consiste en arrabio fundido, chatarra de acero y piedra caliza, y con el horno en posición vertical, se introduce aire; este al estar en contacto con el arrabio, inicia la combustión u oxidación del carbono que arde en la boca del convertidor. El proceso dura unos 55 minutos. Con este proceso se obtienen algunos aceros aleados. Véase fig. 2.2.

Los hornos eléctricos se utilizan para producir aceros de mejor calidad. Estos hornos pueden ser de arco ó de inducción. En los hornos



Alternar el encendido por medio de los quemadores A y B.

fig. 2.1 Horno de hogar abierto.

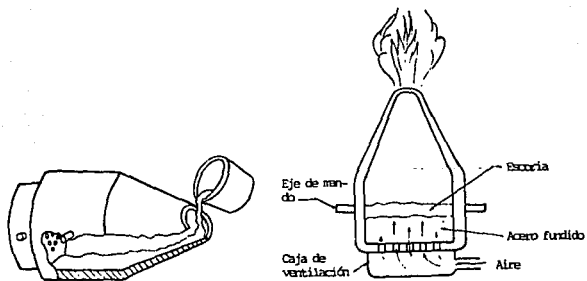


Fig. 2.2 Carga y operación del convertidor Bessemer.

de arco el calor se genera por el arco producido entre los electrodos y la carga ó sólo entre los electrodos, y en los hornos de inducción por el flujo magnético alternante en el núcleo de hierro que rodea al crisol. La carga consiste en chatarra de acero seleccionada, piedra caliza y recortes de laminado. El proceso es más caro que los anteriores y dura entre 3 y 6 horas. Véase fig. 2.3.

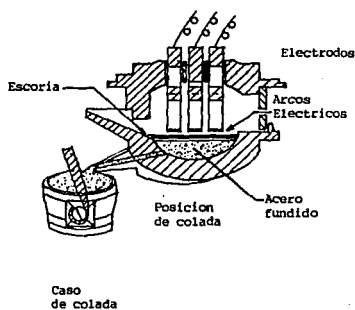


Fig. 2.3 Horno eléctrico.

Utilizando cualquiera de los procedimientos mencionados se obtiene acero líquido, el cual solidifica en lingoteras. Posteriormente, el ligote se somete a laminado para su transformación en formas comerciales como barras, planchas, placas, láminas, tiras, perfiles, alambre, etc.

La clasificación según la composición química del acero es :

1.- Aceros al carbono: Un acero puede catalogarse como acero al carbono si el contenido de elementos de aleación es:

Carbono 0.025-2.0 % máx.

Manganeso 1.65 % máx.

Silicio 0.60 % máx.

Cobre 0.60 % máx.

Y además cantidades mínimas de otros elementos que no afectan de manera importante a la aleación.

Los aceros al carbono, a su vez, se dividen en aceros de bajo (0.025-0.29% de C.), medio (0.30-0.59% de C.) y alto (0.60-2.00% de C.) carbono.

Los aceros de bajo carbono, se emplean cuando se requiere gran ductilidad en frío y poca resistencia mecánica. Los aceros de medio carbono se utilizan cuando se requiere mayor resistencia y dureza, y menor ductilidad que los aceros del grupo anterior. Los aceros de alto

carbono se utilizan generalmente templados, y por tanto tienen mayor resistencia pero menor ductilidad que los aceros de los grupos anteriores.

2.- Aceros aleados: Son aceros simples al carbono, a los que se agregan otros elementos de aleación (Ni, Mn, Cr, Mo, V, W, Ti) en cantidades suficientes para mejorar sustancialmente las propiedades requeridas del acero.

Los aceros aleados pueden ser de baja aleación (con contenido de elementos aleantes entre 1 ó 2 a 5%), y de alta aleación (de 5 a 30% de elementos aleantes).

Por otra parte, las especificaciones que cubren la composición de los aceros son publicadas por varias asociaciones o institutos clasificadores, tales como la ASME (American Society of Mechanical Engineers), la ASTM (American Society for Testing Materials), la SAE (Society of Automotive Engineers) y la AISI (American Iron and Steel Institute), entre otros.

El sistema de identificación de la AISI y la SAE se basa en una serie de 4 ó 5 dígitos. El primer dígito representa el elemento principal de aleación, el segundo indica generalmente el contenido de aleación, y los últimos dos o tres dígitos señalan el contenido de carbono en centésimas de 1%.

2.2. Soldabilidad de los aceros.

La capacidad que tiene un metal de soldarse con las condiciones de fabricación impuestas, con una estructura específica adecuada para desempeñar satisfactoriamente el servicio deseado se conoce como soldabilidad.

En el caso de los aceros, la soldabilidad viene garantizada por:

1. La composición química.
2. Tamaño y homogeneidad del grano y la pureza.
3. La elasticidad.
4. La tenacidad.
5. La resiliencia.

Y las cualidades que debe tener el acero de tipo soldable son:

1. Resistencia mecánica que corresponda al tipo elegido.
2. Buena resistencia a la fatiga después de que el metal haya sufrido la acción metalúrgica de la soldadura.
3. Si es necesario, buena resistencia a la corrosión.

De acuerdo a la AWS (American Welding society), los aceros al carbono tienen gran soldabilidad por todos los métodos de soldadura cuando su contenido es :

Carbono 0.13 - 0.20 %.

Manganeso 0.40 - 0.60 %.

Fósforo 0.03 %.

Silicio 0.10 %.

Azufre 0.035 %.

Los aceros que por lo general se sueldan no contienen más de 0.50% de C., y siempre que sea posible, se utilizan aceros blandos o suaves, es decir, de bajo carbono, que no contengan elementos de aleación.

Las impurezas y elementos aleantes pueden afectar la soldabilidad de los aceros y por lo tanto, es indispensable conocer los efectos más comunes de cada elemento que pueda estar presente.

Carbono.- Es el elemento que afecta más la soldabilidad del acero. Entre mayor sea el contenido de carbono, el acero tiene mayor resistencia y dureza, pero menor capacidad a ser soldado. Es más fácil lograr una buena soldadura en un acero de bajo carbono, que en aceros de medio o alto carbono.

Los aceros comerciales con menos de 0.25% de C produce soldaduras dúctiles, resistentes y maleables cuando se hacen adecuadamente. Si el contenido es mayor de 0.25%, el enfriamiento súbito suele conducir a una zona dura y frágil adyacente a la soldadura, y si el material de aporte se mezcla con gran cantidad de carbono, el cordón de soldadura tiene tendencia a agrietarse por ser duro y frágil.

Los aceros de medio y alto carbono pueden soldarse, pero necesitan calentamiento antes y después de aplicar la soldadura y utilizarse electrodos de bajo hidrógeno.

Manganeso.- Se encuentra en diferentes cantidades en todos los aceros e incrementa la templabilidad y resistencia del mismo. Para aceros ordinarios de bajo y medio carbono y con menos de 0.60% de *Mn*, su efecto en la soldadura suele despreciarse. Para aceros de alto carbono y con más del 0.60% de *Mn*, aumenta la tendencia al agrietamiento. Así mismo, hay mayor susceptibilidad a la porosidad interna y al agrietamiento, si el acero contiene menos del 0.30% de *Mn*. Los aceros con 0.20 a 0.30% de *Mn* y con más de 0.03% de *S*, se agrietan fácilmente al ser soldados. En los aceros de baja aleación el manganeso (1 a 2% de *Mn*) endurece apreciablemente la soldadura y deben tomarse precauciones especiales.

Fósforo.- Se considera como una impureza en la soldadura. Con más de 0.40% de *P* hace frágiles a las soldaduras, y reduce los valores al choque o a la fatiga. A veces baja la tensión superficial del metal de soldadura fundida. Además, aumenta la tendencia al agrietamiento.

Silicio.- Se encuentra en los aceros comerciales hasta aproximadamente 1%. El silicio homogeneiza y mejora la resistencia a la tensión del acero. En cantidades abajo de 0.30% no tiene efecto notable en las propiedades de la soldadura. En cantidades más grandes tiene muy poca o casi nada de influencia en la soldabilidad; sin embargo,

aumenta la tendencia al endurecimiento de las soldaduras para aceros de alto carbono.

Azufre.- Mejora la maquinabilidad del acero y está incluido como impureza en todos los aceros. El bajo contenido de azufre no tiene efectos perjudiciales en la soldabilidad. Los aceros con este elemento en gran cantidad son quebradizos en caliente, por lo cual el depósito de soldadura tiende a agrietarse pues no soporta los esfuerzos de contracción desarrollados en la soldadura cuando empieza a solidificar. Los aceros al carbono con 0.05% de azufre se vuelven porosos cuando se sueldan con electrodos E6010 y E6011, debido a que el azufre y hidrógeno se combinan durante la combustión del recubrimiento; sin embargo, aún los aceros de bajo maquinado con hasta 0.25% de azufre se sueldan fácilmente con electrodos de bajo hidrógeno. Por otro lado las capas segregadas de azufre que se presentan en forma de sulfuro de manganeso o de hierro, originan bolsas de gas, u otros defectos, en la línea de fusión durante la soldadura de arco.

El cambio principal al agregar otros elementos (Ni, Cu, Cr, Mb, V.) radica en un aumento de la resistencia y dureza del acero. Por eso se requiere, a menudo de precalentamiento y postcalentamiento del acero para evitar la formación de las zonas agrietadas y duras a veces frágiles de la soldadura. En general, el cromo, el níquel y el vanadio disminuyen la soldabilidad, el molibdeno la mejora, y el cobre y plomo tienen pequeños efectos en la misma.

Nitrógeno.- Se encuentra en cantidades muy pequeñas en casi todos los metales, pero en el acero Bessemer se encuentra en cantidades más grandes. El nitrógeno origina dureza y fragilidad y en una cantidad de 0.1% puede ser perjudicial. Los electrodos revestidos reducen grandemente la absorción del nitrógeno del aire ambiente durante la soldadura.

Oxígeno.- Se introduce en el acero al estar soldando, y si se presenta en cantidades apreciables produce soldaduras quebradizas y poco efectivas. La recolección de oxígeno se puede prevenir casi totalmente usando electrodos revestidos.

A continuación se estudiarán las características generales de la soldadura de los aceros al carbono.

Los aceros de bajo carbono de hasta 0.15% de C pueden unirse por cualquiera de los procedimientos de soldadura y no requieren de precalentamiento o de un relevado de esfuerzos posterior del metal. Los aceros con menos de 0.10% de C. tienen muy poca tendencia a producir soldaduras porosas.

Los aceros de bajo carbono comprendidos entre 0.15 a 0.29% de C, son los más utilizados para trabajos de soldadura, y su resistencia de fluencia (de 36 a 65 Kpsi) están especificadas por la ASTM dependiendo del tipo de acero (A36, A529, A242, A440, A441, A572 y A588). Los aceros de bajo carbono pueden también soldarse por cualquiera de los procesos de soldadura, dependiendo del espesor y la calidad requerida.

Comúnmente se aplica el proceso de arco eléctrico. Las soldaduras son satisfactorias para aceros con menos del 0.29% de C y del 1.60% de Mn; cuando contienen más de 0.20% de C y cerca de 1.005 de Mn se usan procedimientos de bajo hidrógeno. Para espesores de sección de cerca de una plg. se toman algunas precauciones como precalentamiento, control de temperatura de interfase y relevado de esfuerzos. Es necesario retardar el promedio de enfriamiento para evitar el agrietamiento tanto de la soldadura depositada como de la zona afectada por el calor del metal; además, la resistencia y ductilidad puede decrecer. Los aceros de medio carbono, requieren en cada aplicación de precalentamiento, postcalentamiento y relevado de esfuerzos para evitar el endurecimiento en la junta soldada, así como el agrietamiento en caliente (a 315 °C). Las temperaturas de precalentamiento para un acero AISI 1030 es de 21, 65 y 150 °C para espesores de 1/4, 1/2 y 1.0 plg., respectivamente. En tanto que para el relevado de esfuerzos la temperatura es de 595 a 650 °C, por un tiempo de una hora por cada pulgada de espesor.

Los aceros de alto carbono se emplean, principalmente, para la fabricación de herramientas, que sólo requieren de la soldadura en reparaciones. Debido al alto contenido de carbono se necesita control extremo en el proceso de soldadura para evitar los problemas de agrietamiento y porosidad del metal de aporte, y endurecimiento excesivo y agrietamiento del metal base.

2.3. Propiedades mecánicas.

Los materiales se seleccionan de acuerdo a las propiedades requeridas en cada aplicación. Aunque existen una gran variedad de propiedades, tal como las eléctricas, magnéticas, térmicas, etc., solamente se considerarán las propiedades mecánicas, que son básicas al realizar algún diseño de una máquina.

A continuación se definirán las propiedades mecánicas que caracterizan a los materiales:

La elasticidad.- Es la propiedad del metal a deformarse dentro de ciertos límites bajo la acción de una carga y recobrar su estado original al cesar dicha carga. De las figuras 2.4 y 2.5, se observa que corresponde a las rectas AB.

Límite elástico.- Es el esfuerzo máximo que soporta un material sin sufrir deformación permanente, falla o fractura (punto B).

Esfuerzo de fluencia o de cedencia.- Es el nivel de esfuerzo en el cual el metal se deforma permanentemente sin incrementar la carga (punto C).

Resistencia máxima a la tracción.- Es el esfuerzo máximo que resiste un material (punto D). En un material frágil, la resistencia máxima y la resistencia de ruptura coinciden (punto D, fig.2.5); en tanto que el material dúctil continuará alargándose.

El esfuerzo de ruptura es el punto en el que una carga fractura el metal (punto E).

Resistencia a la fatiga.- Es la propiedad del material de no fracturarse al ser sometido a un esfuerzo repetido ya sea de tensión, torsión o compresión el cual no sobrepasa su capacidad para ninguno de los casos.

La resistencia al impacto.- Conocida también como tenacidad, es la capacidad de un material para resistir la aplicación de golpes o cargas repetidas.

La ductilidad.- Es la propiedad del metal a deformarse permanentemente, sin fracturarse, permaneciendo sus propiedades más o menos constantes.

La fragilidad.- Es la propiedad de un material a fracturarse en vez de deformarse plásticamente bajo la acción de un esfuerzo.

La dureza.- Es la resistencia que presenta un material a ser penetrado por otro.

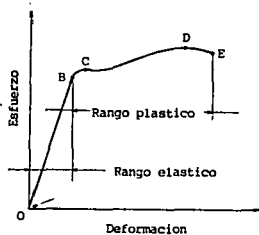


Fig. 2.4 Curva esfuerzo-deformación para un material dúctil.

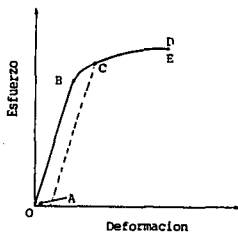


Fig. 2.5 Curva esfuerzo-deformación para un material frágil.

2.4. Aceros estructurales.

Los aceros estructurales en general se usan principalmente para puentes, edificios, estructuras de maquinaria, buques, camiones, trenes, componentes de maquinaria para carga moderada y otras aplicaciones similares. Estos aceros son baratos, soldables y tienen propiedades de resistencia y manufactura regularmente buenas.

La ASTM especifica siete grados de acero estructural disponibles en perfiles estructurales, placas y barras autorizadas por las especificaciones de la AISC (American Institute of Steel Construcción). Dos son aceros al carbono: A36 y A529; y cinco son aceros de alta resistencia :A242, A440, A441, A572 y A588.

Los aceros A36 y A529 se utilizan para la construcción de puente y edificios, y en general para cualquier tipo de estructuras, incluyendo las de maquinaria. Los aceros de alta resistencia se utilizan cuando se requiere mayor resistencia, durabilidad y resistencia a la corrosión. En la tabla 2.1 se presentan los datos de límite de fluencia (σ_y) y resistencia última de tensión (σ_u) para los aceros estructurales.

Por otra parte el acero A36 es el tipo de acero estructural más ampliamente utilizado por dos razones :

TABLA 2.1: Requerimientos mecánicos para el acero estructural.

Tipo	Denominación de la ASTM.	Límite de fluencia σ_f		Resistencia máxima σ_{max}		Espesor de placas y barras.		Grupo ASTM. para formas estructurales
		Kpsi	MPa	Kpsi	MPa	plg.	mm.	
Carbono	A 36	36	250	58-80	400-500	8	203	1 a 5
	A 529	42	290	60-85	414-587			
Alta resistencia baja aleación	A 242	40	275	60	415	4 a 8	102-203	— 4 y 5 3 1 y 2
	A 440	42	290	63	435	1.5 a 4	38-102	
	A 441	46	315	67	460	0.75-1.5	19-38	
		50	345	70	485	0.75	19	
Alta resistencia baja aleación Columbio-Vanadio	A 572 grado 42	42	290	60	415	≤ 6	≤ 152.4	1 a 5 1 a 5 1 a 4 1 a 4 hasta 460 lb/pla 1 y 2 1
		45	310	60	415	≤ 2	≤ 50.8	
		50	345	65	450	≤ 2	≤ 50.8	
		55	380	70	485	≤ 1.5	≤ 38.1	
		60	415	75	520	≤ 1.25	≤ 31.8	
		65	450	80	550	≤ 1.25	≤ 31.8	
Alta resistencia baja aleación	A 588 grado 42	42	290	63	435	5 a 8	127-203	— — 1 a 5
		46	315	67	460	4 a 5	102-127	
		50	345	70	485	≤ 4	≤ 102	

1. Bajo costo.
2. En muchas aplicaciones, las cargas y los esfuerzos son moderados.

El acero A-36 es un acero de bajo-medio carbono, cuyo contenido de elementos químicos están especificados por la ASTM. Dicho contenido depende de la forma estructural, así como del espesor del acero. Véase la tabla 2.2.

Aún cuando para el acero A-36, el valor del límite de fluencia garantizado es de 36 Ksi (250 MPa), el valor más probable será del orden de 43 a 48 Ksi (300 a 330 MPa).

TABLA 2.2 : Requerimientos químicos ASTM A-36.

Producto	formas	Placas					Barras			
		3/4 [20] incl.	sobre 3/4 a 1 1/2 [20 a 40] incl.	sobre 1 1/2 a 2 1/2 [40 a 65] incl.	sobre 2 1/2 a 4 [65 a 100] incl.	sobre 4 [100]	3/4 [20]	sobre 3/4 a 1 1/2 [20 a 40]	sobre 1 1/2 a 4 [40 a 100]	sobre 4 [100]
Espesor, pig. [mm]	Todas									
Carbono, max.	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganeso %	---	---	0.80-1.20	0.80-1.20	0.85-1.20	0.85-1.20	---	0.60-0.90	0.60-0.90	0.60-0.90
Fósforo, max.	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfuro, max.	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicio %	---	---	---	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40	---	---	---	---
Cobre, min.	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

CAPITULO III: SOLDADURA POR ARCO METALICO CON ELECTRODO REVESTIDO (SMAW).

3.1.- Generalidades.

La soldadura por arco metálico con electrodo revestido (Shielded Metal Arc Welding, SMAW) es un proceso de soldadura ampliamente utilizado, en donde la unión de los metales se produce por el calor generado por un arco eléctrico, que se mantiene en el entrehierro (distancia disruptiva) de la punta de una varilla revestida y la superficie del metal base que esta siendo soldado. Debido a la elevada temperatura (de 3315 a 5537 °C), el arco va fundiendo al electrodo y a la pieza de trabajo en la unión. Véase la figura 3.1.

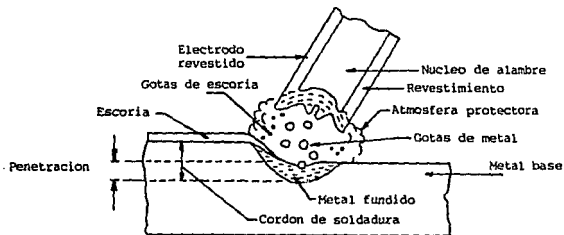


Fig. 3.1 Esquema del proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido.

El origen del calor por el arco eléctrico es el siguiente: la corriente procedente del generador es conducida por cables hasta el electrodo y la

pieza, estableciéndose un circuito de soldadura (figura 3.2) de características especiales. Si el contacto entre el electrodo y la pieza no es bueno, la resistencia eléctrica aumenta considerablemente, dando lugar a una cantidad grande de calor por efecto de Joule, de tal forma que el aire comprendido en el entre hierro se ioniza, haciéndose conductor de la corriente, o flujo de electrones.

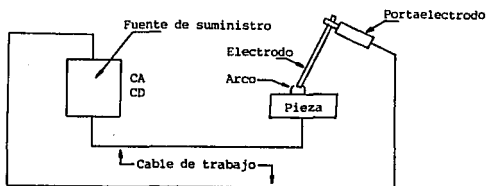


Fig. 3.2 Circuito de soldadura por arco eléctrico.

La ionización del aire consiste en que los átomos del mismo, por efecto de Joule, liberan algunos electrones que se atraen por el ánodo (+) de la corriente; mientras que los átomos, ya en desequilibrio, son atraídos por el cátodo (-). Unos y otros al chocar contra sus respectivos polos contrarios, son repelidos chocando a su vez contra nuevos átomos del aire provocando en ellos la liberación de nuevos electrones, repitiéndose el proceso.

La velocidad de los átomos al chocar contra el ánodo es mayor que la de los iones restantes que chocan contra el cátodo, con lo cual se desarrolla más calor en el polo positivo que en el negativo de la corriente. Sin embargo en general, se concentra más calor en el electrodo que en la pieza, debido a que en esta última se disipa más por conducción y radiación. Además, la estricción magnética tiende a separar las gotas del metal fundido del electrodo y la tensión superficial de dichas gotas favorece que sean absorbidas por el baño de fusión al ponerse en contacto contra él, aún cuando se suelde en posición vertical o sobre cabeza.

3.2.- Tipos de corriente.

La corriente procedente del generador para soldar puede ser de dos tipos :

1. Corriente continua, o directa.(CD)
2. Corriente alterna (CA).

La corriente directa circula en una sólo dirección en el circuito de soldadura y en la corriente alterna el sentido de circulación está cambiando continuamente.

En la corriente directa la polaridad tiene bastante importancia, pues de ella depende la cantidad de calor obtenida en el electrodo y en el metal base. Se tienen dos polaridades :

1. Directa o negativa .

2. Invertida o positiva, también conocida como normal.

Los términos de polaridad negativa y polaridad positiva se refieren al polo en donde se conecta el electrodo. Así, por ejemplo en la polaridad directa, el electrodo esta conectado a la terminal negativa del generador y la pieza a soldar al polo positivo, de tal forma que los electrones viajan del electrodo hacia la pieza. En la polaridad invertida la conexión es al contrario. Véase fig. 3.3 y 3.4.

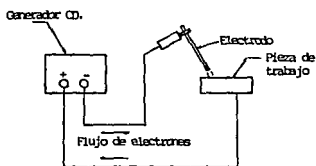


Fig. 3.3 Polaridad directa.

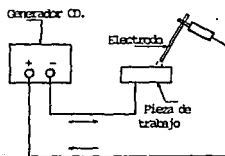


Fig. 3.4 Polaridad invertida.

Recordando que el calor se concentra más en el polo positivo que en el negativo, en la polaridad directa habrá mayor calor en la pieza que en el electrodo, mientras que en la polaridad invertida sucede lo contrario. Esto es muy importante saberlo al realizar un trabajo en particular.

3.3.- Maquinas para soldar.

Hay dos categorías básicas de máquinas soldadoras: la convencional o de Corriente constante con curva de caída de volts amperes y la de Voltaje constante o P.C. de V.C. modificada con la curva característica casi plana. La convencional de Corriente constante se puede utilizar para soldadura manual y, en ciertas condiciones para soldadura automática. La máquina de Voltaje constante se utiliza sólo para procesos automáticos o semiautomáticos con alimentación continua de alambre de electrodo.

Para nuestro estudio es importante conocer la función de las máquinas de corriente constante, así como su curva de comportamiento voltaje-corriente.

Como ya se mencionó estas máquinas se utilizan para soldadura manual, con arco protegido (SMAW), con gas tungsteno (TIG o GTAW), con arco de carbono para soldar y escoplear (CAW) y para soldadura de espárragos (SW).

La máquina de C.C. produce una curva de salida de volts-ampères como la ilustrada en la fig. 3.5

Un somero estudio de la curva indica que una máquina de este tipo produce máximo voltaje de salida sin carga (cero-corriente) y que conforme aumenta la carga se reduce la salida de voltaje. En condiciones

normales, el voltaje de salida es entre 60 y 80 V. Además, hay disponibles máquinas de C.C. para corriente alterna, continua o ambas.

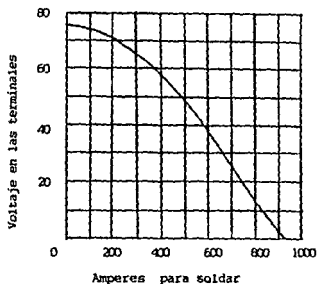


Fig. 3.5 Curva volts-amperes.

Ampliando un poco más, las máquinas de C.C. pueden producir corriente alterna o directa y ser rotatorias (generador) o estáticas (con transformador o transformador-rectificador).

En general, la selección de la máquina soldadora se basa en :

1. El proceso o procesos que se van a utilizar.
 2. La cantidad de corriente requerida para soldar.
 3. La corriente disponible en la planta.
 4. Factores de conveniencia y económicas.
- 3.4. Electrodo revestidos.**

Los electrodos revestidos son varillas metálicas, de composición aproximada a la del metal a soldar y recubierta con una sustancia que recibe el nombre de revestimiento. El electrodo sirve como conductor de la corriente y como metal de aporte. Un electrodo debe suministrar:

1. Buena estabilidad de arco.
2. Un cordón de soldadura liso y bien presentado.
3. Buena velocidad de depósito.
4. Escasez de proyecciones.
5. Máxima resistencia.
6. Fácil eliminación de escoria.

De acuerdo a la AWS los electrodos al carbono son identificados por una serie de cuatro o cinco dígitos, que indican la resistencia a la tensión, la posición para soldar, el tipo de corriente, polaridad y

revestimiento del electrodo. En base a la designación general EXXXX se establece que:

a) El prefijo E indica que el electrodo es para soldadura por arco eléctrico .

b) Las dos primeras cifras de cuatro, o las tres de cinco, indican la resistencia a la tensión del electrodo, en Ksi.

Esta resistencia puede tener un valor comprendido entre 60 a 110 Ksi (414 a 533 MPa)

c) El penúltimo dígito indica la posición para soldar:

EXX1X : todas las posiciones .

EXX2X : Posiciones plana y horizontal.

EXX3X : únicamente posición plana .

EXX4X : todas las posiciones pero en posición vertical debe ser descendente.

d) El último dígito en combinación con el penúltimo, indica el tipo de corriente y el tipo de revestimiento. Véase tabla 3.1.

NOMENCLATURA	CORRIENTE	REVESTIMIENTO.
EXX10	CD.	Orgánico
EXX11	CA ó CD+	Orgánico
EXX12	CA.ó CD-	Rutilo
EXX13	CA ó CD+,	Rutilo
EXX14	CA ó CD+,	Rutilo
EXX15	CD +	Bajo H.
EXX16	CA ó CD+	Bajo H.
EXX18	CA ó CD+	Bajo H.
EXX20	CA ó CD+,	FeO alto
EXX24	CA ó CD+,	Rutilo

Tabla 3.1

El revestimiento de los electrodos tiene las siguientes

funciones :

1. Actúa como limpiador y desoxidante del material base durante la soldadura.

2. Actúa como estabilizador del arco eléctrico y disminuye el chisporroteo.

3. Produce un escudo de gas que protege al metal derretido y el arco contra la contaminación por la atmósfera.

4. Rompe las tensiones superficiales de las gotas del metal de aporte, permitiendo que éstas se amalgamen homogéneamente con el material base.

5. Influye directamente en la penetración del cordón de soldadura.

6. Controla las características de la soldadura, como la forma del cordón, tiempo de solidificación y aportación de material de soldadura.

Los electrodos con polvo de hierro, o de gran revestimiento, son aquellos que contienen en el revestimiento una gran cantidad de polvo de hierro, y se emplean en soldeo de aceros ordinarios cuando se requiere gran velocidad de aportación, con pocas salpicaduras y con escoria de fácil eliminación. En tanto que los electrodos de bajo hidrógeno se utilizan para soldar aceros con alto contenido de azufre y de carbono. Estos electrodos evitan la absorción de hidrógeno de la

atmósfera del arco, de tal forma que se evitan las porosidades y fisuras bajo el cordón.

La tabla 3.2 muestra los requerimientos mínimos de resistencia de los electrodos de acero al carbono más comunes.

CLASIFICACION AWS - ASTM	RESISTENCIA A LA TENSION Ksi	PUNTO DE CEDENCIA Ksi	ELONGACION EN 2 plg., %
SERIE E60XX			
E6010	62	50	22
E6011	62	50	22
E6012	67	55	17
E6013	67	55	17
E6014	67	55	17
E6015	67	55	22
SERIE E70XX			
E7014	72	60	17
E7015	72	60	17
E7016	72	60	22
E7018	72	60	22
E7024	72	60	17
E7028	72	60	22

Tabla 3.2

Cada electrodo de la AWS tiene sus características para soldar. Para tener una referencia, algunas de las condiciones que deben considerarse cuando se seleccionan electrodos son:

1. Tipo de electrodo: material y diámetro recomendados.
2. Corriente de soldadura: CA, CD (+) y/ó CD (-).
3. Rango de corriente para soldadura.
4. Tipo de metal base.
5. Espesor del metal base.
6. Diseño de la junta: tipo de junta y preparación de bordes.
7. Posición de soldeo: plana, horizontal, vertical y sobre cabeza.
8. Condición de la superficie del metal base.
9. Número de pasadas.
10. Distorsión.
11. Pre calentamiento y post calentamiento.
12. Temperatura de servicio.
13. Condiciones de servicio.

Las características de cada electrodo en particular son dadas por los diferentes productores. La información incluye procedimientos técnicos, propiedades mecánicas, análisis química, rango de amperaje de

soldadura para cada tamaño de electrodo; códigos de soldadura aplicables al electrodo; características de penetración, etc.

3.5.- Características estructurales en la unión soldada.

Los aspectos metalúrgicos que tienen lugar en la zona de la soldadura son los siguientes:

1. El metal base es derretido parcialmente cerca de la región de la soldadura debido a la alta temperatura.

2. El metal se calienta hasta una temperatura elevada y se forman granos gruesos.

3. Al alejarse de la unión soldada disminuye la temperatura y la magnitud de sobrecalentamiento, y por lo tanto también el tamaño del grano.

4. Se crea una zona de recristalización cuyas alteraciones estructurales varían generalmente dependiendo del contenido de carbono y de los elementos aleantes en los aceros.

5. Se crean tres regiones estructurales diferentes: el metal base, el metal de aporte y la zona afectada por el calor de la soldadura.

El metal de aporte es aquella parte de una soldadura que ha sido fundida y resolidificada durante la operación de soldadura, puede estar compuesta de metal base fundido, metal de aporte, o una combinación de ambos.

La zona afectada por el calor es aquella zona de metal base adyacente al metal de aporte, la cual ha sido calentada durante la soldadura a una temperatura bastante alta, experimentando algún cambio físico significativo, pero no ha sido generalmente bien fusionada. Los cambios físicos pueden resultar en crecimiento del grano.

6. Las condiciones encontradas en la soldadura, están relacionadas a los cambios de temperatura y solidificación, suministrando cambios internos que resultan en esfuerzos y deformaciones.

CAPITULO IV: CONCEPTOS BASICOS DEL DISEÑO POR SOLDADURA

4.1.- Terminología básica de la soldadura.

Hay ciertos términos fundamentales que se deben captar para entender lo que es la soldadura. Algunos de los más importantes son:

La unión soldada es la disposición de los componentes o piezas que se van a unir por soldadura. Hay 5 tipos básicos de uniones (Figura 4.1).

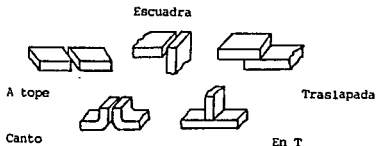


Fig. 4.1 Tipos de uniones.

1.- Unión a tope, B: Los dos miembros a unir están alineados aproximadamente en el mismo plano y son conectados en sus bordes.

2.- Unión de esquina o a escuadra, C: Los dos miembros a unir se localizan aproximadamente en planos perpendiculares y son conectados en sus bordes.

3.- Unión de canto o de borde, E: Los dos miembros a unir tienen doblados sus extremos, que al juntarse descansan en planos paralelo.

4.- Unión de traslape, L: Los dos miembros a unir descansan en planos paralelos.

5.- Unión en T, T: Los dos miembros a soldar descansan en planos perpendiculares, y el borde de uno de ellos es unido a la superficie plana del otro.

Otro concepto básico es el tipo de soldadura (Fig.4.2), que se describen por la forma que tiene su sección transversal. Las más comunes son las soldaduras de filete seguidas por la soldadura en ranura.

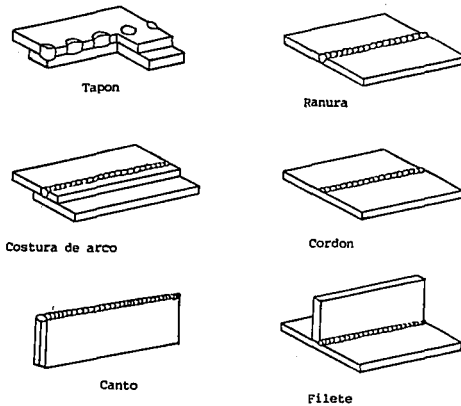


Fig. 4.2 Tipos de soldaduras.

a) Soldaduras de filete. Son soldaduras de sección transversal aproximadamente triangular uniendo dos superficies en ángulo recto. Los detalles de la soldadura de filete se muestran en la fig.4.3, en donde:

- 1) Metal base.
- 2) Línea de fusión. Unión de la soldadura y el metal base.
- 3) Profundidad de fusión. Distancia que penetra la fusión en el metal base.
- 4) Cara de la soldadura. Superficie descubierta de una soldadura en el lado en el cual se soldó.
- 5) Tamaño de la soldadura. Distancia desde la raíz de la unión hasta la punta de la soldadura de filete.
- 6) Raíz de la soldadura. Punto más profundo de penetración útil de una soldadura de filete.
- 7) Garganta de la soldadura. Distancia más corta desde la raíz hasta la cara de la soldadura de filete.
- 8) Punta de la soldadura. Unión entre la cara de una soldadura y el metal base.

b) Soldaduras de ranura. Se define como una soldadura hecha en la ranura entre dos elementos a unir. Hay siete tipos básicos de soldaduras en ranuras, (Fig. 4.4) que se refieren a la preparación de los miembros a unir:

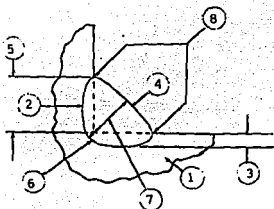


Fig. 4.3 Detalles de la soldadura de filete.

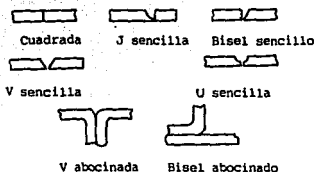


Fig. 4.4 Tipos de ranuras.

Ranura cuadrada, ranura biselada o achaflanada, ranura en V, ranura en J, ranura en U, ranura en V abocinada y bisel abocinado. Algunos de ellos se pueden usar en combinación como soldaduras de ranura doble. Los detalles de la soldadura de ranura se observan en la fig.4.5 , donde:

- 1) Angulo del bisel (chaflán). El ángulo formado entre el canto preparado de una pieza y un plano perpendicular a la superficie de la pieza.
- 2) Angulo de la ranura. El ángulo incluido total de la ranura entre las piezas que se van a unir con soldadura en ranura.
- 3) Cara de la ranura. La superficie de una pieza incluida en la ranura.
- 4) Cara de la raíz. Aquella porción de la cara de la ranura adyacente a la raíz de la unión. Comúnmente se le conoce como borde.

5) Abertura de la raíz. La separación entre las piezas que se van a unir, en la raíz de la unión.

6) Espesor de la placa.

7) Radio de la ranura. Se describe como el radio usado para formar el perfil J o U de una preparación tipo ranura.

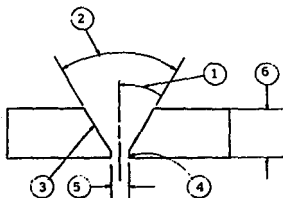


Fig. 4.5 Detalles de la soldadura de ranura.

La geometría adecuada de la junta se basa en los siguientes principios:

1.- La preparación debe ser uniforme a lo largo de toda la unión.

En uniones a tope se recomienda la mayor uniformidad de los chaflanes y de las separaciones. En uniones a solape y la mayor parte de las uniones en ángulo, las partes deben acoplarse firmemente.

2.- Para conseguir un cordón de formas correctas y con la penetración recomendada es importante trabajar con un ángulo de chaffán suficiente y adecuada al diámetro del electrodo.

3.- Una abertura de raíz excesiva desperdicia material de aporte.

4.- Dejar una separación suficiente para conseguir una penetración completa.

4.2.- Comparación de las soldaduras de filete y de ranura.

Las soldaduras de filete son las más utilizadas pues, normalmente, no requieren preparación. Se emplean en uniones a traslape, T y en esquina, y pueden bajo carga estática desarrollar una resistencia a lo largo del metal.

Las soldaduras de filete, en la práctica, tienen una sección transversal en forma de triángulo rectángulo con lados desiguales y con la cara de la soldadura cóncava o convexa. Véase Fig.4.6. El cordón cóncavo produce un cambio gradual de la sección en la unión, pero esta más sujeto al agrietamiento por contracción, especialmente en los aceros de alto contenido de carbono. Un cordón convexo tiene menos tendencia a agrietarse por contracción al enfriarse. Esta relativamente libre de socavaciones, pero debe evitarse una convexidad excesiva para ahorrar metal de soldadura. El filete ideal sería uno plano o ligeramente convexo, de 45° ; es decir, aquel que tiene una sección transversal en forma de triángulo rectangular isósceles. En cálculos de resistencia de soldadura

de filete se considera el mayor triángulo rectángulo isósceles inscrito dentro de la sección transversal del filete, ignorándose tanto el refuerzo como la penetración de la raíz del mismo.

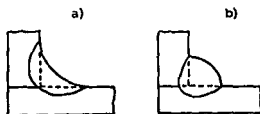


Fig. 4.6 Soldaduras de filete (a) cóncava
(b) convexa.

En diseño, el tamaño del filete está gobernado por el espesor de los metales a unir y, en algunos casos, el tamaño mínimo tiene que basarse sobre razones prácticas, más que por razones teóricas de diseño. Debe recordarse que al doblar el tamaño del filete se dobla también la resistencia, ya que se dobla el espesor efectivo de la garganta, que determina el área de falla del cordón. Sin embargo, se incrementa el peso y número de pasadas del metal de soldadura.

Por otra parte, las soldaduras de filete simples son extremadamente vulnerables a la fractura si la raíz de la soldadura se sujeta a cargas de tensión. Se recomienda, en tales casos, hacer filetes dobles (Fig.4.7).

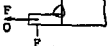
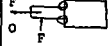
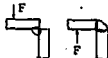
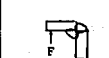


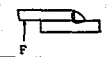
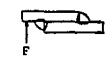


Unión	Filete simple	Filete doble
Tope (B)		
Esquina (C)		
T (T)		
Traslape (L)		
De borde (E)		

Fig. 4.7 Soldaduras de filete usadas en las 5 uniones básicas.

Las soldaduras a tope son más caras en la preparación del borde apropiado para asegurar buena penetración o fusión, mínima distorsión, y máxima libertad de esfuerzos residuales.

Aunque las soldaduras de filete son más fáciles de hacer, pueden requerir excesivas cantidades de metal de soldadura para tamaños grandes. Un medio para decidir en que punto las soldaduras de ranura y de filete son más baratas es por la construcción de curvas basadas sobre la determinación del costo de soldadura, cortado, y ensamblado. (Véase Fig.4.8).

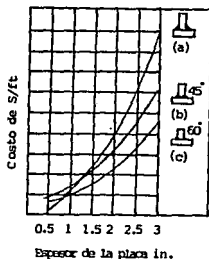


Fig. 4.8 Costo relativo de soldaduras conociendo la resistencia total de la placa.

Desde el punto de vista de diseño, la soldadura de ranura biselada ofrece mejor transferencia directa de la fuerza alrededor de la junta, que provee mejor servicio bajo carga de fatiga. Aunque las soldaduras de filete de resistencia total (Fig.4.9) son suficientes, algunos códigos tienen bajos límites permisibles para soldaduras de filete y pueden necesitar un tamaño igual al de la placa. En estos casos, el costo de la junta soldada a filete puede exceder el costo de la ranura de bisel simple en placas más delgadas.

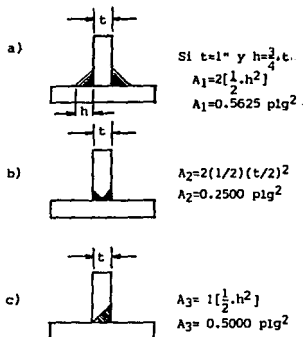


Fig. 4.9 Comparación de las soldaduras de filete y de ranura de bisel.

4.3. Detalles de la unión soldada

Los detalles de la unión soldada pueden indicarse por un código; (Fig.4.10) en donde el 1er. factor (letra) identifica el tipo de unión, el 2do. factor (letra) indica la limitación del espesor del metal y requerimiento de la penetración en la unión; y el 3er. factor (número) indica el tipo de soldadura. Cada uno de estos factores se subdividen en las siguientes variantes:

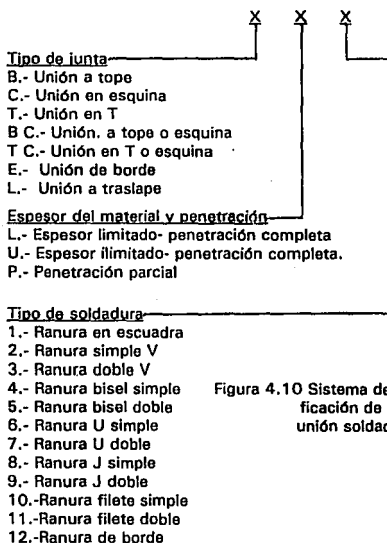


Figura 4.10 Sistema de identificación de la unión soldada.

Fig. 4.11: Diseño de uniones soldadas.

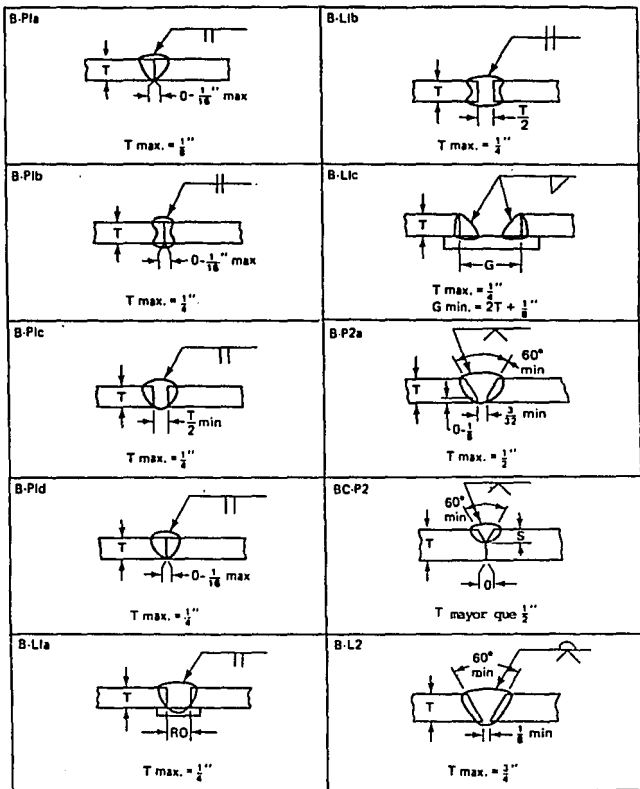
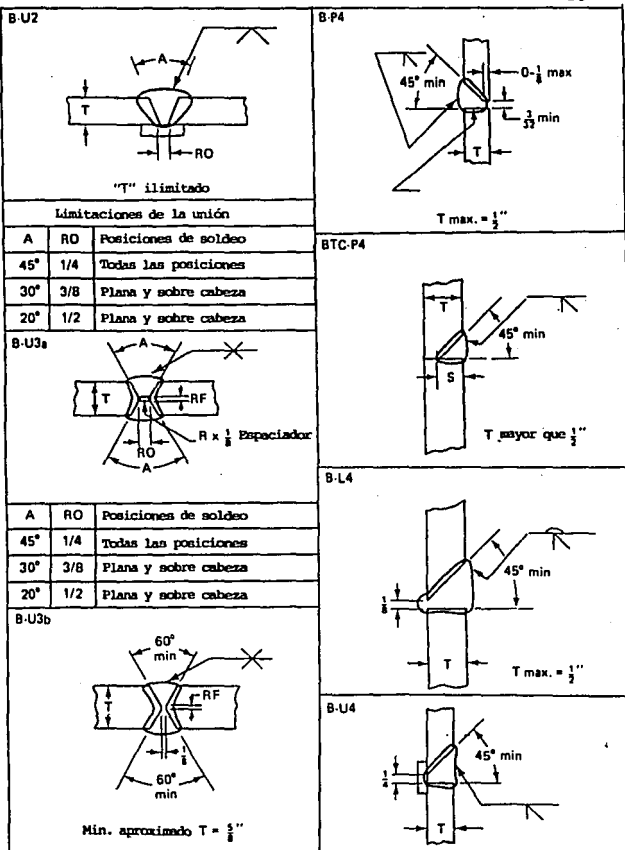


Fig. 4.11: Diseño de uniones soldadas (cont.).



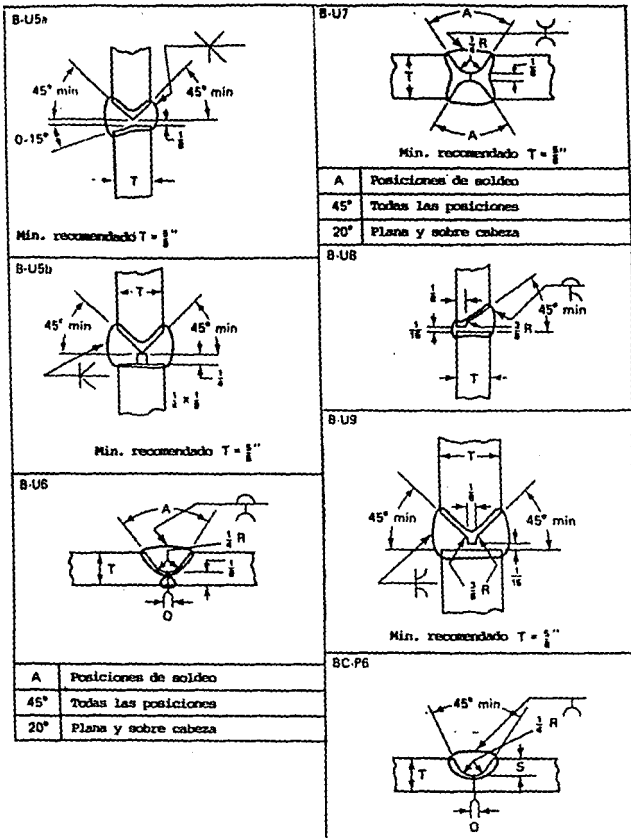
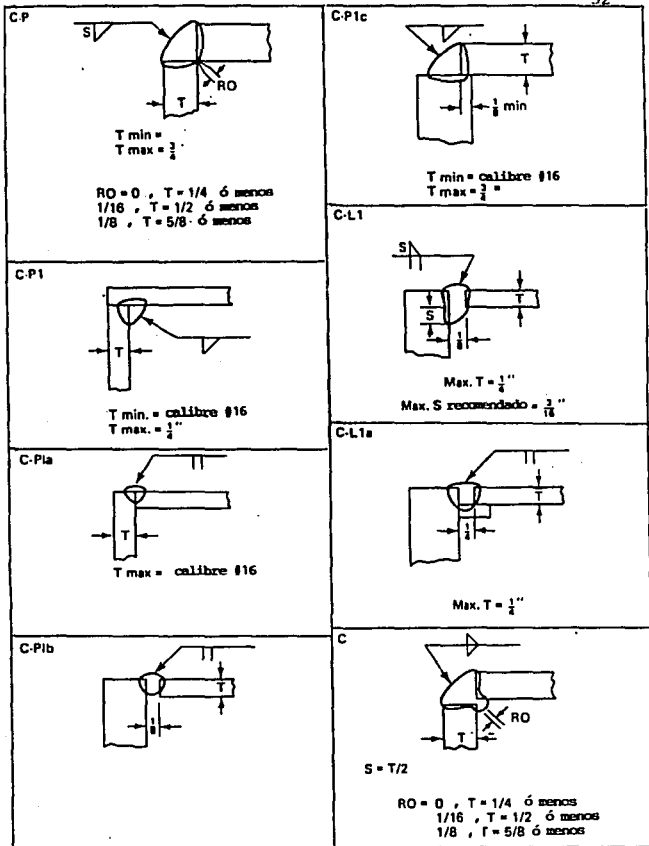
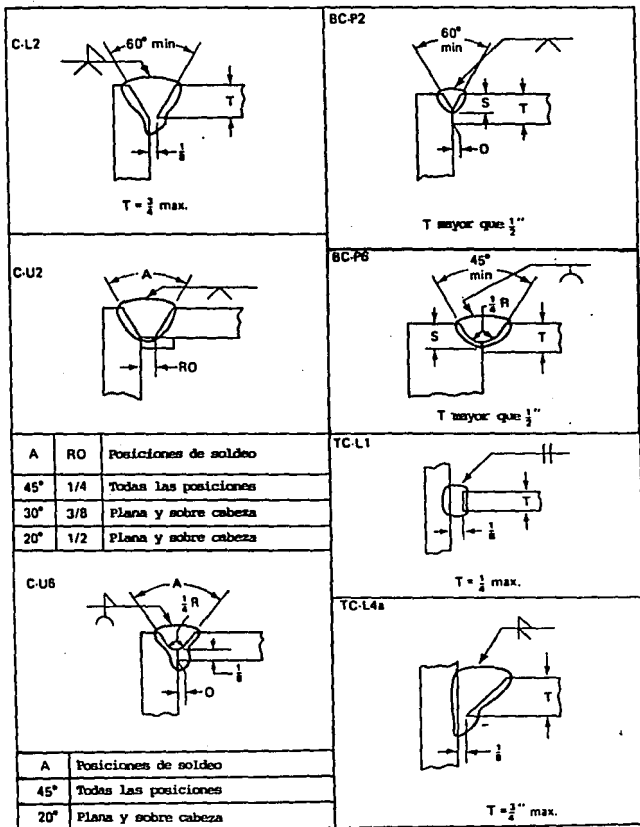
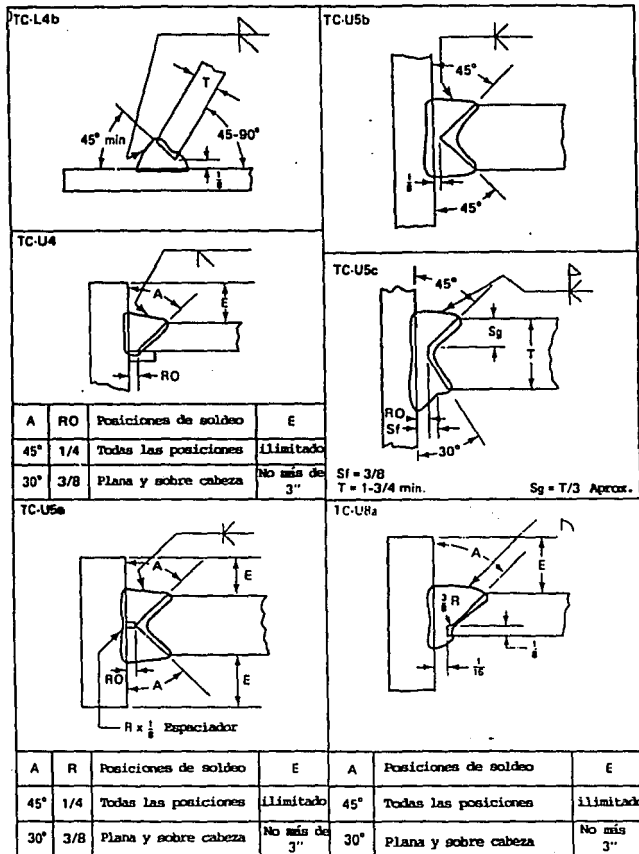


Fig. 4.11: Diseño de uniones soldadas (cont.).







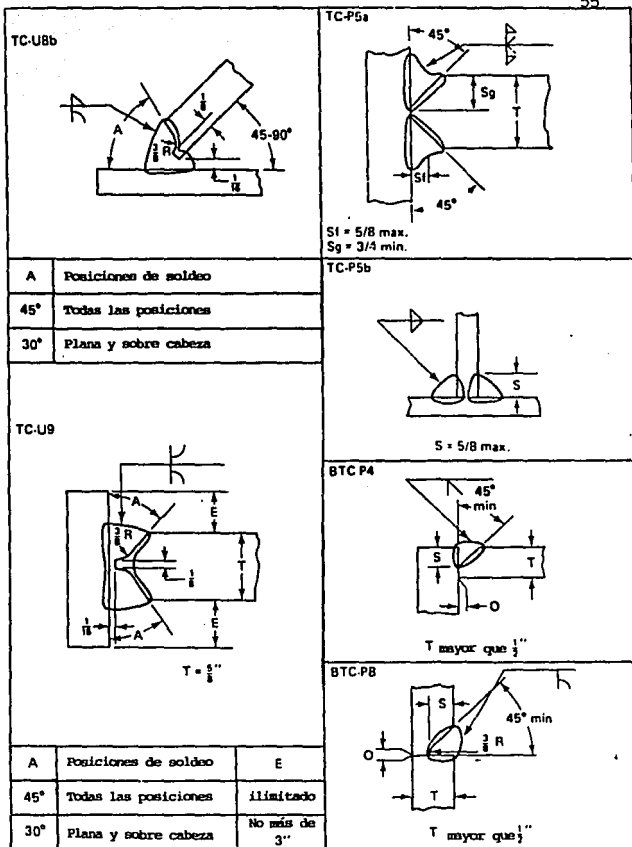


Fig. 4.11: Diseño de uniones soldadas (cont.).

Las siguientes ilustraciones (figura 4.11) de diseños de uniones están basadas en los requerimientos del código estructural de la AWS, para el proceso SMAW. Estos diseños pueden también asegurarse para otros procesos de soldadura. Obsérvese que en cada ilustración se indica el sistema de identificación de uniones mencionado, con los detalles de la unión. También se muestra el símbolo de soldadura.

Cuando se usan estos diseños de uniones se permiten algunas variaciones en las dimensiones. Por ejemplo, la raíz de cara (RF) es cero a menos que se indique de otro modo, pero no debe exceder la dimensión mostrada por más de $1/16"$. La abertura de raíz (RO) es la mínima y no debe exceder de la dimensión mostrada por más de $1/16$. El ángulo de ranura (A) mostrado es el mínimo y no debe excederse por $+ 10^\circ$ ó -0° . El radio de las ranuras en J y V es el mínimo y no debe exceder por más de $1/8"$.

Si se requiere mayor información referirse al código de soldadura de la AWS

4.4. Símbolos de soldadura.

En los planos y dibujos se utilizan los símbolos de las normas de la AWS para transmitir las instrucciones del proyectista al fabricante. El sistema es completo y puede utilizarse para impartir toda la información útil. La figura 4.12 representa un modelo de símbolo mostrando la mayor parte de las informaciones que pueden incluirse en un símbolo completo de soldadura.

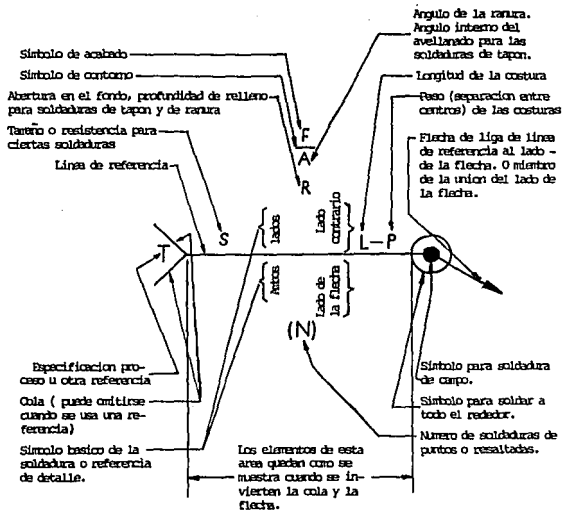


Fig. 4.12 Simbología de la soldadura.

El componente básico del símbolo es la flecha "doblada" y una línea de referencia a la que se agregan otros símbolos, entre ellos el símbolo de soldadura para indicar la soldadura deseada. La flecha apunta a la junta en la que se debe hacer la soldadura. El símbolo de soldadura, que se observa en la figura 4.13, se coloca debajo de la línea de referencia si la costura esta al lado de la unión, o arriba de dicha línea si la costura esta al otro lado de la unión. Si la costura se hace en ambos lados de la unión, entonces se colocan los símbolos de soldadura en ambos lados de la línea de referencia. Todos los símbolos de filete y de ranura, siempre se dibujan a la izquierda del lado perpendicular del símbolo.

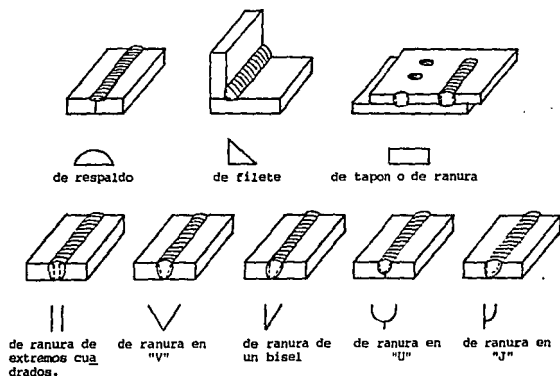


Fig. 4.13 Símbolos de soldaduras.


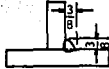
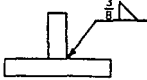


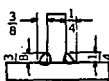
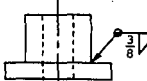
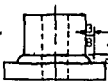
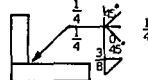
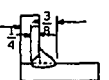

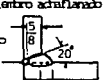
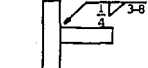
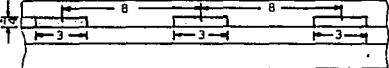
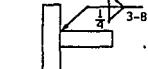

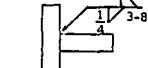
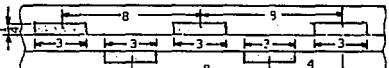
Símbolos de soldadura	indica	Símbolos de soldadura	indica		
1			2		
Lado de flecha		Otro lado			
3			4		
Ambos lados		Soldar todo alrededor			
5			6		
Combinación de bisel y filete		Combinación de ranura en			
7			8		
Soldadura intermitente en un lado		Soldadura intermitente en ambos lados			
9					
Soldadura intermitente alternada en el otro lado					

Fig. 4.14 Representaciones simbólicas de soldaduras de filete.

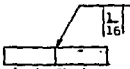
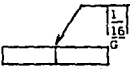
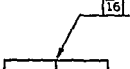
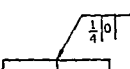
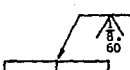
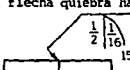
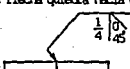
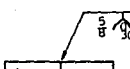
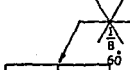
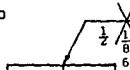
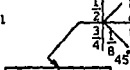
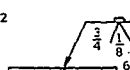
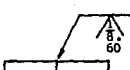
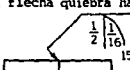
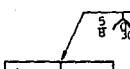
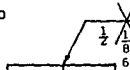
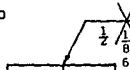
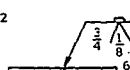
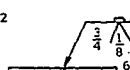
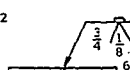
Símbolo de soldadura	Indica	Símbolo de soldadura	Indica
1			
3			
5			
7			
9			
11			
La flecha quiebra hacia el miembro achaflanado			
6			
8			
10			
12			

Fig. 4.15 Representación simbólica de soldaduras de ranura.

Las figuras 4.14 y 4.15 muestran algunos ejemplos de soldaduras de filete y de ranura, respectivamente. En la práctica, algunas compañías sólo necesitan un símbolo de la soldadura. Si se requiere mayor información, se debe recurrir a manuales o al Código estándar para soldaduras de la AWS.

En la figura 4.16 se muestra un dibujo de una unión en T con su respectivo símbolo de soldadura.

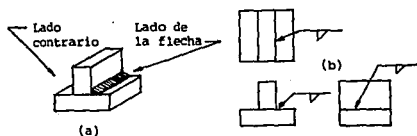


Fig. 4.16 Representación ortogonal de una soldadura de filete.

CAPITULO V: DISEÑO DE ELEMENTOS SOLDADOS.

5.1.- Factores que intervienen en la construcción soldada.

El éxito de una construcción soldada depende especialmente de un diseño adecuado.

La solución más económica para los requerimientos de diseño será consumada si el diseñador toma las siguientes consideraciones:

1. Los requerimientos totales del servicio.
2. Los tipos de cargas y los métodos correctos de cálculo de esfuerzos.
3. Esfuerzos de trabajo permisibles.
4. Las propiedades mecánicas y físicas del material base a usar.
5. Las capacidades de los procesos de soldadura a usar, y las propiedades de la soldadura depositada.
6. Tipos de uniones y tipos de soldaduras (diseño y limitaciones).
7. Métodos de fabricación disponibles (ventajas, problemas potenciales y costos).
8. El costo de soldadura cuando se usan diferentes procesos y procedimientos.
9. Clara comunicación de las soldaduras diseñadas incluyendo el uso de símbolos de soldadura.

10. Calidad de las especificaciones y técnicas de inspección.

El diseñador debe poner atención a los siguientes principios que rigen a un cordón de soldadura:

1. Factor económico.
2. Reducción de peso.
3. Consideración de cargas dinámicas y de impacto.
4. Temperatura de servicio.
5. Resistencia a la corrosión.
6. Resistencia a la abrasión.

Nota : El diseñador debe tener una clara comprensión de los procesos de fabricación y técnicas que serán involucradas en la producción de la soldadura.

Debe conocer las propiedades mecánicas y metalúrgicas del material a soldar.

Debe transmitir las especificaciones en forma exacta de cada soldadura por medio de los símbolos apropiados.

Enseguida se amplía un poco más la información respecto a la unión soldada.

La unión soldada debe ser lo más económica posible, y cumplir con los requisitos de resistencia y de penetración dictados por el

servicio. Para optimizar los factores de economía y resistencia se recomienda que:

1. La unión soldada se diseñará tal que su área seccional transversal sea el menor posible recomendado para ahorrar metal de soldadura.

2. La operación de la unión debe realizarse de acuerdo al diseño y al espesor de la placa. Puede basarse también en el herramental disponible. Las uniones se preparan normalmente por tres métodos: cizallamiento, corte térmico y maquinado.

Los trabajos de corte y operaciones de maquinado suponen un encarecimiento. Por ello debe evitarse en lo posible resaltos, cantos achaflanados o circulares, perfiles, torneados, etc. Muchas veces es posible ahorrar cordones de soldadura y número de piezas a cortar y soldar a base de curvado o doblado de los componentes.

3. Económicamente, es preferible usar productos comerciales como perfiles, tubos, chapas dobladas, placas, etc. Las piezas complicadas conviene hacerlas separadamente o realizarlas en fundición, forja, prensa, etc., y soldándolas después al conjunto. Reducir al mínimo los trozos de desecho.

4. Tener en cuenta si el esfuerzo en la unión es de tensión, compresión, flexión, torsionante o cortante.

En este punto cabe mencionar que una soldadura es una estructura monolítica y , por tanto, una carga impuesta sobre una pieza en particular es transmitida por las uniones soldadas a las otras piezas de la soldadura. Los cinco tipos básicos de cargas que se presentarán en la soldadura son los mencionados anteriormente. Sin embargo en muchos casos se consideran combinaciones de ellos.

Los esfuerzos sobre los cordones de soldadura se calculan generalmente lo mismo que en las estructuras de acero.

La carga de tensión tiende a estirar al miembro, mientras que la carga de compresión tiende a comprimirlo. Ambas cargas se pueden determinar por la ecuación:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{tl}$$

Donde : esfuerzo de tensión o de compresión en el cordón.

F: fuerza de tensión o de compresión, normal al cordón.

A: área del cordón de la soldadura.

t: espesor del cordón.

l: longitud de la soldadura.

En soldaduras a tope, el espesor de la soldadura se considera igual al espesor de placa.

La carga de compresión sobre un miembro largo requiere un análisis diferente, debido a que si la longitud del miembro es suficientemente grande comparada con su sección transversal, fallará en algún lugar por flexión lateral o alabeo.

Los esfuerzos internos debidos a la flexión son de dos tipos: el esfuerzo de fibra o de flexión, y el esfuerzo cortante.

El primero es una carga de tipo transversal, mientras que el segundo es tanto transversal como longitudinal.

El máximo esfuerzo en la fibra de la viga ocurre en las fibras más alejadas del eje neutral. Sólo para vigas con una sección simétrica alrededor del eje neutral, el módulo de sección de cada fibra extrema es el mismo. El esfuerzo de fibra resultante de la sección es dada por la fórmula:

$$\sigma = \frac{M}{S} = \frac{M}{I/C}$$

Donde σ = esfuerzo en la fibra.

M = momento flexionante.

S = módulo de sección de la viga bajo consideración.

I = momento de inercia de la sección de la viga al rededor de su eje neutral

c = distancia desde el eje neutral a la fibra extrema.

El esfuerzo de cizallamiento en punto en una viga esta dado por la fórmula:

$$\tau = \frac{V}{dt}$$

Donde : τ = esfuerzo de cizallamiento.

V = carga vertical de corte.

d = profundidad de la viga.

t = espesor de la porción vertical de la viga.

Normalmente, este esfuerzo en flexión es máximo en el eje neutral y cero en las fibras extremas.

La torsión se basa en fuerzas intentando torcer y fuerzas resistiendo.

Los esfuerzos internos que resultan de estos dos tipos de fuerzas torsionantes es un esfuerzo cortante. La ecuación de torsión es:

$$\tau = Mt / J.$$

Donde : Mt = torque expresado en fuerza multiplicado por la distancia desde la línea central del eje de la parte que esta siendo torcida.

c = distancia a la fibra extrema.

J = momento polar de inercia de la parte soldada, $J_x-x + J_y-y$.

El módulo de la sección S, y el momento polar de inercia J están disponibles en manuales de diseño para elementos estructurales.

La carga de corte es extremadamente importante con respecto a la soldadura. El área de falla en corte es paralela a la carga y el esfuerzo es causado por dos cargas iguales opuestas y paralelas. La ecuación en este caso es:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Donde : = esfuerzo cortante en la soldadura.

F = fuerza cortante.

A = área de la soldadura.

Las soldaduras de filete fallan alrededor de la raíz, lo cual es considerado como una falla de corte. El control de esfuerzos de una soldadura de filete es en base al corte en lugar de tensión o compresión. La falla ocurre usualmente por corte a 45° por la sección de la raíz. En las soldaduras de filete puede haber esfuerzos de corte longitudinales y transversales a la carga.

5. Considerar si la carga en la unión es estática, de impacto o variable.

Carga estática: es aquella que actúa permanentemente o se aplica gradualmente.

Carga de impacto: Es aquella que se aplica bruscamente.















Tipo de unión							
Concentración de esfuerzos							
Resistencia a la tensión est.	100%	85%	70%	60%	100%	80%	30%
Resistencia a la fatiga	100%	35%	15%	10%	40%	25%	10%
Resistencia al impacto	100%	80%	65%	40%	85%	75%	10%
Servicio	Cargas dinámicas.	Cargas estáticas a esfuerzos unitarios en la soldadura. Moderados.	Cargas estáticas a esfuerzos unitarios en la soldadura. Moderados.	Cargas estáticas a bajos esfuerzos unitarios en la soldadura.	Carga dinámica corte estático Tensión.	Carga dinámica corte estático Tensión.	Corte estático
Costo relativo	100	30 - 50	40 - 50	15 - 35	100	50 - 55	25 - 30

Figura 5.1. Patrones de concentración de esfuerzos para varias uniones.

Carga variable: es aquella que esta variando constantemente con respecto al tiempo.

Para uniones soldadas resistentes a las cargas estáticas, es suficiente usar una soldadura de penetración parcial; mientras que para las otras cargas se recomienda soldadura de penetración completa, principalmente cuando actúan cargas vibratorias, que pueden fracturar la junta. Véase fig. 5.1.

6. Considerar el factor de seguridad adecuado.

En el diseño de una soldadura es necesario establecer la silueta de la parte propuesta, y entonces determinar todas las diferentes cargas, fuerzas y condiciones que serán impuestas; para ello es necesario elegir el metal de aporte con las propiedades físicas y mecánicas para el metal base. Conociendo las propiedades mecánicas del metal de aporte puede determinarse el esfuerzo de trabajo permisible, establecerse el factor de seguridad (F.S.) de la soldadura y calcularse el área transversal de la misma.

Los esfuerzos dentro de la soldadura, calculada por las diversas formas basadas sobre el tipo de carga no excede el valor del esfuerzo de trabajo (o unitario) permisible, el cual se obtiene de algún código o especificación.

$$\sigma_{\text{trabajo real}} < \sigma_{\text{trabajo permisible}}$$

Cuando no se aplique dicho código, el esfuerzo de trabajo permisible se calcula por división del punto de fluencia del material entre un F.S.

$$\sigma_{\text{trabajo permisible}} = \frac{\sigma_f}{\text{F.S.}}$$

El factor de seguridad se utiliza debido a las suposiciones o dudas que se tienen acerca de las cargas. Entre mayor sea su valor, mayor será la seguridad del servicio en la pieza; pero también se incrementarán los costos. El F.S. usado en el diseño de muchas soldaduras está basado en la experiencia de aplicaciones previas de soldaduras en similares situaciones de servicio.

En muchos trabajos de diseño de máquinas, comunmente se utiliza un F.S. de 1.8. El diseñador tiene la responsabilidad de seleccionar el F.S apropiado y los esfuerzos permisibles de los materiales utilizados, basado en los requerimientos de servicio de la pieza.

7. La localización de la soldadura en relación a las partes unidas, en muchos casos, tiene un efecto sobre la superficie de la unión soldada.

a) Diversas pruebas indican que las soldaduras son 30% más resistentes bajo carga transversal que bajo carga paralela.

Una soldadura transversal es aquella que transmite las fuerzas de tensión y compresión desde un miembro a otro. La línea de acción de la

carga es perpendicular al eje del cordón de soldadura. Una soldadura paralela es aquella que transmite cargas de corte desde un miembro a otro; la carga y la soldadura son paralelas. Véase fig. 5.2.

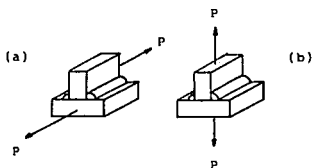


Fig. 5.2 Tipos de cargas: (a) paralelas o longitudinales; (b) transversales.

Asimismo, dos filetes de 45° con tamaños iguales de $3/4$ partes del espesor de la placa se considerarán para desarrollar la resistencia total de la placa para cualquier carga ya sea transversal o paralela.

b) Un miembro sujeto a un momento opone mayor resistencia al giro si las soldaduras están espaciadas (figura 5.3(a)), en vez de que sea una soldadura cerrada. Asimismo, cuando se hacen los cálculos de los módulos de sección, las soldaduras en la figura 5.3(c) son capaces de soportar 3 veces el momento flexionante que las soldaduras de la figura 5.3(b) debido al posicionamiento, aún cuando la soldaduras son del mismo tamaño.

c) Cuando se unen formas especiales como canales, ángulos etc., la consideración tiene que darse por la distribución apropiada de las cargas sobre las soldaduras. Véase fig. 5.3 (d).

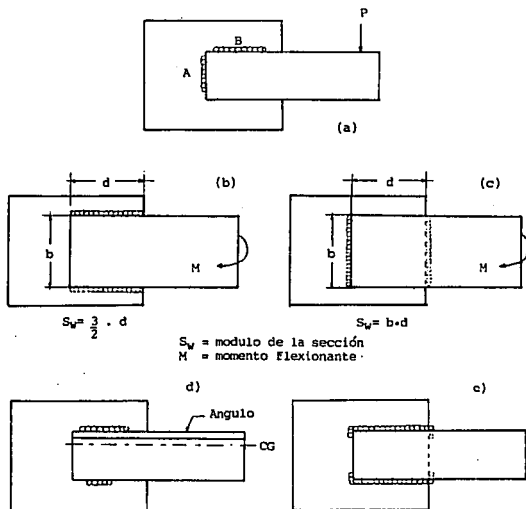


Fig. 5.3 Localización de las soldaduras.

d) Siempre que sea posible los miembros soldados deberán localizarse para soportar acciones flexionantes o cortantes. La

distribución de carga es más uniforme sobre uniones simétricas que sobre asimétricas.

Los esfuerzos en una soldadura, teniendo su dimensión lineal aproximadamente paralela a la línea de fuerza, no están igualmente distribuidos. Bajo muchas condiciones de carga los esfuerzos son mayores en los extremos de los cordones que en la mitad. Es por lo tanto aconsejable, enganchar el cordón alrededor de la junta, como se indica en la fig. 5.3 (e).

8. Otra recomendación es considerar la accesibilidad de la unión soldada. Esta accesibilidad debe incluirse también durante el ensamble de las partes a soldar, figura 5.4 .

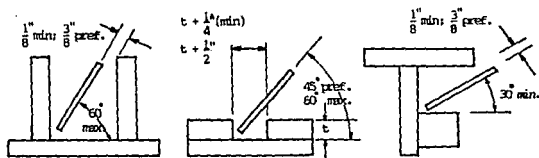


Fig. 5.4 Recomendaciones para la accesibilidad de las uniones.

9. Consultar las normas al hacerse los detalles individuales de las uniones de acuerdo al proceso de soldadura. Recuérdese que las normas optimizan el aspecto económico y el de resistencia de la unión.

10. Considerar la posición de soldeo de la unión, que depende de la habilidad del soldador.

11. Por último, utilizar los medios convenientes de control de distorsión.

En la resistencia de una unión soldada influyen muchos factores, por lo que su cálculo tropieza con grandes dificultades, dado que la calidad de una soldadura depende de la habilidad del soldador. Sin embargo, puede obtenerse una unión soldada resistente evitando, en lo posible, una serie de problemas, por ejemplo:

1.- Evitar entalladuras. Una mala penetración origina siempre entalladuras en el cordón de soldadura, de tal forma que puede haber una alta concentración de esfuerzos que puede producir la rotura de la unión. Los cordones irregulares presentan problemas parecidos.

Una concentración de esfuerzos es un punto en la estructura en el cual los esfuerzos serán más concentrados que en todas las demás secciones de la soldadura. Esto no puede ser dañino para soldaduras cargadas estáticamente pero para cargas repetitivas, dinámicas o de impacto, puede crear un punto prematuro de falla.

2.- Evitar cambios de direcciones de tensión en las zonas de soldadura.

El flujo de fuerzas es de una importancia definitiva en la rigidez del cordón. Las uniones a tope poseen mayor resistencia a las vibraciones

que las uniones angulares, debido a que en las primeras no se establece ninguna desviación del flujo de fuerzas.

3.- Evitar esfuerzos de tracción en la raíz de la costura. Se reduce el riesgo de falla mediante la correcta disposición de las soldaduras en las posiciones más efectivas para soportar las cargas; en lo posible, debe procurarse colocar la raíz del cordón en la zona de compresión, especialmente cuando se trata de uniones angulares. Véase Fig. 5.5

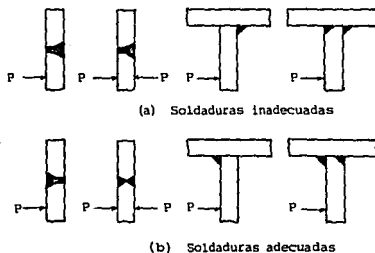


Fig. 5.5 Soldaduras sometidas a flexión.

4.- Evitar intersecciones de cordones. El calentamiento localizado durante la soldadura y el posterior enfriamiento origina tensión por contracción, que deforman la piezas soldadas. Cuanto más gruesos sean los cordones y cuanto mayor número de ellos confluyan en un punto, deforman más a la estructura. Las contracciones de las uniones son más palpables en su sentido longitudinal. En la figura 5.6 se muestra la forma de evitar la intersección de cordones por medio de escotaduras

con nervios transversales. Obsérvese que dichos nervios no terminan en punta, debido a que se funden al soldar.

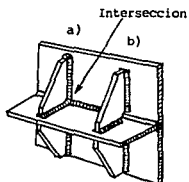


Fig. 5.6 Soldadura de nervios transversales:
(a) inadecuado por la intersección
de soldaduras; (b) adecuado.

5.- Evitar los cráteres de penetración al principio y al final de cada cordón, pues son zonas que pueden presentar alta concentración de esfuerzos. Así, los cordones tope sometidos a esfuerzo dinámico de flexión corren el peligro de romperse por el cráter de penetración en el lado de tracción. Esto se evita con una cubierta de chapa soldada.

5.2. Influencia de las especificaciones sobre el diseño.

Todos los códigos y especificaciones que se aplican a soldaduras implican información de diseño. Sin embargo, en ocasiones estos códigos no son aplicables para muchos productos.

Para acero suave y baja aleación siempre cuando los códigos y especificaciones no se apliquen, pueden considerarse las siguientes reglas de diseño de uniones soldadas.

1.- La unión debe cumplir los requerimientos de resistencia de la aplicación.

2.- Usar las uniones estandarizadas mostradas en la figura 4.11.

3.- Preferir uniones de penetración completa.

4.- Siempre que sea posible el tiempo de preparación del borde debe ser menor al tiempo de soldadura requerido para llenar la unión.

5.- Las ranuras J y U deben hacerse sobre las partes que son más fáciles de preparar por maquinado.

6.- Reducir sobresoldadura porque incrementa los costos de soldadura y causa distorsión extra.

7.- El tamaño de la soldadura de filete debe ser el mínimo recomendado por la AWS.

8.- Los filetes intermitentes deben usarse cuando la rigidez es el propósito principal de la unión.

9.- La longitud de los filetes intermitentes debe usarse de 8 a 16 veces su tamaño nominal, o de 2 a 6 pulgadas.

10.- El espaciamiento de los filetes intermitentes para material de un 1/4" debe ser 32 veces el espesor de la placa más delgada o no deberá exceder de 12".

11.- Reducir el número de soldaduras.

12.- Para uniones a tope de desigual espesor, alisar la transición por remoción de metal más que por adición de metal de soldadura.

13.- Evitar las uniones doble T o de cruz siempre que sea posible.

14.- En uniones en esquina preparar el biselado en el miembro más delgado.

15.- Las soldaduras de tapón y de ranura no se usan para miembros altamente esforzados, a menos que sean cortantes.

16.- Siempre que sea posible, preparar sólo un elemento de unión.

17.- La posición de soldeo debe ser preferentemente en el orden: plano, horizontal, vertical y sobrecabeza.

18.- Las uniones deben ser accesibles.

19.- Todas las uniones soldadas deben especificarse por símbolos de soldadura.

5.3 Fórmulas de diseño de soldaduras.

El primer paso en el análisis al diseñar una máquina es determinar las cargas aplicadas y generadas por la máquina.

Para diseñar apropiadamente productos soldados debe analizarse la resistencia de las uniones soldadas. La naturaleza compleja de las soldaduras implica que se hagan una serie de suposiciones generales básicas al derivar las fórmulas de diseño. Algunas suposiciones son:

1.- La distribución de esfuerzos por toda la soldadura es uniforme en corte longitudinal, en flexión y corte torsional.

2.- El área crítica de falla, o mínima sección transversal, ocurre en la garganta de las soldaduras.

3.- El momento de inercia alrededor del eje longitudinal de las soldaduras se menosprecia.

4.- Las áreas y momentos de inercia se basan sobre la dimensión de la garganta.

5.- Los esfuerzos resultantes son la suma vectorial de las componentes de esfuerzos através de cualquier sección dada.

6.- Los valores obtenidos por sustitución numérica son nominales.

7.- La distribución de esfuerzos flexionantes es según la teoría de vigas.

La figura 5.7 muestra un resumen de fórmulas para calcular esfuerzos en numerosos tipos de uniones soldadas sujetos a una variedad de condiciones de carga. Dichas fórmulas se derivaron de las ecuaciones básicas de esfuerzos, antes mencionadas.

Las variables de las fórmulas de la figura 5.7. significan:

h = tamaño de la soldadura.

l = longitud de la soldadura.

T, b = espesor de la placa.

D = diámetro.

L = brazo de palanca.

P = carga.

M = momento.

M_t = torque.

σ = esfuerzo normal.

τ = esfuerzo cortante.

Las fórmulas de la figura 5.7. se utilizan generalmente, para calcular los valores mínimos del tamaño y de la longitud de la soldadura, cuando de igualan con los esfuerzos unitarios permitidos recomendados. Recuérdese que el esfuerzo interno de la soldadura debe ser menor o igual al esfuerzo unitario permisible.

Fig.5.7 : Resumen de fórmulas usadas para determinar esfuerzos permisibles para diferentes uniones soldadas y cargas.

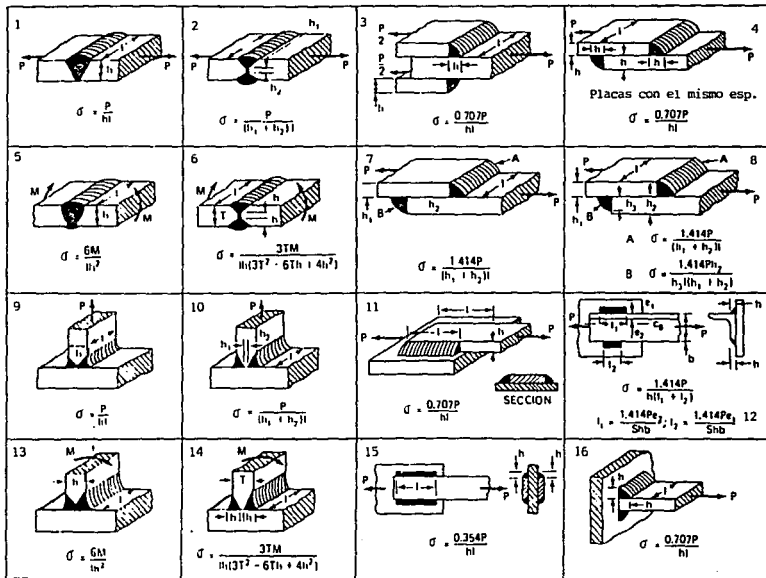
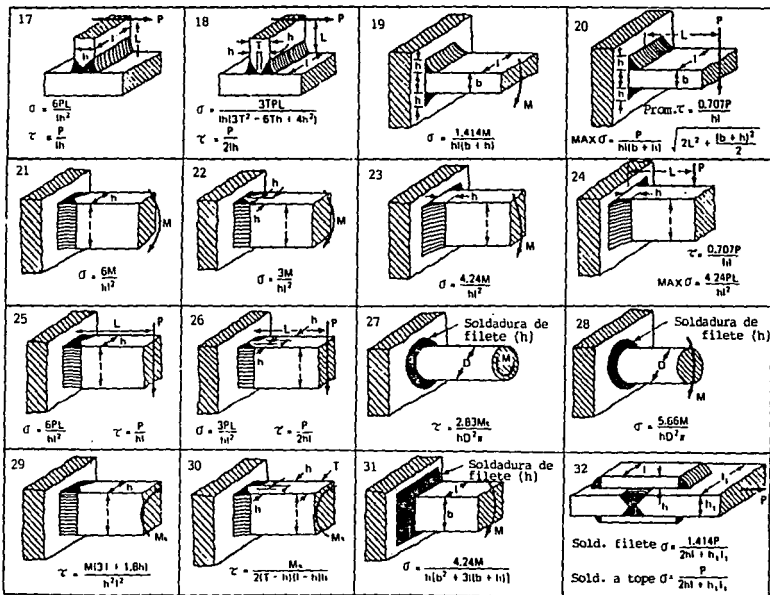


Fig.5.7 : Resumen de fórmulas usadas para determinar esfuerzos permisibles para diferentes uniones soldadas y cargas. (cont.).



La resistencia de una soldadura a tope se basa en la dimensión de la garganta, que tiene un valor igual a la del espesor de la pieza a unir más delgada. El esfuerzo normal (tensión o compresión) de una soldadura a tope es la carga aplicada sobre el área transversal efectiva de la garganta (fig. 5.7.-1, 2, 9 y 10). La AWS recomienda 20,000 psi (138 MPa) como el esfuerzo permisible para uniones a tope.

Las soldaduras de filete son generalmente consideradas como esforzadas en corte alrededor de la garganta del mismo, independientemente de la dirección de la carga aplicada. Así cuando se aplica carga en dirección normal al cordón, se supone que la garganta de la soldadura, o el espesor útil, es sometido a un esfuerzo de corte, aún cuando esta carga cause esfuerzos de tensión en la unión.

La capacidad de carga de una soldadura de filete esta determinada por su área de garganta. Idealmente se considera que la carga actúa sobre un filete con sección transversal similar a un triángulo isósceles, en donde el área de la garganta esta abatida a 45° , tal como se muestra en la figura 5.8.

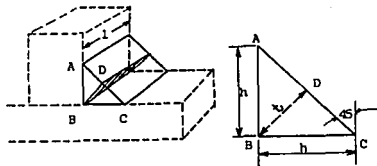


Fig. 5.8 Soldadura de filete ideal.

De la figura 5.8:

$$t = h \operatorname{sen} 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2} h = 0.707 h$$

$$A = t \times l = 0.707 h l$$

En soldaduras de filete, el esfuerzo cortante se calcula por división de la carga por el área de la garganta. Considerando un sólo filete de 45° , el esfuerzo cortante es:

$$\tau = P/A = P / ((\sqrt{2}/2) h l) ; \quad \tau = P / (0.707 h l)$$

En la fig. 5.7 se muestran uniones a traslape y en "T" con dos soldaduras de filete (fig. 5.7 - 3, 4, 7, 8, 11, 12 y 16) o más. En estos casos, al calcular los esfuerzos se considera la suma de las áreas de las gargantas de cada filete:

$$\tau = \frac{P}{\frac{\sqrt{2}}{2} h_1 l_1 + \frac{\sqrt{2}}{2} h_2 l_2}$$

$$\text{y si } h_1 = h_2 = h$$

$$l_1 = l_2 = l$$

$$\tau = \frac{P}{\sqrt{2} hl} ; \quad \tau = \frac{0.707P}{hl}$$

Cuando se hacen uniones a traslape soldadas en los extremos, se considera que los filetes son esforzados lo mismo que las soldaduras longitudinales (esforzadas en corte), aún cuando la garganta es esforzada en tensión.

En la figura 5.7 - 12 se tienen dos filetes con longitudes apropiadas para distribuir uniformemente el esfuerzo cortante y prevenir la flexión en el ángulo. Las longitudes son halladas tomando momentos alrededor de los extremos superior e inferior del ángulo hasta el centroide.

En las figuras 5.7 - 5, 6, 13, 14, 19, 21, 23, 28 y 31, las uniones se sujetan a un momento flexionante. Las fórmulas de diseño para estas uniones se derivan de la ecuación básica de $\sigma = Mc / I$, en donde sólo se varía el módulo de sección, I/c , según sea una soldadura de penetración parcial o una de penetración completa. Considérese el siguiente ejemplo de una unión a tope con bisel en U y penetración completa (fig. 5.7 - 5):

$$\sigma = \frac{Mc}{I} , \text{ con } I = \frac{hl^3}{12} \text{ y } c = \frac{l}{2}$$

$$\sigma = \frac{M \times l/2}{hl^3/12} = \frac{12 Mi}{2 hl^3} ; \quad \sigma = \frac{6 M}{hl^2}$$

y para la unión en T con doble filete de la figura 5.7-23:

$$\sigma = \frac{Mc}{I}, \text{ con } I = \frac{\sqrt{2} hl^3}{12} \text{ y } c = \frac{l}{2}$$

$$\sigma = \frac{M \times l/2}{\sqrt{2} hl^3/12} = \frac{12 Mi}{2\sqrt{2}hl^3} ; \quad \sigma = \frac{4.24 M}{hl^2}$$

Hay soldaduras sujetas a esfuerzos combinados de corte y de flexión (fig. 5.7 - 17, 18, 20, 24, 25 y 26). La conexión tiene que soportar una carga P en corte y resistir un momento igual a PL . Cuando se calcula el esfuerzo cortante debe considerarse correctamente el área de la soldadura. Así en la figura 5.7 - 18, el área considerada es dos veces el tamaño de la soldadura por su longitud, siendo el esfuerzo cortante, entonces, $P / 2hl$. Para el esfuerzo flexionante, $\sigma = Mc / I$, el momento flexionante, M , es igual a PL :

Para determinar el máximo esfuerzo, los valores de los esfuerzos cortantes y flexionantes tienen que combinarse. Una aproximación suficiente para calcular esfuerzos combinados es ignorar el plano de acción y combinar las componentes de esfuerzos vectorialmente. Esta

resultante esta limitada por el esfuerzo unitario permisible del material.

Considerando la unión de la fig. 5.7 -24:

$$\max = \sqrt{s^2 + s^2} = \sqrt{\left(\frac{2P}{2hl}\right)^2 + \left(\frac{3\sqrt{2}PL}{hl^2}\right)^2}$$

$$\max. = \frac{\sqrt{2} P}{2 hl} \sqrt{1 + \left(\frac{6l}{l}\right)^2}$$

El tamaño del filete requerido para soportar la carga P, usando un esfuerzo máximo de (9,600h) o 13,600 psi (93.8 MPa), es:

$$h = \frac{\sqrt{2} P}{2\sigma_{\max} l} \sqrt{1 + \left(\frac{6L}{l}\right)^2}$$

Por otro lado un tipo de conexión frecuentemente encontrada es aquella que esta sometida a un esfuerzo de corte torsional transversal de la soldadura (fig. 5.7 - 27, 29 y 30). El valor del esfuerzo de corte torsional se obtiene de la fórmula general $\tau = Mt / J$, antes mencionada.

5.4 Métodos para diseñar elementos soldados.

En la sección anterior se estudiaron las fórmulas de diseño para los cordones de soldadura sujetos a diferentes tipos de cargas. Ahora se

tratarán los principales métodos para diseñar un elemento o toda una máquina por soldadura.

Existen dos caminos para diseñar un miembro soldado:

1) El diseño puede basarse sobre una fundición existente, usando las propiedades dadas en las tablas de secciones equivalentes.

El concepto de las secciones equivalentes esta enfocado a la conversión directa de una pieza de un metal dado, a la misma pieza fabricada en un material diferente. Este método busca obtener una soldadura que tenga una resistencia suficiente o igual rigidez para la misma carga. El diseñador debe tomar en cuenta los siguientes puntos:

a) Asumir que la fundición tiene una resistencia o rigidez suficiente después que ha dado buen servicio por algún tiempo.

b) No se necesita conocer los valores de las cargas, que a veces son difíciles de evaluar.

c) Muchas fundiciones son más robustas que lo necesario debido a la dificultad en producir secciones delgadas.

2) El diseñador puede basar su diseño soldado sobre las cargas o suponiendo las cargas.

a) Se aplica tanto en el diseño de una parte como de toda la máquina.

b) Se necesita conocer la carga o suponer los valores de la carga.

c) Se tiene completa libertad al diseñar.

En este método, el diseñador tiene que referirse a las fórmulas de diseño de máquinas.

Sin embargo, en ambos métodos el diseñador tiene que analizar el miembro y determinar:

1) Si el problema es de rigidez o resistencia.

2) El tipo de carga aplicado al miembro.

Después, el diseñador tiene que decidir qué método aplicar.

Conociendo el valor de la propiedad crítica del miembro, como por ejemplo, el momento de inercia, el diseñador tiene que elegir una sección de acero que tenga la propiedad requerida. En este punto, debe decidir el mejor camino para fabricarse, basándose en el costo del material y el costo del proceso.

Debe también utilizar las recomendaciones mencionadas anteriormente: tipo de electrodo, detalles de la unión, tamaño y longitud de los cordones.

Diseño soldado basado sobre una fundición existente.

La secuencia de este método es la siguiente:

1.- Analizar la máquina fundida.

A) Determinar los cambios o mejoras que son necesarios.

B) Verificar lo que debe retenerse, las dimensiones, etc.

2.- Analizar el miembro fundido.

A) determinar si el problema es de (a) rigidez, (b) de resistencia ó (c) no cargado.

B) Determinar el tipo de carga: (a) tensión, (b) columna corta, (c) columna larga, (d) flexión ó (e) torsión.

C) Elegir el diseño de sección probable.

a) Una sección promedio para rigidez.

b) Una sección crítica para resistencia.

D) Determinar la propiedad necesaria para esta sección.

3.- Determinar el acero más adecuado para el trabajo.

A) Hallar el valor de la propiedad del acero, usando tablas equivalentes para acero.

B) Dibujar los límites de la silueta de la sección de acero.

C) Construir la sección de acero dentro de la silueta usando guías de formado.

4.- Establecer el mejor método de manufactura.

A) Selección del material.

B) Fabricación.

5.-Estimar costos.

El enfoque básico para la conversión de una pieza de fundición en un conjunto de acero soldado equivalente a ésta, por el método de secciones equivalentes, es el siguiente:

Paso 1: determínese el tipo de carga de acuerdo con los requisitos de resistencia y rigidez de cada elemento.

Todas las partes de la estructura deberán cumplir funciones específicas: mantener la resistencia suficiente y rigidez; resistir las cargas aplicadas de tensión, compresión, flexión y torsión.

Paso 2: determínese la propiedad crítica del miembro de fundición.

La capacidad del elemento para soportar las anteriores cargas se determina mediante ciertas propiedades de su sección transversal, que son las siguientes:

A.- Área de la sección.

I.- Momento de inercia, para resistencia a la flexión.

S.- Módulo de la sección, para resistencia a los esfuerzos cortantes.

J.- Momento polar de inercia, para resistencia a la deformación por torsión.

J/C.- Módulo polar de la sección, para resistencia bajo la torsión.

Paso 3: Determínese la propiedad crítica requerida para el elemento de acero.

Paso 1: Determinar el tipo de carga	Tensión	Compresión		Flexión	Torsión
		Columna corta	Columna larga		
Paso 2: Determinar esta propiedad del miembro fundido	Area	Area	Momento de inercia I	Momento de inercia I	Momento polar de inercia J/C
Paso 3: Factores equivalentes	Multiplíquese la propiedad del miembro fundido indicado arriba, por el factor indicado abajo para obtener el -- valor equivalente para acero.				
Hierro gris ASTM 20	40 %	40 %	40 %	40 %	40 %
ASTM 30	50	50	50	50	50
ASTM 40	63	63	63	63	63
ASTM 50	67	67	67	67	67
ASTM 60	70	70	70	70	70
Maleable A 47-33 35018	83	83	83	83	83
A 47-33 35510	83	83	83	83	83
Mechanite grado GE	40	40	40	40	40
GD	48	48	48	48	48
GC	57	57	57	57	57
GB	60	60	60	60	60
GA	67	67	67	67	67
Acero fundido (0.12 - 0.20 %)	100	100	100	100	100
Estos factores estan basados sobre los valores publicados de módulo de elasticidad (E) para varios materiales de fundición. Subíndices: "a" acero "f" fundición	$A_a = \frac{E_f}{E_a} A_f$	$A_a = \frac{E_f}{E_a} A_f$	$I_a = \frac{E_f}{E_a} I_f$	$I_a = \frac{E_f}{E_a} I_f$	$J_a = \frac{E_f}{E_a} J_f$

TABLA 5.1: Rigidez equivalente para la selección de la sección de acero igual a la sección fundida.

Paso 1: Determinar el tipo de carga.	Tensión	Compresión columna corta	Flexión	Torsión
Paso 2: Determinar esta propiedad del miembro fundido.	Area	Area	Módulo de sección S	Módulo polar de la sección J/C
Paso 3: Factores equivalentes	Multiplíquese la propiedad del miembro fundido indicada arriba por el factor indicado abajo para obtener el valor equivalente para acero.			
Hierro gris ASTM 20 30 40 50 60	21 % 31 42 52 63	94 % 123 136 156 167	21 % 31 42 52 63	28 % 42 56 70 83
Maleable A47-33 35018 A47-33 35010	68 54	--- ---	68 54	76 70
Mechanite grado GE GD GC GB GA	31 36 44 49 57	125 136 164 174 199	31 31 44 49 57	42 49 58 64 73
Acero fundido	75	75	75	75
Estos factores estan basados sobre los valores publicados de resistencia de tensión, compresión y corte, usando un F.S. de los productos siguientes: Factor básico = 1.3 si es material fundido=1.3 si es material frágil =1.2	$A_a = \frac{\sigma_{of}}{\sigma_{oa}} A_f$	$A_c = \frac{\sigma_{of}}{\sigma_{oc}} A_f$	$S_a = \frac{\sigma_{of}}{\sigma_{oa}} S_f$	$\left(\frac{J}{C}\right)_a = \frac{\sigma_{of}}{\sigma_{oa}} \left(\frac{J}{C}\right)_f$
Subíndices: "a" acero "f" fundición				

TABLA 5.2 : Factores de resistencia para la selección de la sección de acero igual a la sección fundida.

Si se conocen estas propiedades de una parte o elemento fundido, las tablas equivalentes permiten determinar las propiedades correspondientes del elemento de acero que tendrá igual rigidez (tabla 5.1) o igual resistencia (tabla 5.2). Sólo es necesario multiplicar el valor de las propiedades conocidas de la pieza de fundición, por el factor que se obtenga de la tabla equivalente apropiada.

Diseño soldado basado en las cargas.

Para diseñar uniones soldadas resistentes, en lugar de determinar los esfuerzos sobre la soldadura aplicando las fórmulas dadas en la sección 5.3, se puede simplificar el problema si se determinan las fuerzas sobre la soldadura.

El método presentado aquí trata a la soldadura como una línea sin espesor, pero con una longitud y silueta definida. El método permite al diseñador hacer cálculos de una manera muy similar que cuando se consideran esfuerzos. Sin embargo, las ventajas del método que trata a la soldadura como una línea son:

1) No se necesita considerar las áreas de las gargantas debido a que sólo se consideran líneas; y 2) se elimina el problema de la combinación de esfuerzos, pues se consideran fuerzas máximas por unidad de longitud del filete.

Para aplicar el método que trata a la soldadura como una línea considerese la siguiente secuencia:

1.- Proponer la geometría de la unión y el diseño de los miembros a soldarse.

2.- Identificar los tipos de esfuerzos a los cuales la unión se sujeta (compresión, tensión directa, flexión, torsión y corte vertical).

3.- Analizar la unión para determinar la magnitud y dirección de la fuerza sobre la soldadura debido a cada tipo de carga.

Las relaciones usadas para determinar la fuerza máxima, f , por longitud unitaria de soldadura, se dan en la tabla 5.3.

Tabla 5.3

Tipo de carga	Formula	Unidades
Tensión directa	$f = P / A_w$	$f = [lb/plg] \text{ o } [N/mm]$
Compresión	$f = P / A_w$	$P = [lb], [N]$
Corte vertical directo	$f = V / A_w$	$V = [lb] \text{ o } [N]$
Flexión	$f = M / S_w$	$M = [lb-plg] \text{ o } [N-mm]$
Torsión	$f = T / J_w$	$T = [lb-plg] \text{ o } [N-mm]$
		$A_w = [plg] \text{ o } [mm]$
		$S_w = [plg^2] \text{ o } [mm^2]$
		$J_w = [plg^3] \text{ o } [mm^3]$

Las anteriores relaciones son similares a las fórmulas correspondientes de esfuerzos. Asimismo, los factores geométricos para soldaduras y las propiedades de las áreas usadas en el análisis de esfuerzos presentan también dicha similitud. Los factores geométricos (A_w , S_w , J_w) de las soldaduras pueden evaluarse con las fórmulas de la tabla 5.4, de acuerdo a la fórmula en particular de la silueta de las soldaduras estudiadas.

Siluetas de la unidad soldada	Localización del centroide, G	Área unitaria de la garganta, A_w	Módulo de la sección unitario, S (alrededor del ej.h.)	Momento polar de inercia unitario, J_w
	$X = 0$ $Y = d/2$	$A_w = d$	$S_w = d^2/6$	$J_w = d^3/12$
	$X = b/2$ $Y = d/2$	$A_w = 2d$	$S_w = d^2/3$	$J_w = \frac{d(3b^2 + d^2)}{6}$
	$X = b/2$ $Y = d/2$	$A_w = 2b$	$S_w = bd$	$J_w = \frac{b^3 + 3bd^2}{6}$
	$X = \frac{b^2}{2(b+d)}$ $Y = \frac{d^2}{2(b+d)}$	$A_w = b + d$	cima $S_w = \frac{4bd + d^2}{6}$ fondo $S_w = \frac{d^2(4b + d)}{6(2b + d)}$	$J_w = \frac{(b+d)^4 - 6b^2d^2}{12(b+d)}$
	$X = \frac{b^2}{2b + d}$ $Y = d/2$	$A_w = 2b + d$	$S_w = bd + d^2/6$	$J_w = \frac{(2b+d)^3}{12} - \frac{b^2(b+d)^2}{(2b+d)}$
	$X = b/2$ $Y = \frac{d^2}{b + 2d}$	$A_w = b + d$	cima $S_w = \frac{2bd + d^2}{3}$ fondo $S_w = \frac{d^2(2b+d)}{3(b+d)}$	$J_w = \frac{(b+2d)^3}{12} - \frac{d^2(b+d)^2}{(b+2d)}$

TABLA : 5.4 Propiedades de la soldadura de filete tratada como una línea.

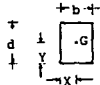
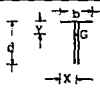
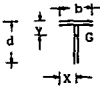
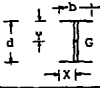
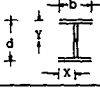
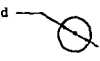
Silueta de la unión soldada	Localización del centroide, G	Area unitaria de la garganta, A_w	Módulo de la sección unitaria S_w	Momento polar de inercia unitario, J_w
	$X = b/2$ $Y = d/2$	$A_w = 2b+2d$	$S_w = bd + d^2/3$	$J_w = \frac{(b+d)^3}{6}$
	$X = b/2$ $Y = \frac{d^2}{b + 2d}$	$A_w = b+2d$	cima $S_w = \frac{2b+d^2}{3}$ fondo $S_w = \frac{d^2(2b+d)}{2(b+d)}$	$J_w = \frac{(b+2d)^3}{12} - \frac{d^2(b+d)}{b+2d}$
	$X = b/2$ $Y = \frac{d^2}{2(b+d)}$	$A_w = 2b + 2d$	cima $S_w = \frac{4bd+d^2}{3}$ fondo $S_w = \frac{4bd^2 + d^3}{6b + 3d}$	$J_w = \frac{d^3(4b+d)}{6(b+d)} + \frac{b^3}{6}$
	$X = b/2$ $Y = d/2$	$A_w = 2b + 2d$	$S_w = bd + d^2/3$	$J_w = \frac{b^3+3bd^2+d^3}{6}$
	$X = b/2$ $Y = d/2$	$A_w = 4d + 2d$	$S_w = 2bd + d^2/3$	$J_w = \frac{2b^3+6bd^2+d^3}{6}$
	$X = Y = d/2$	$A_w = \pi d$	$S_w = \frac{\pi d^2}{4}$	$J_w = \frac{\pi d^3}{4}$

TABLA 5.4 (Continuación)

4.- Combinar las fuerzas vectorialmente en el punto o en los puntos de soldadura donde las fuerzas parecen ser el máximo. Para tres fuerzas ortogonales, la fuerza resultante máxima es:

$$f_r = \sqrt{f_1^2 + f_2^2 + f_3^2}$$

5.- Dividir la fuerza resultante máxima sobre la soldadura por la fuerza permisible recomendada en la tabla 5.5 para determinar el tamaño requerido del cateto de la soldadura de filete.

Metal base ASTM	Electrodo	Esfuerzo permisible al corte (τ)		Fuerza de diseño permisible (f)	
		psi	MPa (N/mm^2)	lb/plg por plg log.	N/mm por mm log.
A 36 A 242 A 323 A 441	E60XX	13,600	93.85	9,615	66.35
	E70XX	15,800	109	11,170	77.1

Nota: En la soldadura a tope en tensión o compresión el esfuerzo es de 20,000 lb/plg² (138 MPa), o igual al del metal base.

Tabla 5.5

Espesor máximo del metal base a soldarse.		Tamaño (h) mínimo del filete de soldadura.	
plg	mm	plg	mm
1/2	12.7	3/16	4.7625
3/4	19.05	1/4	6.350
1 1/2	38.10	5/16	7.935
2 1/4	57.15	3/8	9.525

Tabla 5.6

La tabla 5.5 rige tanto en cargas paralelas como en cargas transversales, e indica las fuerzas permisibles seguras para tamaños de filetes unitarios. Los valores se obtienen al aplicar la ecuación $f = 0.707 h \tau$, considerando una longitud (l) y tamaño (h) unitarios y empleando los esfuerzos permisibles al corte (τ) recomendados en la misma tabla. Obsérvese que en el caso de S.I, las unidades son MPa; sin embargo, es mas conveniente expresarlos en N/mm^2 al utilizar la ecuación antes mencionada, pues h no puede ser en realidad de 1 m. Así por ejemplo, si se considera la longitud unitaria (1 mm) y el electrodo E60XX entonces,

$$f = 0.707 h \tau = 0.707 (1 \text{ mm}) (93.85 \text{ N/mm}^2)$$

$$f = 66.35 \text{ N/mm por mm de longitud.}$$

La tabla 5.6 indica la relación entre el tamaño mínimo de la soldadura de filete y el espesor del material base. Cuando se utilizan tamaños de soldaduras muy pequeñas con respecto al espesor de las uniones, la soldadura puede fracturarse debido al rápido efecto de enfriamiento del material adyacente. La tabla 5.6 puede usarse también cuando el diseñador encuentra condiciones en las cuales no se involucran cálculos de esfuerzos. Utilizando esta tabla, generalmente, la resistencia de la soldadura será igual o mayor que la del metal base.

5.5.- Diseño soldado de elementos de máquinas.

El diseño de una máquina es simplemente un ensamblado de todas las partes tales como bases, ejes, soportes, engranes, palancas, etc., sin considerar que complicada pueda parecer.

El diseño debe cumplir con los requerimientos funcionales de la máquina.

Por otra parte, en la construcción de una máquina, las piezas a unir por soldadura pueden ser poleas, engranes, cajas de engranajes, soportes de cojinetes, patas de apoyo y ménsulas, carcasas y cajas, barras de tracción, barras articuladas, palancas, portapiezas, etc. Los esfuerzos en los cordones se calculan generalmente lo mismo que en las estructuras de acero.

Para estudiar los diferentes elementos soldados de una máquina conviene agruparlas en la siguiente clasificación:

- 1.- Bases y marcos.
- 2.- Cubiertas.
- 3.- Contenedores.
- 4.- Ruedas: poleas, engranes y volantes.
- 5.- Partes auxiliares: Palancas, soportes, horquillas, etc.

Contenedores.

En esta clasificación se incluyen tanques de todo tipo: Calderas, tambos, cámaras mezcladoras, cajas de manivelas o barriles, depósitos, secadoras giratorias, vertederos, tubos y tuberías.

Como primer requisito un tanque debe ser hermético. Debe tener también suficiente resistencia para soportar la presión interna a la que pueda sujetarse. En estos las placas y uniones están a tensión. Sin embargo con la soldadura de arco las placas y uniones resultan herméticas y sólidamente unidas.

Muchos contenedores se diseñan de acuerdo a códigos, por ejemplo el código para recipientes a presión de la ASME.

La mayoría de los tanques, tubos y calderas caen en la clasificación de recipientes de pared delgada. En ellos se supone que el esfuerzo resultante desde la presión interna es uniforme através del espesor del cascarón. El espesor del cascarón se encuentra por:

$$t = DP/2\sigma \quad t = \text{espesor del cascarón}$$

D = Diámetro del cascarón

P = Presión interna

σ = Esfuerzo permisible (tensión)

El esfuerzo en cualquier dirección es :

$$\sigma = DP/4t$$

Ruedas.

Bajo esta clasificación están: ruedas, poleas, engranes, ruedas dentadas, volantes.

La fabricación soldada de ruedas, engranes, poleas y volantes ilustra muchos de los beneficios típicos de partes de maquinaria construidos a bajo costo, por soldadura de arco, comparado con otros métodos. Básicamente las ruedas son diseñadas alrededor de tres elementos: El cubo, la membrana y el reborde, (fig. 5.9 (a)).

El cubo es frecuentemente construido de una pieza integral torneado desde una barra o tubo y soldado a filete en la membrana, (fig. 5.9 (a,c)).

Para la membrana existen varios diseños dependiendo de la carga aplicada y las restricciones en peso. La construcción más simple es un disco sólido cortado desde una placa. Para reducir peso se pueden hacer cortes circulares o triangulares, (fig.5.9 (a)). También se pueden usar radios hechos de barras, (fig. 5.9 (e))

El reborde puede estar formado en muchos casos por una garganta gruesa de forma que su diámetro exterior puede ser maquinado para formar dientes o canales en V, (fig. 5.9 (c,d)).

Los extremos de reborde son soldados a tope con electrodos de acero suave, resultando en una unión con libres cualidades de maquinado, iguales a aquellas del material base, (fig. 5.9 (b)).

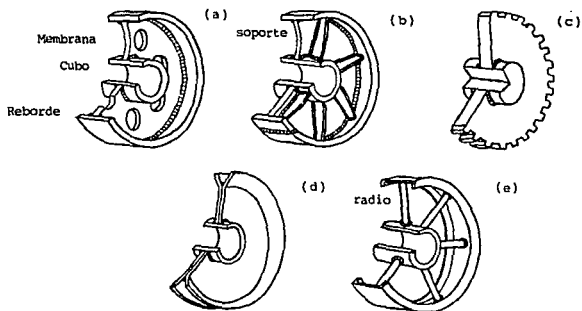


Fig. 5.9 Tipos de ruedas soldadas.

Volantes.

La construcción de volantes por soldadura de arco permite al metal concentrarse donde sea más necesario (en el reborde) resultando en una más alta inercia por el factor de peso que otros tipos de construcción, vease fig. 5.10..

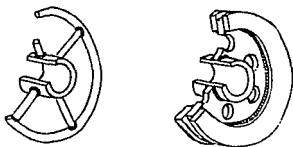


Fig. 5.10 Tipos de volantes soldados.

Engranes y poleas.

El mínimo tamaño de la unión soldada a filete, del reborde a la garganta, y de la garganta al cubo esta determinado por las fórmulas:

$$h = T / 9600 r l$$

$$h = T / 38400 \pi r^2$$

Donde :

h = Tamaño de la soldadura de filete, plg.

r = Radio (distancia de la soldadura al centro), plg.

l = Longitud total de la soldadura (ambos lados), plg.

T = Torque transmitido por el engrane a la polea, lb-plg.

El tamaño de la soldadura esta basado sobre un esfuerzo de corte permisible sobre la garganta de la soldadura de filete de 13600 psi (93.8 MPa); para soldaduras de más alta resistencia como en el caso de aceros aleados, el tamaño de soldadura será inversamente proporcional a este incremento en resistencia.

La resistencia de los dientes son usualmente determinados por fórmulas especiales, las proporciones del cubo, espesor del reborde, etc., del diente son determinadas por fórmulas empíricas que son encontradas en cualquier buen manual de maquinaria.

Soportes.

Muchos tipos diferentes de soportes, tales como montajes de motor, y miembros de maquinaria, son diseñados por fabricación soldada de placas y formas estándares de acero que cumplen los requerimientos de resistencia, rigidez y apariencia del producto, todo a más bajo costo que con otros métodos.

De particular importancia para el diseñador es la construcción de brazo soportes ya que este miembro produce el más alto esfuerzo unitario.

La mayor resistencia y rigidez son obtenidas por uso de dos apoyos como se indica en la figura 5-11 (b).

Dos o más brazos cortados de una viga I (fig 5-11 (c)) pueden también usarse como brazos soportadores, soldando a tope la sección I con soldaduras intermitentes para formar un producto sólido e integral.

Si el peso del producto debe guardarse a un mínimo absoluto, los soportes pueden hacerse de tubo de pared delgada doblado a la forma y soldado, fig. 5.11 (f)..

La construcción del tipo caja es usada cuando la resistencia máxima esta combinada con la apariencia del producto, fig. 5.11 (g).

Placas y perfiles estándares, semejantes a canales pueden utilizarse en diferentes formas al construir soportes del tipo de caja. Dos canales resistentes son soldados a tope (fig. 5-11 (h)) para formar la simple construcción de caja.

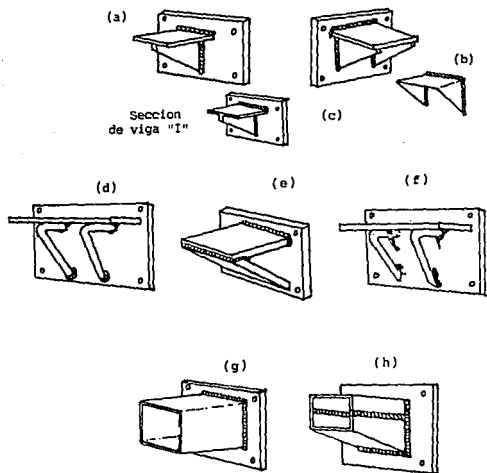


Fig. 5.11 Tipos de soportes soldados.

Cojinetes.

Los cojinetes son importantes en la operación sucesiva de una máquina debido a que el cojinete es el punto en el cual actúa la carga. En general tiene que diseñarse para soportar y transmitir a los elementos soportados de la máquina.

El cojinete más simple es un tubo colocado sobre un soporte plano y soldado, fig. 5-12 (a).

Otro tipo de cojinete consiste de dos placas soldadas al soporte (fig. 5-12 (c,d)), es usado frecuentemente en casos donde las palancas se involucren; es simple y fácil de construir.

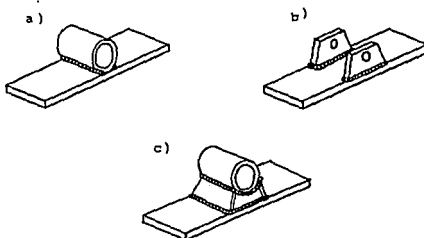


Fig. 5.12 Tipos de cojines soldados.

Palancas.

Las palancas son una parte básica hallada en casi todo tipo de máquina. Cuando se diseña y construye apropiadamente, las palancas pueden mejorar la eficiencia de operación de cualquier mecanismo para transmisión de grandes cargas de trabajo con menos peso en partes de trabajo.

El diseño de palancas se simplifica grandemente cuando los requerimientos de la palanca están por debajo de sus tres elementos básicos: el cubo, el puntal y la conexión, fig. 5.13 (a).

El cubo es el punto pivote alrededor del cual la palanca gira u oscila. El diámetro del orificio y la longitud son determinados por el tamaño del eje que lleva a cabo la operación de fuerzas, en términos del máximo permisible unitario.

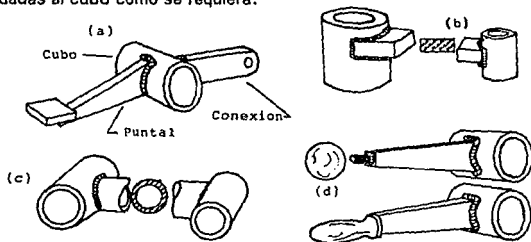
El espesor de la pared esta gobernado por el esfuerzo tensil unitario permisible. Con acero, estos esfuerzos permisibles son generalmente tres veces mayores que para el hierro fundido, permitiendo secciones delgadas y resultando en bajo peso de construcción soldada.

El puntal es principalmente una viga soporte sencilla, cuyas dimensiones transversales son halladas por fórmulas de diseño básicas. Cuando se diseñan estos elementos, la rigidez y la resistencia deben considerarse, particularmente cuando las relaciones exactas entre mecanismos de operación deben controlar factores sincronizados.

Existen cinco secciones diferentes de puntales que deben considerarse en cualquier diseño de palanca:

- 1.- Sección rectangular sólida, fig. 5.13 (b).
- 2.- Viga de sección I.
- 3.- Sección redonda hueca, fig. 5.13 (c).
- 4.- Sección encajonada.
- 5.- Sección disminuida gradualmente.

Las conexiones sobre cualquiera de los extremos están gobernadas por los requerimientos de fuerza de la palanca. Las conexiones son simplemente cortadas de placas o formas estándares y soldadas al cubo como se requiere.



El tamaño de la soldadura mostrada en la fig.5.14 es hallado por la siguiente fórmula:

$$I = \frac{h b d^2}{2} + \frac{h d^3}{6}$$

Esta soldadura figura como un problema de torsión.

El tamaño de esta soldadura es hallada por la siguiente fórmula:

$$h = \frac{T}{60,300 r^2}$$

h = tamaño de la soldadura de filete, plg.

r = radio de la soldadura, plg.

T = torque, lb-plg.

Todas las soldaduras de filete son en corte, pero la cantidad de soldadura aquí esta basado sobre flexión y depende sobre el momento de inercia calculado (I) hecho a la soldadura.

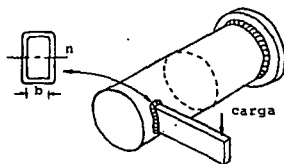


Fig: 5.14

Manivelas y cigüeñales.

Con la gran flexibilidad de las soldaduras de arco, se fabrica todo tipo de maquinaria con un mínimo de herramientas. En muchos casos las partes componentes pueden ser premaquinadas. Así mismo el acero puede someterse a tratamiento térmico para obtener las características de resistencia y uso.

En la figura 5-15 (a) se muestra el diseño más simple de manivelas. Si la precisión de tiro es relativamente insignificante, dos barras redondas, de diámetro igual a la tiro pueden soldarse, fig 5.15 (b). Si se desea una manivela larga, los tiros pueden soldarse en filete a un disco (fig. 5-15 (c)), o dos tiros posicionados espalda con espalda y soldados en filete y por sus flancos.

Los elementos de un cigüeñal simple se muestra en la fig 5-15'

Cuando el tiro de la manivela excede el diámetro de los ejes, se pueden usar discos cortados de una barra o de una placa de acero.

El tamaño de la soldadura es hallada por la siguiente fórmula:

$$h = T / 60500 r^2$$

donde:

t = Tamaño de la soldadura, plg.

r = Radio de soldadura, plg.

T = Torque (lbs-plg).

Nota : Debe considerarse la flexión alrededor de ambos ejes.

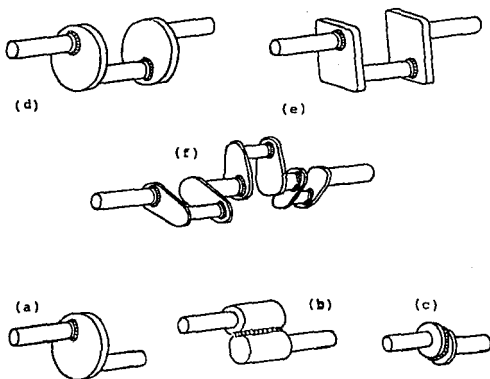


Fig. 5.15 Manivelas y cigueñales soldados.

Miembros de unión y horquillas.

La figura 5-16 muestra una horquilla simple hecha por soldadura de arco. El conector puede ser una barra taladrada y empalmada para ensamblarse a la parte de la máquina.

El conector puede ser un cubo con las características anteriores.

Otro tipo de conector (fig. 5-16 (a)) puede hacerse de tiras separadas de acero soldadas al arco a la vez y entonces soldadas en filete al cubo. El centro de la tira puede doblarse y estirarse de acuerdo a los requerimientos.

En la figura 5-16 (f) se muestra la horquilla de tipo balancín, es hecha por soldadura de filete a una barra redonda simple al punto pivote.

En la figura 5-16 (b) las horquillas del tipo ajustable son hechas con tiras de acero soldadas en filete como se muestra. Los miembros de los extremos son tiras simples de acero.

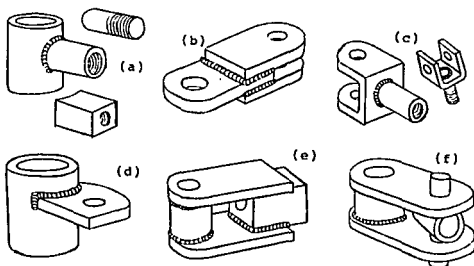


Fig. 5.16 Miembros de unión y orquillas soldadas.

CAPITULO VI: DISEÑO DE UNA PRENSA MECANICA DE 1000Kg. UTILIZANDO SOLDADURA.

6.1 Diseño de la prensa.

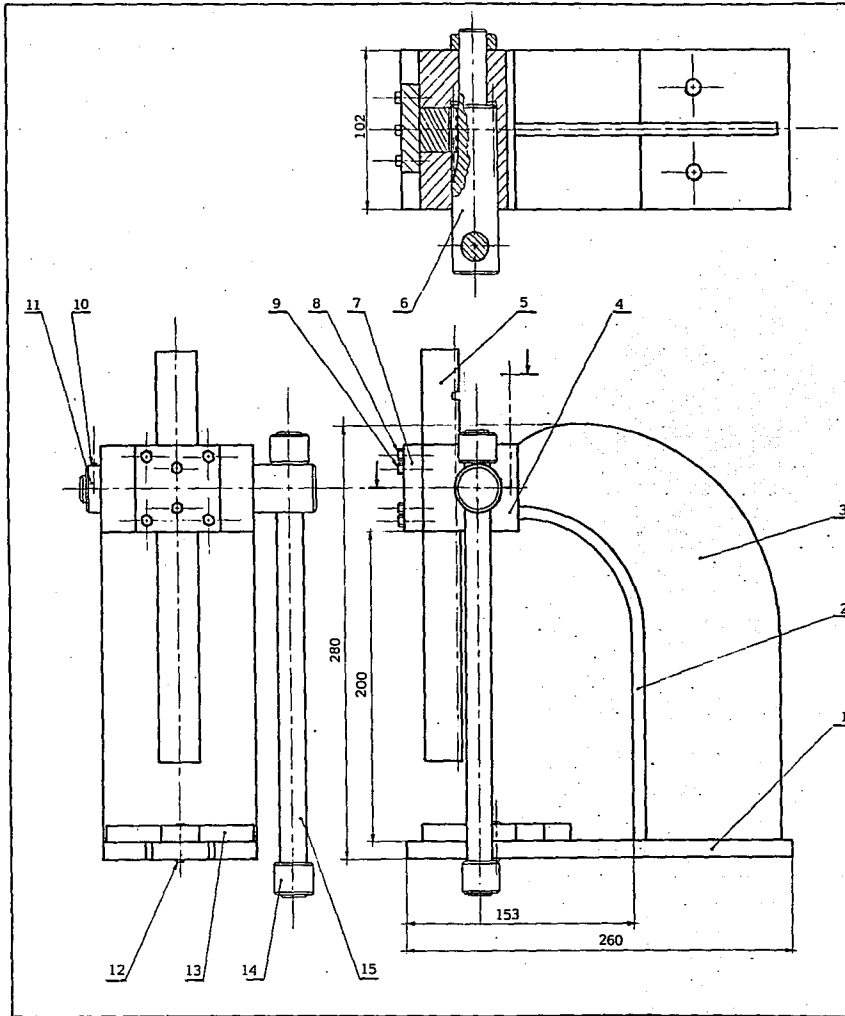
En este capítulo se hará el diseño de una prensa de cremallera de 1000Kg. El diseño básico de este dispositivo es similar al de las prensas comunes con bastidor fundidos. La diferencia principal consiste en el bastidor hecho de placas de acero ASTM A-36 cortadas y soldadas, tal como se observa en la lámina L2. En la lámina L1 se ilustran los elementos que conforman a la prensa, mientras que en las láminas L3, L4 y L5, se indican las dimensiones, así como los materiales y detalles de estos elementos.

6.2. Memoria de cálculo.

El análisis de los elementos de la prensa comienza calculando los dientes del piñón y de la cremallera que tengan suficiente resistencia mecánica bajo la carga de 1000Kg. Después se calcula la resistencia de la cremallera considerándola como una columna. Además, se calculan los diámetros para el eje del piñón y el brazo de palanca. Finalmente, se hace el análisis del bastidor soldado, que es un ejemplo práctico del diseño por soldadura.

Cálculo del piñón y de la cremallera:

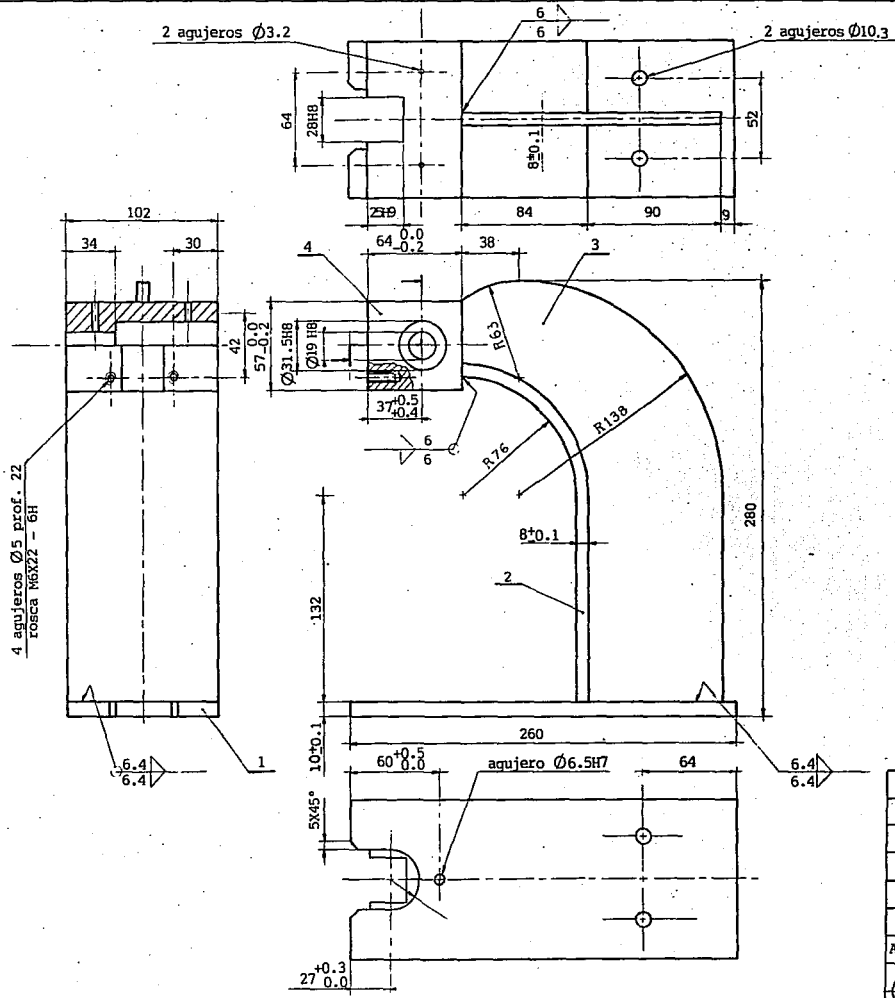
Debido a que el piñón y la cremallera no trabajarán a altas revoluciones ni darán servicio continuo, solamente se calculará la resistencia



15	1	Brazo de palanca	AISI 1020	Maquinar
14	2	Remate de palanca	AISI 1020	Maquinar
13	1	Mesa giratoria extractora	ASTM A-36	Maquinar
12	1	Pasador de posicion		Normalizado
11	1	Collarin	AISI 1020	Maquinar
10	1	Prisionero ranurado, sin cabeza, ext. achaf1., M5X0.8X6		
9	2	Tornillo Hm, ext. achaf1., M5X0.8X13		Normalizado
8	4	Tornillo H, M6X1X34-6g		Normalizado
7	1	Placa de cara	ASTM A-36	Maquinar
6	1	Eje piñon	AISI 1040	Maquinar
5	1	Cremallera	AISI 1020	Maquinar
4	1	Bloque	ASTM A-36	Maquinar
3	1	Placa	ASTM A-36	Cortar
2	1	Placa	ASTM A-36	Cortar
1	1	Placa de la base	ASTM A-36	Cortar
Numero	Cantida	Denominacion	Material	Observaciones

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan - UNAM

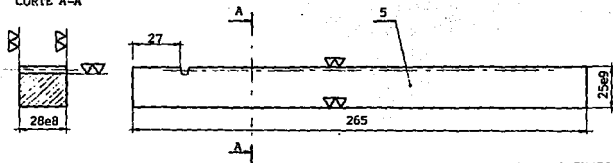
Acot:mm	Esc:0.4	Tesis : Diseño por soldadura	Dibujo: Solis G./Reyes G.
		Prensa	Reviso: Ing. Felipe Diaz.
			Fecha:26/05/94
			Plano: LI



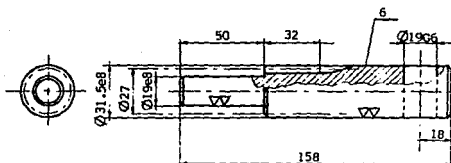
Nota: cantos achaflanados a 3X45°

4	1	Bloque	ASTM A-36	Maquinar
3	1	Placa	ASTM A-36	Cortar
2	1	Placa	ASTM A-36	Cortar y dob.
1	1	Placa de la base	ASTM A-36	Cortar
Numero	Cantidad	Denominacion	MATERIAL	Observaciones
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan - UNAM				
Acot:mm	ES:0.4	Tesis : Diseño por soldadura	Dibujo: Solis G./ Reyes G.	
			Reviso: Ing. Felipe Diaz del C	
			Fecha:26/05/94	Plano: L2

CORTE A-A



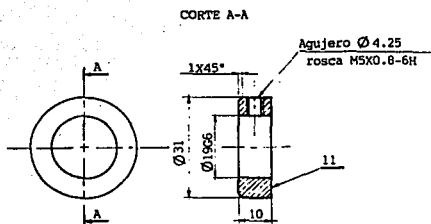
Nota: Cantos achaflanados a 1.5X45°



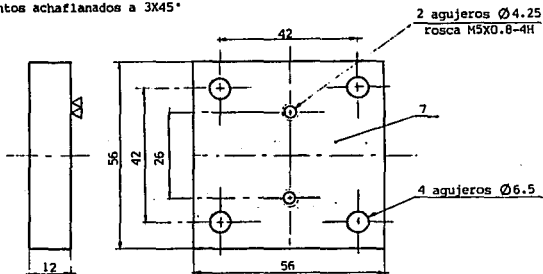
Datos técnicos

Tipo de diente	Corto
Angulo de presión	20°
Módulo	3
Paso	9.925
Núm. de dientes piñón	9
Núm. de dientes crem.	21
Adendum	2.25
Dedendum	3
Altura del diente	5.25

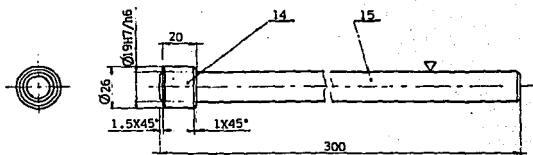
6	1	Eje piñón	AISI 1040	Maquinar
5	1	Cremallera	AISI 1020	Maquinar
Número	Cantidad	Denominación	Material	Observaciones
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN - UNAM				
Acot: mm	Esc: 0.5	Tesis: Diseño por soldadura	Dibujo: Solís G. / Reyes G.	
		Eje - Piñón - Cremallera	Reviso: Ing. Felipe Díaz del C.	
			Fecha: 27/05/94	Plano: L3



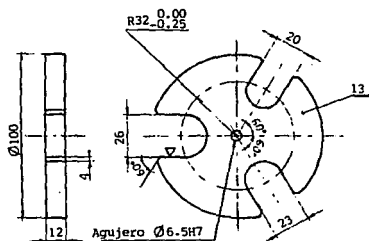
Nota: Cantos achaflanados a 3X45°



11	1	Collarín	AISI 1020	Maquinar
7	1	Placa de cara	ASIM A-36	Maquinar
Número	Cantidad	Denominación	Material	Observaciones
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN - UNAM				
Acot: mm	Esc: 1	Tesis: Diseño por soldadura	Dibujo: Solís G. / Reyes G.	
Elementos auxiliares			Reviso: Ing. Felipe Díaz del C.	
			fecha: 27/05/94	Plano: L4



Nota: cantos achaflanados a 3X45°



15	1	Brazo de palanca	AISI 1020	Maquinar
14	2	Remate de manija	AISI 1020	Maquinar
13	1	Mesa giratoria extractora	ASTM A-36	Maquinar
Número	Cantidad	Denominación	Material	Observaciones
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN -UNAM				
Acot: mm	Esc: 0.5	Tesis: Diseño por soldadura	Dibujo: Solís G. / Reyes G.	
		Elementos auxiliares	Reviso: Ing. Felipe Díaz del C.	Fecha: 27/05/94
			Plano: L5	

mecánica de los dientes por medio de la ecuación de Lewis. No se considerará la resistencia al desgaste de los mismos.

Antes de realizar los cálculos, es conveniente hacer un breve estudio teórico acerca de los engranes. Las dos fuerzas que actúan sobre los dientes de un engrane, son una fuerza radial (f_r) y otra tangencial (f_t), tal como se indica en la fig. 6.1, cuyos valores dependen del ángulo de presión (ϕ). De estas fuerzas, sólo f_t efectúa un trabajo. Además, f_t se deduce la ecuación de Lewis

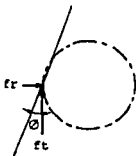


Fig. 6.1 Fuerzas radial y tangencial de un engrane.

La ec. de Lewis indica que:

$$F_s = \sigma_y F_C b \dots\dots\dots(\text{ec. 6.1})$$

donde

F_s = carga admisible,

σ = esfuerzo admisible,

y = factor de forma de Lewis,

P_C = paso circular,

b = ancho del diente.

En el caso del ancho del diente se recomienda que:

$$2.5. P_C < b < 4 P_C$$

La ec. de Lewis, usando unidades inglesas y con

$P_C = \pi / P_d$ y $Y = \pi Y$, es:

$$F_s = (\sigma Y b) / P_d \dots\dots\dots (ec. 6.2)$$

donde:

F_s en lb,

en lb/plg²,

Y : factor de forma de Lewis,

b en plg, $8P_d < b < 12.5P_d$

P_d : paso diametral, en plg⁻¹.

La ec. de Lewis, usando unidades métricas y con $P_C = \pi M$

y $Y = \pi Y$, es:

$$f_s = (\sigma M Y b) \dots\dots\dots (ec. 6.3)$$

donde:

f_s en N,

σ en MPa (\approx N/mm²),

Y : factor de forma de Lewis,

b en mm, $8M < b < 12.5M$

M : módulo, en mm.

Los valores de Y se obtienen de la tabla A₁ del apéndice, mientras que las características de un engrane de dientes rectos se obtienen a partir de la relaciones dadas en las tablas A2 ó A3, de acuerdo a si se trabaja con P_d ó con M, respectivamente.

Los principales aceros utilizados en la fabricación de engranes son: 1020, 1040, 1045, 3140, 4140, 4150, 4350, 6150, y 8650. Las tablas A4 y A5 del apéndice proporcionan las propiedades mecánicas de algunos aceros.

Finalmente, si se requiere mayor información acerca de engranes debe recurrirse a bibliografía más especializada.

En el caso particular del piñón y la cremallera del bastidor se utilizarán unidades métricas. Reacomodando la ecuación de Lewis (ec.6.3), $\sigma = F_s / (M Y)$ b) donde $F_s = 1000 \text{ kg} = 9810 \text{ N}$, $b = 28 \text{ mm}$ y considerando a $\phi = 20^\circ$, dientes cortos, y $M = 3 \text{ mm}$.

Para un piñón de 9 dientes, se obtiene de la tabla A1 un valor de Y = 0.23. Por lo tanto:

$$\sigma = 9810 \text{ N} / \{(3 \text{ mm}) (0.23) (28 \text{ mm})\} = 507.8 \text{ N/mm}^2.$$

$$\sigma = 507.8 \text{ MPa.}$$

De la tabla A5, se selecciona un acero para el piñón AISI 1040 templado en aceite a 860 °C y revenido a 315 °C, con una resistencia de fluencia de 593 MPa.

Para la cremallera, de la tabla A1, $Y = 0.55$. Entonces :

$$\sigma = 9810N / [(3 \text{ mm}) (0.55) (28 \text{ mm})] = 212.3 \text{ N/mm}^2$$

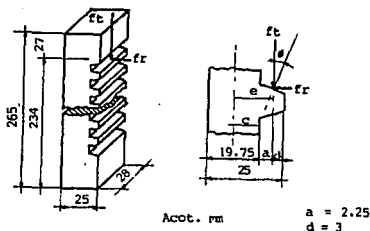
$$\sigma = 212.3 \text{ MPa}$$

De la tabla A4, se selecciona un acero para la cremallera AISI 1020, rolando en caliente, cuya resistencia de fluencia es de 297 MPa.

Las características del piñon y la cremallera se obtienen de la tabla A3, considerando:

Profundidad	diente corto
Angulo de presión	20°
Módulo	3
Número de dientes del piñón	9
Número de dientes de la cremallera	21
Diámetro primitivo del piñón	27 mm
Diámetro exterior del piñón	31.5 mm
Ancho del diente	28 mm

Hasta ahora se ha calculado la resistencia mecánica de los dientes de la cremallera, pero también debemos considerarla como una columna, con una carga excéntrica f_t y otra carga f_r , tal como se observa en la fig. 6.2. En este análisis, f_r no afecta a la cremallera.



De la figura 6.2 se observa que:

Dimensiones de la columna : $19.75 \times 28 \times 234 \text{ mm}^3$

Area de la columna : $A = 19.75 \times 28 = 553 \text{ mm}^2$

Radio de giro : $r = I/A = 25/12 = 7.2217 \text{ mm}$

Excentricidad : $e = 19.75/2 + 2.25 = 12.125 \text{ mm}$

$c = 19.75/2 = 9.875 \text{ mm}$.

Aplicando la ecuación de la secante para columnas cargadas excéntricamente:

$$\sigma_{adm} = \frac{P}{A} \left[1 + \frac{ec}{r^2} \sec \left(\frac{L}{2r} \sqrt{\frac{P}{AB}} \right) \right] \dots \dots \dots (\text{ec. 6.4})$$

donde:

σ_{adm} = esfuerzo admisible

Carga permisible: $P = Ft = 1000 \text{ Kg} = 9810 \text{ N}$

Módulo de elasticidad: $E = 207,000 \text{ MPa} = 207,000 \text{ N/mm}^2$

Longitud de la columna: $L = 234 \text{ mm}$

$\sec = 1/\cos$, en radianes.

Sustituyendo los datos:

$$\sigma_{adm} = \frac{9810}{553} \left[1 + \frac{12.125(9.875)}{(7.2217)^2} \sec \left(\frac{234}{2(7.2217)} \sqrt{\frac{9810}{553(207,000)}} \right) \right]$$

$$\sigma_{adm} = 59 \text{ MPa}$$

entonces, el esfuerzo de fluencia mínimo necesario, empleando un F.S. = 2, es :

$$\sigma_f = \sigma_{adm. (F.S.)} = 59 (2), \quad \sigma_f = 118 \text{ MPa.}$$

Pero anteriormente, se había seleccionado un acero AISI 1020 para la cremallera, cuya resistencia de fluencia es de 295 MPa. Por lo tanto, el material de la cremallera cumple con los requerimientos de resistencia mecánica.

En la lámina L4 se ilustran los detalles del piñón y de la cremallera.

Cálculo del eje del piñón:

Considerese el eje de la fig. 6.3, cuyo material corresponde al del piñón, puesto que ambos son una misma pieza. Así el acero es AISI 1040, $\sigma_f = 593 \text{ MPa}$. La fig. 6.3 muestra las dimensiones y fuerzas que actúan sobre el eje. El siguiente análisis tiene el fin de calcular el diámetro mínimo necesario del eje.

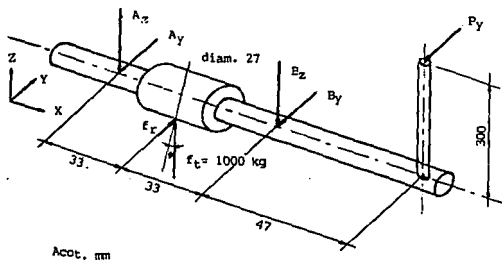


Fig. 6.3 Eje - Piñón.

Las cargas f_r y f_t , son las fuerzas radial y tangencial, respectivamente, que la cremallera transmite al piñón y considerando un ángulo de presión de 20° :

$$f_t = 1000 \text{ kg} = 9810 \text{ N}$$

$$f_r = f_t \tan \beta = 9810 (\tan 20^\circ) = 3570.55 \text{ N.}$$

De la proyección Y - Z:

$$\sum M = 0$$

$$P(300) - f_t(27/2) = 0$$

$$P = 13.5 f_t/300 = 14(9810)/300, \quad P = 441.4 \text{ N.}$$

De la proyección X - Y:

$$\sum M_A = 0$$

$$f_r(33) - B_y(66) - P(113) = 0$$

$$B_y = 1030.46 \text{ N.}$$

$$\sum f_y = 0$$

$$A_y - f_r + B_y + P = 0$$

$$A_y = f_r - B_y - P = 3570.55 - 1030 - 441$$

$$A_y = 2100 \text{ N.}$$

De la proyección X - Z:

$$\sum M_A = 0$$

$$f_t(33) - B_z(66) = 0$$

$$B_z = 33 f_t/66 = 33 (9810)/66$$

$$B_z = 4905 \text{ N}$$

$$\sum f_t = 0$$

$$A_z - f_t + B_z = 0$$

$$A_z = f_t - B_z = 9810 - 4905$$

$$A_z = 4905 \text{ N.}$$

La fig. 6.4 muestra los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes.

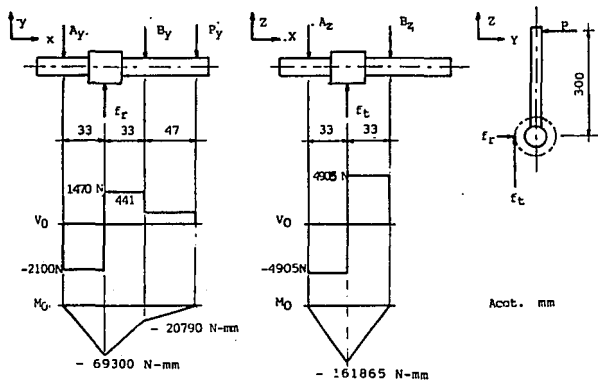


Fig. 6.4 Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flexionantes del eje-piñón.

El esfuerzo cortante máximo se define como:

$$\tau_{\text{máx.}} = \sqrt{(\sigma_x/2)^2 + \tau_{xy}^2} \dots \dots \dots (\text{ec. 6.5})$$

Para un eje circular macizo:

$$\text{Esfuerzo de flexión, } \sigma_x = 32 M/\pi d^3 \dots (\text{ec. 6.6})$$

$$\text{Esfuerzo de torsión, } \tau_{xy} = 16 T/\pi d^3 \dots (\text{ec. 6.7})$$

Entonces :

$$\text{max} = \sqrt{\left(\frac{32 M}{2\pi d^3}\right)^2 + \left(\frac{16 T}{\pi d^3}\right)^2}$$

$$\text{max} = \frac{16}{\pi d^3} \sqrt{M^2 + T^2} \dots \dots \dots (\text{ec. 6.8})$$

Donde:

M = momento flexionante,

T = torque,

d = diámetro.

Ahora de acuerdo con la teoría del esfuerzo cortante máximo

$$\tau_{\text{máx.}} = \sigma_f/2 \text{ y empleando un factor de seguridad (F.S):}$$

$$\frac{\sigma_f}{2(\text{F.S.})} = \frac{16}{\pi d^3} \sqrt{M^2 + T^2}$$

y despejando a d:

$$d = \left[\frac{32 \text{ F.S.}}{\pi \sigma_f} (M^2 + T^2)^{1/2} \right]^{1/3} \dots \dots \dots (\text{ec. 6.9})$$

Estudiando la fig. 6.4, obtenemos:

$$T = 300 P = 300 (441), \quad T = 132,300 \text{ N-mm}$$

$$M = \sqrt{M_y^2 + M_z^2} = \sqrt{(69,300)^2 + (161,865)^2}$$

$$M = 176,076 \text{ N-mm}$$

Por lo tanto, el diámetro del eje mínimo, empleando un factor de seguridad de 1.5 es:

$$d = \left[\frac{32 (1.3)}{\pi (593)} (176,076^2 + 132,300^2)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$d = 17.84 \text{ mm.}$$

Se selecciona entonces, un diámetro para el eje del piñón de 19 mm. El diseño del eje-piñón se ilustra en la lamina L4, en donde se observa que uno de los extremos del eje tiene el mismo diámetro que el piñón, es decir, de 31.5 mm.

Cálculo del brazo palanca:

Considérese el diagrama de cuerpo libre del brazo de palanca, mostrado en la fig. 6.5. La fuerza P_y produce un momento flexionante, $M = P_y e = 441 \text{ N} (300 \text{ mm}) = 132,300 \text{ N-mm}$.

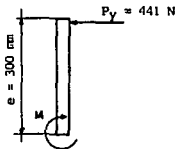


Fig. 6.5 D.C.L. brazo palanca

Utilicemos la ecuación 6.9 obtenida para calcular el diámetro del eje-piñón. Ahora el material es acero AISI 1020, con resistencia de fluencia de 295 MPa. Empleando un factor de seguridad de 1.2 y con $T = 0$, entonces el diámetro mínimo es:

$$d = \left(\frac{32M(F.S.)}{\pi \sigma_r} \right)^{1/3} = \left[\frac{32(1.2)(132,300)}{\pi(295)} \right]^{1/3}$$

$$d = 17.63 \text{ mm.}$$

A continuación, se selecciona un diámetro para el brazo de palanca de 19 mm, tal como se observa en la lamina L5.

Cálculo del bastidor soldado:

El análisis del bastidor de la prensa de divide en: a) el cálculo de la resistencia del material (ASTM A36) del bastidor en la parte curva, b) el cálculo de las soldaduras.

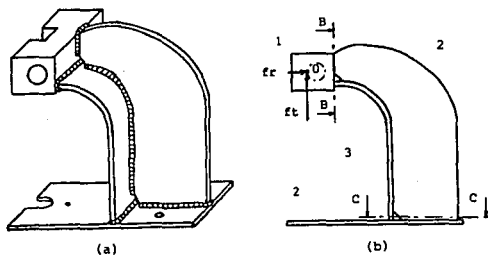


Fig. 6.6 Bastidor soldado

Para simplificación, se considerarán sólo dos fuerzas actuando en el punto O del bastidor como se indica en la fig. 6.6(b). Estas fuerzas corresponden a las fuerzas tangencial (f_t) y radial (f_r), que el piñón transmite a la cremallera. En la fig. 6.7, se observa que f_t y f_r pueden representarse de diferentes formas, pero siguen siendo sistemas de fuerzas equivalentes.

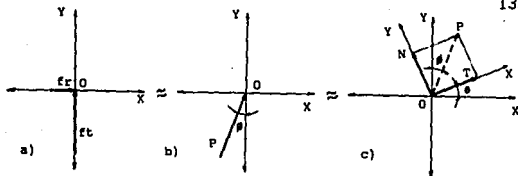


Fig. 6.7 Sistema de fuerzas equivalentes.

Considerando la primera parte del análisis del bastidor, es necesario calcular los esfuerzos máximos de tensión y de compresión en un cierto número de secciones del bastidor de acero ASTM A-36. Para ello, se deducirán una serie de ecuaciones.

Considérese la parte curva del bastidor, la sección i-i (perpendicular al eje neutro) y las cargas aplicadas en O, tal como se ilustra en la fig. 6.8.

Estudiando la fig. 6.8, se observa que no se utilizan las cargas f_t y f_r , si no un sistema de fuerzas equivalentes, N y T, que depende del ángulo de presión (ϕ) de los dientes del piñón y de la sección i-i, que esta abatida a un ángulo (θ) de la horizontal. Las cargas N y T son normal y tangencial, respectivamente, a la sección i-i. Dichas cargas se calculan con las siguientes ecuaciones deducidas de la fig. 6.8:

$$N = P \sin(90 - \phi - \theta) = \frac{f_t}{\cos \phi} \sin(90 - \phi - \theta) \dots \dots \dots (\text{ec. 6.10})$$

$$T = P \cos(90 - \phi - \theta) = \frac{f_t}{\cos \phi} \cos(90 - \phi - \theta) \dots \dots \dots (\text{ec. 6.11})$$

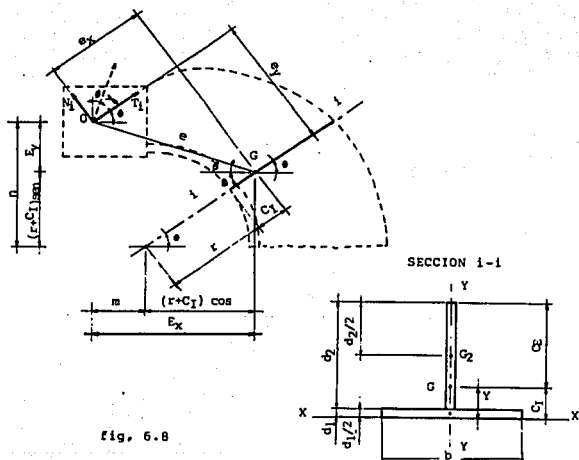


fig. 6.8

Obsérvese también que en la fig 6.8, la carga N produce un momento

(M_1)

$$M_1 = N e_x \quad (\text{ec. 6.12})$$

y la carga T produce un momento (M_2)

$$M_2 = T e_y \quad (\text{ec. 6.13})$$

donde e_x es la distancia perpendicular a la carga N , en tanto que e_y es la distancia perpendicular a T , las cuales se obtienen de acuerdo a la fig. 6.8, con las siguientes fórmulas:

$$e_x = e \cos (\beta + \theta) \dots \dots \dots (\text{ec. 6.14})$$

$$e_y = e \sin (\beta + \theta) \dots \dots \dots (\text{ec. 6.15})$$

y de la misma fig. 6.8:

$$\beta = \text{ang tan } \frac{E_y}{E_x} = \frac{n-(r+C_T) \text{ sen } \theta}{m+(r+C_T) \text{ cos } \theta} \dots \dots \dots (\text{ec. 6.16})$$

$$e = \sqrt{E_y^2 + E_x^2} \dots \dots \dots (\text{ec. 6.17})$$

Obsérvese que tanto la carga N como los momentos M_1 y M_2 producen esfuerzos normales en la sección recta estudiada. Así, el esfuerzo normal en la fibra inferior es de tensión:

$$\sigma_I = \frac{M_1 C_I}{I} + \frac{M_2 C_I}{I} + \frac{N}{A} = (M_1 + M_2) \frac{C_I}{I} + \frac{N}{A}$$

$$\sigma_I = \frac{M_T}{S_I} + \frac{N}{A} \dots \dots \dots (\text{ec. 6.18})$$

y el esfuerzo normal en la fibra superior es de compresión:

$$\sigma_E = - \frac{M_1 C_E}{I} - \frac{M_2 C_E}{I} + \frac{N}{A} = - (M_1 + M_2) \frac{C_E}{I} + \frac{N}{A}$$

$$\sigma_E = - \frac{M_T}{S_E} + \frac{N}{A} \dots \dots \dots (\text{ec. 6.19})$$

Las variables C_I , C_E , I y A de las ecuaciones 6.18 y 6.19 dependen de la geometría del bastidor. En el caso particular del bastidor estudiado (véase fig. 6.6 y 6.8), la localización del centro de gravedad (G) de la sección $I-I$ es:

$$\bar{X} = 0$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y A}{\sum A} = \frac{\bar{Y}_1 A_1 + \bar{Y}_2 A_2}{A_1 + A_2} \dots \dots \dots (\text{ec. 6.20})$$

$$\bar{Y} = \frac{(d_1/2)(b_1 d_1) + (d_2/2 + d_1)(b_2 d_2)}{b_1 d_1 + b_2 d_2} \dots \dots \dots (\text{ec. 6.21})$$

Las distancias de la fibra inferior (C_I) y de la superior, (C_E) con respecto al eje neutro, son respectivamente

$$C_1 = \bar{Y} \dots \dots \dots \text{(ec. 6.22)}$$

$$C_E = d_1 + d_2 \cdot \bar{Y} \dots \dots \dots \text{(ec. 6.23)}$$

El momento de inercia (I), con respecto al eje neutro, es:

$$I = \sum(I_0 + A d^2)$$

$$I = \left[\frac{b_1 d_1^3}{12} + b_1 d_1 (C_1 - d_1/2)^2 \right] + \left[\frac{b_2 d_2^3}{12} + (C_E - d_2/2)^2 \right] \quad \text{(ec. 6.24)}$$

Las ecuaciones anteriores pueden trabajarse tanto en unidades inglesas (preferentemente) como en unidades del S.I. Los datos que deben suministrarse son : r , f_t , β , b_1 , b_2 , d_1 , d_2 , m , n . Para el bastidor de la fig. 6.6, los datos empleados son:

$$r = 76.2 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

$$f_t = 1000 \text{ Kg} = 9810 \text{ N.}$$

$$\beta = 20^\circ$$

$$b_1 = 101.6 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

$$b_2 = 7.9 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

$$d_1 = 7.9 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

$$m = 41.4 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

$$n = 98.4 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

θ °	d_2 $\times 10^{-3}$ (m)
0	94.0
18	91.4
36	83.6
54	73.7
70	62.0
72	61.0
90	43.2

Las tablas 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4 muestran los resultados al aplicar las ecuaciones considerando varias secciones del bastidor.

La tabla 6.1 muestra los valores de las fuerzas tangencial (T) y normal (N) para cada sección en particular. Obsérvese que a $\theta = 70^\circ$, la fuerza T es máxima, mientras que N es nula. Asimismo, con $0^\circ < \theta < 70^\circ$; la fuerza N es positiva y tensiona a la sección; en tanto que con $70^\circ < \theta < 90^\circ$, N es

negativa y actúa como una carga compresiva sobre la sección. Estos signos influyen al calcular los esfuerzos normales, N/A , de las ecuaciones 6.18 y 6.19.

θ °	N (N)	T (N)
0	9810.0	4774.4
18	7915.7	7382.0
36	5247.4	9466.6
54	2065.0	10
65	0	10824.4
72	-1319.4	10743.9
90	-4574.4	9810

Tabla: 6.1

En la tabla 6.2 se tabulan los valores de las propiedades características (A, C_I, C_E, I, S_I, S_E) de cada sección.

θ °	A $\times 10^{-3}(\text{m}^2)$	C _I $\times 10^{-3}(\text{m})$	C _E $\times 10^{-3}(\text{m})$	I $\times 10^{-6}(\text{m}^4)$	S _I $\times 10^{-6}(\text{m}^3)$	S _E $\times 10^{-6}(\text{m}^3)$
0	1.5452	28.4352	73.4648	1.5325	54.5903	21.1296
18	1.5247	27.4630	71.8370	1.4439	52.5749	20.0992
36	1.4647	24.6740	67.0260	1.1543	46.7802	17.2210
54	1.3849	21.1032	60.4968	0.8294	39.3042	13.7106
70	1.2924	17.1951	52.7049	0.5326	30.9739	10.1053
72	1.2845	16.8740	52.0260	0.5110	30.2812	9.8214
90	1.1439	11.5720	39.5273	0.2136	18.4548	5.4031

Tabla: 6.2

Por otra parte, la tabla 6.3 muestra los valores de los momentos M₁ y M₂. Se consideran como positivos y ambos actúan en el mismo sentido (horario), de tal forma que el momento resultante es $M_T = M_1 + M_2$. Obsérvese que los valores de M₁ a 72 y 90° son positivos, aún cuando los valores de N sean negativos.

θ °	e _x $\times 10^{-3}(\text{m})$	e _y $\times 10^{-3}(\text{m})$	M ₁ (N-m)	M ₂ (N-m)	M _T (N-m)
0	146.0352	98.4000	432.6053	469.8010	1902.4063
18	112.6295	106.3773	891.5413	785.2772	1676.8185
36	76.5292	103.9416	401.5793	983.9735	1385.5528
54	42.0303	91.3314	86.7926	970.4144	1057.2070
70	15.0890	72.5580	0	856.2836	856.2836
72	12.2834	68.7819	16.2067	749.4201	765.9268
90	10.6273	41.4000	48.6135	406.1340	454.7475

Tabla: 6.3

Finalmente, en la tabla 6.4 se indican los valores de los esfuerzos normales, tanto en la fibra interior (σ_f), como en la superior (σ_E). Obsérvese que el esfuerzo de compresión (σ_E) es mayor en relación al esfuerzo de tensión (σ_f).

θ °	σ_f (MPa)	σ_E (MPa)	N (MPa)	I (MPa)	E (MPa)
0	34.8488	-90.0351	6.3487	41.1975	-83.6864
18	31.8939	-83.4271	5.1916	37.0855	-78.2355
36	29.6183	-80.4572	3.5826	33.2009	-76.8746
54	28.8980	-77.1087	1.4911	28.3891	-75.6176
70	25.3477	-75.9022	0	25.3477	-75.9022
72	25.2938	-77.1087	-1.0272	24.2666	-79.0127
90	24.6411	-84.1642	-3.9989	20.6422	-88.1631

Tabla: 6.4

Las condiciones de diseño son:

$$\sigma_{\text{max. permisible}} < \sigma_f / F.S.$$

considerando las hipótesis de que el módulo de elasticidad, E, y los esfuerzos de fluencia, σ_y , en tensión y compresión son iguales.

De la tabla 2.1, para un acero A-36 el esfuerzo de fluencia es $\sigma_f = 250$ MPa, y utilizando un F.S. de 2.7:

$$\sigma_{\text{max permisible}} \leq \frac{250 \text{ MPa}}{2.7} = 92.6 \text{ MPa.}$$

Comparando el esfuerzo permisible de 92.6 MPa con los obtenidos de σ_f y σ_E (tabla 6.4), observamos que estas dos últimas son inferiores respecto al primero y, por lo tanto, el bastidor es resistente en su parte curva.

Ahora se calcularán las soldaduras aplicando el método que considera a la soldadura como una línea. Las secciones a estudiar son la sección B-B, la C-C, así como las soldaduras que unen las placas 2 y 3 (véase fig. 6.6 (b)).

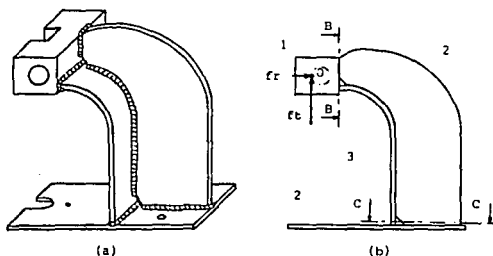


Fig. 6.6 Bastidor soldado

Sección B-B:

Paso 1: La figura 6.9 muestra la silueta de las soldaduras y dimensiones de esta sección soldada.

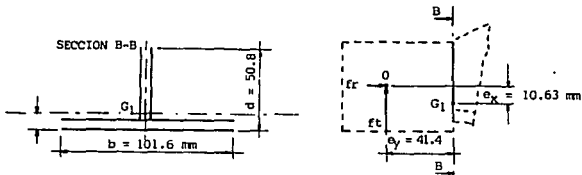


Fig. 6.9 Dimensiones de la sección B-B de las soldaduras.

Paso 2: Considerando el sistema de fuerzas de la fig. 6.6 (b) aplicadas en el punto O del bastidor: $f_t = 1000 \text{ Kg} = 9810 \text{ N}$, ejerce flexión y corte directo vertical sobre la soldadura de la sección considerada, en tanto que $f_r = 364 \text{ Kg} = 3570.5 \text{ N}$ causa flexión y compresión sobre la misma.

Paso 3: Las propiedades de la soldadura, tratándolas como una línea, para la sección B-B se obtienen de las fórmulas de la tabla 5.4. para esta forma de sección en particular:

$$\bar{y} = \frac{d^2}{2(b+d)} = \frac{51.8^2}{2(101.6+50.8)}, \quad \bar{y} = 8.80 \text{ mm}$$

Módulo de sección (S_{Vc}) en la cima:

$$S_{Vc} = \frac{2bd^2}{3} = \frac{2(101.6)(50.8)^2}{3}, \quad S_{Vc} = 4301 \text{ mm}^2$$

Módulo de sección (S_{Vb}) en la base:

$$S_{Vb} = \frac{4bd^2+d^3}{6b+3d} = \frac{4(101.6)(50.8)^2+50.8^3}{6(101.6)+(50.8)(3)}, \quad S_{Vb} = 1548 \text{ mm}^2$$

Area de la sección (A_w):

$$A_w = 2(b + d) = 2(101.6 + 50.8), \quad A_w = 305 \text{ mm}.$$

De esta forma, las fuerzas por cada mm se obtienen aplicando las fórmulas de la tabla 5.3:

a) Fuerza flexionante en la soldadura debido a $f_t = 9810 \text{ N}$.

$$\text{En la cima: } f_1 = \frac{M_1}{S_{Vc}} = \frac{f_t \cdot e_y}{S_{Vc}} = \frac{9810 \text{ N} (41.4 \text{ mm})}{4301 \text{ mm}^2}$$

$$f_1 = 94.42 \text{ N/mm}$$

$$\text{En la base: } f_2 = \frac{M_1}{S_{Vb}} = \frac{f_t \cdot e_y}{S_{Vb}} = \frac{9810 \text{ N} (41.4 \text{ mm})}{1548 \text{ mm}^2}$$

$$f_2 = 262.29 \text{ N/mm}$$

donde e_y es la distancia perpendicular a f_t que va de O a G_1 .

b) Fuerza flexionante en la soldadura debido a $f_r = 3570.5 \text{ N}$

$$\text{En la cima: } f_3 = \frac{M_2}{S_{wC}} = \frac{f_r e_x}{S_{wC}} = \frac{3570.55 \text{ N} (10.63 \text{ mm})}{4301 \text{ mm}^2}$$

$$f_3 = 8.82 \text{ N/mm}$$

$$\text{En la base: } f_4 = \frac{M_2}{S_{wb}} = \frac{f_r e_x}{S_{wb}} = \frac{3570.55 \text{ N} (10.63 \text{ mm})}{1548 \text{ mm}^2}$$

$$f_4 = 24.51 \text{ N/mm}$$

donde e_x es la distancia perpendicular a f_r que va de O a G_1 .

c) Fuerza cortante vertical en la soldadura debido a f_t :

$$f_5 = \frac{V}{A_w} = \frac{f_t}{A_w} = \frac{9810 \text{ N}}{305 \text{ mm}}$$

$$f_5 = 32.16 \text{ N/mm}$$

d) Fuerza de compresión debido a f_r :

$$f_6 = \frac{P}{A_w} = \frac{f_r}{A_w} = \frac{3570.55 \text{ N}}{305 \text{ mm}}$$

$$f_6 = 11.7 \text{ N/mm}$$

Paso 4: Combinando vectorialmente las fuerzas anteriores:

$$\text{En la cima: } f_{rc} = \sqrt{(f_1 + f_3)^2 + f_5^2 + f_6^2}$$

$$f_{rc} = \sqrt{(94.42 + 8.82)^2 + 32.16^2 + 11.7^2}$$

$$f_{rc} = 108.76 \text{ N/mm}$$

$$\text{En la base: } f_{rb} = \sqrt{(f_2 + f_4)^2 + f_5^2 + f_6^2}$$

$$f_{rb} = \sqrt{(262.29 + 24.51)^2 + 32.16^2 + 11.7^2}$$

$$f_{rb} = 288.83 \text{ N/mm}$$

Observamos que la fuerza máxima es $f_{rb} = 288.83 \text{ N/mm}$.

Paso 5: Seleccionando un electrodo E60XX, la fuerza permisible recomendada en la tabla 5.5 es $f = 66.35 \text{ N/mm}$ por mm de longitud. Entonces el tamaño requerido de soldadura es:

$$h = \frac{288.83 \text{ N/mm}}{66.35 \frac{\text{N/mm}}{\text{mm}}}, \quad h = 4.35 \text{ mm}$$

De la tabla 5.6, para un espeso

r del metal base de 8mm se requiere de un tamaño mínimo de soldadura de 4.7625 mm. Sin embargo, debido a que la unión tiene una escotadura (véase la lámina L2) que no se consideró al hacer el cálculo, se utilizará un tamaño de filete de 6.35 mm para la sección B-B.

Sección C-C.

Paso 1: La fig. 6.10 muestra la silueta de las soldaduras y dimensiones de esta sección.

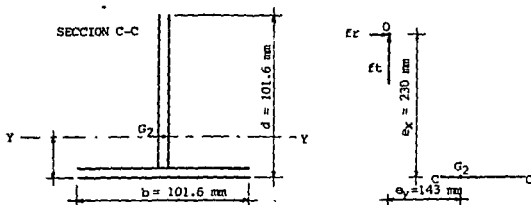


Fig. 6.10 Dimensiones de la sección C-C de las soldaduras.

Paso 2: Tanto f_t como f_r son cargas flexionantes; asimismo, f_r actúa como una carga cortante y f_t como carga de tensión.

Paso 3: Como esta sección tiene la misma forma que la sección anterior, se aplican las mismas fórmulas para obtener las propiedades geométricas.

$$\bar{Y} = \frac{d^2}{2(b+d)} = \frac{101.6^2}{2(101.6+101.6)} = 25.4 \text{ mm}$$

Módulo de sección (S_{WC}) en la cima:

$$S_{WC} = \frac{2bd+d^2}{3} = \frac{2(101.6)(101.6)+101.6^2}{3}, S_{WC} = 10,323 \text{ mm}^2$$

Módulo de sección (S_{WB}) en la base:

$$S_{wb} = \frac{4bd^2 + d^3}{6b + 3d} = \frac{4(101.6)(101.6)^2 + 101.6^3}{6(101.6) + 3(101.6)}$$

$$S_{wb} = 5,735 \text{ mm}^2$$

Area de la sección (A_w):

$$A_w = 2(b + d) = 2(101.6 + 101.6) \quad , \quad A_w = 406 \text{ mm.}$$

Y aplicando las fórmulas de la tabla 5.3:

a) Fuerza flexionante debido a $f_t = 9810 \text{ N}$.

En la cima:

$$f_1 = \frac{M_1}{S_{cv}} = \frac{f_t e_y}{S_{vc}} = \frac{9810\text{N}(143 \text{ mm})}{10\,323 \text{ mm}^2} \quad , \quad f_1 = 135.89 \text{ N/mm}$$

En la base:

$$f_2 = \frac{M_1}{S_{wb}} = \frac{f_t e_y}{S_{wb}} = \frac{9810 \text{ N} (143 \text{ mm})}{5735 \text{ mm}^2} \quad , \quad f_2 = 244.61 \text{ N/mm}$$

donde e_y es la distancia perpendicular a f_t que va de O a G_2 .

b) Fuerza flexionante debido a $f_r = 3570.55 \text{ N}$.

En la cima:

$$f_3 = \frac{M_2}{S_{vc}} = \frac{f_r e_x}{S_{vc}} = \frac{3570.5\text{N}(230 \text{ mm})}{10\,323 \text{ mm}^2} \quad ; \quad f_3 = 79.55 \text{ N/mm}$$

En la base:

$$f_4 = \frac{M_2}{S_{wb}} = \frac{f_r e_x}{S_{wb}} = \frac{3570.5\text{N}(230\text{mm})}{5735 \text{ mm}^2} \quad , \quad f_4 = 143.2 \text{ N/mm}$$

donde e_x es la distancia perpendicular a f_r que va de O a G_2 .

c) Fuerza cortante debido a f_r .

$$f_5 = \frac{P}{A_w} = \frac{f_r}{A_w} = \frac{3570.55 \text{ N}}{406 \text{ mm}} \quad , \quad f_5 = 8.80 \text{ N/mm}$$

d) Fuerza de tensión debido a f_t .

$$f_6 = \frac{P}{A_w} = \frac{f_t}{A_w} = \frac{9810\text{N}}{406 \text{ mm}} \quad , \quad f_6 = 24.16 \text{ N/mm}$$

Paso 4: Combinando vectorialmente dichas fuerzas:

En la cima:

$$f_{rc} = \sqrt{(f_1 + f_3)^2 + f_5^2 + f_6^2}$$

$$f_{rc} = \sqrt{(135.89 + 79.55)^2 + 8.8^2 + 24.16^2}$$

$$f_{rc} = 217.0 \text{ N/mm}$$

En la base:

$$f_{rb} = \sqrt{(f_2 + f_4)^2 + f_5^2 + f_6^2}$$

$$f_{rb} = \sqrt{(244.61 + 143.2)^2 + 8.8^2 + 24.16^2}$$

$$f_{rb} = 388.7 \text{ N/mm}$$

La fuerza máxima es $f_{rb} = 388.7 \text{ N/mm}$.

Paso 5: Seleccionando un electrodo E70XX, la fuerza permisible recomendada en la tabla 5.5 es $f = 77.1 \text{ N/mm}$ por mm de longitud.

Entonces,

Entonces, el tamaño mínimo requerido de soldadura es:

$$h = \frac{f_{rb}}{f} = \frac{388.7 \text{ N/mm}}{77.1 \frac{\text{N/mm}}{\text{mm}}}, \quad h = 5.04 \text{ mm}$$

Se selecciona entonces, un tamaño real del filete de 6.35 mm.

Considerando ahora las soldaduras de las placas 2 y 3 de la fig. 6.6. En este caso no se aplicará alguna de las fórmulas de la tabla 5.3 para calcular la fuerza por longitud unitaria de soldadura. Se define que la fuerza radial unitaria (f_r), considerando 2 soldaduras, actuando sobre el flanco curvo (placa 3, fig. 6.6) es:

$$f_r = f_n / r \quad [\text{lb-plg. circular}] \quad \text{ó} \quad [\text{N/mm circular}]$$

donde:

f_n : fuerza normal de compresión o tensión.

r = radio de curvatura.

Considerando la fig. 6.11 (a) observamos que el esfuerzo normal es máximo a lo largo de la línea de soporte radial (placa 2, fig. 6.6). Debido a que los resultados de la tabla 6.4, son promedios, se considerará que $\sigma_{máx.} = \overline{\sigma}_{prom.} / 0.9$. Por lo tanto, de acuerdo la fig 6.11 (b):

$$f_r = \frac{f_n}{r} = \frac{\overline{\sigma}_{max} \cdot b \cdot t}{r} = \frac{[(41.1975 \text{ N/mm}^2) / 0.9] (101.6 \text{ mm}) (7.9 \text{ mm})}{76 \text{ mm}}$$

$$f_r = 483.43 \text{ N-mm.}$$

y por tanto, el tamaño requerido de soldadura, utilizando un electrodo E70XX, es

$$h = \frac{483.43 \text{ N/mm}}{77.10 \frac{\text{N/mm}}{\text{mm}}} \quad h = 6.27 \text{ mm}$$

Se selecciona un tamaño de filete de 6.35 mm

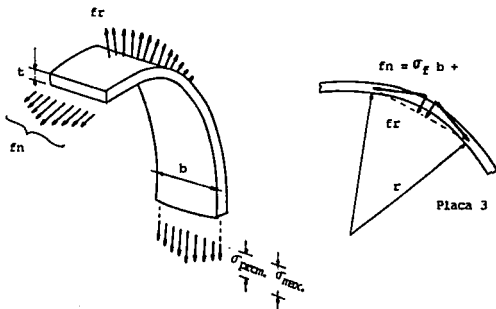


fig. 6.11 Placa curva

Como comentario adicional, si el esfuerzo máximo ($\bar{\sigma}_{\text{máx.}}$) es demasiado grande, se necesitará un mayor tamaño de soldadura, que se puede evadir utilizando soportes diagonales, entre las placas 2 y 3 de la fig. 6.6.

Por otra parte, si se consideran las soldaduras rectas de las placas 2 y 3, estas tendrán un menor tamaño que las correspondientes a las soldaduras curvas.

CONCLUSIONES

Del estudio realizado, es notorio que el proceso de soldadura tiene un amplio campo de aplicación en la industria metal-macánica, no sólo para fabricar sino también para mantenimiento de elementos de máquinas.

Aún cuando hay bastante información referente a los principios básicos de la soldadura, electrodos, así como de la técnica correcta para aplicar la soldadura sobre las uniones de metal, la información concerniente a la soldabilidad de los materiales, en este caso el acero, es insuficiente, siendo que es una de las propiedades más importantes a considerar cuando se diseña por soldadura.

Se puede decir que un diseño óptimo por soldadura, se da cuando el elemento soldado cumple con los requerimientos de resistencia y de servicio para los que ha sido fabricado, sin olvidar el aspecto de bajo costo. Aún así, deben considerarse la mayor cantidad posible de factores que puedan afectar algún diseño.

Otro aspecto no muy tratado en la bibliografía correspondiente, es el diseño de elementos soldados de máquinas. Generalmente, estos elementos se hacen más en base a la experiencia, que en base a un fundamento de análisis de cargas. Si bien el cordón de soldadura suele

ser más resistente que el mismo material base, en lo posible, la experiencia y el análisis deberán amalgamarse.

Finalmente, la soldadura no es la panacea de los procesos de fabricación, pero si es una herramienta muy útil para fabricar y reparar gran variedad de elementos de máquinas.

APENDICE

TABLA A1 : Valores del factor de forma de Lewis (γ), con la carga actuando en la parte superior del diente.

Número de dientes N	Y			
	14 $\frac{1}{2}$ FD	20 FD	20 diente corto	25 FD
10	0.176	0.201	0.261	0.239
11	0.192	0.226	0.289	0.258
12	0.210	0.245	0.311	0.276
13	0.223	0.261	0.324	0.292
14	0.236	0.276	0.339	0.308
15	0.245	0.289	0.349	0.320
16	0.254	0.295	0.361	0.333
17	0.264	0.302	0.368	0.342
18	0.270	0.308	0.377	0.352
19	0.276	0.314	0.386	0.361
20	0.283	0.320	0.393	0.371
21	0.289	0.327	0.399	0.377
22	0.292	0.330	0.405	0.383
23	0.295	0.333	0.408	
24	0.302	0.336	0.415	0.396
25	0.305	0.339	0.418	0.402
26	0.308	0.342	0.424	0.408
27	0.311	0.439	0.427	0.412
28	0.314	0.352	0.430	0.418
29	0.317	0.355	0.434	0.421
30	0.317	0.358	0.437	0.424
Cremallera	0.390	0.484	0.550	0.565

TABLA A2: Sistema de dientes de acuerdo a la AGMA (American Gear ---
Manufacturers Association).

Profundidad	Completa	Completa	Diente corto	Completa
Angulo de presión,	$14 \frac{1}{2}$	20	20	25
Paso, Pa	$\frac{1}{P_d}$	$\frac{1}{P_d}$	$\frac{1}{P_d}$	$\frac{1}{P_d}$
Adendo, a	$1/P_d$	$1/P_d$	$0.8/P_d$	$1/P_d$
Dedendo, c	$1.157/P_d$	$1.25/P_d$	$1/P_d$	$1.25/P_d$
Huelgo, h	$0.157/P_d$	$0.25/P_d$	$0.2/P_d$	$0.25/P_d$
Altura de trabajo, h_1	$2/P_d$	$2/P_d$	$1.6/P_d$	$2/P_d$
Altura total, h_2	$2.157/P_d$	$2.25/P_d$	$1.8/P_d$	$2.25/P_d$
Diámetro primitivo, D	N_p/P_d	N_p/P_d	N_p/P_d	N_p/P_d
Diámetro exterior, D_o	$D + 2a$	$D + 2a$	$D + 2a$	$D + 2a$
Longitud de la cremallera, L	$P_c \times N_c$	$P_c \times N_c$	$P_c \times N_c$	$P_c \times N_c$

Nota: P_d , paso diametral; N, número de dientes.

TABLA A3 : Sistema de dientes métrico.

Profundidad	Completa	Diente corto	Completa
Angulo de presión,	20	20	25
Paso, Pa	$\frac{1}{M}$	$\frac{1}{M}$	$\frac{1}{M}$
Adendo, a	M	$0.75M$	M
Dedendo, c	$1.25 M$	M	$1.25 M$
Huelgo, h	$0.25 M$	$0.25 M$	$0.25 M$
Altura de trabajo, h_1	$2 M$	$1.50 M$	$2 M$
Altura total, h_2	$2.25 M$	$1.75 M$	$2.25 M$
Diámetro primitivo, D	$M \times N_p$	$M \times N_p$	$M \times N_p$
Diámetro exterior, D_o	$D + 2a$	$D + 2a$	$D + 2a$
Longitud de la cremallera, L	$P_c \times N_c$	$P_c \times N_c$	$P_c \times N_c$

Nota: M, módulo; N, número de dientes.

TABLA A4 : Propiedades mecánicas de aceros (basados en probetas de 1 plg. de diámetro).

Acero AISI	Condición	Resistencia a la tensión		Resistencia a la fluencia		Alargamiento en 2 plg.	Reducción en área	Dureza
		Ksi	MPa	Ksi	MPa	%	%	BHN
1020	HR	65	448	43	297	36	59	143
	CD	78	538	66	455	20	55	156
	A	57	393	57	393	37	66	111
	N	64	442	50	345	36	68	131
1040	HR	91	628	58	400	27	50	201
	CD	100	690	88	607	17	42	207
	A	75	517	51	352	30	57	149
	N	85	586	50	345	28	55	170
1045	HR	98	676	59	407	24	45	212
	CD	103	711	90	621	14	40	217
	A	90	621	55	379	27	54	174
	N	99	683	61	621	25	49	207
3140	HR	107	738	92	635	17	50	212
	CD	100	690	61	421	25	51	197
	N	129	890	87	600	20		
4140	HRA	90	621	63	435	27	58	187
	CDA	102	704	90	621	18	50	223
	N	148	1021	95	655	18	47	302
4340	HRA	101	697	69	476	21	45	207
	CDA	110	759	99	683	16	42	223
	N	185	1276	126	869	11	41	363

1.0 Ksi = 1000 psi; 1.0 psi = 1.0 lb/plg²; 1.0 Ksi = 1.0 MPa = 1.0 N/mm²

TABLA A5 : Propiedades mecánicas de algunos aceros tratados térmicamente y revenidos a diferentes temperaturas.

Temperatura de revenido		Resistencia a la tensión		Resistencia a la fluencia		Alarmto. en 2 pig.	Reducción en area	Dureza
*F	*C	Ksi	MPa	Ksi	MPa	%	%	BHN
Acero AISI 1040 templado en aceite a 1575 *F (860°C)								
400	205	113	779	86	593	48	19	262
600	315	113	779	86	593	53	20	255
800	425	110	759	81	559	53	21	241
1000	535	104	718	72	497	58	25	212
1200	650	92	635	62	428	65	28	192
1300	705	88	607	61	421	68	33	183
Acero AISI 3140 templado en aceite a 1525 *F (830°C)								
400	205	281	1939	248	1711	48	12	555
600	315	242	1670	218	1504	50	13	477
800	425	192	1325	178	1228	57	14	388
1000	535	152	1049	133	918	62	18	311
1200	650	125	862	104	718	68	21	262
1300	705	112	773	92	635	69	23	223
Acero AISI 4140 templado en aceite a 1550 *F (845°C)								
400	205	290	2001	252	1739	42	11	578
600	315	251	1732	228	1573	46	12	495
800	425	210	1449	194	1339	50	14	429
1000	535	167	1152	152	1049	54	17	341
1200	650	130	897	113	780	61	21	277
1300	705	118	814	101	697	65	23	235
Acero AISI 4340 templado en aceite a 1475 *F (800°C)								
400	205	284	1960	228	1573	47	12	555
600	315	248	1711	218	1504	48	13	477
800	425	210	1449	192	1325	52	14	415
1000	535	171	980	158	1090	57	17	363
1200	650	142	980	130	897	64	21	293
1300	705	138	952	109	752	65	24	247

$$*F = 1.8 *C + 32$$

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Annual Book of ASTM Standards. 1987. Sección 1: Iron and Steel Products. Vol. 01.04: *Steel-Structural, reinforcing, pressure vesse, railway.*
- 2.- ASM. Metals Handbook. 9th. ed. Vol.6: *Welding, Brazing and Soldering.* USA, ASM.
- 3.- ASME Mandbook. *Metals Engineering Processes.* New York, Mc Graw-Hill, 1958.
- 4.- Blodgett, D:W: *Desing of Welded Structures.* Cleveland, Lincoln Are Welding Co., 1966.
- 5.- Bowles, J.C. *Diseño de Acero Estructural.* México, Limusa, 1984.
- 6.- Cary; H:B. *Modern Welding Technology.* 2nd. Ed New Jersey, Pretince Hall, 1989.
- 7.- Chevalier, A. *Dibujo Industrial.* 2a. Ed. México, UTEMA, 1992
- 8.- Decker; K.H. Manual del Ingeniero Mecánico. Vol. 18: *Elementos de Unión.* España, Urmo, 1980.
- 9.- Faires, V.M. *Diseño de Elementos de Máquinas.* Ed. México, UTEMA, 1987.

- 10.- Giachino, Weeks & Johnson. *Welding Technology*. 2nd. Ed. Chicago; American Technical Society; 1975.
- 11.- Horwitz; H. *Soldadura: Aplicaciones y Práctica*. México, Alfaomega; 1990.
- 12.- Jeffus, L.; & Johnson; H.V. *Welding: Principles and applications*. 2nd. Ed. USA, 1988.
- 13.- Jensen; C.H. *Dibujo y Diseño de Ingeniería*. Bogota, Mc Graw-Hill.
- 14.- Kazanas; Baker y Gregor. *Procesos Básicos de Manufactura*. México; McGraw-Hill; 1988.
- 15.-Lincoln Electric. *Procedure Handbook of Arc Welding Desing and Practice*. 10th. Ed. USA, the Lincoln Electric, 1955.
- 16.- Mott, R.L. *Machine Elements in Mechanical Desing*. 2nd. Ed. USA; McMillan; 1992.
- 17.- Niemann; G. *Elementos de Máquinas*. Vol.1. españa; Labor; 1987.
- 18.- Schimpke; P.; y Horn; H.A. *Tratado General de Soldadura*. Vol. 3: *Proyecto y Cálculo de las Construcciones Soldadas*. México; GG; 1982.
- 19.- *Structural Steel Designers' Handbook*. USA; McGraw-Hill; 1972.

20.- *Welding Handbook*. Vol. 1,2,4 & 5. USA; American
Welding Society; 1972.