



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CAMPUS ARAGÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

“CONEXIONES SOLDADAS EN ESTRUCTURAS DE ACERO”

**TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA
C. ESPIRITU VARGAS ORLANDO
PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

México, Diciembre del 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y hermanos:
Como un testimonio de cariño y eterno
agradecimiento por mi formación profesional.
Por que sin escatimar esfuerzo alguno,
han sacrificado gran parte de su vida para formarme
y por que nunca podré pagar todos sus desvelos.
Por lo que soy y por todo el tiempo que les robe
pensando en mí, quiero que sientan
que el objetivo logrado es suyo.

A la familia Rodríguez Corona:
que han seguido muy de cerca mi trayectoria
y que en ningún momento han dudado en apoyarme.

A la Universidad Nacional Autónoma de México
por la oportunidad que me dio de pertenecer
a su institución.

A todos mis profesores que me enseñaron
y ayudaron transmitiendo sus conocimientos
tan invaluable, en especial al
Ing. Daniel Velásquez Vázquez, que
siempre me otorgo gran parte de su tiempo.

A mis compañeros
Ana Lilia Chávez Martínez,
Israel Chávez Vite y Fidel Peña Rico
que me acompañaron transmitiéndome su fuerza y vigor
a lo largo de mi trayectoria en la Universidad.

Al Ing. Ricardo Heras Cruz
por todo el apoyo que me brindo durante el
transcurso de la carrera y en especial
por la atinada dirección de mi tesis.

A todos ellos quiero agradecer el apoyo brindado
sin el cual este trabajo de tesis no se hubiera
llevado a cabo.



INDICE

OBJETIVO	4
INTRODUCCIÓN	5
CAPITULO 1.- GENERALIDADES	7
1.1 ANTECEDENTES	
1.2 ELECTRODOS	
1.2.1 Revestimientos.	
1.2.2 Especificaciones.	
1.2.3 Características y Propiedades de los Electrodos.	
1.2.4 Selección del Tipo de Corriente.	
CAPITULO 2.- TIPOS DE ACEROS	25
2.1 ACEROS ESTRUCTURALES	
2.2 PROPIEDAD DE LOS ACEROS ESTRUCTURALES	
2.3 SECCIONES DE PERFILES LAMINADOS.	
CAPITULO 3.- SOLDADURA	38
3.1 PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA.	
3.2 CLASIFICACIÓN DE LA SOLDADURA.	
3.3 CONTROL DE CALIDAD DE LA SOLDADURA	
3.3.1 Causa de los Defectos.	
3.3.2 Métodos para el Control de la Soldadura.	
CAPITULO 4.- CONEXIONES SOLDADAS	67
4.1 TIPOS DE DISEÑO.	
4.2 COMPORTAMIENTO DE LAS CONEXIONES SOLDADAS.	
4.3 FACTORES DE DISEÑO.	
4.4 MONTAJE	
CAPITULO 5.- DISEÑO DE CONEXIONES	88
5.1 INTRODUCCION.	
5.2 RESISTENCIA DE DISEÑO DE LAS SOLDADURAS.	
5.2.1 Soldadura de Filete.	
5.2.2 Soldadura de Penetración.	
5.3 TABLAS PARA DISEÑO DE SOLDADURA.	
5.4 EJEMPLOS.	
CONCLUSIONES	132
BIBLIOGRAFÍA	134



OBJETIVO

El objetivo principal de este trabajo, es definir y mostrar las ventajas de la soldadura como elemento de conexión en las estructuras de acero, ya que desafortunadamente en los programas de la carrera de Ingeniería Civil se la ha designado poco tiempo, ha dicho tema, siendo este muy importante en la construcción con acero.

Tomando en cuenta todos los elementos básicos que intervienen en el proceso de la soldadura e ilustrarlos con imágenes y ejemplos.

De esta manera, con este trabajo poder obtener el grado de Ingeniero Civil.



INTRODUCCIÓN

El uso de las estructuras de acero en la construcción ha provocado cambios en los métodos de construcción, al igual que los tiempos de ejecución. Mediante su empleo se pueden salvar grandes claros en forma económica, porque se aumenta la sección resistente por medio del peralte físico a las estructuras, al ligar las barras que absorben los trabajos de tensión y de compresión. Las estructuras tienen resistencia por carga axial, pero, aisladamente no tienen capacidad para tomar esfuerzos horizontales. Para resolver el problema se emplean las piezas de contraventeo, que ligan entre sí las armaduras y las hacen trabajar como un conjunto ante los esfuerzos horizontales.

Todas las estructuras de acero están constituidas por un conjunto de partes individuales, o miembros, unidos entre sí, generalmente en sus extremos, por medio de soldadura o utilizando sujetadores mecánicos, remaches o tornillos de alta resistencia, además, los miembros aislados están formados, con frecuencia, por varios perfiles o placas interconectados.

Este trabajo se logró gracias a la consulta de diversas fuentes bibliográficas y aspira a servir de guía a futuros compañeros como un complemento en su formación académica.

En el Capítulo I. Se expone en un panorama generalizado la introducción del acero en la industria de la construcción, los diferentes tipos de conexión para las estructuras de acero y el papel de la soldadura en las mismas, así como, las características principales de los electrodos como el principal metal de aportación en la soldadura de arco eléctrico.

En el Capítulo II. Se describen las propiedades físicas de los diferentes tipos de acero utilizados en la construcción, al igual, como su clasificación según la AISC y la ASTM, sus ventajas y desventajas como material estructural, y ejemplos de las secciones de los perfiles de acero comerciales.

En el Capítulo III. Se explica los cuatro procesos de soldadura de arco eléctrico más comunes, que se permiten libremente en las normas, ya que se consideran precalificados:

- Soldadura de arco eléctrico con electrodo recubierto,
- Soldadura de arco eléctrico sumergido,
- Soldadura de arco eléctrico protegido con gases y
- Soldadura de arco eléctrico con electrodo con corazón de fundente.

Además se mencionan los cinco tipos básicos de juntas soldadas en estructuras de acero: A tope, traslapadas, en T, de esquina, y de borde. Y los cuatro tipos principales de soldaduras estructurales son: Filete, Penetración, Tapón y Ranura. Así como métodos de control de calidad de la soldadura.



En el capítulo VI. Se analizan a grandes rasgos los cuatro tipos de diseño para conexiones soldadas en estructuras de acero permitidas por las especificaciones AISC, que son:

- Conexión simple viga-columna,
- Conexión completamente rígida,
- Conexión semi-rígida y
- Conexión de Diseño elástico.

Se incluyen graficas que muestran el comportamiento de las conexiones soldadas y recomendaciones para el montaje de vigas.

En el capítulo V. Se presenta la parte teórica sobre la resistencia del diseño de soldadura, hipótesis para el diseño de soldadura, tablas con formulas y especificaciones para diseño. Y ejemplos en los cuales se explican los elementos teóricos que se deben considerar durante el diseño de la soldadura.



CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

A través de la historia el hombre a tratado de mejorar las materias primas, añadiendo materiales tanto orgánicos como inorgánicos, para obtener los resultados ideales para sus diversas construcciones.

Dado el caso de que los materiales mas usados en la construcción no se encuentran en la naturaleza en estado puro, es necesario someterlos a una serie de operaciones metalúrgicas cuyo fin es separar el metal de las impurezas u otros minerales que lo acompañen. Esto no basta para alcanzar las condiciones optimas, para que los metales tengan buenos resultados, se someten a ciertos tratamientos con el fin de hacer una aleación que reúna una serie de propiedades que los hagan aptos para adoptar sus formas futuras y ser capaces de soportar los esfuerzos a los que van a estar sometidos.

El acero como material indispensable de refuerzo en las construcciones, es una aleación de hierro y carbono, en proporciones variables, que oscila entre 0,03 y 2% de carbono, con el fin de mejorar algunas de sus propiedades, puede contener también otros elementos para mejorar su dureza, maleabilidad u otras propiedades. Una de sus características es admitir el temple, con lo que aumenta su dureza y su flexibilidad. El acero endurece por el temple y una vez templado, tiene la propiedad de que se calienta de nuevo y se enfría lentamente, disminuye su dureza.

En las décadas recientes, se han estado pidiendo continuamente aceros cada vez más resistentes, con propiedades de resistencia a la corrosión; aceros más soldables y otros requisitos. La investigación llevada a cabo por la industria del acero durante este periodo ha conducido a la obtención de varios grupos de nuevos aceros que satisfacen muchos de los requisitos y existe ahora una amplia variedad cubierta gracias a las normas y especificaciones actuales.

Las propiedades físicas de los aceros y su comportamiento a distintas temperaturas dependen sobre todo de la cantidad de carbono y de su distribución. Antes del tratamiento térmico, la mayoría de los aceros son una mezcla de tres sustancias, ferrita, perlita, cementita.

- **La ferrita:** Blanda y dúctil, es hierro con pequeñas cantidades de carbono y otros elementos en disolución.
- **La cementita:** Es un compuesto de hierro con el 7% de carbono aproximadamente, es de gran dureza y muy quebradiza.
- **La perlita:** Es una mezcla de ferrita y cementita, con una composición específica y una estructura característica, sus propiedades físicas es una media de sus dos componentes.

La resistencia y dureza de un acero que no ha sido tratado térmicamente depende de las proporciones de estos tres ingredientes.



PRIMEROS USOS DEL HIERRO Y DEL ACERO

- **Hierro:** La fecha mas exacta en la humanidad descubrió la técnica de fundir material férrico para producir metal utilizable no es conocida.
 - **3000 a.c.** Se emplean ya utensilios tales como herramientas y adornos hechos de "acero" en el antiguo Egipto. Se encuentran dagas y brazaletes de hierro en la pirámide de Keops con más de 5000 años de antigüedad.
 - **1000 a.c.** Inicio de la edad del hierro, primeros indicios en su fabricación se cree que un incendio forestal en el monte de la antigua Troya (actual Turquía) fundió depósitos ferrosos produciendo hierro. Otros creen que se comenzó a emplear a partir de fragmentos de meteoritos donde el hierro aparece en aleación con Níquel.
 - **490 a.c.** Batalla de Maratón Grecia. Los atenienses vencen con sus armas de hierro a los persas, que aún emplean el bronce, con un balance de 6400 contra 192 muertos.

- **Acero:** El acero se funde entre los 1400 y 1500°C, y se puede moldear con más facilidad que el hierro.
 - **1000 a.c.** Se cree que el primer acero se fabrico por accidente al calentar hierro con carbón vegetal siendo este último absorbido por la capa exterior de hierro que al ser martillado produjo una capa endurecida de acero. De esta forma se llevó a cabo la fabricación de armas tales como las espadas de Toledo.
 - **1779 d.c.** Se construye el puente Coalbrookdale de 30 m de claro, sobre el río Severn en Shropshire. Se dice que este puente cambia la historia de la revolución industrial, al introducir el hierro como material estructural, siendo el hierro 4 veces más resistente que la piedra y 30 veces más que la madera.
 - **1819** Se fabrican los primeros ángulos laminados de hierro en E.U.A.
 - **1840** El hierro dulce más maleable, comienza a desplazar al hierro fundido en el laminado de perfiles.
 - **1848** Willian Kelly fabrica acero con el proceso Bessemer en E.U.A.
 - **1855** Henry Bessemer consigue una patente inglesa para la fabricación de acero en grandes cantidades Kelly y Bessemer observan que un chorro de aire a través del hierro fundido quema las impurezas del metal, pero también eliminaba el carbono y magnesio.
 - **1870** Con el proceso Bessemer se fabrican grandes cantidades de acero al bajo carbono.
 - **1884** Se terminan las primeras vigas IE (I Estándar) de acero en E.U.A. La primera estructura reticular el edificio de la Home Insurance Company de Chicago, Ill. Es montada.
 - **William Le Barón Jenney** diseña el primer "rascacielos" (10 niveles) con columnas de acero recubiertas de ladrillo. Las vigas de los seis pisos inferiores se fabrican en hierro forjado, mientras que las de los pisos restantes se fabrican en acero.
 - **1889** Se construye la torre Eiffel de París, con 300m de altura, en hierro forjado, comienza el uso de elevadores para pasajeros operando mecánicamente.

Todos los productos obtenidos con el hierro y sus aleaciones se denominan productos siderúrgicos. Para la obtención del hierro son necesarios minerales ferrosos y otras materias como fundentes y carbón. Los minerales de hierro más importantes son: magnetita, oligisto, limonita y siderita.

El hierro, es el elemento esencial para la producción del acero, el cual esta compuesto en un 78% como mínimo de Fe, el hierro posee una gran cantidad de propiedades favorables para la construcción.



Las primeras aleaciones férricas fueron producidas por obreros aproximadamente hasta el siglo 14 **d.c.**, y este sería clasificado hoy como hierro forjado. Estas aleaciones fueron hechas calentando una masa de material férrico y carbón de leña en un horno que tenía una cubierta rígida, bajo este tratamiento el material se redujo a la esponja de hierro metálico en forma de escoria, compuesta por impurezas metálicas y cenizas del carbón de leña. Esta esponja de hierro se alejaba del horno incandescente, mientras la escoria se manejaba con trineos pesados, para así poder soldar y consolidar el hierro. El hierro producido en estas condiciones contenía 3% de partículas de escoria, y 0.1% de otras impurezas. De vez en cuando esta técnica de fabricación del hierro produjo, por accidente, un verdadero acero en lugar de hierro forjado. Los herreros aprendieron a hacer acero calentando hierro forjado y carbón de leña en arcilla embala para un periodo de varios días. Por este proceso el hierro absorbió bastante carbono para volverse un verdadero acero, el cual tenía mejores características que el hierro inicialmente.

Después del siglo 14 se mejoraron los hornos de fundición, aumentando el tamaño y el proyecto fue usado para forzar la combustión a través de la carga en la cual se hacía la mezcla de materiales crudos. En hornos más grandes, el material férrico en la parte superior del horno se redujo primero a hierro metálico y entonces adquirió más carbono como resultado de los gases forzados a través de él por la combustión. El producto de estos hornos era un lingote de hierro, una aleación que se funde a una temperatura más baja que el acero o el hierro forjado, luego este se refinaba para hacer acero.

En la fabricación moderna del acero se emplean hornos con combustión moderada que son una copia actualizada de los viejos hornos utilizados por los antiguos herreros. El proceso de refinamiento del hierro fundido con incorporadores de aire fue patentado por el Británico Henry Bessemer que desarrolló el horno Bessemer o Conversor en 1855. Desde los años sesenta se ha implementado el uso de hornos eléctricos, con pequeños molinos, que proporcionan el metal en pequeños trozos, estos molinos son un componente importante en la producción del acero americano.

Los aceros se pueden clasificar según se obtengan en estado sólido: en soldados, forjados; o, en estado líquido, en hierros o aceros de fusión y homogéneos. También se clasifican según su composición química, en aceros originarios, al carbono y especiales.

La proporción de carbono influye sobre las características del metal. Se distinguen dos grandes familias de acero: los aceros aleados y los no aleados. Existe una aleación cuando los elementos químicos distintos al carbono se adicionan al hierro según una dosificación mínima variable para cada uno de ellos.

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES METÁLICOS

Las propiedades principales que un metal debe cumplir para ser utilizado indispensablemente en una construcción son las siguientes propiedades:

- **FUSIBILIDAD:** Es la facilidad de poder dar forma a los metales, fundiéndolos y colocándolos en moldes.
- **FORJABILIDAD:** Es la capacidad para poder soportar las variaciones de formas, en estado sólido o caliente, por la acción de martillos, laminadores o prensas.
- **MALEABILIDAD:** Propiedad para permitir modificar su forma a temperatura ambiente en laminas, mediante la acción de martillado y estirado.
- **DUCTILIDAD:** Es la capacidad de poderse alargar longitudinalmente.
- **TENACIDAD:** Resistencia a la ruptura al estar sometido a tensión.
- **FACILIDAD DE CORTE:** Capacidad de poder separarse en trozos regulares con herramientas cortantes.
- **SOLDABILIDAD:** Propiedad de poder unirse hasta formar un cuerpo único.
- **OXIDABILIDAD:** Al estar en presencia de oxígeno, se oxidan formando una capa de óxido.



LA SOLDADURA COMO CONEXIÓN.

El uso del acero en la construcción es muy importante, ya que este es que le proporciona a las estructuras el refuerzo adicional, por ende es llamado el esqueleto de las estructuras.

La industria sobre el acero es muy extensa y a la vez es de mucha calidad, por eso es uno de los sectores que predomina en nuestro país desde hace mucho tiempo. Las uniones en una estructura metálica se hacen mediante distintos métodos:

- Pernos y remaches
- Remaches y ángulos
- Remaches ángulos y placas
- Soldadura, al soldar miembro con miembro o al hacer conexiones mediante el empleo de placas o ángulos.

Pernos y remaches.

Los pernos o remaches se usan en uniones o conexiones para armados y estructuras, por lo general combinados con elementos estructurales, placas y ángulos. Las secciones y los perfiles se producen en forma comercial.

Las columnas o vigas de acero pueden ser sencillas, fabricadas directamente con perfiles estructurales, empleados como elemento único, o de perfiles compuestos, para los cuales se usan diversas combinaciones, como las viguetas H, I, placa, solera, canal, tubo, y el ángulo de lados iguales o desiguales

Soldadura.

En la producción de acero se usa la soldadura para unir piezas y además para fijarles revestimientos en ciertas áreas. Para el mantenimiento se aplica soldadura para restaurar volúmenes faltantes en zonas desgastadas y para reparar piezas fracturadas.

Con respecto a conexiones estructurales, se entiende como "soldadura" a la unión de piezas metálicas de idéntica o parecida composición lograda por medio de aplicarles calor en sus zonas de contacto, con o sin añadir material de relleno, además en algunos procesos también se aplica la presión, o una combinación de ambos directamente o mediante la aportación de otro metal también de idéntica o parecida composición, llamado metal de aportación, cuya temperatura de fusión es inferior a la de las piezas que se han de soldar. Durante el proceso hay que proteger al material fundido contra los gases nocivos de la atmósfera, principalmente contra el oxígeno y el nitrógeno.

La soldadura que comúnmente se utiliza es de dos tipos:

- De arco eléctrico y
- Autógena (gas).

Actualmente, la primera es la más usual en las estructuras porque la segunda tiene el inconveniente de debilitar las piezas, debido al adelgazamiento de estas; sin embargo, la autógena es muy útil para cortar piezas estructurales.



La mayor parte de procesos de soldadura se pueden separar en dos categorías:

- Soldadura por presión, que se realiza sin la aportación de otro material mediante la aplicación de la presión suficiente y normalmente ayudada con calor, y
- Soldadura por fusión, realizada mediante la aplicación de calor a las superficies, que se funden en la zona de contacto, con o sin aportación de otro metal.

En cuanto a la utilización de metal de aportación se distingue entre soldadura ordinaria y soldadura autógena. Esta última se realiza sin añadir ningún material. La soldadura ordinaria o de aleación se lleva a cabo añadiendo un metal de aportación que se funde y adhiere a las piezas base, por lo que realmente éstas no participan por fusión en la soldadura. Se distingue también entre soldadura blanda y soldadura dura, según sea la temperatura de fusión del metal de aportación empleado; la soldadura blanda utiliza metales de aportación cuyo punto de fusión es inferior a los 450 °C, y la dura metales con temperaturas superiores.

El tipo de soldadura más adecuado para unir dos piezas de metal depende de las propiedades físicas de los metales, de la utilización a la que está destinada la pieza y de las instalaciones disponibles. Los procesos de soldadura se clasifican según las fuentes de presión y calor utilizadas.

El procedimiento de soldadura por presión original es el de soldadura de fragua, practicado durante siglos por herreros y artesanos. Los metales se calientan en un horno y se unen a golpes de martillo. Esta técnica se utiliza cada vez menos en la industria moderna

En el año 1904 tiene lugar en Suecia un hecho de trascendencia para el desarrollo de la soldadura. Oscar Kjellberg descubre el electrodo recubierto y aunque la era industrial de la unión soldada por arco eléctrico empieza en Europa a comienzos de la década de los 50, ya se realizaron uniones de este tipo a principios de nuestro siglo.

En la soldadura se utilizan aceros para unir los metales, los hay de alta resistencia, de acuerdo a los metales que se pretende unir, en construcción el electrodo es el elemento que mas se utiliza en la soldadura de arco eléctrico, este consiste en la fundición del metal por efectos eléctricos con el metal base, en el que existe una combinación de nitrógeno y oxígeno. Después de enfriarse las soldaduras quedaran relativamente porosas debido a bolsas formadas por los gases.



1.2 ELECTRODOS

La Soldadura por arco manual con electrodo revestido, también llamado Manual Metal Arc (MMA), se caracteriza porque se produce un arco eléctrico entre la pieza a soldar y un electrodo metálico recubierto.

Con el calor producido por el arco, se funde el extremo del electrodo y se quema el revestimiento, produciéndose la atmósfera adecuada para que se produzca la transferencia de las gotas del metal fundido desde el alma del electrodo hasta el baño de fusión en el material de base.

En el arco las gotas del metal fundido se proyectan recubiertas de escoria fundida procedente del recubrimiento que por efecto de la tensión superficial y de la viscosidad flota en la superficie, solidificando y formando una capa de escoria protectora del baño fundido

El material de aportación que se usa en el proceso MMA se conoce como electrodo y consiste en una varilla metálica, generalmente acero, recubierta de un revestimiento concéntrico de flux extruído y seco. La fabricación de electrodos se realiza en dos líneas:

- En paralelo: Varilla o alma
- Revestimiento.

Fabricación de la varilla.

La materia prima del electrodo es, el alambón de 6 a 8 mm. de diámetro, que la siderurgia suministra en rollos o bobinas, de aproximadamente 1000 Kg. El fabricante comprueba la composición a partir del análisis químico de un despunte de la bobina y posteriormente ésta pasa a una devanadora protegida por una campana metálica, en donde el alambón se retuerce y desprende el óxido adherido en el tren de laminado en caliente. A esta etapa se le denomina decapado mecánico. Al ser la fabricación de electrodos un proceso continuo, los extremos de cada bobina se empalman por resistencia eléctrica, eliminando las rebabas de la soldadura con muela de esmeril.

Seguidamente el alambón pasa a las cajas de trefilado donde tiene lugar una reducción progresiva de diámetro hasta el deseado, utilizando sustancias lubricantes para facilitar la operación y evitar un endurecimiento del alambre, que le haga quebradizo. A continuación se desengrasa o se lava con agua el polvo de jabón adherido a su superficie. Los diámetros del alma son normalmente 1.6, 2, **2.5**, 3, **3.25**, **4**, **5** y 6 mm, siendo los más utilizados los resaltados en negrita. Una máquina endereza y corta las varillas a un ritmo entre 580 y 1400 cortes/minuto, en función de su diámetro.



Fabricación del revestimiento.

Para el revestimiento se suelen utilizar hasta cuarenta minerales y sustancias distintas, como arena de zirconio, rutilo, celulosa, caolín, mármol, polvo de hierro, FeSi, FeTi, FeMn, etc. Se realiza un análisis individualizado de la calidad y composición de estos productos.

La selección, origen y dosificación de cada componente que va a intervenir en la composición del revestimiento es un secreto celosamente guardado por el fabricante. Una vez escogido cada componente, se machaca y criba hasta conseguir la granulometría adecuada y se dosifica mediante un programa de computadora, pasando de un sistema de tolvas específicas de cada producto a una tolva central, donde seguidamente se homogenizan mediante vibradores distribuyéndose después la mezcla en tolvas destinadas a producción.

Para aglutinar la mezcla seca y darle consistencia se agrega silicato sódico o silicato potásico. Una vez obtenida la mezcla húmeda se vierte en una prensa en donde penetra la varilla por un lado saliendo recubierta en toda su longitud por el lado opuesto. Se comprueba la excentricidad del recubrimiento y se cepillan ambos extremos de la varilla revestida. Uno, para el ajuste de la pinza porta-electrodos y el otro, para facilitar el cebado de arco. Se marcan con la identificación del fabricante y el tipo de electrodo según American Welding Society, AWS.

El secado previo se lleva a cabo haciéndolos pasar por un horno de funcionamiento continuo, cuya temperatura se incrementa gradualmente para evitar que se agriete y se desprenda el revestimiento. Para electrodos tipo rutilo, el secado previo a una temperatura es de aproximadamente 100°C es suficiente. Para electrodos básicos, después de este secado previo se pasan a hornos convencionales de aire para darles un secado final a 400-450°C, con el fin de que el contenido de H₂O a 1000 °C según AWS, sea inferior a 0,4%. De esta forma nos aseguramos que el contenido de hidrógeno sea inferior a 10 cc. por cada 100 gr/metal depositado.

Posteriormente se empaquetan en cajas de cartón o metálicas. Aquéllas suelen protegerse de la humedad con plástico termorretráctil. En general, debe seguirse la regla de que los materiales de aporte deben embalsarse de tal forma que no sufran deterioros, ni se humedezcan, ni se sequen.



1.2.1 REVESTIMIENTOS

COMPOSICIÓN DEL REVESTIMIENTO.

La composición de los revestimientos suele ser muy compleja. Se trata generalmente de una serie de sustancias orgánicas y minerales. En la fabricación de la pasta para el revestimiento suelen intervenir:

- Óxidos naturales: Óxidos de hierro, ilmenita (50% óxido férrico y 50% óxido de titanio), rutilo (óxido de titanio), sílice (óxido de silicio).
- Silicatos naturales: Caolín, talco, mica, feldepasto.
- Productos volátiles: Celulosa, residuos, limaduras.
- Fundentes
- Productos químicos: carbonatos, óxidos...
- Ferroaleaciones: de Mn, Si, Ti...
- Aglomerantes: silicato sódico, silicato potásico.

Sin embargo, la naturaleza, dosificación y origen de los componentes permanece en secreto por parte del fabricante que en la práctica se limita a garantizar la composición química del metal depositado y sus características mecánicas:

- Carga de ruptura
- Límite elástico
- Alargamiento
- Tenacidad

FUNCIONES DEL REVESTIMIENTO.

Eléctrica

- a)** Cebado de arco: En general, las sustancias que se descomponen produciendo gases fácilmente dissociables exigen tensiones de cebado de arco más elevadas, debido al calor absorbido en la disociación, que es un proceso endotérmico. Con corriente alterna, se necesitan tensiones de cebado más altas. Los silicatos, carbonatos, óxidos de Fe, óxidos de Ti, favorecen el cebado y el mantenimiento del arco.
- b)** Estabilidad del arco: La estabilidad del arco depende, entre otros factores, del estado de ionización de los gases comprendidos entre el ánodo y el cátodo. Para un arco en corriente alterna es imprescindible un medio fuertemente ionizado. Por este motivo se añaden al revestimiento, entre otras sustancias, sales de sodio y de potasio.



Física.

Una misión fundamental del revestimiento es evitar que el metal fundido entre en contacto con el oxígeno, el nitrógeno y el hidrógeno del aire, ya sea por la formación de un gas protector alrededor del camino que han de seguir las gotas del metal fundido y después, mediante la formación de una abundante escoria que flota por encima del baño de fusión.

El revestimiento debe ser versátil y permitir generalmente la soldadura en todas las posiciones. En ello interviene dos factores:

- a) El propio espesor del revestimiento.
- b) Su naturaleza, que determina la viscosidad de la escoria, que es necesaria para mantener la gota en su lugar a través de su propia tensión superficial y para proteger el baño fundido del contacto con el aire.

El revestimiento del electrodo se consume en el arco con una velocidad lineal menor que el alma metálica del mismo. Como resultado, el recubrimiento queda prolongado sobre el extremo del alma y forma un cráter que sirve para dirigir y concentrar el chorro del arco, disminuyendo sus pérdidas térmicas.

Metalúrgica.

El revestimiento dispone de elementos que se disuelven en el metal fundido con objeto de mejorar las características mecánicas del metal depositado.

La escoria:

- Reduce la velocidad de enfriamiento de la soldadura por su efecto aislante;
- Reduce el número de inclusiones en la soldadura, al eliminar un gran número de impurezas;
- Produce en el baño una verdadera micrometalurgia, desoxidando, desmoronando, desfosforando y desulfurando el metal fundido;
- Aísla el baño de elementos con los que tiene gran afinidad: oxígeno, nitrógeno, hidrógeno ya sea a través de escorias o gases protectores.



1.2.2 ESPECIFICACIONES.

Las especificaciones actuales de la American Welding Society a que obedecen son:

- Electrodos de acero al carbono AWS-A.5.1
- Electrodos de aceros de baja aleación AWS-A.5.5
- Electrodos de aceros inoxidables AWS-A.5.4

Electrodos de acero al carbono.

Estos electrodos se clasifican de acuerdo con los criterios siguientes:

- Tipo de corriente a utilizar.
- Tipo de recubrimiento.
- Posición de soldadura aconsejable.
- Composición química del metal depositado.
- Propiedades mecánicas del metal depositado.

Electrodos de aceros de baja aleación.

Estos electrodos se clasifican de acuerdo con idénticos criterios que los de acero al carbono, e incluyen las clases siguientes:

- Clase A: Aceros al carbono-molibdeno.
- Clase B: Aceros al cromo-molibdeno.
- Clase C: Aceros al níquel.
- Clase D: Aceros al manganeso-molibdeno.
- Clase N: Aceros al níquel-molibdeno.
- Clase G: Aceros de baja aleación, no incluidos en las otras clases.

Electrodos de aceros inoxidables.

Estos electrodos se clasifican de acuerdo con su composición química, propiedades mecánicas y tipo de corriente e incluyen aceros en los que el cromo excede del 4% y el níquel no supera el 37% de la aleación.



DESCRIPCIÓN DE LAS CLAVES USADAS PARA LAS DIVERSAS CLASES DE ELECTRODOS EN SUS MARCAS ESTÁNDAR

- A)** Para el proceso de electrodo recubierto (SMAW), las marcas de fábrica de sus electrodos indican sus características en una clave estandarizada en los códigos de uso internacional.

La secuencia de letra y cifras significan lo siguiente:

1. La letra E inicial de electrodo.
2. Dos o tres cifras que indican en miles de libras/pulg² la resistencia mínima f_u a la ruptura en tensión del metal de soldadura que produce el electrodo. Ejemplo:60, 70, 110, etc.
3. Un dígito que indica las posiciones de soldar recomendables para usarlo:
1 = Cualquier posición.
2 = Posición plana en soldaduras de penetración, y plana y horizontal para soldaduras de filete.
F = Soldaduras verticales de arriba hacia abajo.
4. El conjunto de los dos últimos dígitos significan:
 - El penúltimo: El tipo de corriente eléctrica continua o alterna requerida y el modo de conectarla o “polaridad”:
“inversa” = electrodo conectado al polo (+)
“directa” = electrodo conectado al polo (-)
 - El último dígito: denota características del recubrimiento del electrodo.

Los folletos comerciales de los fabricantes y distribuidores, son ampliamente explícitos en recomendaciones de aplicación específica para cada uno de los tipos de electrodos que ofrecen.

Por ejemplo, un electrodo E6010 produce una soldadura con resistencia mínima a la tensión de 60,000 libras por pulgada cuadrada (4200 kg./cm²), puede utilizarse en todas las posiciones y requiere el uso de corriente continua con polaridad inversa, es decir, el electrodo es el polo positivo en el circuito y el metal base negativo.

- B)** Para el proceso del arco sumergido (SAW) las características del electrodo se indican en su marca clave; pero además en una clave similar el fundente granulado lleva las suyas.

Y siempre se describen en parejas de fundente con su electrodo.

Las características del fundente en cuanto a la soldadura resultante, siempre dependen del tipo de electrodo que lo acompaña en el proceso.

Secuencia de los significados de la marca en clave del fundente:

F = Inicial del fundente (flux).

a.- Resistencia f_u expresada en (10,000 libra/pulg.) de la soldadura lograda al acompañarlo con el correspondiente electrodo.

b.- Tratamiento térmico aplicable = letra P, letra A = omitirlo.

c.- Mínima temperatura a la que es obtenida la soldadura, el dígito indica así:

2= -20°F, 4= -40°F, 6= -60°F



Entonces una pareja fundente-electrodo se marcará así: FabC-Edef-N
Secuencia de significados en clave para la marca del electrodo:

- E = Electrodo.
- d = Contenido de magnesio: letra L = Bajo, M = Medio, H = Alto
- e = Contenido nominal de carbono.
- f = Lleva la letra K cuando el acero del electrodo está desoxidado con silicio.
- N = Lleva la letra N en caso de estar preparado para evitar que las radiaciones vuelvan frágil a la soldadura.



1.2.3 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS ELECTRODOS

ELECTRODOS ÁCIDOS.

Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono: AWS-E-6020.

- **Características específicas.** Estos electrodos contienen una adecuada proporción de productos desoxidantes en forma de Ferroaleaciones, FeSi, FeMn. Sin embargo, el contenido de Si en el cordón se mantiene bajo por lo que el metal aportado contiene siempre una cierta cantidad de oxígeno y, en consecuencia, la resistencia de la unión es solamente mediana. La escoria de los electrodos típicamente ácidos es abundante, de color negro, se separa con bastante facilidad. Por su abundante escoria se requiere soldar con mayor intensidad e inclinación adecuada del electrodo, para evitar que la escoria se anticipe al metal fundido.
La soldabilidad del metal base debe ser buena, pues en caso contrario pueden producirse grietas en caliente.
Pueden emplearse con intensidades de corriente elevadas. Se usan normalmente sólo en corriente continua y electrodo unido al polo negativo.
- **Rendimiento gravimétrico.** El rendimiento gravimétrico estándar es del 95%.
- **Aplicaciones.** Destinados para soldar aceros normales de construcción, de resistencia inferior a 48 Kg./mm². Se solía utilizar en juntas a tope o en V cuando se requería un buen aspecto del cordón. También por su facilidad en proporcionar cordones lisos en juntas en ángulo o solapadas.
En este tipo de electrodos, que hace unas décadas dominaba el mercado, ha ido siendo sustituido progresivamente por los rutilos y básicos. En la actualidad se encuentran prácticamente en desuso, pues su cuota de consumo no alcanza el 2% del mercado.

ELECTRODOS CELULÓSICOS

Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono: AWS-E-6010 (Na) y AWS-E-6011 (K).

- **Características específicas.** En estos electrodos la celulosa, obtenida a partir de la pulpa de la madera, es el componente principal. Esta sustancia orgánica se descompone por el calor desarrollado en el arco, proporcionando un gas protector que aísla y protege de la oxidación al Mn y al resto de los componentes. Las reacciones de reducción se desarrollan en una atmósfera de hidrógeno que cubre el metal fundido. Producen una gran penetración gracias al hidrógeno procedente de la celulosa que el calor del arco libera. Los electrodos celulósicos producen una gran cantidad de humo. por ello, es recomendable evitar su uso en lugares cerrados. Por otra parte, lo enérgico del arco aconseja emplear con más rigor los materiales de protección, tales como gorras, guantes, mandiles, polainas, etc.
- **Rendimiento gravimétrico.** El rendimiento estándar suele ser inferior al 90%.
- **Aplicaciones.** Aunque son adecuados para soldar en todas las posiciones, se suelen emplear exclusivamente para soldar tubería en vertical descendente, porque:
 - Producen muy poca escoria.
 - Se manejan con facilidad.
 - Consiguen una buena penetración en el cordón de raíz, en esta posición.



Su uso se está generalizando en oleoductos, y gasoductos en donde resulta ventajoso soldar en todas las posiciones, sin cambiar los parámetros de soldeo. También son adecuados en aplicaciones en donde se pretenda conseguir una buena penetración.

ELECTRODOS DE RUTILO

Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono: AWS-E-6012 (Na) y AWS-E-6013 (K).

- **Características específicas.** El principal componente de estos electrodos es el rutilo, mineral obtenido a partir de minas que en su estado natural contienen de un 88-94% de TiO_2 . También puede extraerse de la ilmenita, mineral compuesto por un 45-55% de TiO_2 y el resto de Fe_2O_3 . La protección en estos electrodos la proporciona la escoria, la cual, tiene la viscosidad adecuada para permitir la soldadura de elementos con ajuste deficiente o cuando entre los bordes a unir existe una distancia excesiva, resultando los electrodos de rutilo idóneos en la soldadura con defectuosa preparación de juntas.

La cantidad de elementos refractarios del recubrimiento origina un arco tranquilo, de mediana penetración.

Se emplean con corriente alterna o con corriente continua, en ambas polaridades.

- **Rendimiento gravimétrico.** El rendimiento gravimétrico estándar está comprendido entre el 90 y el 100%.
- **Aplicaciones.** Estos electros, fáciles de encender y reencender, poco sensibles a la humedad, escasas salpicaduras y favorable eliminación de escoria, que permiten una razonable velocidad de soldeo constituyen una gama de consumibles muy apreciada.

Resultan por su fácil manejo en cualquier clase de montaje, la escasa influencia de las condiciones ambientales y por ser adecuados para emplearse en todas las posiciones, idóneos para todo tipo de soldaduras siempre que no se requiera una elevada tenacidad. Los principales campos de aplicación son las estructuras metálicas, en construcciones de calderas y construcciones navales.

ELECTRODOS BÁSICOS.

Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono: AWS-E-7015 (Na) poco frecuentes y AWS-E-7016 (K) muy utilizados

- **Características específicas.** Los componentes principales son el carburo cálcico y el fluoruro cálcico. El revestimiento, que no contiene celulosa ni arcilla, proporciona un gas protector a base de CO_2 procedente del mármol y del fluoruro de silicio formado a partir de la fluorita, en reacción con el SiO_2 . Funden a temperaturas muy elevadas (aprox. 2.000 °C), razón por la cual necesitan un fundente en su composición, como el espato flúor.

La elevada proporción de TiO_2 y de silicato potásico, permiten su uso en corriente alterna. Son fuertemente higroscópicos, por lo que precisan de ciertas precauciones para evitar que una retención de humedad origine porosidades en el metal depositado y fisuraciones bajo el cordón en el soldeo de aceros ferríticos de alta resistencia o límite elástico.

La escoria es poco abundante, de color pardo y aspecto brillante. Su fluidez se controla agregando espato flúor al revestimiento. Sube a la superficie con rapidez por lo que son poco probables las inclusiones. Se elimina con menos facilidad que la de los otros tipos de electrodos.



- **Arco.** La velocidad de fusión no es elevada ni tampoco soportan grandes intensidades de corriente. Ofrecen una velocidad de soldeo razonable en posición horizontal o cornisa y más rápida en vertical ascendente.
La longitud de arco es más corta que en el caso de los rutilos. Los básicos son más difíciles de manejar que los otros electrodos.
- **Rendimiento gravimétrico.** Oscila en torno al 110%.
- **Metal depositado.** El metal depositado se encuentra prácticamente exento de impurezas, libre de hidrógeno y de porosidad, si el revestimiento está seco. Posee además una elevada capacidad de deformación (δ aprox. 30%) y presenta una alta tenacidad.
- **Aplicaciones.** El campo de aplicación es muy amplio. Una de las ventajas de los electrodos básicos es que pueden eliminar el S por su reacción con el Mn, formando compuestos que pasan a la escoria, por lo que la soldadura realizada con este tipo de electrodos muestra una gran resistencia al agrietamiento en caliente.
Se utilizan ampliamente en la soldadura de estructuras metálicas, recipientes sometidos a presión, construcción naval y maquinaria. Para resolver el problema de su fuerte higroscopicidad, actualmente se están desarrollando electrodos básicos menos propensos a captar humedad: electrodos LMA (Low Moisture Absortion).

ELECTRODOS DE GRAN RENDIMIENTO.

Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono: AWS-E-6027 (ácido), AWS-E-7014 (rutilo), AWS-E-7018 (básico), AWS-E-7024 (rutilo) y AWS-E-7028 (básico).

- **Características específicas.** Se denominan electrodos de gran rendimiento aquellos que, cualquiera que sea la naturaleza de la composición de su revestimiento, tienen un rendimiento gravimétrico superior al 130%. Si en los electrodos clásicos, como acabamos de ver, el rendimiento suele oscilar entre el 80% y 100%, con esta clase de electrodos se puede llegar hasta el 240%.

El rendimiento de un electrodo viene dado por la relación del peso del metal depositados al peso de la varilla fundida. La norma UNE-14038 versa sobre la determinación del rendimiento de los electrodos. En general, para su evaluación se desprecian 40 mm de su longitud, aproximadamente igual a la parte desnuda del alma que se aloja en la pinza porta-eléctrodos de 450 mm y 310 mm para los que poseen una longitud original de 350 mm.

Esta clase de electrodos fue desarrollada por VAN DER WILLIGEN en Holanda a partir del año 1947, añadiendo polvo de Fe al revestimiento. Parece lógico suponer que la posición sobremesa es la más fácil y favorable para la soldadura. En efecto, en esa posición el metal fundido se beneficia de la fuerza de la gravedad y se pueden conseguir las máximas velocidades de deposición. Después de ésta, la más ventajosa es la horizontal en ángulo. Por la economía que supone soldar en ambas posiciones se han desarrollado electrodos específicos que únicamente pueden emplearse en estas posturas de soldeo. Pertenecen a este grupo aquellos electrodos cuya penúltima cifra en su designación AWS es un 2. Se les llama también electrodos de contacto. El rendimiento de un electrodo, en general, es función de la naturaleza del revestimiento, del diámetro y de la intensidad de la corriente.



- **Aplicaciones.** Estos electrodos requieren altas intensidades de soldeo para lograr fundir, además del alma, el polvo de Fe agregado a su revestimiento, por lo que resulto necesario fuentes de energía potentes. Se seleccionan para reducir costes en soldadura, tanto en construcción naval como en talleres de calderería pesada.

Los electrodos de contacto se emplean en soldadura por gravedad mediante unos aparatos mecánicos. Los electrodos básicos de gran rendimiento con elevadas características mecánicas son utilizadas en construcción off-shore y calderería pesada, donde se exigen altos valores de impacto a baja temperatura.

DESCRIPCIÓN DE CADA TIPO DE ELECTRODO.

- **ELECTRODOS E6010.** Se han diseñado para producir las mejores propiedades mecánicas posibles en un electrodo que se utilice para soldar en cualquier posición. Se caracterizan por que producen un arco muy penetrante y una escoria delgada, que se quita con facilidad y a veces no cubre totalmente el depósito. Las soldaduras de filete suelen tener perfil relativamente plano y una superficie con ondas bastante marcadas, espaciadas irregularmente. Los recubrimientos tienen en general más del 30% de celulosa, en peso, y contienen además bióxido de titanio, varios tipos de silicatos de magnesio y aluminio, y desoxidantes metálicos de su recubrimiento, estos electrodos se clasifican como del tipo de lata celulosa-sodio.

Los electrodos E6010 (y los E6011) se recomiendan para trabajos en cualquier posición cuando la calidad del depósito es de la mayor importancia, particularmente en soldaduras de paso múltiple en posiciones vertical y sobre cabeza que deban satisfacer requisitos radiográficos estrictos. Se utilizan principalmente para soldar aceros con bajo contenido de carbono, pero se han usado también en placa galvanizada y en algunos aceros de baja aleación. Entre sus aplicaciones típicas está la construcción de barcos, estructuras para edificios y puentes (las ventajas máximas se obtienen en soldaduras de campo), tanques y tuberías. Pueden usarse con facilidad tamaños hasta 3/16" (5 mm.), en todas las posiciones.

- **ELECTRODOS E6020.** Con ellos se obtienen soldaduras en posición plana, utilizando corriente alterna o continua y cualquier polaridad, y filetes horizontales, con corriente alterna o continua y polaridad directa. La capa de escoria es gruesa, cubre el depósito por completo y se quita con facilidad.

Se usan en la fabricación de recipientes a presión, bases pesadas de máquinas y partes estructurales hechas con material grueso.

Las soldaduras de filete tienden a ser planas o ligeramente cóncavas, con ondas suaves y uniformes. La superficie de las soldaduras presenta con frecuencia pequeños hoyos, que aumentan cuando se restringe la abertura en la que se deposita el metal, y que tienden a desaparecer en los últimos cordones de las soldaduras de paso múltiple. No hay ningún defecto físico o mecánico asociado con esa característica.

Se recomiendan para filetes horizontales y soldaduras planas de cualquier tipo que deban satisfacer requisitos radiográficos. Cuando se emplean para soldar placas gruesas se obtienen altas velocidades de depósito. No suelen utilizar en material delgado, por que las elevadas corrientes que se emplean con ellos producen deformaciones excesivas.



- **ELECTRODOS E7015.** Son de bajo hidrógeno, y se emplean con corriente directa y polaridad inversa. Su recubrimiento está hecho a base de piedra caliza y otros ingredientes de bajo contenido de hidrógeno que forman una escoria básica. Se desarrollan para soldar aceros en los que aparecen grietas en el metal base cuando se utilizan electrodos ordinarios, y se emplean también con aceros de contenido de azufre elevado.

Su arco es de penetración media, La escoria es pesada, desmenuzable y fácil de quitar, y la superficie del metal depositado es plana o ligeramente convexa.

Se fabrican en diámetros de hasta 5/32" (4mm.), y se utilizan para soldar en todas las posiciones. Los diámetros más grandes se emplean para soldaduras de filete planas u horizontales.

Suelen emplearse corrientes más altas que las que se recomiendan para electrodos E6010 del mismo diámetro. Para obtener los mejores resultados el arco debe ser lo más corto posible. La menor tendencia al agrietamiento del metal base y la calidad de los depósitos reduce considerablemente la necesidad de precalentar el metal base o poscalentar las soldaduras.

Se usan para hacer soldaduras de pequeño tamaño en material grueso, que son mucho menos susceptibles al agrietamiento que las obtenidas con electrodos que no sean de bajo hidrógeno.

- **ELECTRODOS RECUBIERTOS DE BAJA ALEACIÓN.** Pertenecen a las serie de E70 a E120.

Sus recubrimientos son similares a los electrodos de acero de bajo contenido de carbono de la clasificación correspondiente; así, el recubrimiento de los electrodos E7016, aunque el de los primeros puede contener pequeñas cantidades de elementos de aleación. Las características de operación de electrodos de clasificaciones análogas, son por consiguiente, semejantes.

El recubrimiento de la mayor parte de estos electrodos es bajo hidrógeno y tienen características que hacen posible la adición de elementos de aleación, carbono, manganeso, silicio, cromo, níquel, molibdeno, vanadio, con los que se obtienen soldaduras de diversas composiciones y resistencias. Pueden lograrse también depósitos susceptibles de ser tratados térmicamente.

Las elevadas resistencias de las soldaduras hechas con estos electrodos se logran por medio de elementos de aleación incluidos en el núcleo metálico o, con más frecuencia, en el recubrimiento, pues así se introducen en la soldadura de una manera más económica.

La clasificación completa de un electrodo de acero de baja aleación es del tipo E701-A1 o E8016-C2; la letra y el número que aparecen después de la clasificación básica indican la composición química del metal depositado.

Casi todos los electrodos de estas series están diseñados para que la soldadura resultante sea tratada térmicamente para relevar esfuerzos residuales, pero no para ser templada.

Los aceros de baja aleación admiten en general menos hidrógeno que los de bajo carbono, por lo que aumenta la importancia del control de la humedad de los recubrimientos.



1.2.4 SELECCIÓN DEL TIPO DE CORRIENTE.

La clase de corriente depende fundamentalmente del tipo de electrodo que se va a utilizar. A pesar de que la corriente continua es la más común, la amplia gama de electrodos actualmente en el mercado, que deben utilizarse con corriente alterna han hecho que crezca el uso de este tipo de corriente.

El costo de la energía con corriente alterna es menor que con corriente continua pero representa una parte poco relevante del coste total de soldadura, no siendo un factor decisivo la selección del tipo de corriente.

Comparación entre uso de corriente continua y alterna.

Características	Corriente continua	Corriente alterna
Pérdida de tensión en cables	Grande Los cables han de ser tan cortos como sea posible	Pequeña Preferible para soldar a gran distancia de la fuente.
Electrodos	Son válidos todos los tipos de electrodos.	El revestimiento debe contener sustancias que restablezcan el arco.
Encendido del arco	Fácil.	Más difícil sobre todo en electrodos de pequeño diámetro.
Mantenimiento del arco	Fácil.	Más difícil, excepto cuando se utilizan electrodos de gran rendimiento.
Efecto de soplo	Muy sensible, sobre todo cuando la soldadura está cerca de extremos de la pieza. El efecto se incrementa con la intensidad.	Es raro que se produzca. La alternancia de ciclos neutraliza los campos magnéticos.
Salpicaduras	Poco frecuentes.	Más frecuentes, debidas a la pulsación.
Posiciones de soldeo	Más fácil de usar << en posición >> para soldaduras de secciones gruesas.	Fácil de usar en cualquier posición si se dispone del electrodo adecuado.
Soldadura de hojas metálicas	Preferible.	Si no se actúa con gran precaución, se puede deteriorar el material debido a la dificultad de encendido del arco.
Soldaduras de secciones gruesas	Rendimiento bajo.	Preferible pues al poder utilizar un mayor diámetro del electrodo y más intensidad de corriente, se logran altas tasas de rendimiento



CAPITULO 2

TIPOS DE ACERO

2.1 ACEROS ESTRUCTURALES

Durante la mayor parte de introducción del acero estructural como material de construcción hasta 1960, el acero usado fue clasificado como acero al carbono por la ASTM (sociedad americana para pruebas y materiales) con designación A7, y tuvo una mínima especificación de tensión en el proceso de 33 ksi. Muchos diseñadores se referían a él simplemente como “acero” sin identificación adicional, y la especificación AISC prescribió permitiendo tensiones y procesos solo para el acero A7. Otros aceros estructurales como un acero especial de baja aleación resistente a la corrosión (A242) y un acero más fácilmente soldable (A373), estuvieron disponibles pero fueron muy rara vez usados en construcciones.

Hoy en día muchos de los aceros disponibles para el diseñador permiten incrementar el uso de materiales fuertes en regiones altamente tensionadas algo que ha incrementado el tamaño de las estructuras metálicas. También se puede decidir si requiere máxima rigidez o menos peso que es el atributo más deseable.

El acero al carbono es el más común, barato y aplicable de los metales que se emplean en la industria. Tienen una ductilidad excelente, lo que permite que se utilice en muchas operaciones de formado en frío. Este acero también se puede soldar con facilidad.

Los grados de acero que se emplean comúnmente en las industrias de procesos químicos tienen una resistencia a la tracción dentro de 50000 a 70000 lb / in² con buena ductibilidad. Es posible alcanzar niveles de resistencia todavía más altos con trabajo en frío, con aleaciones y con tratamiento térmico.

La resistencia a la corrosión, es una propiedad que nos favorece frecuentemente en la eliminación de pintar, esto es un factor altamente importante. Ya que algunos aceros se oxidan para formar una capa protectora, esto previene una oxidación más fuerte (corrosión), adquiriendo una propiedad satisfactoria, incluso una texturizada apariencia marrón oscuro.

Aunque el costo inicial es más alto que el acero al carbono tradicional, el uso de este tipo de aceros, puede ser más económico ya que no es necesario pintarlo.

Los aceros estructurales son referidos por las designaciones de ASTM se utilizan mucho en proyectos de ingeniería civil. Los nuevos aceros, por lo general, los introducen sus fabricantes con marca registrada; pero un breve examen de sus composiciones, tratamiento térmico y propiedades suele permitir relacionarlos con otros materiales ya existentes. Para los propósitos de diseño el límite elástico en tensión es la característica material que las especificaciones, tales como AISC, han usado para establecer la fuerza permisible. El término *yield stress* (límite elástico) es usado para incluir cualquier *yield point* (punto de fluencia), la desviación bien definida de la elasticidad perfecta exhibida por la mayoría de los aceros estructurales comunes, o *yield strength* (esfuerzo de tensión), el esfuerzo de la unidad en cierta tensión compensada para los aceros no tienen el límite de fluencia bien definido. Hoy en día los aceros están fácilmente disponibles teniendo límite elástico a partir de 24 a 100 ksi (170 a 690 MPa).

Los aceros para el uso estructural en aplicaciones con laminados en caliente pueden ser clasificados en las siguientes categorías principales:

- Aceros al carbono
- Aceros de baja aleación y alta resistencia, y
- Aceros aleados, algunas de las cuales tienen subdivisiones.



Los requerimientos generales para tales aceros se cubren en la especificación de ASTM A6/A6M. La tabla 2.1 enlista los aceros comunes, su mínimo límite elástico y fuerzas extensibles. Sus aplicaciones comunes se dan en la tabla 2.2

En dos subcategorías se pueden agrupar dentro de la clasificación general de aceros. Los aceros con bajo contenido de aleación tienen cantidades moderadas de uno o más elementos de aleación, aparte del carbono para desarrollar resistencias más altas que las de los aceros comunes al carbono. Los aceros al cromo vanadio son metales de elevada resistencia al límite de fluencia producidos con la adición de pequeñas cantidades de estos elementos a los aceros de bajo contenido de carbono.

En el mercado hay dos clases de aceros al carbono con tratamiento térmico para usos en la construcción.

- Los aceros al carbono con tratamiento térmico están disponibles bien en su condición estándar o enfriados y templados; su endurecimiento se logra a base del contenido de carbono.
- Los aceros de aleación con tratamiento térmico para construcción son aceros enfriados y templados que contienen cantidades moderadas de elementos de aleación además del carbono.

Otra categoría general, es el acero marevejecido, de bajo contenido de carbono en aleación con alto contenido de níquel. Estas aleaciones se someten a tratamiento térmico para madurar la estructura de hierro-níquel. Los aceros marevejecidos tienen una característica particular debido a que son los primeros aceros de grado para construcción que en esencia, están libres de carbono. Su alta resistencia depende por completo de otros elementos de aleación. Esta clase de acero posiblemente ha abierto la puerta al desarrollo de toda una nueva serie de aceros libres de carbono.

La comparación de la composición química en cuanto a carbono y otros elementos de aleación, puede utilizarse para distinguir entre sí los aceros estructurales. La mayoría de los aceros estructurales, excepto los aceros marevejecidos, contienen carbono en cantidades entre 0.10 y 0.28%. Los aceros más antiguos tienen pocos elementos de aleación y suelen clasificarse como aceros al carbono.

Los aceros que contienen cantidades moderadas de elementos de aleación como los aceros marevejecidos con 18% de níquel, se designan aceros con alto contenido de aleación. Las composiciones químicas específicas de los aceros estructurales clasificados se indican en las especificaciones de la ASTM. Las composiciones químicas típicas de otros aceros estructurales pueden obtenerse con los fabricantes.

En ocasiones se utiliza un sistema de numeración básica para describir el contenido de carbono y de aleación de los aceros. En el sistema de numeración del American Iron and Steel Institute (AISI) para aceros con bajo contenido de aleación, los dos primeros indican el contenido de aleación y los dos últimos indican el contenido nominal de carbono en fracciones de 0.01%.

También están especificados: 0.40 a 0.60% Mn (manganeso), 0.040% P (fósforo) máximo. 0.040% S (azufre) máximo. 0.20 a 0.35% Si (silicio).

El tratamiento térmico puede utilizarse como otro medio de clasificación. Los antiguos aceros estructurales al carbono y los aceros de alta resistencia y bajo contenido de aleación no tienen tratamiento térmico específico, pero sus propiedades se controlan por el proceso de laminación en caliente. Los aceros para construcción y los aceros al carbono térmicamente tratados, recurren a un proceso de enfriamiento y templado para desarrollar sus propiedades de alta resistencia. Los aceros ASTM A514 se someten a tratamiento térmico con enfriamiento por inmersión en agua o aceite a no menos de 1650 °F, y luego, templado a no menos de 1100° F. Los aceros al carbono térmicamente tratados se someten a una secuencia similar de enfriamiento y temple: austenización, enfriamiento con agua, y luego, temple a temperaturas entre 1000° y 1300 °F.



El tratamiento térmico típico para los aceros marevejecidos comprende el recocido a 1500 °F durante una hora, enfriamiento con aire a la temperatura ambiente y maduración a 900 °F durante tres horas. El tratamiento de maduración para los aceros marevejecidos puede variarse para obtener diferentes grados de resistencia.

ACEROS AL CARBONO

Los aceros que utilizan el carbono como elemento principal en la aleación se llaman aceros estructurales al carbono.

Los aceros al carbono están divididos en cuatro categorías basadas en el porcentaje de carbono:

- Cantidad muy baja de carbono (menos del 0.15%);
- Cantidad baja de carbono (0.15-0.29%);
- Cantidad media de carbono (0.30-0.59%); y
- Alta cantidad de carbono (0.60-1.70%).

Los aceros al carbono estructurales son los de la categoría de bajo contenido de carbono; un acero tal como A36 tiene máximo carbono variando a partir de la 0.25 a 0.29% dependiendo del grosor. El acero estructural al carbono exhibe los puntos de fluencia definitivos como se muestra en la curva (a) de la figura 2.1 Incrementa el porcentaje de carbono aumentando el limite de fluencia reduciendo la ductilidad, haciéndolo mas difícil de soldar.

Los aceros al carbono dados en la tabla 2.1.1 son:

- A36
- A53
- A500
- A501
- A529
- A570
- A611, y
- A709, Grado 36.

-ACEROS DE BAJA ALEACIÓN Y ALTA RESISTENCIA

Esta categoría incluye a los aceros que tienen un limite de fluencia de 40 a 70 ksi (275 a 480 MPa), exhibiendo el bien definido punto de fluencia que se muestra en la curva (b) de la figura 2.1 la misma mostrada para los aceros al carbono. La adición a los aceros al carbono de pequeñas cantidades de elementos provenientes de la aleación tales como cromo, columbium, cobre, manganeso, molibdeno, níquel, fósforo, vanadio, o circonio, mejoran algunas de las características mecánicas. Mientras los aceros al carbono aumentan su fuerza incrementando el contenido de carbono, los elementos de la aleación crean un incremento en la fuerza de una micro estructura más fina que gruesa obtenida durante el enfriamiento del acero. Los aceros de baja aleación y alta resistencia son usados en as – rolled o condiciones normales; no se utiliza ningún tratamiento de calor.



Los aceros de alta resistencia y baja aleación de la tabla 2.1.1 son:

- A242
- A441
- A572
- A588
- A606
- A607
- A618, y
- A7.9, 50 grados y 50 W.

ACEROS ALEADOS

Los aceros de baja aleación pueden ser apagados y templados para obtener carga de fluencia de 80 a 110 kis (550 a 760MPa). La carga de fuerza es usualmente definida como la fuerza en 2.0% tensión compensada, desde que estos aceros no exhibieron una buena definición del punto de fluencia. Una curva típica de la fuerza de tensión se muestra en la figura 2.1, curva (c). Estos aceros son soldables con procedimientos adecuados y ordinariamente no requieren ningún tratamiento de calor adicional después de que se ha soldado. Para usos especiales, puede ser requerido ocasionalmente relevar la tensión. Algunos aceros al carbono, se pueden apagar o templar para dar carga de fluencia en las (550) del rango 80ksi pero la mayoría de los aceros de esta carga son aceros de baja aleación. Estos aceros de baja aleación generalmente tienen un máximo contenido de carbono de cerca del 0.20% para limitar la dureza de cualquier micro estructura (acero marevejecido) que pueda formarse durante el tratamiento de calor o soldado, reduciendo así el peligro de agrietarse.

El tratamiento de calor consiste en el apagar (rápido enfriamiento con agua y aceite a por lo menos 1650°F (900°C) alrededor de 300-400°F (620°C); después templado por recalentamiento a por lo menos 1150°F (620°C) y permitiendo el enfriamiento. El templar aunque reduce la fuerza y dureza del material apagado, mejora grandemente la dureza y la ductilidad. La reducción en la fuerza y la dureza con el incremento en la temperatura es algo contrario por la ocurrencia secundaria de endurecer, resultando de la precipitación del columbium, del titanio, o de los carburos del vanadio. Esta precipitación comienza cerca de los 90°F (510°C) y acelera hasta alrededor de 1250°F (680°C). El templar en o cerca de los 1250°F y alcanzar el máximo beneficio de la precipitación de los carburos puede resultar en entrar a la zona de transformación, así produciendo la micro estructura más débil que habría sido obtenida sin apagar y templar.

En resumen, el apagar produce el acero marevejecido; una micro estructura muy dura, fuerte, y frágil; recalentar reduce la fuerza y la dureza mientras que aumenta la resistencia y la ductilidad.

El templado y enfriado de los aceros aleados de la Tabla 2.1 son:

- A514
- A709, Grados 100 y 100 W,
- A852, y
- A913.



GRAFICA: PUNTOS DE FLUENCIA SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DEL ACERO

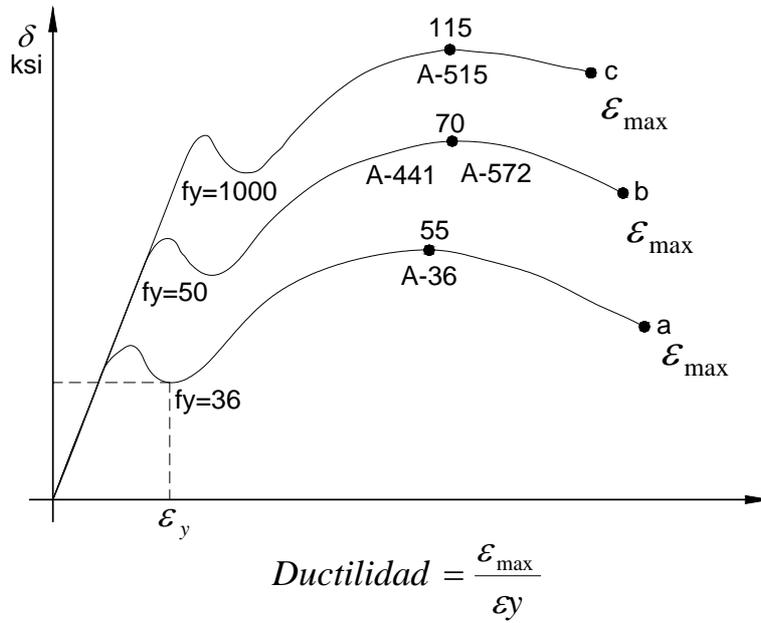


FIGURA 2.1



TABLA 2.1 PROPIEDADES DE LOS ACEROS USADOS PARA EDIFICIOS Y PUENTES

Designación ASTM	Fy min. Ksi (Mpa)	Fu min. ksi (Mpa)	Grueso Max. para placas int. (mm)	Formas
A36	32 (220)	58-80 (400-550)	de 8" (200)	Perfiles, Placas y Barras
A53 Grado B	35 (240)	60 (415)		Tubos
A242	42 (290)	63 (435)	de 1½ a 4" (40 a 100)	Perfiles, Barras y Tubos
	46 (315)	67 (460)	de ¾ a 1½" (20 a 40)	
	50 (345)	70 (480)	a ¾" (20)	
A441	Descontinuado en 1989; reemplazado por A572			
A500				
Grado A	33 (228)	45 (310)		
Grado B	42 (290)	58 (400)		
Grado C	46 (317)	62 (427)		
Grado A	39 (269)	45 (310)		
Grado B	80 (550)	58 (400)		
Grado C	50 (345)	62 (427)		
A510	36 (250)	58 (400)		
A514	90 (620)	100 - 130 (690-895)	sobre 2½ a 6" (65 a 150)	Placas
	100 (690)	110 -130 (760-895)	a 2½" (65)	
A529				
Grado 42	42 (290)	60-85 (415-585)	a ½" (13)	Perfiles Y Placas
Grado 50	50 (345)	70-100 (485-690)	a 1" (25)	
A570				
Grado 40	40 (275)	55 (380)		
Grado 45	45 (310)	60 (415)		
Grado 50	50 (345)	65(450)		
A572				
Grado 42	42 (290)	60 (415)	a 6" (150)	Perfiles, Placas y Barras
Grado 50	50 (345)	65 (450)	a 4" (100)	
Grado 60	60 (415)	75 (520)	a 1¼" (32)	
Grado65	65 (450)	80 (550)	a 1¼" (32)	



TABLA 2.1 (continuación)

Designación ASTM	Fy min. Ksi (Mpa)	Fu min. ksi (Mpa)	Grueso Max. para placas int. (mm)	Formas
A5 88	42 (290) 46 (315) 50 (345)	63 (435) 67 (460) 70 (485)	de 5 a 8" (125 a 200) de 4 a 5" (100 a 125) a 4" (100)	- Todo
A606	45 (310) 50 (345)	60 (450) 65 (450)		
A607	Grado 45 Grado 50 Grado 55 Grado60 Grado 65 Grado 70	45 (310) 50 (340) 55 (380) 60 (410) 65 (450) 70 (480)	60 (410) 65 (450) 70 (480) 75 (520) 80 (550) 85(590)	
A611	Grado C Grado D Grado E	33 (230) 40 (80) 80 (550)	48(330) 52 (360) 82 (565)	
A618	Grados I&II Grado III	50 (345) 50 (345)	70 (485) 65 (450)	a ¾" dentro. Muros
A709	Grado36 Grado 50 Grado 50W Grado 70W Grado 100 & 100W Grado 100 &100W	36 (250) 50 (345) 50 (345) 70 (485) 90 (620) 100 (690)	58 - 80 (400-550) 65 (450) 70 (485) 90-110 (620-760) 100-130 (690-895) 110-130 (760-895)	a 4" (100) a 4" (100) a 4" (100) a 4" (100) de 2½ a 4" (64-102) a 2½" (64)
A852		70 (485)	90-110 (620-760)	a 4" (100)
A913	Grado 60 Grado 65 Grado 70	60 (415) 65 (450) 70 (485)	75 (520) 80 (550) 90 (620)	Todo

- Todos los aceros enlistados están aprobados bajo la especificación AISC, excepto el A611 y el A709.



2.2 PROPIEDADES DE LOS ACEROS ESTRUCTURALES

Las propiedades físicas de varios tipos de acero y de cualquier aleación de acero dada a distintas temperaturas dependen principalmente de la cantidad del carbono presente y en como es distribuido en el hierro. Antes del tratamiento de calor la mayoría de los aceros tienen una mezcla de 3 sustancias, ferrita, perlita y cementita. La dureza depende de las variaciones de calor, y de las proporciones de estos 3 ingredientes.

Para el tratamiento calorífico del acero se hace un proceso básico, que es el de endurecer el acero que consiste en la calefacción del metal a una temperatura a la que el austenita se forma, normalmente aproximadamente de 760 a 870 °C, y entonces se refresca bruscamente en agua o aceite.

Para comprender el comportamiento de las estructuras de acero, es absolutamente esencial que el diseñador esté familiarizado con las propiedades del acero. Los diagramas esfuerzo-deformación presentan una parte valiosa de la información necesaria para entender cómo será el comportamiento del acero en una situación dada. No pueden ser desarrollados métodos de diseño satisfactorios a menos que se cuente con información disponible correspondiente a las relaciones esfuerzo-deformación del material a utilizarse.

Si una pieza laminada de acero estructural se somete a una fuerza de tensión, comenzará a alargarse. Si la fuerza de tensión se incrementa en forma constante, el alargamiento aumentará constantemente, dentro de ciertos límites. En otras palabras, el alargamiento se duplicará si, por ejemplo, el esfuerzo aumenta de 6,000 a 12,000 psi (libras por pulgada cuadrada) (de 420 a 840 kg/cm²). Cuando el esfuerzo de tensión alcanza un valor aproximadamente igual a la mitad del esfuerzo en la ruptura, el alargamiento empezará a incrementarse en una proporción mayor que el correspondiente al incremento de esfuerzo.

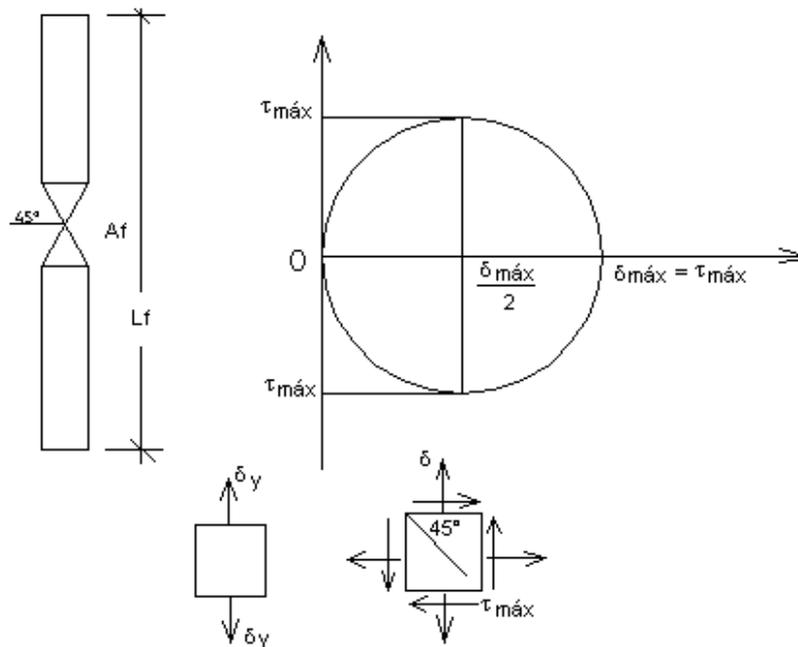
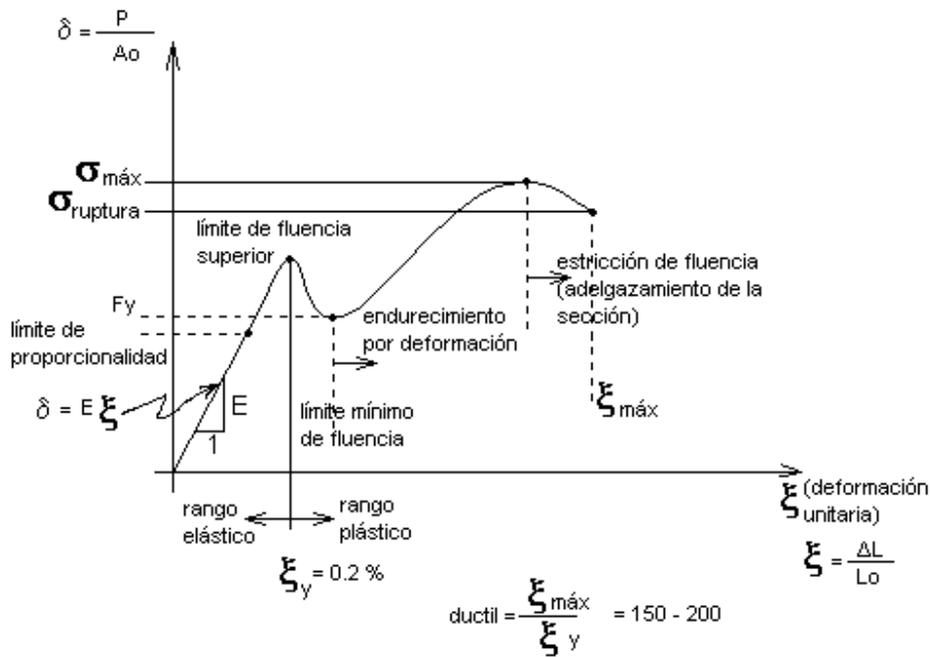
El mayor esfuerzo para el cual tiene aplicación la Ley de Hooke, o el punto más alto sobre la porción de línea recta del diagrama esfuerzo-deformación, es el llamado límite de proporcionalidad. El mayor esfuerzo que puede soportar el material sin ser deformado permanentemente es llamado límite elástico. En realidad, este valor es medido en muy pocas ocasiones y, para la mayor parte de los materiales de ingeniería, incluyendo el acero estructural, es sinónimo de límite de proporcionalidad. Por tal motivo, algunas veces se usa el término límite elástico de proporcionalidad.

Al esfuerzo que corresponde un decisivo incremento en el alargamiento o deformación, sin el correspondiente incremento en esfuerzo, se conoce por límite de fluencia. Este es también el primer punto, sobre el diagrama esfuerzo-deformación (gráfica 2.2), donde la tangente a la curva es horizontal. Probablemente el punto de fluencia es para el proyectista la propiedad más importante del acero, ya que los procedimientos para diseñar elásticamente están basados en dicho valor (con excepción de miembros sujetos a compresión, donde el pandeo puede ser un factor). Los esfuerzos permisibles usados en estos métodos son tomados usualmente como una fracción (%) del límite de fluencia. Más allá de tal límite, existe una zona en la cual ocurre un considerable incremento en la deformación, sin incremento en el esfuerzo. La deformación que ocurre antes del punto de fluencia, se conoce como deformación elástica; la deformación que ocurre después del punto de fluencia, sin incremento en el esfuerzo, se conoce como deformación plástica. El valor total de esta última, es usualmente de diez a quince veces el valor de la deformación elástica total.



GRAFICA 2.2 RELACION ESFUERZO-DEFORMACION DEL ACERO

Sea una barra de acero al bajo carbono (A-36) sujeta a tensión con sección circular.





Todos los elementos de distintos materiales a nivel molecular fallan a cortante.

Si graficamos para cada valor de esfuerzo alcanzando

Su deformación unitaria real

$$\epsilon = \frac{\Delta L_i}{L_i}$$

Podría suponerse que la fluencia del acero, sin incremento de esfuerzo, es una seria desventaja, pero actualmente es considerada como una característica muy útil. A menudo ha desempeñado el admirable servicio de prevenir fallas debidas a omisiones o errores de diseño. Pudiera ser que un punto de la estructura de acero dúctil alcanzara el punto de fluencia, con lo que dicha parte de la estructura cedería localmente, sin incremento del esfuerzo, previniendo así una falla prematura. Esta ductilidad permite que los esfuerzos de la estructura de acero puedan reajustarse. Otro modo de describir este fenómeno es diciendo que los muy altos esfuerzos causados durante la fabricación, montaje o carga, tenderán a uniformarse y compensarse por sí mismos. También debe decirse que una estructura de acero tiene una reserva de deformación plástica que le permite resistir sobrecargas y choques súbitos.

Si no tuviera esa capacidad, podría romperse bruscamente, como sucede con el vidrio y otros materiales semejantes.

Siguiendo a la deformación plástica, existe una zona donde es necesario un esfuerzo adicional para producir deformación adicional, que es llamada de endurecimiento por deformación (acritud). Esta porción del diagrama no es muy importante para el diseñador actual. Un diagrama esfuerzo-deformación para acero dulce estructural, que es bien conocido. Sólo se muestra la parte inicial de la curva por la gran deformación que ocurre antes de la falla. En la falla de los aceros dulces, las deformaciones totales son del orden de 150 a 200 veces las deformaciones elásticas. En realidad, la curva continuará hasta el esfuerzo correspondiente a la resistencia final y luego descenderá, "le saldrá cola", antes de la ruptura. Se presenta una aguda reducción (llamada "estrangulamiento", cuello o extricción), en la sección transversal del miembro, seguida de la ruptura.

La curva esfuerzo-deformación es una curva típica de un acero usual dúctil de grado estructural y se supone que es la misma para miembros en tensión o en compresión. (Los miembros en compresión deben ser cortos, ya que si son largos la compresión tiende a pandearlos lateralmente, y sus propiedades se ven afectadas grandemente por los momentos flexionantes.) La forma del diagrama varía con la velocidad de carga, el tipo de acero y la temperatura. Se muestra, con línea interrumpida, una variación del tipo mencionado, indicándose el límite superior de fluencia. Esta forma de la curva esfuerzo-deformación, es el resultado de aplicar rápidamente la carga al acero estructural laminado, en tanto que el límite inferior de fluencia corresponde a carga aplicada lentamente.

Una propiedad muy importante de una estructura que no haya sido cargada más allá de su punto de fluencia, es que recuperará su longitud original cuando se le retire la carga. Si se hubiere llevado más allá de este punto, sólo alcanzaría a recuperar parte de su dimensión original. Este conocimiento conduce a la posibilidad de probar una estructura existente mediante carga, descarga y medición de deflexiones. Si después de que las cargas se han retirado, la estructura no recobra sus dimensiones originales, es porque se ha visto sometida a esfuerzos mayores que su punto de fluencia.

Un diagrama típico de esfuerzo-deformación para un acero frágil; Tal material muestra muy poca deformación permanente al fracturarse. Desgraciadamente, la baja ductibilidad o fragilidad es una propiedad asociada comúnmente con las altas resistencias de los aceros (aunque no necesariamente limitada a aceros de alta resistencia). Es de desearse el tener tanta resistencia, como ductibilidad en el acero, pero el diseñador habrá de decidir entre estos dos extremos o por un término medio conveniente.



Un acero frágil puede fallar repentinamente por sobrecarga, o durante el montaje es posible la falla debido a impacto por golpes durante el proceso de montaje.

En las estructuras de acero diseñadas en el pasado, y en la mayoría de las que actualmente se diseñan, se han usado y usan los llamados métodos de diseño elástico. El diseñador estima la “carga de trabajo”, o cargas que la estructura posiblemente deba soportar, y dimensiona los miembros, sobre la base de ciertos esfuerzos permisibles. Estos esfuerzos permisibles son usualmente una fracción del esfuerzo en el límite de fluencia del acero. Aunque el término “diseño elástico” es utilizado comúnmente para describir este procedimiento, los términos diseño por esfuerzo permisible o diseño por esfuerzo de trabajo son en definitiva más apropiados. Muchas de las estipulaciones de las especificaciones para este método se basan realmente en el comportamiento plástico o en la capacidad última, más que en el comportamiento elástico.

La ductibilidad del acero ha sido usada como una reserva de resistencia, y la utilización de este hecho constituye la base de la teoría conocida como el diseño plástico. En este método las cargas de trabajo se estiman y multiplican por ciertos factores y los miembros se diseñan basándose en las resistencias a la falla o al colapso. Se usan también otros nombres para este método como son: diseño al límite o diseño a la falta o a la ruptura. Aunque sólo unos cuantos centenares de estructuras se han diseñado en el mundo por los métodos del diseño plástico, los profesionales se están moviendo decididamente en ese sentido. Esta tendencia se refleja particularmente en las últimas especificaciones de la AISC.

El ingeniero diseñador está bien enterado de que la mayor porción de la curva esfuerzo-deformación queda más allá del límite elástico del acero. Además, las pruebas realizadas durante años, han puesto en claro que los aceros dúctiles pueden resistir esfuerzos apreciablemente mayores que los correspondientes a su límite de fluencia, y que en casos de sobrecargas, las estructuras hiper-estáticas tienen la propiedad, feliz de redistribuir las cargas debido a la ductilidad del acero. Teniendo en cuenta esta información, se han hecho recientemente muchas proposiciones de diseño plástico. Es indudable que en algunos tipos de estructuras, el diseño por plasticidad conduce a la utilización más económica del acero, que la que se logra con el diseño por elasticidad.

Aceros Estructurales de acuerdo a la American Society of Testing Materials ASMT

- Aceros generales (A-36)
- Aceros estructurales de carbono (A-529)
- b.1 Bajo contenido de carbono (<0.15 %)
- b.2 Dulce al carbono (0.15 – 0.29 %)
- b.3 Medio al carbono (0.30 – 0.59 %)
- b.4 Alto contenido de carbono (0.6 – 1.7 %)
- Aceros estructurales de alta resistencia y baja aleación (Mo, V y Cr), (A-441 y A-572) aleación al 5 %.
- Aceros estructurales de alta resistencia y baja aleación, resistentes a la corrosión atmosférica (A-242, A-588).
- Acero templado y revenido (A-514).

A más resistencia de acero menor soldabilidad y más frágil, debido a su alto contenido de carbono.



VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ACERO COMO MATERIAL ESTRUCTURAL

➤ VENTAJAS

- **Alta resistencia:** la alta resistencia del acero por unidad de peso, permite estructuras relativamente livianas, lo cual es de gran importancia en la construcción de puentes, edificios altos y estructuras cimentadas en suelos blandos.
- **Homogeneidad:** las propiedades del acero no se alteran con el tiempo, ni varían con la localización en los elementos estructurales.
- **Elasticidad:** el acero es el material que más se acerca a un comportamiento linealmente elástico (Ley de Hooke) hasta alcanzar esfuerzos considerables.
- **Precisión dimensional:** los perfiles laminados están fabricados bajo estándares que permiten establecer de manera muy precisa las propiedades geométricas de la sección.
- **Ductilidad:** el acero permite soportar grandes deformaciones sin falla, alcanzando altos esfuerzos en tensión, ayudando a que las fallas sean evidentes.
- **Tenacidad:** el acero tiene la capacidad de absorber grandes cantidades de energía en deformación (elástica e inelástica).
- **Facilidad de unión con otros miembros:** el acero en perfiles se puede conectar fácilmente a través de remaches, tornillos o soldadura con otros perfiles.
- **Rapidez de montaje:** la velocidad de construcción en acero es muy superior al resto de los materiales.
- **Disponibilidad de secciones y tamaños:** el acero se encuentra disponible en perfiles para optimizar su uso en gran cantidad de tamaños y formas.
- **Costo de recuperación:** las estructuras de acero de desecho, tienen un costo de recuperación en el peor de los casos como chatarra de acero.
- **Reciclable:** el acero es un material 100 % reciclable además de ser degradable por lo que no contamina.
- **Permite ampliaciones fácilmente:** el acero permite modificaciones y/o ampliaciones en proyectos de manera relativamente sencilla.
- **Se pueden prefabricar estructuras:** el acero permite realizar la mayor parte posible de una estructura en taller y la mínima en obra consiguiendo mayor exactitud.

➤ DESVENTAJAS

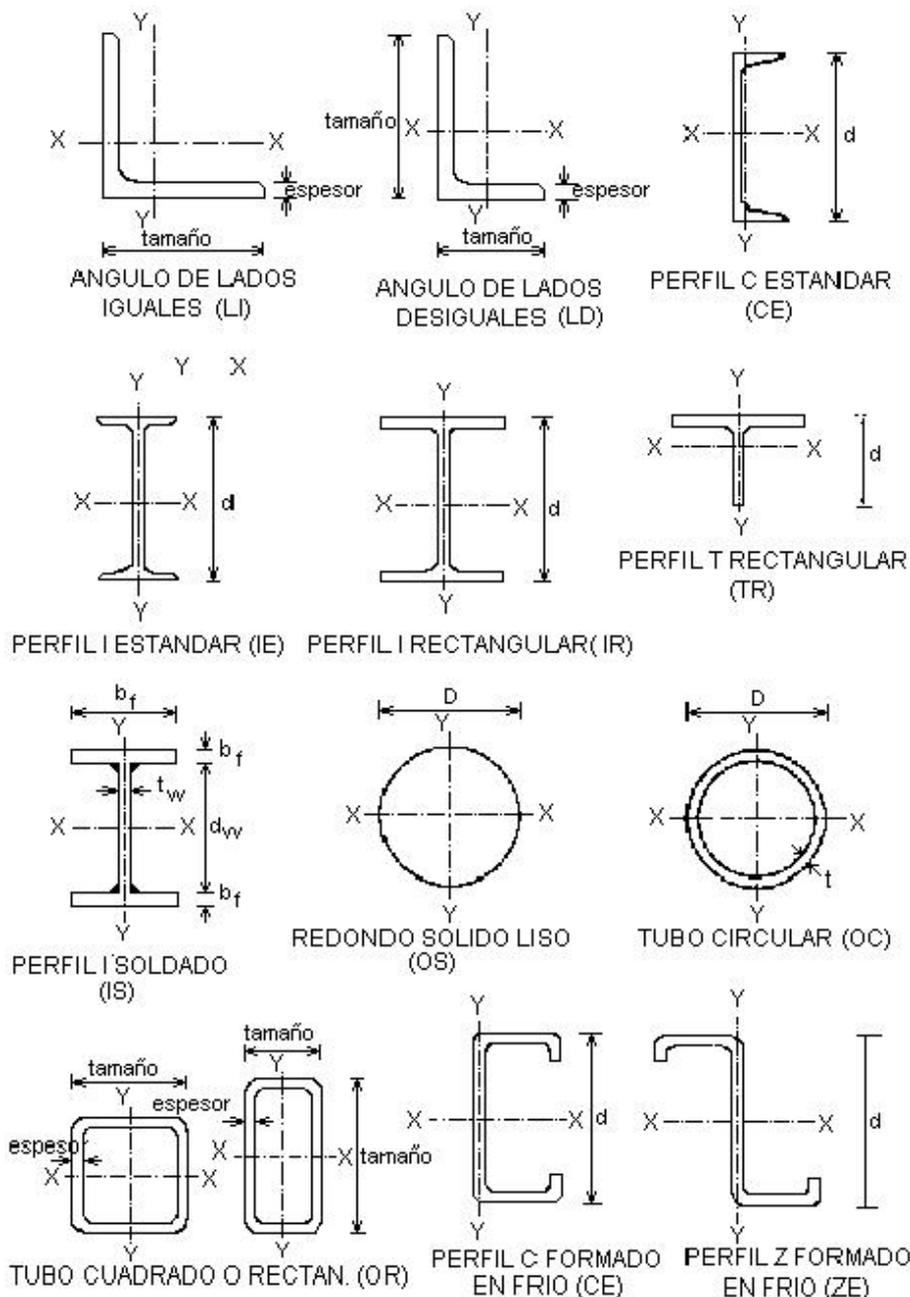
- **Corrosión:** el acero expuesto a intemperie sufre corrosión por lo que deben recubrirse siempre con esmaltes alquidáticos (primarios anticorrosivos) exceptuando a los aceros especiales como el inoxidable.
- **Calor, fuego:** en el caso de incendios, el calor se propaga rápidamente por las estructuras haciendo disminuir su resistencia hasta alcanzar temperaturas donde el acero se comporta plásticamente, debiendo protegerse con recubrimientos aislantes del calor y del fuego (retardantes) como mortero, concreto, asbesto, etc.
- **Pandeo elástico:** debido a su alta resistencia/peso el empleo de perfiles esbeltos sujetos a compresión, los hace susceptibles al pandeo elástico, por lo que en ocasiones no son económicos las columnas de acero.
- **Fatiga:** la resistencia del acero (así como del resto de los materiales), puede disminuir cuando se somete a un gran número de inversiones de carga o a cambios frecuentes de magnitud de esfuerzos a tensión (cargas pulsantes y alternativas).



2.3 SECCIONES DE PERFILES LAMINADOS:

El acero estructural puede laminarse económicamente en una variedad de formas y tamaños sin un cambio apreciable de sus propiedades físicas. Normalmente los miembros más ventajosos son aquellos que tienen grandes módulos de sección en proporción con sus áreas de sus secciones transversales. Las formas I, T, y canal, tan comúnmente usadas pertenecen a esta clase.

Los perfiles de acero se identifican por la forma de su sección transversal, como ejemplos están los ángulos, tes., zetas, y placas. Es necesario por tanto establecer una clara distinción entre las vigas estándar americanas (vigas I) y las vigas de patín ancho (vigas W), ya que ambas tienen sección en I. El lado interno de los patines de una viga W, puede ser paralelo al lado externo, o casi paralelo, con una pendiente máxima de 1:20, en la superficie interior dependiendo del fabricante.





CAPITULO 3

SOLDADURA

3.1 PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA.

La norma EA-95 autoriza para uniones de fuerza en estructuras de edificación los siguientes procedimientos:

1. Soldeo eléctrico manual; por arco descubierto con electrodo fusible revestido.
2. Soldeo eléctrico semiautomático o automático; por arco en atmósfera gaseosa con alambre electrodo fusible.
3. Soldeo eléctrico automático; por arco sumergido con alambre electrodo fusible desnudo.
4. Soldeo eléctrico por resistencia.

Otros procedimientos requieren norma especial.

- **Soldadura por fusión:** La acción del calor origina la fusión localizada de las piezas y estas se unen sin o con la aportación de otro material.
- **Soldadura por presión:** Las piezas se calientan hasta hacerse plásticas y luego se unen mediante una presión mecánica.
- **Soldadura automática:** El electrodo es continuo y desnudo; avanzando sumergido, de manera automática, en un polvo de protección; su principal cualidad es su uniformidad para cordones largos.
- **Soldadura semiautomática:**
- **Soldadura por arco:** Es el procedimiento más importante y casi exclusivamente utilizado para las estructuras metálicas. Las piezas se unen al provocarse un arco eléctrico entre ellas y un electrodo revestido que constituye el metal de aportación. El electrodo está sujeto a una pinza que sujeta al soldador, es el polo negativo, y el positivo son las piezas que se quieren unir; una buena soldadura depende de los siguientes factores:

1. Diámetro del electrodo.
2. Distancia del electrodo a las piezas para unir (tamaño del arco).
3. Velocidad de avance del electrodo (habilidad del soldador).
4. Temperatura en el proceso; de 3000 a 4000°C.

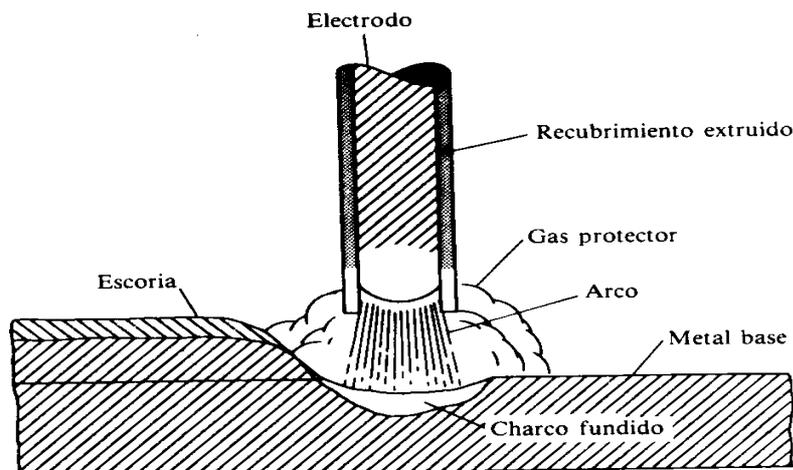


FIGURA 3.1



El gas producido por el revestimiento; protege al material en la parte exterior del cordón queda una capa externa de escoria; el gas hace que la escoria se pueda retirar fácilmente.

Se crea un arco eléctrico; que hace que el material vaya saltando y se crea el cordón de soldadura.

En el Structural Steel Welding Code de la ANSI/AWS D1. 1-88, se tienen ya especificados cuatro procesos de soldadura con arco eléctrico, que se les llama procesos "precalificados", por que ya fueron investigados y aprobado para su aplicación en estructuras de acero. Las diversas modalidades en esta protección son las que distinguen entre si a los cuatro procesos "precalificados" mas empleados, los cuales son:

1. **Soldadura de arco eléctrico con electrodo recubierto.** En este proceso la unión entre las partes por soldar se logra por medio del calor generado por un arco eléctrico que se forma entre la punta de un electrodo de metal recubierto y el metal base. No se emplea presión pero sí metal de relleno, que proviene de la fusión del electrodo y, en ocasiones, de partículas metálicas que forman parte del recubrimiento.

El calor del arco funde el metal base en la proximidad del electrodo, la varilla metálica y el recubrimiento; todo el metal fundido, el de las partes por unir y el que proviene de la varilla y de las partículas metálicas del recubrimiento, se mezcla, y al solidificarse, forma la soldadura que une las partes.

El recubrimiento del electrodo produce gases que protegen la atmósfera, al arco y al metal fundido, mejoran la conducción eléctrica a través del arco y ayudan a estabilizarlo, proporciona agentes fundentes y materiales que forman escorias que controlan la viscosidad del metal de soldadura y lo cubren mientras se solidifica, protegiéndolo de la oxidación, retrasando su enfriamiento y controlando la forma de la soldadura; también proporciona elementos al metal depositado que sustituyen a los consumidos parcialmente en el arco o contribuyen a la composición final de la soldadura.

Además, como se ve en la figura 3.2, el corazón metálico del electrodo se funde antes que el recubrimiento, de manera que sobresale y proporciona una protección adicional al arco.

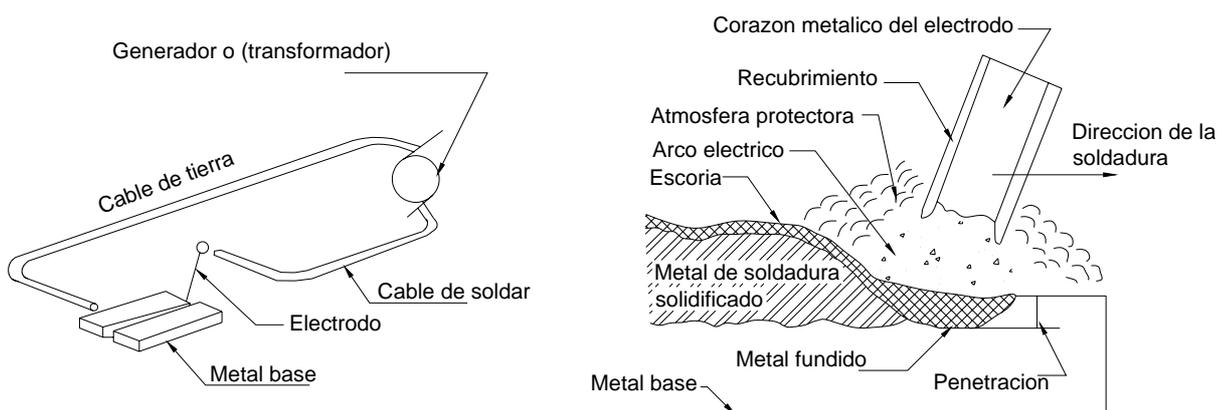


Fig. 3.2 Soldadura de arco eléctrico recubierto.



En la práctica este proceso se limita casi exclusivamente a soldadura manual, en la que el soldador manipula directamente el electrodo, pues si se emplean máquinas automáticas es difícil pasar la corriente a la varilla metálica a través del recubrimiento, que es aislante. En la soldadura manual el operador hace el contacto en el extremo superior del electrodo, que no está recubierto.

La figura 3.2 es una representación esquemática de una soldadura manual con electrodo recubierto. El arco produce un calor intenso que funde el metal por soldar, y se forma un charco enfrente de él; la punta del electrodo se funde al mismo tiempo, y el metal fundido, proveniente del corazón metálico del electrodo y, a veces, de su recubrimiento, es llevado hasta el charco, en forma de vapor o de gotas líquidas.

- 2. Soldadura de arco eléctrico sumergido.** La unión se logra por medio del calor producido por uno o varios arcos eléctricos formados entre uno o varios electrodos de metal y el metal base. La soldadura se protege con una capa de material granular fusible, al que se da el nombre de fundente, que se coloca sobre el metal. No se emplea presión; el material de relleno se obtiene del electrodo o electrodo y, a veces, del fundente (figura 3.3).

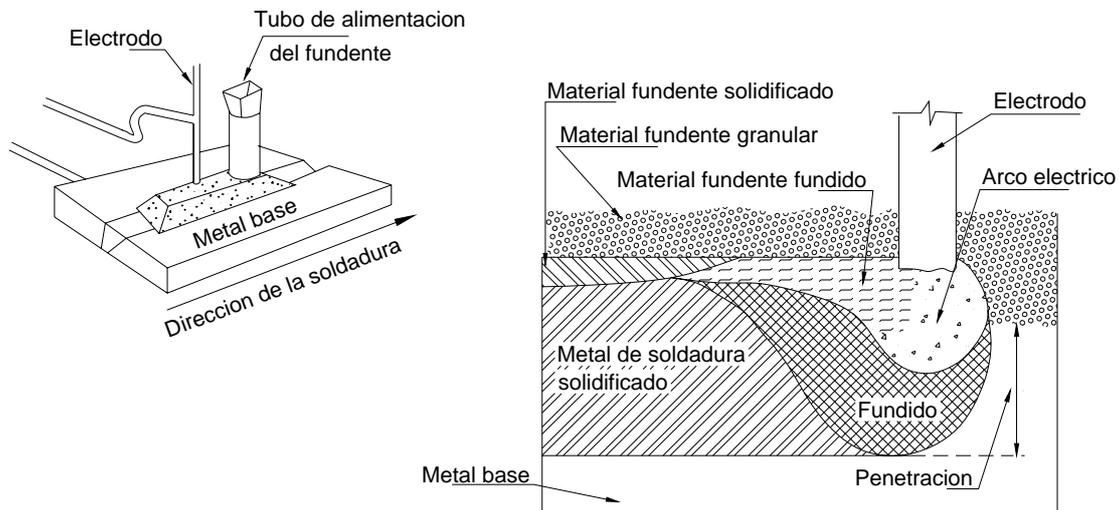


Figura 3.3 Soldadura de arco eléctrico sumergido

El arco eléctrico se genera por el paso de una corriente entre el extremo del electrodo y el metal base; el electrodo es un alambre enrollado que se alimenta en forma continua por medio de máquinas de soldar especiales, automáticas o semiautomáticas. El arco no se produce en el aire, como en la soldadura manual con electrodo recubierto, pues el extremo del electrodo está sumergido en el fundente, que se deposita en la junta antes de que llegue el alambre.

El calor producido por el arco funde el material granular que lo rodea y se forma un charco de escoria fundida, cubierto por el fundente sólido restante. El metal base y el de relleno que provienen del electrodo se funden también y, como son más pesados, desplazan la escoria líquida y se depositan sobre el metal base sólido, formando la soldadura. El fundente, que se alimenta en forma continua al adelantar el trabajo, cubre por completo el charco de acero fundido.



La soldadura de arco sumergido se caracteriza por el empleo de corrientes eléctricas y velocidades altas; pueden usarse electrodos de diámetro grande y corrientes de varios miles de amperes, lo que permite hacer soldaduras grandes en un solo paso, en vez de emplear pasos múltiples como en la soldadura manual. Se obtiene también una gran penetración, es decir, una fusión profunda debajo de la superficie original del metal base.

Los fundentes empleados como protección se hacen con diversas composiciones químicas, aunque los ingredientes son, en general, silicatos, a los que a veces se añaden metales en polvo que pasan a formar parte de la soldadura durante la fusión. Pueden escogerse diferentes combinaciones de metal de aportación y fundente, para obtener soldaduras con propiedades específicas. A diferencia de la soldadura manual con electrodo recubierto, que se utiliza en todas las posiciones, la automática o semiautomática de arco sumergido sólo puede hacerse en posiciones plana y horizontal.

- 3. Soldadura de arco eléctrico protegida con gases.** La unión de las partes por soldar se logra mediante el calor producido por un arco eléctrico que se forma entre un electrodo de metal y el metal base, el arco se protege con un gas. Pueden utilizarse o no presión y material de relleno.

El gas fluye de una copa invertida colocada alrededor del electrodo y protege a éste, al arco y al metal fundido, de los efectos adversos del oxígeno y el nitrógeno del aire. En un principio se utilizaban gases inertes, como el helio y el argón, pero en la actualidad se usa mucho el bióxido de carbono, sólo o mezclado con otros gases.

Los gases que son intercambiables, pues no afectan de la misma manera las características eléctricas del arco; el empleo de uno u otro depende de la composición del metal base, de su grueso, del tipo de equipo empleado y de otros factores de menor importancia.

El flujo de gas desplaza el aire de alrededor del arco evitando que se formen óxidos, lo que elimina la necesidad de usar fundentes. Puede utilizarse un electrodo permanente de metal (tungsteno, generalmente) o electrodo que se funde y proporcione metal de aportación; en este caso, el electrodo es un alambre continuo.

- 4. Soldadura de arco eléctrico con electrodo con núcleo fundente.** El metal de aportación se proporciona por medio de un electrodo tubular continuo que contiene, en su parte central, ingredientes que generan todo el gas necesario para proteger el arco, o parte de él; en el segundo caso se usa un gas auxiliar, que se introduce en el proceso de manera similar como se hace en la soldadura protegida con gases.

El fundente contenido en el núcleo del electrodo puede estar compuesto por minerales, ferro-aleaciones y materiales que producen gases protectores, desoxidantes y escorias para dar forma a la soldadura. Los materiales del núcleo promueven la estabilidad del arco y mejoran las propiedades mecánicas e a forma de la soldadura. Cuando se proporciona protección adicional externa, lo más común es usar gases ricos en bióxido de carbono.



METAL DE APORTACIÓN.

Al efectuar una soldadura se funde la región del metal base situada frente el electrodo, y el metal base fundido se mezcla con el de aportación, que se encuentra también en estado líquido; cuando, posteriormente, se solidifica la mezcla de los metales, une las dos partes entre las que se colocó el metal de aportación. Cuando se estudia esa zona de la junta, conocida con el nombre de “metal soldadura” (o por brevedad “soldadura”), ha de tenerse en cuenta que esta formada por metales base y de aportación fundidos, mezclados en estado líquido y solidificados; los dos componentes son factores importantes en las propiedades finales de la soldadura, que pueden ser poco o muy diferentes de las del metal base, puesto que la forman proporciones variables de ambos, y ha estado sometida a un ciclo térmico muy complejo.

Como el metal base no se puede cambiar, salvo en casos extremos, puesto que es material que debe unirse, es el de aportación el que proporciona una manera efectiva de controlar la composición final y las propiedades mecánicas de la soldadura.

La composición del metal base, que se funde y alea con el de aportación, es importante por que éste se diseña para producir una soldadura satisfactoria, cuyas características pueden ser afectadas de manera desfavorable por un exceso de metal base, y por que si los dos metales tienen composiciones muy diferentes la aleación resultante puede ser inadecuada. Los porcentajes de metal base y de aportación se modifican variando los parámetros del proceso, para que al soldar aumente o disminuya la cantidad de metal base fundido.

La ingeniería de la soldadura se simplificaría mucho si se pudiese obtener con facilidad un metal de soldadura que tuviese propiedades mecánicas y características físicas semejantes a las del metal base; para ello, puede parecer que basta con utilizar un metal de aportación con la misma composición química que el material que se está soldando, pero al hacerlo no se alcanza el objetivo buscado, debido a las propiedades muy especiales que adquiere el metal base al fundirse y volverse a solidificar. Además los electrodos de composición igual a la del material base pueden ser inadecuados para las condiciones de transferencia de metal fundido, exposición de atmósfera oxidante y enfriamiento rápido a que queda sometido el metal de aportación durante su colocación e inmediatamente después de ello. Todo esto es causa de que el metal de aportación deba tener una composición química especial.

Para elegir el metal de aportación más conveniente para soldar un acero determinado deben conocerse las propiedades de mayor importancia de la soldadura final.

En primer término se considera casi siempre la resistencia, que en la mayoría de los casos ha de ser igual a la del metal base. Esto es cierto en todas las soldaduras de penetración completa y conveniente en las de filete, aunque en pequeña reducción de la resistencia de estas últimas pueden compensarse, en general, con un aumento de tamaño o de longitud. En cambio, es poco común que se necesite soldadura apreciablemente más resistente que el metal base; esto puede ser, inclusive, inconveniente, pues los aumentos de resistencia están acompañados por reducciones de ductibilidad, que ocasionan concentraciones de esfuerzos indeseables en las soldaduras, incapaces de acompañar en su deformación al acero que las rodea. Por consiguiente, se considera deseable que la resistencia de la soldadura sea la misma que la del metal base, y casi todas las especificaciones requieren que la resistencia última en tensión de aquella sea igual al de éste, o al menos un porcentaje importante de ella.



Los electrodos utilizados para soldar acero se clasifican en función de su resistencia, y están diseñados para que depositen un metal que combinado con el metal base fundido posea ductibilidad y tenacidad adecuadas. Básicamente se tienen tres tipos de electrodos:

- **Electrodo desnudo:** Está constituido simplemente por una varilla metálica. El material fundido no se encuentra defendido contra los gases nocivos de la atmósfera interrumpiendo el arco con frecuencia. Se emplea para soldaduras de baja calidad.
- **Electrodos revestidos:** Están constituidos por una varilla metálica recubierta por un fundente adecuado. El revestimiento se funde con el arco dando origen a gases que protegen, de los gases de la atmósfera, al metal de aportación. También permite que las escorias se puedan separar fácilmente después de la soldadura. Los principales revestimientos son de tipo básico, celulósico, oxidante y ácido.
- **Electrodos con alma:** Están constituidos por una varilla metálica hueca rellena por un fundente adecuado. El revestimiento se funde con el arco dando origen a gases que protegen de los gases de la atmósfera al metal de aportación.

RELACIÓN ESPESOR-DIÁMETRO-INTENSIDAD.

Espesor chapas (mm)	Diámetro electrodos (mm)	Intensidad corriente (A)
2-4	2.5-3	60-100
4-6	3-4	100-150
6-10	4-5	150-200
>10	6-8	200-400

El metal de soldadura tiene otras muchas propiedades que pueden ser importantes, de acuerdo con la naturaleza de la estructura de la que forma parte y el servicio que vaya a prestar. Por ejemplo, si la estructura quedará expuesta a la intemperie, sin ninguna protección, su resistencia a la corrosión ha de ser igual que al del metal base, lo que no quiere decir que los dos metales tengan necesariamente la misma composición química, puesto que la soldadura toma del metal base una buena parte del elemento aleado que se utilizó para aumentar su resistencia a la corrosión, al grado de que con frecuencia se emplean electrodos ordinarios de acero dulce para soldar aceros aleados de alta resistencia escogidos por su buen comportamiento desde el punto de vista de la corrosión. En estructuras aparentes es también importante que las soldaduras y el metal base adquieran al mismo color al oxidarse.

Otros aspectos que pueden influir en la elección del electrodo son las propiedades de la soldadura resultante cuando trabaja a temperaturas bajas o muy elevadas, así como su comportamiento ante cargas repetidas.



3.2 JUNTAS Y CLASIFICACIÓN DE LA SOLDADURA.

En estructuras de acero se emplean los cinco tipos básicos de juntas soldadas, que se muestran en la figura 3.4, son:

- A tope
- Traslapadas
- En Té
- De esquina, y
- De Borde.

El uso de una u otra depende de numerosas consideraciones de diseño, entre las que se cuentan el tamaño y forma de los miembros estructurales que ocurren en la junta, las solicitaciones a que quedarán sujetos y los costos relativos.

Según la EA-95; para los procedimientos de soldeo eléctrico manual, soldeo eléctrico semiautomático y soldeo eléctrico automático las dos disposiciones fundamentales son:

- Soldaduras a tope con elementos en prolongación, en T o en L.
- Soldaduras de ángulo, en rincón, en solape, en esquina o en ranura.

En el procedimiento de soldeo eléctrico por resistencia, las disposiciones fundamentales son:

- Soldadura a tope con elementos en prolongación en T o en L.
- Soldadura por punto.

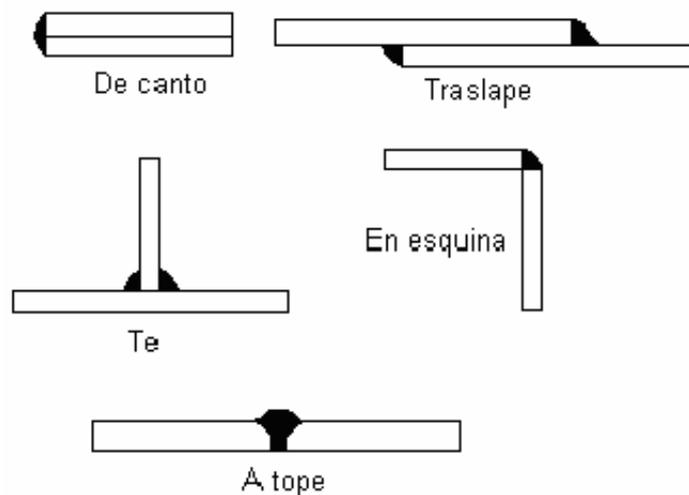


FIGURA 3.4

Cada una de las juntas básicas puede hacerse, en la mayoría de los casos, utilizando soldaduras de diversos tipos, por lo que no deben confundirse las designaciones “junta” y “soldadura”; las dos se necesitan para definir una conexión soldada, pero tienen significados diferentes.



Los cuatro tipos principales de soldaduras estructurales son (como se muestra en figura 3.5):

- Filete,
- Penetración
- Tapón y
- Ranura

Las soldaduras más comunes son las de filete y las de penetración.

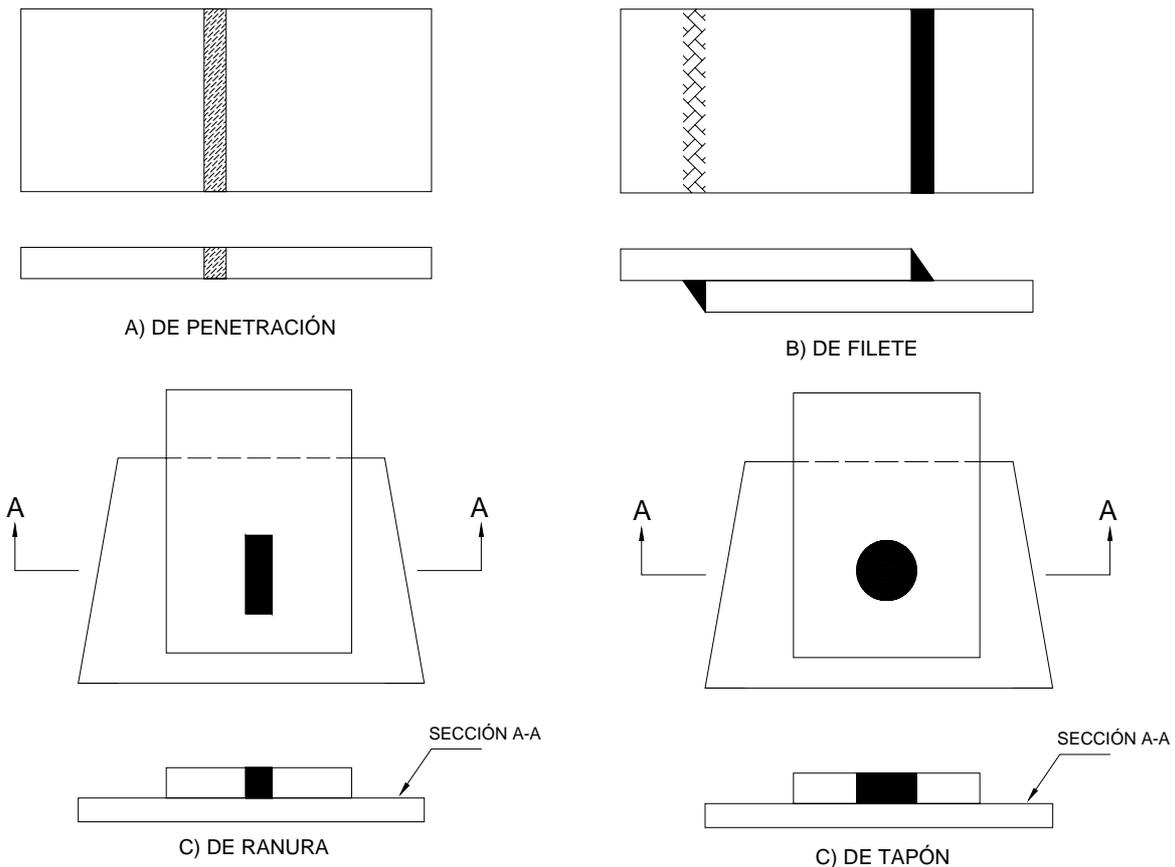


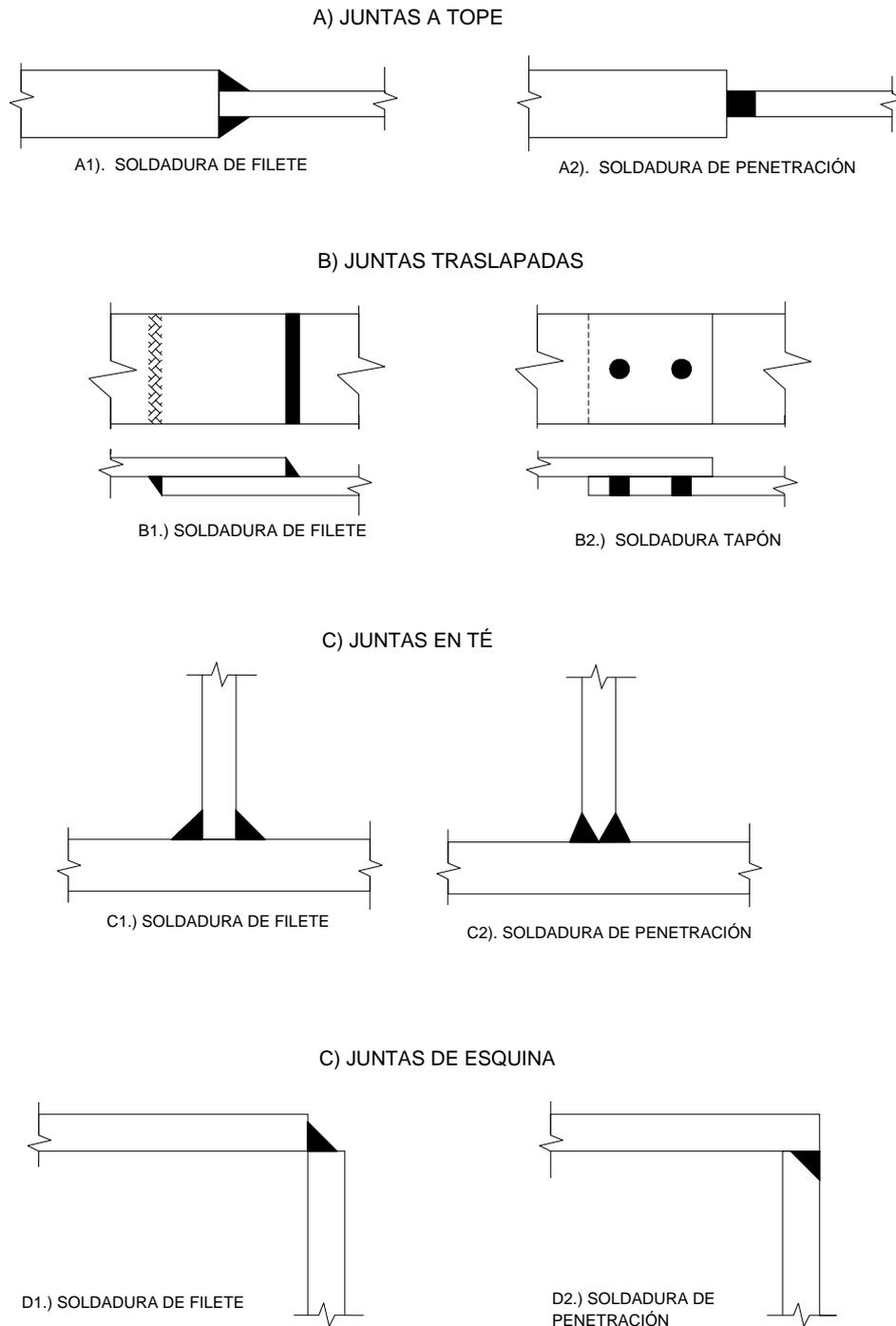
FIGURA 3.5: Principales Tipos de Soldaduras

- **Soldadura de filete:** Se obtienen depositando un cordón de metal de aportación fundido en el ángulo diedro formado por los bordes de dos piezas; el calor producido por el arco eléctrico funde también las zonas de las placas en contacto con él, los metales fundidos se mezclan y, cuando se produce la solidificación, se establece una liga entre las dos partes, Las secciones transversales de las soldaduras de filete son aproximadamente triangulares. Este tipo de soldadura sirve para unir dos piezas no alineadas entre sí; y por ser este caso muy común en la conexión de miembros estructurales, se emplea en el 80 % de los casos.
- **Soldadura de penetración:** Se obtienen depositando metal de aportación fundido entre los bordes de dos placas que pueden estar alineadas en un mismo plano; durante el proceso se funde parte del metal base, que se mezcla con el de aportación completa o incompleta, según que la fusión abarque todo o parte del espesor de las placas.



- **Soldadura de Tapón y Ranura:** Se hacen en placas traslapadas, rellenando con metal de aportación un agujero, circular o alargado, hecho en una de ellas, cuyo fondo está constituido por la otra.

FIGURA 3.6 Distintos tipos de soldadura utilizados para cada junta.





Las juntas a tope consiste en unir placas situadas en el mismo plano y del mismo espesor superiores a los 6 mm. o para soldar por ambos lados, hay que preparar los bordes, sólo pueden hacerse con soldaduras de penetración; en las traslapadas se pueden utilizar filetes, tapones o ranuras, y en las juntas en té o en esquina de penetración o de filete, lo mismo que en juntas a tope entre placas de espesores muy diferentes(figura 3.6). Las juntas de borde no son estructurales; se utilizan para dar acabado adecuado o impedir el paso de líquidos o humedad entre dos placas

➤ SOLDADURA DE FILETE

En la figura 3.7, se muestran las secciones transversales más comunes en soldaduras de filete, y se indican los nombres de cada una de sus partes.

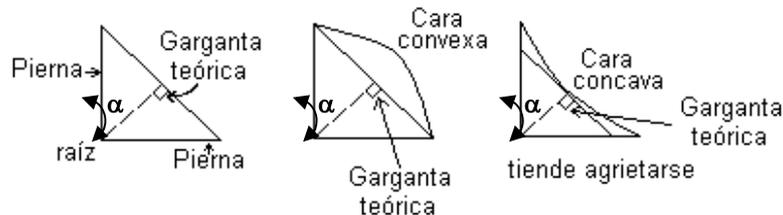
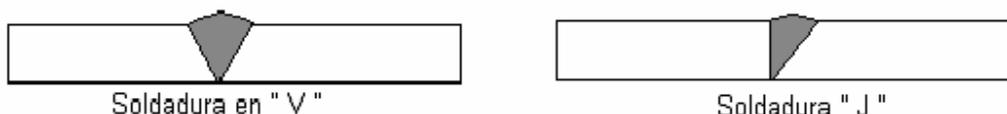


Figura 3.7. Características geométricas de una soldadura de filete

El ángulo α que forman los dos planos entre los que se deposita la soldadura es, en general, de 90° (para los casos, poco comunes, en que el ángulo no es recto, se permite el empleo de soldaduras de filete para valores comprendidos entre 135° y 60°), y el triángulo inscrito en la sección transversal suele ser isósceles, aunque a veces se hacen soldaduras de piernas desiguales; en este caso el tamaño de la garganta sigue siendo la distancia más corta entre la raíz y la hipotenusa del triángulo inscrito.

Existen dudas sobre las ventajas y desventajas de la cara de sección convexa y cóncava, pero se suele considerar que la sección convexa es preferible en estructuras con carga estática, y que la cóncava es más eficiente cuando la carga es dinámica y la fatiga una consideración de diseño, pues proporciona una transición gradual entre las partes unidas y evita, o al menos reduce las concentraciones de esfuerzos en los bordes de los cordones. Las soldaduras más comunes tienen la cara exterior ligeramente convexa; las cóncavas se utilizan sólo en casos especiales.

- **SOLDADURA DE PENETRACIÓN (RANURA):** Se obtienen depositando metal de aportación entre los bordes de dos placas que pueden estar alineadas en el mismo plano.
- **Penetración Completa:** En una soldadura de penetración completa el metal de aportación debe tener acceso a todo el espesor de las piezas que se están uniendo, puesto que han de quedar ligadas entre sí en toda el área de la sección transversal;





- **Penetración Parcial:** Se presenta cuando la soldadura no penetra totalmente las placas, o cuando una placa es más delgada que la otra. Si la soldadura es de penetración incompleta debe obtenerse el grado de penetración deseado. Esta soldadura se prefiere cuando las placas o elementos planos deben quedar en el mismo plano.

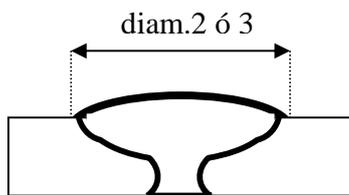


Soldadura en "Y"



Soldadura en "Y"

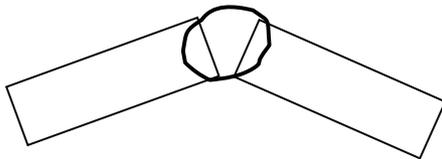
- **A TOPE EN PROLONGACIÓN.** El objetivo de la soldadura a tope es conseguir una penetración completa y que constituya una transición lo más perfecta posible entre los elementos soldados.



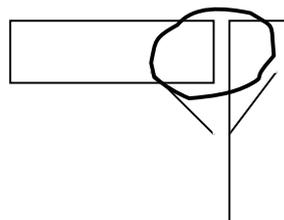
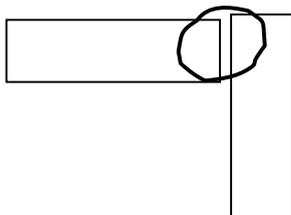
En U



En doble U

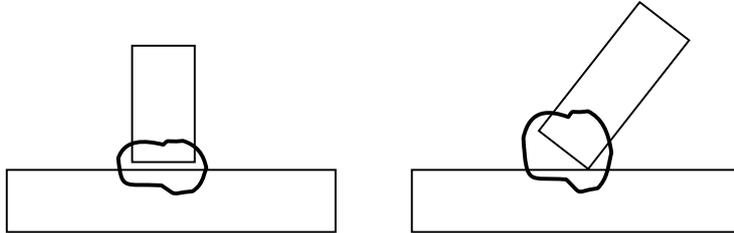


- **Soldadura a Tope en L**

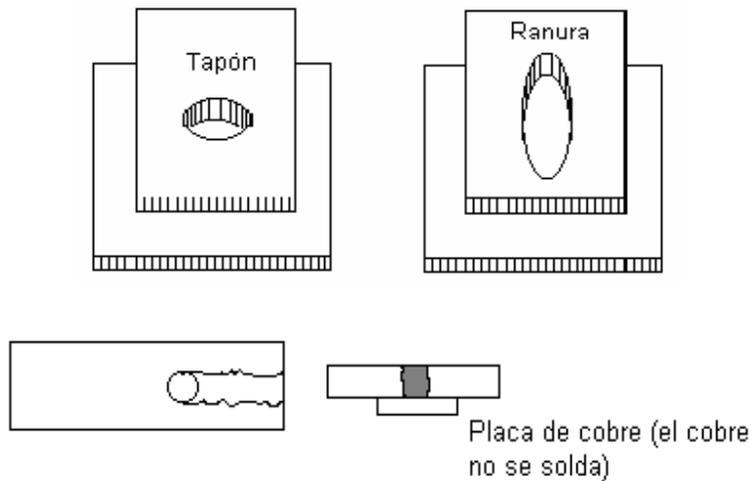




➤ **Soldadura a Tope en T**



- **SOLDADURAS DE TAPÓN Y RANURA:** Se hacen en placas traslapadas, rellenando por completo con metal de aportación un agujero circular (tapón) o alargado (ranura) hecho en una de ellas y teniendo como fondo la otra placa.



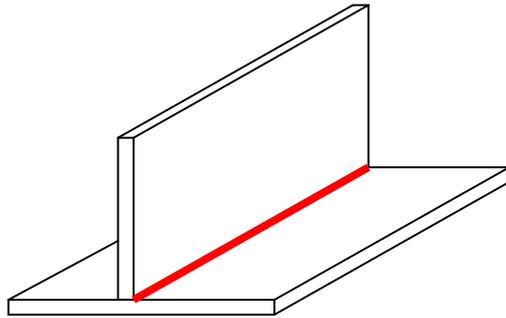
Se emplean cuando la longitud de filete no es suficiente para proporcionar toda la resistencia de la conexión. Forman aproximadamente el 5 % de las estructuras metálicas.



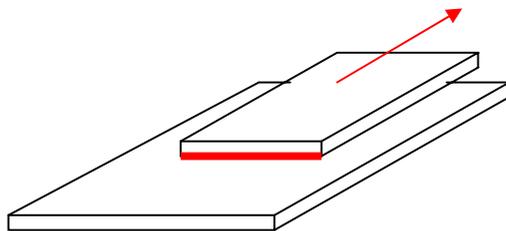
SOLDADURA EN ÁNGULO.

Consiste en unir dos placas situadas en distinto plano bien ortogonales o superpuestas; los tipos de cordones con relación a su posición respecto a la fuerza que van a soportar es la siguiente:

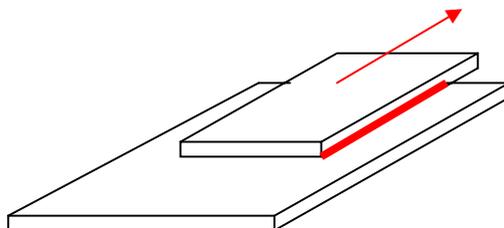
1. Cordón de ángulo; placas ortogonales.



2. Cordón frontal, su dirección es normal a la fuerza.

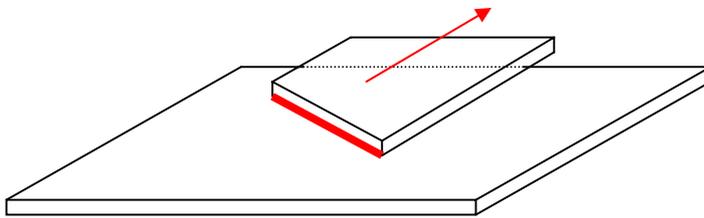


3. Cordón lateral; su dirección es paralela a la fuerza.

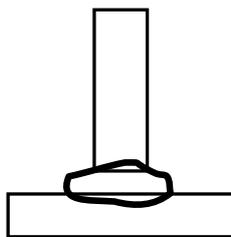




4. Cordón oblicuo; su dirección en oblicua a la fuerza



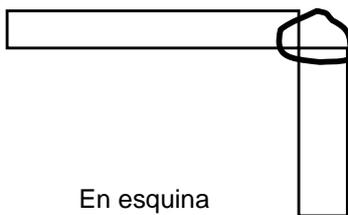
La soldadura de ángulo nos la podemos encontrar en rincón, en solape, en esquina y por puntos.



En rincón



En solape



En esquina



Pos Puntos



POR SU POSICIÓN.

Desde el punto de vista de la posición que ocupa el operario con respecto a la junta durante la ejecución de las soldaduras, éstas se clasifican en soldaduras de posición:

- Plana
- Horizontal
- Vertical, o
- Sobre cabeza.

Se considera que una soldadura se efectúa en posición plana cuando el metal de aportación se deposita desde el lado superior a la junta, y la cara visible de la soldadura es aproximadamente horizontal, como se muestra en la figura 3.8.

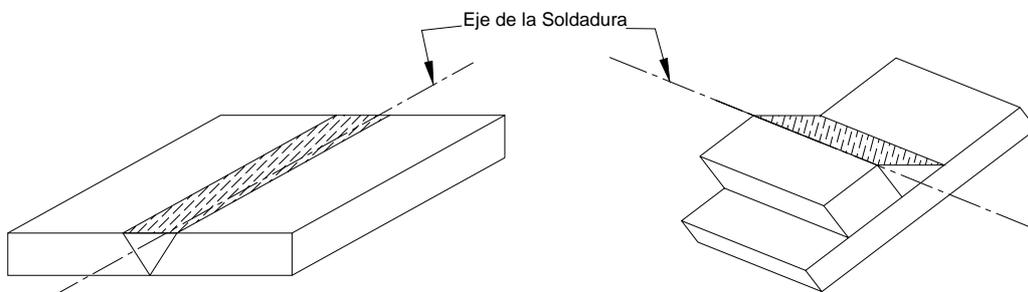


Figura 3.8 Soldadura en Posición Plana

En una soldadura de filete en posición horizontal el metal de aportación se coloca sobre una superficie horizontal y contra otra vertical; en el caso común de un filete de lados iguales la inclinación de la cara exterior es de 45° . Si la soldadura es de penetración, su eje es una recta horizontal, y la carga exterior ocupa un plano vertical (FIG. 3.9).

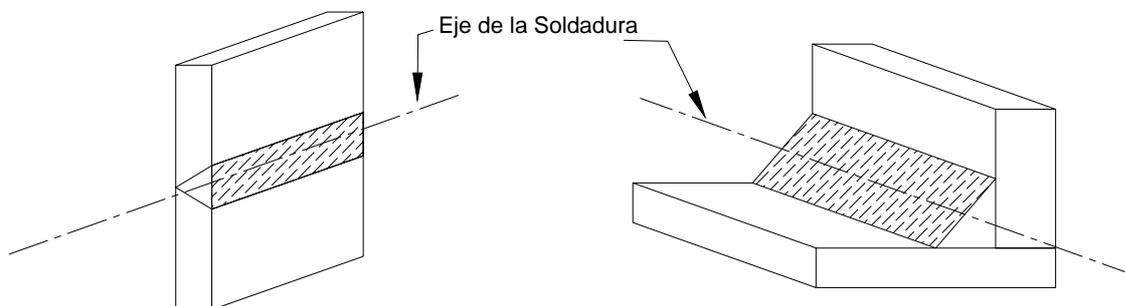


Figura 3.9 Soldadura en Posición Horizontal



La posición vertical es aquella en la que el eje de la soldadura es una recta vertical, y en las soldaduras sobre cabeza el metal de aportación se coloca desde la parte inferior de la junta. Las soldaduras verticales se depositan de abajo hacia arriba, excepto en juntas entre elementos tubulares en las que se puede soldar hacia arriba o hacia abajo (figura 3.10).

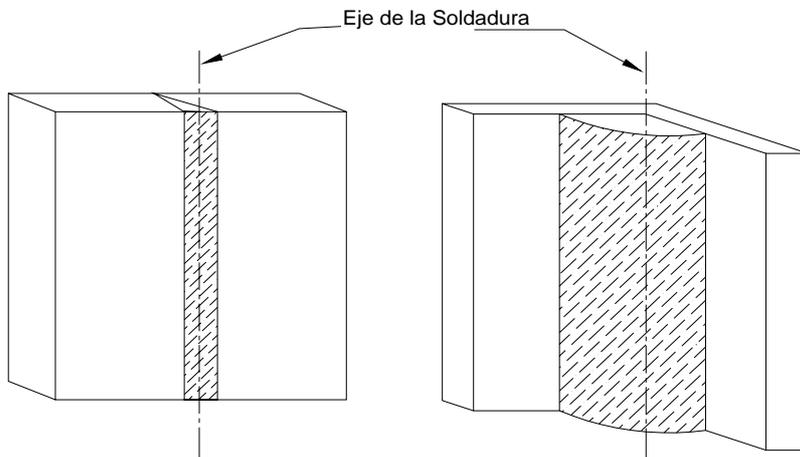


Figura 3.10 Soldadura en Posición Vertical

La importancia de la posición en que se efectúan las soldaduras estriba en que no todas se hacen con la misma facilidad. Las soldaduras más fáciles, en las que los rendimientos de electrodo y soldador son máximos, y se reducen a un mínimo las posibilidades de que haya defectos, son las que se hacen en posición plana, mientras que las más difíciles son las depositadas sobre cabeza; por lo tanto, las estructuras deben diseñarse y fabricarse de manera que la mayor parte de las soldaduras, tanto de taller como de campo, se efectúen en posición plana, mientras que las soldaduras sobre cabeza deben evitarse, o limitarse a casos excepcionales. La soldadura sobre cabeza no debe utilizarse en Taller (fig. 3.11.)

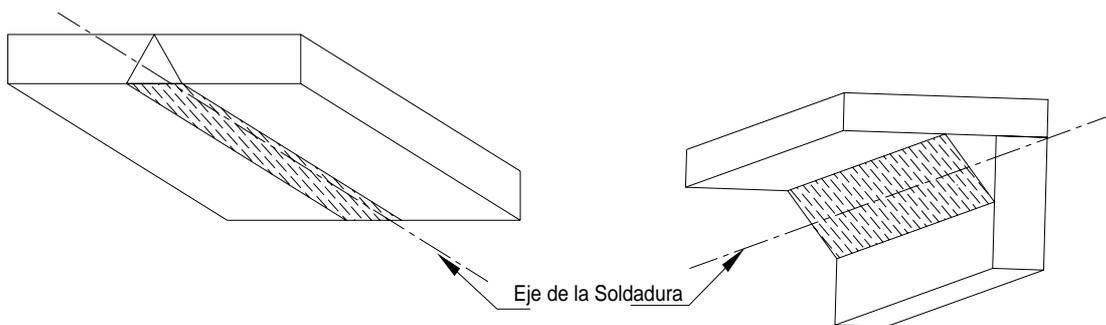


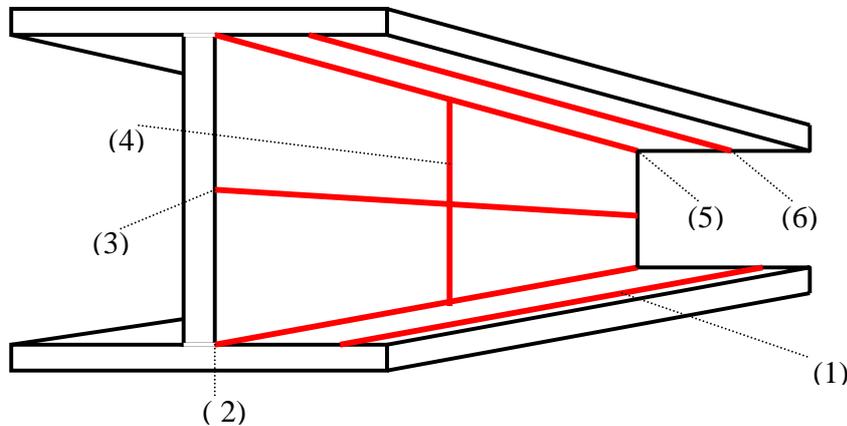
Figura 3.11 Soldadura Posición Sobre Cabeza

Las soldaduras manuales efectuadas al arco eléctrico con electrodo recubierto, las protegidas con gases y las hechas con electrodos con núcleo fundente, pueden depositarse en cualquier posición, pero se recomienda que siempre que sea posible se hagan en posición plana. Las soldaduras de arco sumergido se deben hacer siempre en posición plana.

Las soldaduras verticales y sobre cabeza presentan más dificultades que las planas u horizontales, cuando se hacen bien tienen la misma resistencia, por lo que no se penalizan con ninguna reducción en capacidad de carga, sin embargo, pueden incrementar el costo de la estructura en forma apreciable.



CLASIFICACIÓN DEL CORDÓN DE SOLDADURA SEGÚN LA POSICIÓN.



1. **Cordón plano:** Su superficie es horizontal y el material de aportación se vierte desde arriba.
2. **Cordón en ángulo horizontal:** Une un plano horizontal con otro vertical y su dirección es horizontal.
3. **Cordón horizontal:** Se sitúa en un plano vertical y su dirección es horizontal.
4. **Cordón vertical:** Su dirección es vertical.
5. **Cordón de cabeza en ángulo:** En un plano horizontal pero por su cara inferior.
6. **Cordón de techo a tope:** Se sitúa en un plano horizontal; pero por su cara inferior igualmente.

Durante los procesos de soldadura, existen grandes desprendimientos de calor, que dan lugar a dilataciones de la pieza y a las posteriores contracciones durante el período de enfriamiento, impedida por el resto del material base, lo cual origina la aparición de tensiones internas y deformaciones en las piezas, estas tensiones de tracción son proporcionales a la longitud de soldadura. El estado de tensiones es triaxial; pero lo más importante son las tensiones longitudinales.

Las tensiones triaxiales pueden originar roturas sin deformación, por ello se deben evitar los cruces de tres cordones.

Para reunir en una junta las características buscadas han de satisfacerse varias condiciones simultáneas, relativas a su geometría (grosor, y posición de las partes por unir, estado en que se encuentran sus bordes), al proceso utilizado para depositar el metal de aportación, y a la capacidad del operario para emplearlo satisfactoriamente; en muchos casos, la única manera de saber si se cumplen esos requisitos consiste en hacer varias juntas en condiciones análogas a las que se tendrán en la estructural real, y someterlas a pruebas, no destructivas y destructivas, para determinar su calidad.

Existen un número considerable de tipos de juntas que han demostrado su eficiencia en repetidas pruebas de laboratorio y en su empleo durante años, si son efectuados por operarios capacitados y se usan los electrodos y proceso adecuados, estos son los llamados procesos "precalificados" y se emplean sin necesidad de efectuar pruebas previas.



SIMBOLOGÍA PARA UNIONES SOLDADAS AWS

Las especificaciones de la American Institute of Steel Construction (AISC), en que se basan la Especificaciones IMCA, y el Código de Soldadura Estructural de la American Welding Society (AWS), exigen el requisito de pruebas y calificación a la mayor parte de las uniones soldadas en columnas de estructuras de acero. Estas uniones exentas son las denominadas precalificadas. La precalificación de la AWS de una unión soldada se basa en la experiencia de que puede lograrse que el metal depositado en una soldadura sea sano y con propiedades mecánicas adecuadas, siempre que el trabajo sea efectuado de acuerdo con todas las disposiciones aplicables del Código de Soldadura Estructural.

Entre las disposiciones que deben aplicarse se encuentran los requisitos relativos a la forma y geometría de las uniones. Cada unión junta hacerse con el proceso para el que fue precalificado, y además cumplirse con los requisitos geométricos como abertura de raíz y ángulo de inclinación de los biselados, deben satisfacerse todas las condiciones referentes a tamaño de electrodo, amperaje, voltaje, etc.

La precalificación solo indica que es factible depositar metal sano de soldadura, fusionado con el metal base. No puede asegurarse, mediante la sola selección de la forma de unión precalificada, que sea adecuada a determinada unión para una aplicación en particular. Para diseñar y detallar correctamente estructuras soldadas, tienen que tomarse en cuenta diversos factores, tales como la magnitud, tipo y distribución de las fuerzas a transmitir, la facilidad de depósito de soldadura, la limitación de la deformación por contracción de la soldadura, espesor de los materiales por unirse, el efecto de los esfuerzos residuales producidos por la soldadura en el material base, distorsiones, etc.

En general, todas las soldaduras de filete se consideran precalificadas, siempre que se cumplan con la NOM H-172 y con las especificaciones IMCA.

Estas uniones precalificadas se suelen designar en abreviaturas por sus iniciales en inglés:

- **SMAW** = Soldadura Manual de Arco Eléctrico con Electrodo recubierto.
- **SAW** = Soldadura de Arco Eléctrico Sumergido.
- **GMAW** = Soldadura de Arco Eléctrico Protegido con Gases (excepto transferencia de metal por cortocircuito), y
- **FCAW** = Soldadura de Eléctrico con Electrodo con Núcleo de Fundente.

Se permiten pequeñas desviaciones de las dimensiones, ángulos de las preparaciones y variación en la profundidad de las uniones de ranura, siempre que se mantengan éstas dentro de las tolerancias señaladas. Pueden emplearse otras formas de unión y procedimientos de soldadura siempre que sean sometidas a prueba y calificadas de acuerdo con la NOM H-172.

La mayor parte de las uniones precalificadas que se muestran también son aplicables en la construcción de puentes.



Las soldaduras de ranura se clasifican de la siguiente manera:

1. Símbolos de tipo de unión:

- **B** : Unión a tope.
- **C** : Unión en esquina.
- **T** : Unión en T.
- **BC**: Unión a tope o en esquina.
- **TC**: Unión en T o en esquina.
- **BTC**: Unión a tope, en T o en esquina.

2. Símbolos para el espesor de metal base y penetración:

- **L** : Espesor limitado, unión de penetración completa.
- **U** : Espesor no limitado, unión de penetración completa.
- **P** : Unión de penetración parcial.

3. Símbolos para los tipos de soldadura:

1. Ranura cuadrada
2. Ranura V simple
3. Ranura V doble
4. Ranura de chaflán simple
5. Ranura de chaflán doble
6. Ranura U simple
7. Ranura U doble
8. Ranura J simple
9. Ranura J doble

4. Símbolos de proceso de soldadura:

Si la soldadura no es manual de arco protegido (SMAW), entonces es:

- **S** : Soldadura de arco sumergido (SAW).
- **G** : Soldadura de arco gas-metal (GMAW).
- **F** : Soldadura de arco con núcleo fundente (FCEW).

5. Símbolos de posiciones para soldar:

- **F** : Plana
- **H** : Horizontal
- **V** : Vertical
- **OH** : Sobre Cabeza



6. Las letras minúsculas, a, b, c, etc. Se usan para diferenciar las uniones que, sin ellas, tendrían la misma designación.

NOTAS SOBRE UNIONES SOLDADAS PRECALIFICADAS

- A : No calificada para soldadura de arco gas-metal que se transferencia por corto circuito.
- B : Uniones soldadas desde un lado.
- Br : En puentes se limita el uso de estas uniones a posición horizontal.
- C : Vaciar la raíz de la unión hasta encontrar metal sano, antes de soldar el otro lado.
- E : Espesor mínimo de garganta efectiva (E) como se muestra en las especificaciones IMCA, (S) como se muestra en el dibujo.
- J : Si en estructuras de edificios se utilizan soldaduras de filete como refuerzo de soldaduras de ranura de uniones en esquina o en T, deberán ser iguales a $\frac{1}{4} T_1$, sin que sea necesario que pasen de 10 mm, en puentes, este refuerzo es obligatorio.
- J² : Si en estructuras de edificios se utilizan soldaduras de filete como refuerzo de soldaduras de ranura de uniones en esquina o en T, deberán ser iguales a $\frac{1}{4} T_1$, sin que pasen de 10 mm.
- L : Las uniones a tope y en T no están precalificadas para puentes.
- M : Las soldaduras de doble ranura pueden tener ranuras de diferentes profanidades, pero la profundidad de la ranura más pequeña no será menor que cuarta parte del espesor del material unido más delgado.
- Mp : Las soldaduras de doble ranura pueden tener ranuras de diferentes tamaños, siempre que cumplan con las limitaciones de la nota E . Asimismo, la garganta efectiva (E), menos las reducciones correspondientes, se aplica a cada una de las ranuras.
- N : La orientación de los dos miembros de la unión puede variar entre 135° y 180°, siempre que la configuración básica de la unión (ángulo de ranura, frente de raíz, abertura de raíz) no cambie y se conserve el espesor de garganta de diseño.
- Q : En uniones en esquina y en T, puede cambiarse la orientación del miembro, siempre que se conserve el ángulo especificado de la ranura.
- Q² : Puede cambiarse la orientación del miembro, siempre que se conserven las dimensiones de ranura especificadas.
- R : La orientación de dos miembros en la unión puede variar de 45° a 135° para uniones en esquina y de 45° a 90° para uniones en T, siempre que se conserve la forma básica (ángulo de la ranura, frente de raíz y abertura de raíz) y se mantenga el espesor de garganta de diseño.
- V : En uniones en esquina, la ranura exterior puede hacerse en cualquiera de los miembros, o en ambos, siempre que no se cambie la forma básica de la ranura y se conserve la distancia al borde necesaria para respaldar la soldadura depositada, sin fusión excesiva de la esquina.
- Z : El espesor efectivo de garganta (E) se basa en uniones soldadas a ras.

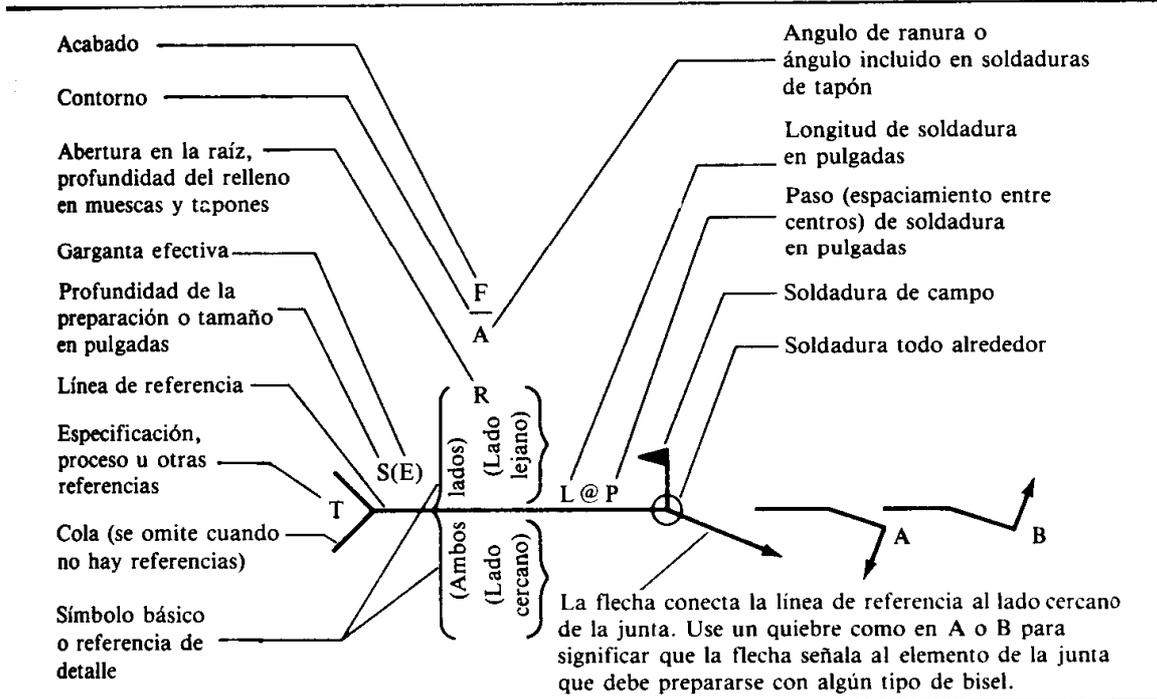
A continuación se muestran los detalles de los símbolos para soldaduras precalificadas por la AWS.



JUNTAS SOLDADAS
Símbolos estándar

SIMBOLOS BASICOS DE SOLDADURA										
POSTERIOR	FILETE	TAPON O RANURA	Ranura o a tope						ENSAN- CHA- MIENTO V	ENSAN- CHA- MIENTO DE BISEL
			CUA- DRADO	V	BISEL	U	J			
SIMBOLOS COMPLEMENTARIOS										
ESPALDO	ESPACIADO	SOLDADURA TODO ALREDEDOR	SOLDADURA DE CAMPO	CONTORNO		Véase la AWS A.2.4-79 para otros símbolos básicos y complementarios de soldadura				
				NIVELADO	CONVEXO					

LOCALIZACION ESTANDAR DE LOS ELEMENTOS DE UN SIMBOLO DE SOLDADURA



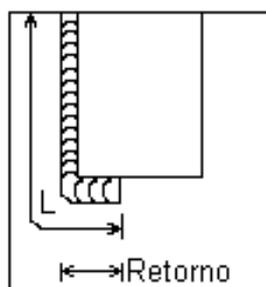
- El tamaño, el símbolo de la soldadura, la longitud y el paso deben leerse en este orden de izquierda a derecha a lo largo de la línea de referencia. Ni la orientación de la línea de referencia ni la ubicación de la flecha alteran esta regla.
- El lado perpendicular de los símbolos de soldadura \triangle , ∇ , \surd , \lrcorner debe quedar del lado izquierdo.



- Las soldaduras del lado de la flecha y del otro lado tendrán el mismo tamaño si no se indica otra cosa. Las dimensiones de las soldaduras de filete deberán mostrarse tanto en el símbolo del lado de la flecha como del otro lado.
- La bandera del símbolo de soldar en campo debe ponerse arriba y a escuadra con la línea de referencia en que quiebre la flecha.
- Los símbolos instructivos se aplican entre cambios bruscos en la dirección de la soldadura, si no tienen el símbolo de “todo alrededor” o la longitud indique otra cosa.
- Estos símbolos no prevén explícitamente el caso frecuente en estructuras en que un elemento simétrico (como un atiesador) se encuentra del otro lado del alma o de una placa de conexión, En estos casos es aplicable la siguiente convención:
 - Si la lista de materiales muestra que existe un elemento del lado lejano correspondiente a uno del lado cercano, se aplicará al elemento del lado lejano la misma soldadura indicada para el elemento del lado cercano.

DIMENSIONES EFECTIVAS DE SOLDADURAS

- El área efectiva de las soldaduras de penetración o de filete es el producto de su longitud efectiva por la garganta efectiva.
- El área efectiva de soldaduras de tapón o de ranura es el área de la sección transversal nominal del tapón o ranura, medida en el plano de falla.
- La longitud efectiva de una soldadura a tope entre 2 piezas es el ancho de la pieza más angosta, aún en el caso de soldaduras inclinadas respecto al eje de la pieza.
- La longitud efectiva de una soldadura de filete es la longitud total del filete incluyendo retornos. Si el filete esta en un agujero circular o ranura la longitud será la del eje del cordón trazado por el centro del plano de la garganta, pero el área efectiva no será mayor que el área nominal del agujero o ranura medida en el plano de falla.



En la soldadura de penetración, si las placas que se van a soldar son delgadas puede lograrse penetración completa colocando una frente la otra, dejando un espacio adecuado entre sus bordes, y depositando el metal de aportación por los dos lados de la junta, sin placa de respaldo, o por un solo lado con placa de respaldo. En la figura 3.12 se indican los groesos máximos para los que puede seguirse ese procedimiento en juntas a tope realizadas manualmente con electrodo recubierto.

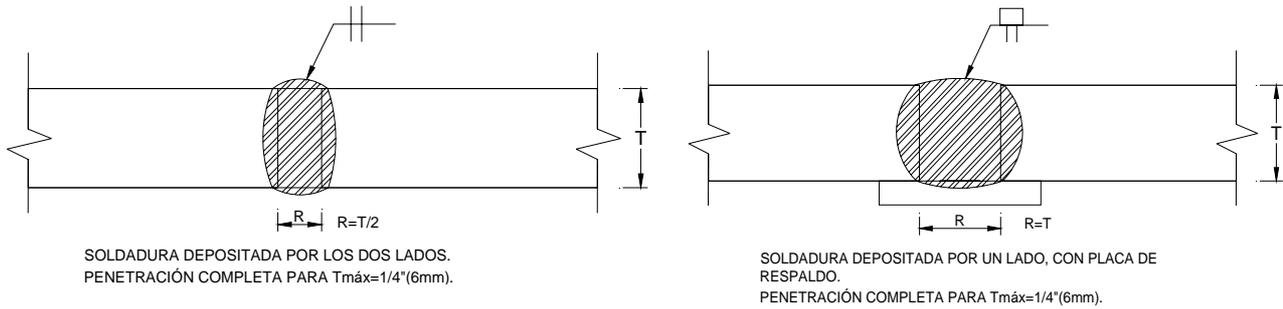


Figura 3.12 Soldaduras de Penetración completa en placas sin preparación

Para obtener preparación completa en material más grueso es necesario preparar los bordes de las piezas, dándoles una forma adecuada para que el electrodo tenga acceso y se pueda depositar el metal de aportación en todo el espesor.

En la figura 3.13 se muestran las preparaciones más comunes; la elección de una u otra se basa principalmente en consideraciones económicas.

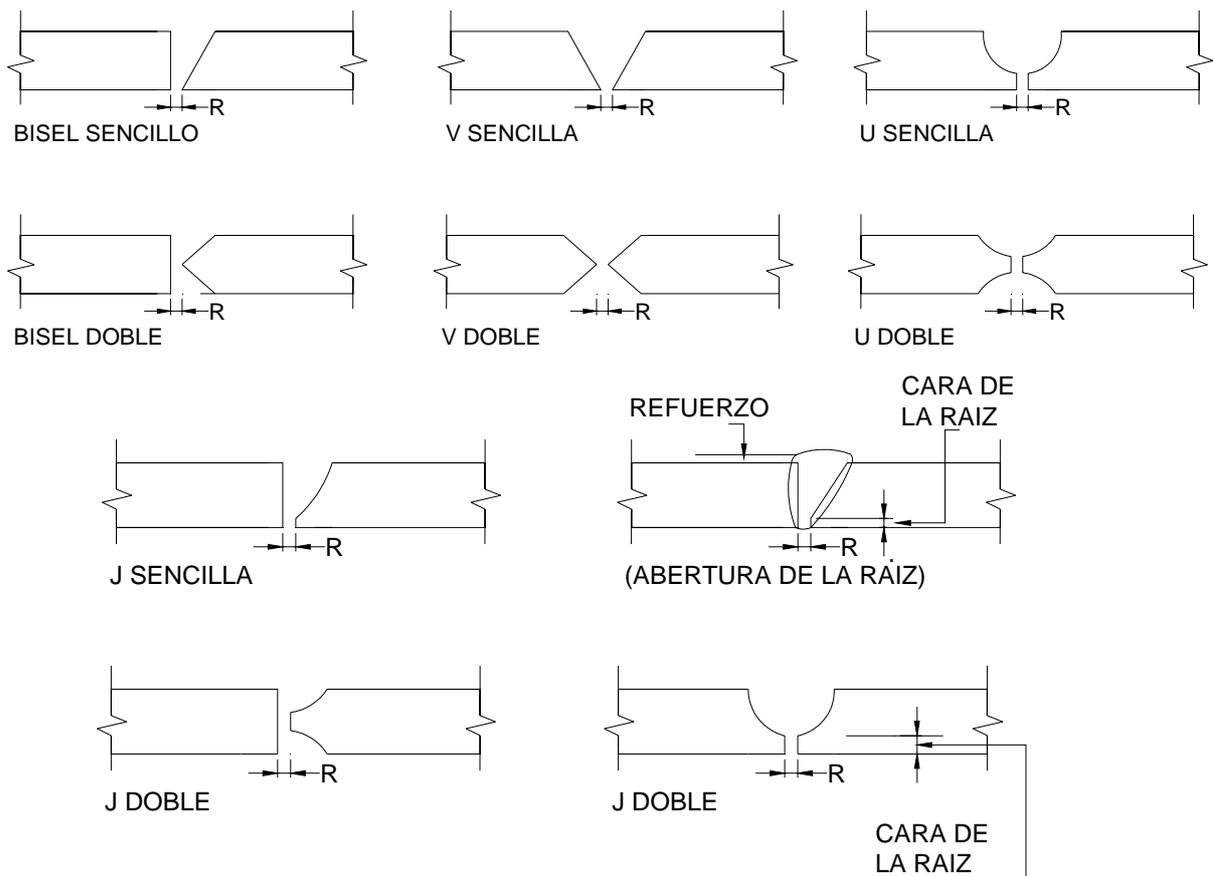
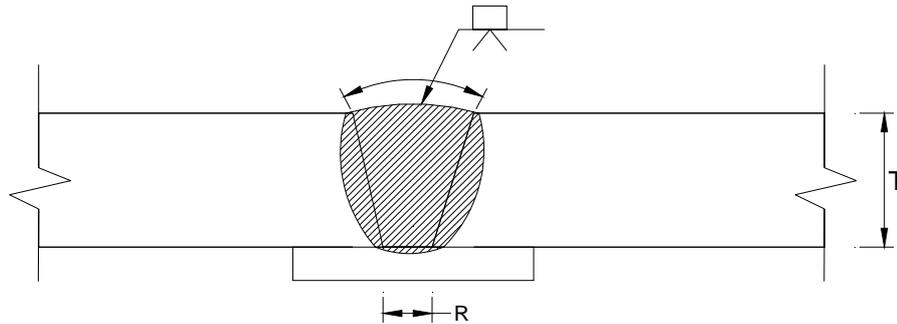


Figura 3.13 Tipos de preparación en soldaduras a tope



En la figura 3.14 se muestra, como ejemplo una de las juntas precalificadas; se trata de una junta a tope en placa de grueso ilimitado, con preparación en V sencilla; en ella se indican las características geométricas detalladas de la preparación y las posiciones en las que la junta está precalificada, para cada uno de los cuatro procesos de soldadura permitidos en la especificación.

Figura 3.14. Ejemplo de Junta precalificada



Proceso de soldadura	Grueso del metal base, T (U= sin limite)	Preparación de la junta		Posiciones permitidas *
		Abertura de la raíz, R	Angulo del doble bisel α	
SMAW	U	1/4" (6 mm)	45°	Todas
		3/8" (10 mm)	30°	P, V, SC
		1/2" (13 mm)	20°	P, V, SC
GMAW FCAW	U	3/16" (5 mm)	30°	P, V, SC
		3/8" (10mm)	30°	P, V, SC
		1/4" (mm)	45°	P, V, SC
SAW	U	5/8" (16mm)	20°	P

* P- Plana V- Vertical SC- Sobre Cabeza

Durante la fabricación de la estructura han de tenerse en cuenta las tolerancias establecidas, así las aberturas de raíz y los ángulos en juntas de penetración completa, en doble bisel y con placa de respaldo, no deben variar de los indicados y en cantidades mayores que las siguientes:

- Abertura de raíz, + 1/4" (6.3 mm), -1/16"(1.6 mm);
- Angulo de bisel, +10°, -5°

Si no se cumple alguno de estos requisitos geométricos la junta deja de ser precalificada.

Si disminuye la abertura de raíz o el ángulo comprendido entre los biseles se dificulta, o aún se impide, la colocación correcta del material de aportación, lo que puede ocasionar faltas de penetración y otros defectos; si crecen, aumenta la cantidad de metal de aportación que se requiere para efectuar la junta, los costos se elevan y se agravan los problemas de esfuerzos residuales, distorsiones y otros.



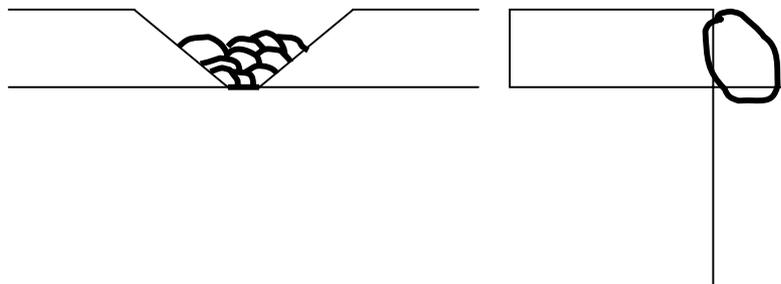
3.3 CONTROL DE CALIDAD DE LA SOLDADURA

3.3.1 CAUSAS DE LOS DEFECTOS

1. Del proyecto:
 - Posición inadecuada.
 - Mala accesibilidad. No se considerarán las de rincón con un ángulo menor de 60°. A efectos de cálculo no vale.
 - Concentración de cordones.
 - Dimensionamiento incorrecto.
2. De los materiales.
 - Mala soldabilidad (Checar tabla 2.1, a más resistencia de acero menor soldabilidad)
 - Defectos.
 - Humedad en electrodos básicos.
3. Efectos del proceso de soldeo.
 - Voltaje.
 - Intensidad.
 - También puede ser de proceso no adecuado; electrodo sin recubrimiento.
 - Preparación de bordes incorrectamente ejecutada.
4. Efectos de la ejecución.
 - Soldadores no homologados.
 - Malas condiciones climáticas (lluvia, viento, frío).
 - Falta de limpieza en la zona a soldar.
 - Exceso de prisa (muy habitual).
 - Falta de control.

DEFECTOS INTERNOS.

- **Falta de penetración:** Esto ocurre cuando el chaflán de la soldadura no está totalmente lleno o cuando la unión entre el metal base y el metal de aportación no es perfecta en algún punto.



En la radiografía se acusa como una línea negra y continua.



- **Poros u oclusiones gaseosas:** Son cavidades debidas a inclusiones gaseosas procedentes, generalmente de humedad en el material base o electrodo. En las radiografías se acusan como sombras negras de contorno circular.
- **Falta de fusión:** Es la falta de unión entre el metal de aportación y el metal base. No hay cristales comunes. Un caso particular es el desbordamiento; es un defecto bastante grave. En las radiografías se acusan como líneas oscuras y delgadas.

Son los internos, los mas peligrosos, porque son los más difíciles de ver.

- **Porosidad:** Se usa para describir los huecos globulares, libre de todo material sólido, que se encuentra con frecuencia en los cordones de soldadura. En realidad, los huecos son una forma de inclusión que resulta de las reacciones químicas que tienen lugar durante la aplicación de la soldadura. Difieren de las inclusiones de escoria en que contienen gases y no materia sólida.

Los gases que forman los huecos se derivan de los gases liberados por el enfriamiento del metal de la soldadura, como consecuencia de la reducción de solubilidad al descender la temperatura y de las reacciones químicas que tienen lugar dentro de la propia soldadura.

- **Inclusiones no Metálicas:** Son los óxidos no metálicos que se encuentran a veces en forma de inclusiones alargadas y globulares en los cordones de soldadura. Durante la formación del depósito y la subsecuente solidificación del metal de la soldadura, tienen lugar muchas reacciones químicas entre los materiales (fundente), o con la escoria producida. Algunos de los productos de dichas reacciones son compuestos no metálicos, solubles solo en cierto grado en el metal fundido. Debido a su menor densidad, tienden a buscar la superficie exterior del metal fundido, salvo que encuentren restricciones para ello. Estas inclusiones suelen ser aisladas o alineadas y quedan por falta de limpieza al terminar la pasada. En las radiografías se acusan como sombras oscuras de contornos irregulares y poco claros.
- **Agrietamiento:** El agrietamiento de las juntas soldadas ocurre por la presencia de esfuerzos multidireccionales localizados que en algún punto rebasan la resistencia máxima del metal. Cuando se abren grietas durante la soldadura o como resultado de ésta, generalmente solo es aparente una ligera deformación de la pieza de trabajo.

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

- **Agrietamiento del metal de la soldadura:** El agrietamiento del metal de la soldadura tiene mas probabilidades de ocurrir en la primera capa de soldadura que en cualquier otra parte, y de no repararse continuará pasando a las demás capas al ir siendo depositadas. Esta tendencia de continuar hacia las demás capas sucesivas se reduce considerablemente, o se elimina, con metal de soldadura austenítico. Cuando se encuentra el problema de agrietamiento de la primera capa de metal de la soldadura, pueden lograrse mejoras aplicando uno o más de las siguientes modificaciones:
 - Modificar la manipulación del electrodo o las condiciones eléctricas, lo que cambiará el contorno o la composición del depósito.
 - Disminuir la rapidez de avance, para aumentar el espesor del depósito, aportando con ello más metal de soldadura para resistir los esfuerzos que se están generando.
 - Auxiliarse con precalentamiento, para modificar la intensidad del sistema de esfuerzos que esta imponiendo.



- **Penetración incompleta:** El metal depositado y el metal base no se funden en forma integral en la raíz de la soldadura. Puede ser ocasionada porque la cara de la raíz de la soldadura de ranura no alcance la temperatura de fusión a toda su altura, o porque el metal de la soldadura no llegue a la raíz de una soldadura de filete, y deje el hueco ocasionado por el punteo del metal de la soldadura desde un miembro al otro.

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

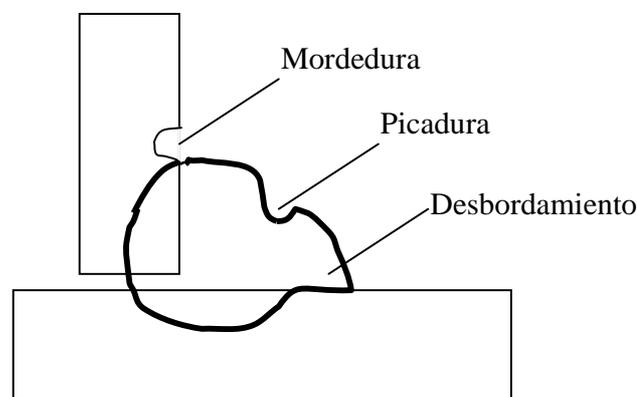
La penetración incompleta es indeseable, particularmente si la raíz de la soldadura esta sujeta ya sea a tensión directa o a esfuerzos flexionantes. El área que no se funde permite concentraciones de esfuerzos que pueden resultar en fallas sin deformación apreciable.

- **Socavamiento:** Se emplea este término para describir:
 - a) La eliminación por fusión de la pared de una ranura de soldadura en el borde de una capa o cordón, con la formación de una depresión marcada en la pared lateral en la zona a la que debe unirse por fusión la siguiente capa o cordón.
 - b) La reducción de espesor en el metal base, en la línea en la que se unió por fusión el último cordón de la superficie.

El socavamiento en ambos casos se debe a la técnica empleada por el operador. Ciertos electrodos, una corriente demasiado alta, o un arco demasiado largo, pueden aumentar la tendencia al socavamiento.

DEFECTOS SUPERFICIALES.

- **Mordeduras:** Es un rebaje o canal en el metal base que está contiguo al cordón de soldadura. Este defecto es muy habitual y es producido por un incorrecto manejo del electrodo. En la radiografía se acusa como una sombra oscura de contorno difuso en los bordes de la soldadura.
- **Picaduras:** Es un rebaje o canal en el cordón de la soldadura, se produce por un incorrecto manejo del electrodo. En las radiografías se acusa como una sombra oscura de contorno difuso.
- **Desbordamientos:** Parte del material de aportación desborda el cordón, quedando fuera y sin fusionar con el material base. Son defectos longitudinales, no puntuales.





3.3.2 MÉTODOS PARA EL CONTROL DE LA SOLDADURA.

Ensayos no Destructivos

- a) **Ensayos visuales.** Se pueden hacer a simple vista o con el uso de aparatos como una lupa, calibrador, etc., para inspeccionar si la soldadura tiene defectos.
- b) **Ensayos con rayos x o rayos gamma.** Se toman fotografías radiográficas de la soldadura. Los defectos se ven en una forma muy similar a la cual se aprecian los huesos rotos en una radiografía de un ser humano. Se utiliza Equipo de Rayos X y Maquina de revelado de placas radiográficas.
- c) **Ensayos magnéticos**
Las pruebas magnéticas son de dos tipos:
 - Se espolvorea hierro pulverizado en la soldadura. Después, se establece una carga magnética a través de la soldadura; las partículas de hierro se acumulan en las grietas o fallas.
 - Se mezclan limaduras de hierro con petróleo; se limpia y pule la superficie de la soldadura y se aplica esta mezcla con una brocha. Se magnetiza la soldadura con una fuerte corriente eléctrica. Si hay una grieta o falla en la soldadura, las partículas de hierro se adherirán en los bordes de la grieta y producirá una línea oscura como del diámetro de un cabello.
- d) **Pruebas con colorantes penetrantes.** Estos colorantes o tintes vienen en botes pequeños en aerosol, con su estuche y se pueden llevar a cualquier parte. El colorante es un excelente método para detectar grietas superficiales que no se aprecian a simple vista.
- e) **Pruebas con estetoscopio o de sonido.** El inspector golpea la soldadura con un martillo pequeño y escucha con el estetoscopio. El sonido le indica si la soldadura tiene defectos. Se necesitan muchos años de experiencia para hacer esta prueba con exactitud. En la actualidad, se emplea el equipo para pruebas sónicas.

Ensayos Destructivos

Estos sólo se utilizan para probar procesos de soldadura; para homologar soldadores o para el ensayo de soldaduras. Se realizan sobre placas de prueba cortadas, de uniones realizadas, para proporcionar probetas de ensayo.

Consisten básicamente en ensayos de tracción, plegado y resistencia. Los más habituales son los de tracción; aplicamos la probeta en la máquina y vemos cuanto resiste.

Si la soldadura va a ser parte de un conjunto o estructura grande, se pueden efectuar pruebas destructivas en muestras o probetas, similares a la unión soldada real. En una prueba destructiva se dobla, tuerce o se trata de separar por tracción (estiramiento) la soldadura para determinar si hay fallas. Estas son pruebas sencillas que se pueden efectuar en cualquier taller de soldadura sin necesidad de un equipo costoso. El método más sencillo para hacerlas es sujetar la unión en la parte superior de un yunque con pinzas o fijarla en un tornillo de banco. La unión se debe sujetar lo más cerca posible de la soldadura. Después de fijarla como se describió, se le dan golpes con un martillo para probar la soldadura.

Las cinco uniones básicas se pueden probar en taller en la siguiente forma:

- La unión a escuadra se debe martillar hasta que quede plana (Fig. 3.36).
- La unión de tope se debe doblar hasta que quede en forma de "U" (Fig. 3.37).
- La unión T se debe martillar la pieza vertical hasta que quede horizontal (Fig. 3.39).
- La unión traslapada se debe martillar hasta que se parezca a la unión T (Fig. 3.40).
- La unión de canto se debe abrir y doblar hasta que se forme una unión en "U", similar a la unión a tope (Fig. 3.38).

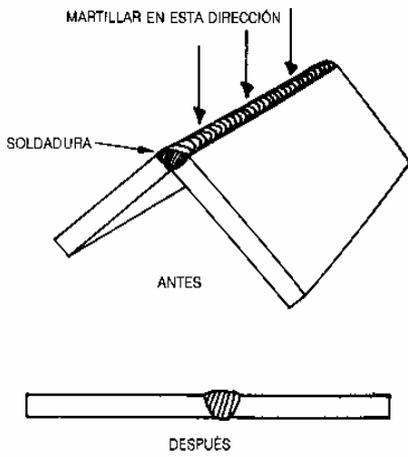


Fig. 3.36 Prueba de Unión a Escuadra

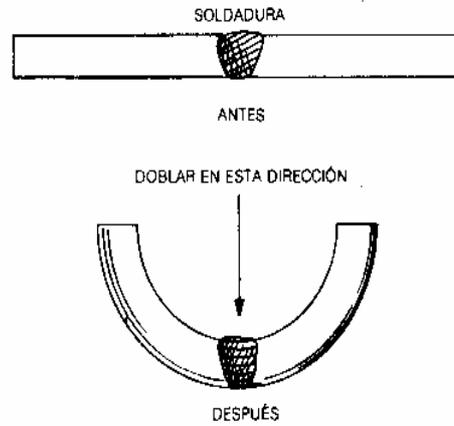


Fig. 3.37 Prueba de Unión a Tope

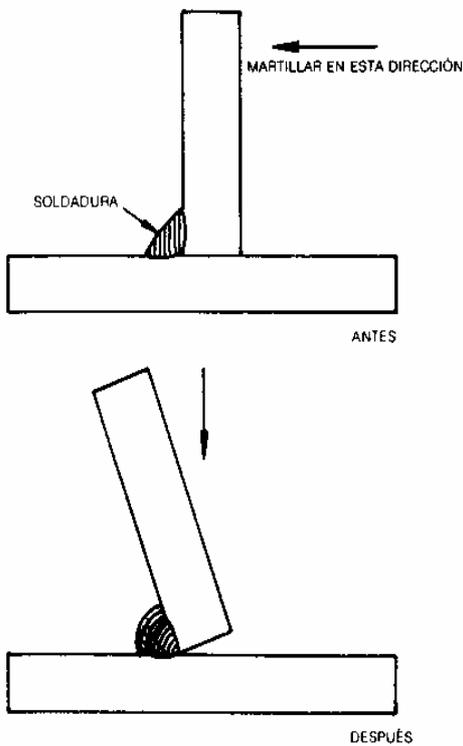


Fig. 3.39 Prueba de Unión T

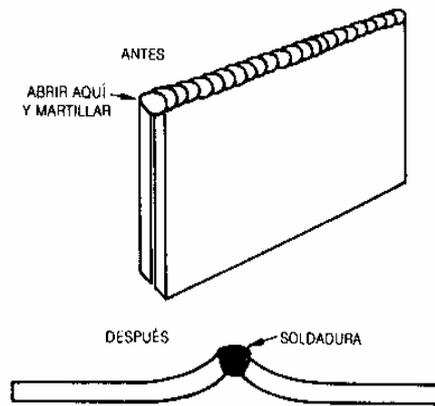


Fig. 3.38 Prueba de Unión de Canto

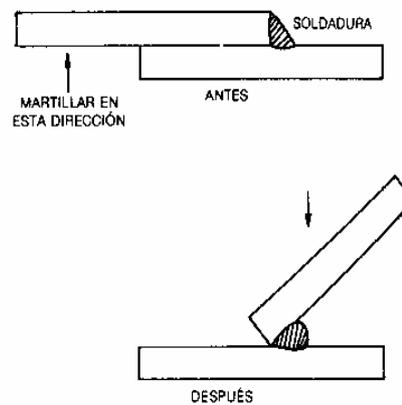


Fig. 3.40 Prueba de Unión Traslapada



CAPITULO 4

CONEXIONES SOLDADAS

4.1 TIPOS DE DISEÑO

Las especificaciones AISC permiten cuatro tipos de diseño en la construcción de estructuras de acero. Las conexiones de viga a columna pueden ser por consiguientes clasificadas de la siguiente manera:

		Restricción (R)
(a) Estructura Simple	AISC Tipo 2	Aproximadamente por debajo del 20%
(b) Estructura Completamente Rígida	AISC Tipo 1	Aproximadamente por arriba del 90%
(c) Estructura Semi-Rígida	AISC Tipo 3	Aproximadamente del 20% al 90%
(d) Diseño Plástico	AISC Diseño Plástico	

Aquí el grado de restricción (R) es la proporción del momento extremo actual (suponiendo que la columna no tiene rotación), el momento extremo de una viga completamente fija en los extremos.

Las conexiones soldadas son a menudo más fáciles de construir que las conexiones atornilladas. Sin embargo, en las conexiones rígidas, la junta requerirá generalmente tornillos de montaje ya sea en las placas de montaje temporales (o permanentes), o angulares para sostener las piezas durante la alineación y ajuste para la soldadura.

En general, el diseño de una conexión soldada implica el proporcionamiento de las partes, basándose en la sección bruta y en las soldaduras. Las soldaduras a tope se diseñan por lo general para la resistencia a compresión (o a tensión) del metal base. Los filetes y otras soldaduras a cortante y la resistencia permisible a cortante de la soldadura (figura 4.1).

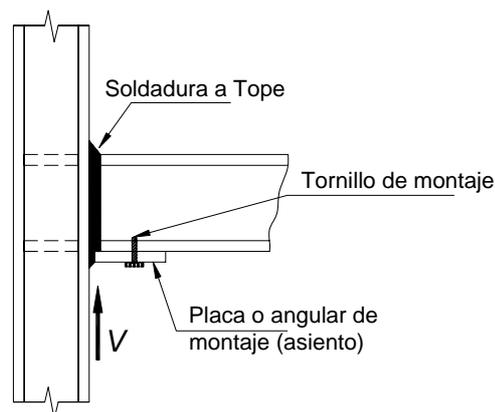


Figura 4.1 Conexión de filete a Tope Viga a Columna

Estos tipos de conexiones son mencionados comparativamente aquí, para entender mas sobre sus diseños se debe consultar una bibliografía mas detallada.



Los cuatro tipos de diseño se muestran en la figura 4.2

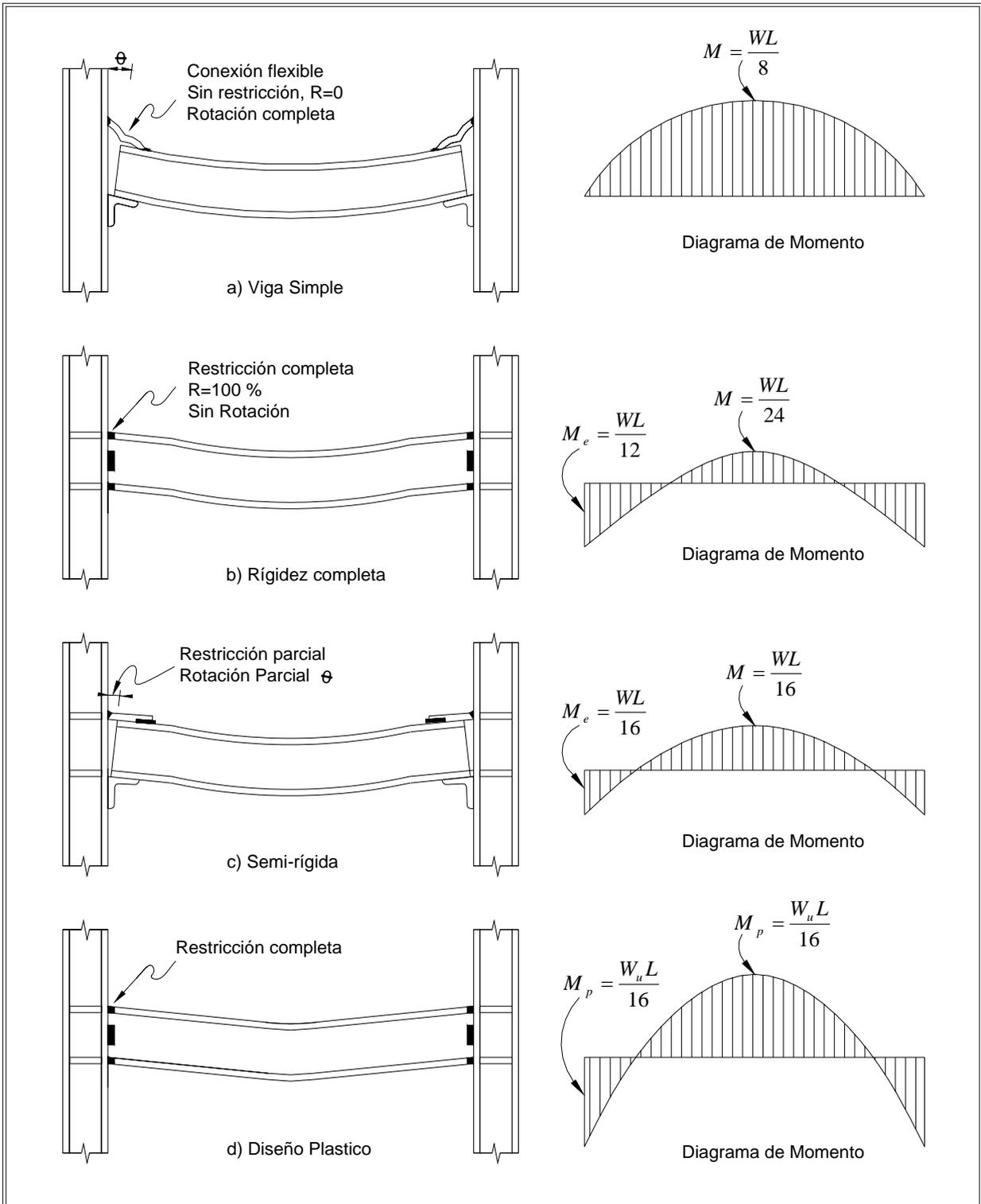


Figura 4.2 Tipos de Diseño según AISC



➤ CONEXIÓN SIMPLE DE VIGA

Los tipos más comunes de conexiones simples de viga usan ángulos soldados al alma, o un ángulo superior en la conexión con la viga apoyada en una placa o angular de montaje (asiento).

La conexión es diseñada para transferir únicamente la reacción cortante vertical, por lo que se asume que no existe momento presente en la conexión. Sin embargo la viga simple desviara la carga por debajo, causando que los extremos giren ligeramente. La conexión debe ser diseñada para soportar esta pequeña rotación sin fracaso alguno y flexionar lo suficiente para mantener el momento extremo de la estructura. Esto a veces es referido como una conexión flexible.

Una placa superior ocasionalmente es usada para las vigas simples, en este caso el extremo de la placa es biselada y soldada en la orilla a la columna, la placa y la soldadura de conexión son diseñadas para desarrollar cerca de un 25% del momento restringido de la viga a el valor permisible de la curva de tensión. Justo más allá de esta soldadura, la placa es reducida en sección transversal para producir el límite de fluencia a esta carga. La longitud de la sección reducida debe ser cerca de 1.2 veces, esta anchura de manera que permita trabajar a la placa dentro del límite plástico sin fracaso. Esta placa es agarrada al reborde de la viga con un filete continuo soldado a través del extremo y regresar por una longitud suficiente en ambos lados para desarrollar la fuerza del borde soldado al valor permitido.

Los momentos de viento aplicados a estas conexiones presentan un problema adicional. Una manera de transmitir estos momentos de viento es proporcionándolos en una conexión que se supone que es flexible una restricción adicional, en la conexión puede incrementar el momento final resultado de la carga viva. La AISC proporciona las siguientes soluciones aproximadas:

- **Método 1:** Diseñando la placa superior para la fuerza resultante del momento causado por la combinación de cargas de gravedad y viento a un incremento de 1/3 en la tensión permitida. Así también el incremento de 1/3, puede además, ser aplicado a la soldadura de la conexión.
- **Método 2:** Diseñando la placa superior para cargar la fuerza resultante del momento de viento calculado a un incremento de 1/3 en la tensión permisible. La placa superior debe ser capaz de asegurar el límite plástico dentro de la longitud sin soldadura para cualquier combinación de carga por gravedad y viento, provocando que sea mencionado arriba del punto de fluencia, así que reemplaza estos momentos adicionales. Las conexiones soldadas son diseñadas para estándares permisibles, cuando la placa esta en el limite de fluencia.

Este tipo de conexiones puede necesitar algo no-elástico, pero que el mismo delimite la deformación de la placa de conexión, de menos fuerza para que no sobrecargue la soldadura.



➤ CONEXIONES SEMI-RIGIDAS

Las conexiones semi-rígidas son muy intrigantes, pero, desafortunadamente, a veces pueden ser engañosas.

La desventaja de una viga simplemente apoyada es que el momento completo requerido se encuentra en una porción de la viga, la sección central tiene el momento mayor: $M = \frac{1}{8}WL$ (si esta cargada uniformemente).

El apoyo fijo de la conexión reduce el momento en la porción central de la viga con un incremento correspondiente en los momentos de los extremos. La reducción del momento es añadida en los extremos. Como el grado de restricción o rigidez de la conexión incrementada, el momento del centro disminuye, y el momento de los extremos incrementa. Las conexiones completamente rígidas en vigas con carga uniforme, tienen un momento centro de $M = \frac{1}{24}WL$, con un momento en los extremos de $M = \frac{1}{12}WL$ (como se muestra en figura 4.2). Por lo tanto, la viga necesita un módulo de sección, justo de $\frac{2}{3}$, del requerido por una viga simplemente apoyada utilizando conexiones flexibles.

Se aconseja que si una conexión semi-rígida es usada en su lugar teniendo una restricción en el extremo de $R=75\%$, el momento en el centro y el momento en los extremos pudieran ser iguales, o $M = \frac{1}{16}WL$. Esto podría producir el mínimo requerimiento para el módulo de sección, siendo $\frac{1}{2}$ de lo que necesita para la viga original simplemente apoyada. Esto es verdad, pero esta condición ideal depende de dos requerimientos:

1. Los soportes de la conexión que unen a la viga deben ser inflexibles $\frac{1}{2}$ absolutamente rígidos.
2. La viga no debe ser influenciada por la viga contigua, del cual, un momento adicional puede ser cargado sobre las conexiones.

Esta condición de moderada de $R=75\%$ produce un modulo de sección mínimo por la viga uniformemente cargada, pero este no ofrece ninguna libertad de acción o rango de rigidez en la conexión. Si la conexión resultante resultara demasiado rígida (cualquier valor arriba del 75%), el momento en el extremo incrementa sobre lo permisible; si la conexión resulta flexible (cualquier valor debajo del 75%), el momento del centro incrementa sobre lo permisible. Se deberá tener cuidado con esto, usualmente es sugerido que la viga sea diseñada por un extremo restringido de $R=50\%$ (Momento centro de $\frac{1}{2}WL$), y la conexión para una restricción de $R=75\%$ (Momento extremo de $\frac{1}{16}WL$). Esto parece ser bueno hasta que se recuerda que es el resultado del momento diseñado de $\frac{1}{2}WL$, esto no es inferior como si las conexiones soldadas completamente rígidas fueran usadas, así que no hay ahorro en los requerimientos de la viga por usar las conexiones semi-rígidas.

Se puede argumentar que las conexiones semi-rígidas resultan ligeramente menos en cantidad con respecto a las conexiones soldadas. Esto puede ser verdad si es que las conexiones completamente rígidas usan una placa superior para conectar (la ranura para soldadura a la columna y el filete soldado a la viga), pero no podría ser verdad si los rebordes de la viga para la conexión rígida fueron soldados directamente en la ranura para soportar la columna sin una soldadura de filete adicional (ver figura 4.3)

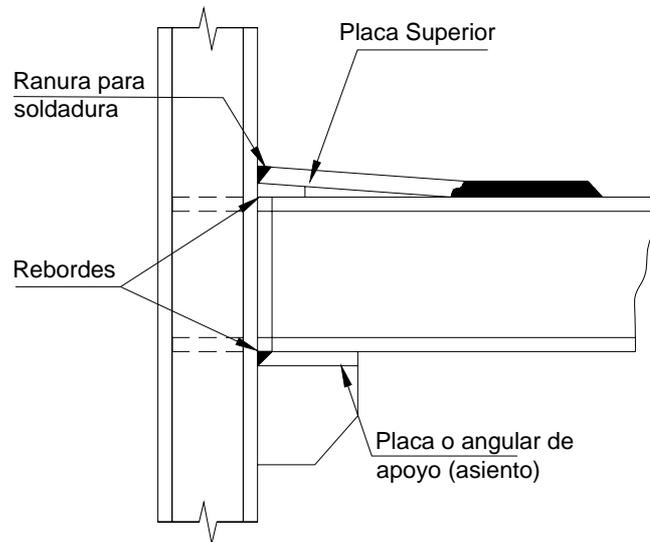


FIGURA 4.3

Sin embargo, tal vez, no lo intentaron, la mayoría de los textos estructurales y otras literaturas con respecto al tema de conexiones, suponen que el ingeniero simplemente tome una a la vez y diseñe la viga con una restricción en el extremo de $R=50\%$ y la conexión para una resistencia de $R=75\%$. No sería difícil calcular el área de la sección transversal y la longitud de la sección reducida de la placa superior apropiada para la conexión, para que esta conexión semi-rígida llegue al actual requerimiento de restricción.

Aquellos que hablan de las aparentes ventajas de las conexiones semi-rígidas, rara vez discuten de cómo aplicarlas a las actuales estructuras y a los diferentes tipos de carga.

En las estructuras que utilizan rigidez completa y conexiones soldadas, los momentos resultantes deben ser encontrados. Por ejemplo: si el método de distribución de momento es usado, el momento extremo debe ser determinado por cada lapso, permitiéndolo considerar como uno aislado, en el extremo fijo de la viga. Un factor de distribución es requerido por cada miembro así que el momento de desequilibrio de cada unión puede ser propiamente distribuido sobre varios miembros de la conexión para dar un ensamble. Es necesario transferir los factores al periodo siguiente para determinar la suma del momento de desequilibrio para llevarlo por encima del extremo contrario del miembro.

Para una estructura que utiliza conexiones semi-rígidas, (Momentos extremos, factores de distribución y factores de transferencia), pueden ser afectados por el grado de rigidez de las conexiones. Esto puede hacer el análisis más complicado.

La AISC permite conexiones semi-rígidas solamente sobre la evidencia de que son capaces de resistir los momentos definitivos sin una sobre-tensión en la soldadura. El diseño de los miembros demasiado conectados pueden ser basados, en un grado no más grande, de restricción en el extremo, que el mínimo que se sabe que es efectivo.

Este tipo de conexiones puede necesitar algo no-elástico, pero que el mismo delimite la deformación, pero por debajo de las fuerzas las cuales no sobrecarguen la soldadura.



➤ **CONEXIONES RIGIDAS (Diseño Elástico)**

Las conexiones rígidas del AISC, Tipo 1 para vigas y columnas se pueden fabricar fácilmente con el uso de la soldadura.

Para las conexiones completamente rígidas el momento real debe ser encontrado por uno o varios métodos, las vigas y sus conexiones diseñadas por los momentos adecuados y por las fuerzas cortantes. Las conexiones deben tener suficiente rigidez para mantener prácticamente sin cambios los ángulos originales entre los miembros unidos.

En la mayoría de las conexiones rígidas es práctica común usar soldadura en el alma, ya sea como un filete o en combinación con una placa o un angular para soportar el cortante. Este diseño procede como si las soldaduras del patín no soportaran cortante y evitar usar los cálculos de esfuerzos combinados. Si el alma de la viga soporta el cortante principal y los patines el momento, esta suposición es razonable y funciona bien en la práctica.

En la figura 4.4 se ilustra un dibujo con el detalle de una conexión típica de soldadura. Nótese que el uso de la placa superior para desarrollar el momento de la viga, permite una más holgada tolerancia en el ajuste del espaciamiento de viga a columna. La placa superior no debe soldarse en una zona aproximadamente $L_0 = 1.2 * \text{el ancho de la placa}$, de manera que los efectos del rezago del cortante no sea causa de altos esfuerzos locales y falla de la placa (o soldadura).

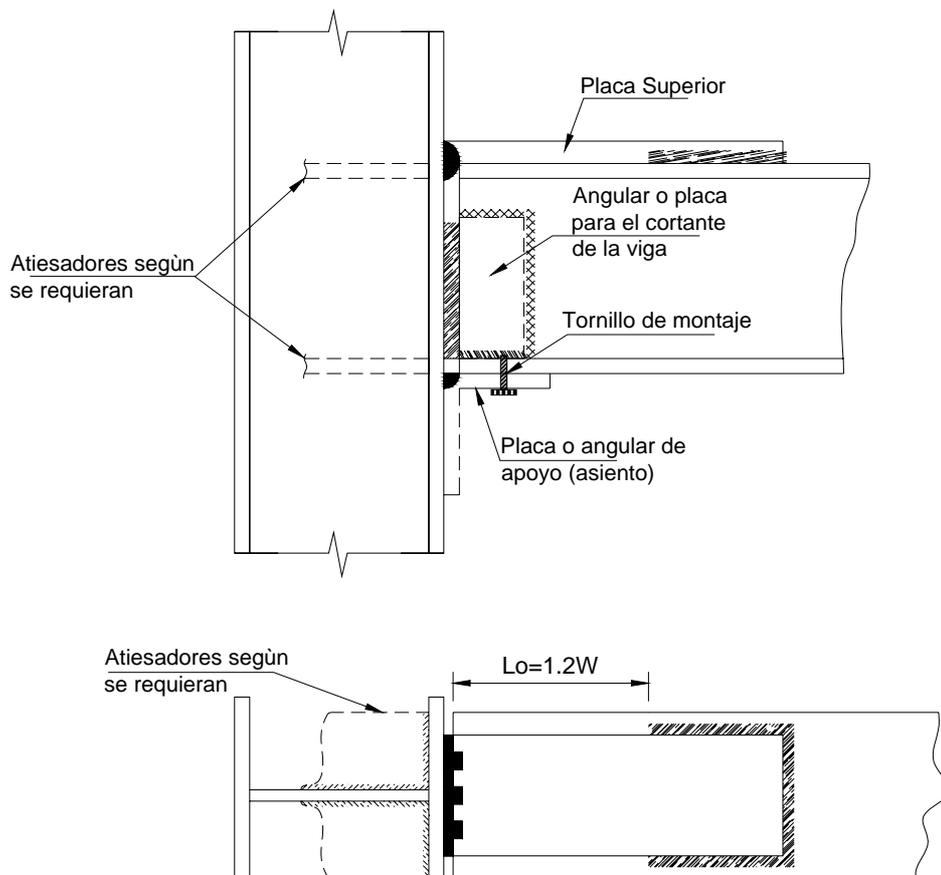


Figura 4.4 Conexión rígida soldada de viga a columna.



La rigidez de una conexión es además influenciada por la rigidez de los soportes. Para enmarcar las vigas con los rebordes de la columna, un decremento en la rigidez ocurrirá si los rebordes de la columna son demasiado delgados, o si no son usados atiesadores (refuerzos) entre los rebordes de la columna en línea. Para un enmarcado de viga sencillo en el alma de la columna, una disminución en la rigidez puede ocurrir, a menos que el reborde de la viga sea además directamente soldado a los rebordes de la columna o adjuntado con unas apropiadas placas de conexión.

Puede que se requieran atiesadores, opuestos a los patines de tensión $\frac{y}{0}$ compresión de la viga que transmiten la carga a la columna. El resto de esta sección se ocupará de la determinación de la necesidad de tener que colocar atiesadores en el alma y patín de la columna.

El patín de la columna debe ser del suficiente espesor para resistir, sin excesiva deformación, la fuerza a tensión del patín de la viga.

➤ CONEXIONES DE DISEÑO PLÁSTICO

El uso de conexiones soldadas basadas en el diseño plástico tiene varias ventajas:

1. Una mayor exactitud en la indicación de la verdadera capacidad de carga de la estructura.
2. Requiere menos acero que la construcción de la viga simple convencional. En muchos casos, hay un ligero ahorro sobre los diseños elásticos convencionales de las estructuras rígidas.
3. Requiere menos tiempo de diseño que los diseños elásticos de las estructuras rígidas.
4. Probado por muchos años de investigación en estructuras a escala.
5. Esta respaldado por la AISC.

Hasta ahora, las conexiones de diseño plástico han sido en gran parte restringidas por una historia de las estructuras, y a las aplicaciones donde la fatiga o la carga repetida no es un problema.



4.2 COMPORTAMIENTO DE LAS CONEXIONES SOLDADAS

Una manera para mejorar el entendimiento del comportamiento de la conexión viga-columna por debajo de la carga, y su capacidad de llevar la carga, es trazando el momento de rotación en un grafica, como la mostrada en la figura 4.5.

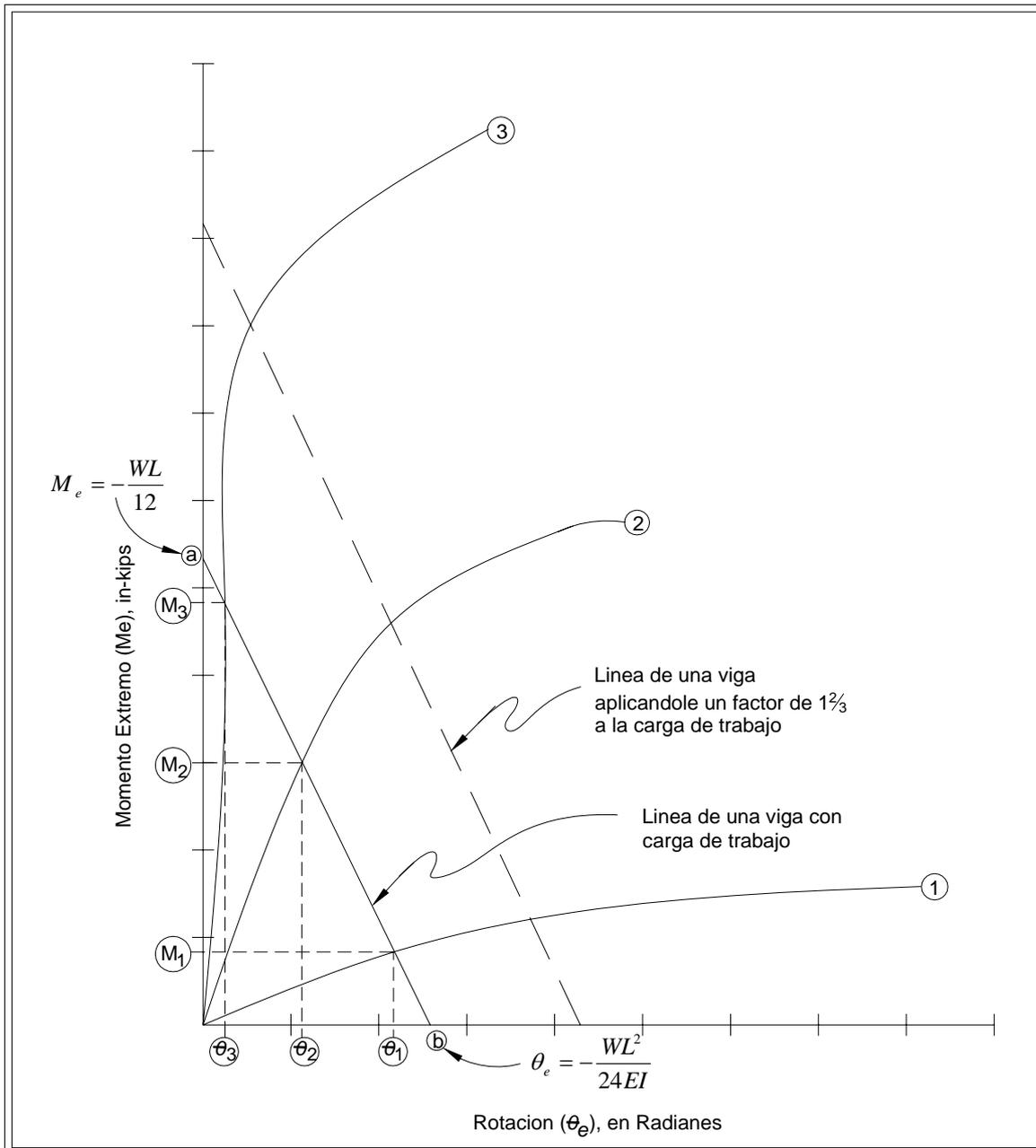


FIGURA 4.5 Grafica Momento extremo contra Rotación (en radianes)

El eje vertical es el momento extremo de la viga, el cual es aplicado a la conexión.

El eje horizontal es el resultado de la rotación en radianes.

Básicamente este es otro tipo de diagrama de Tensión-torsión.



Superponiendo sobre esto el diagrama de la viga. La ecuación expresa el resultado del momento extremo (M_e) y el momento de rotación (θ_e), para una viga cargada uniformemente y cualquier extremo restringido de rigidez completa a soporte simple, es:

$$M_e = -\frac{2EI\theta}{L} - \frac{WL}{12}$$

Esto es una línea recta, teniendo como puntos "a" y "b" en la grafica.

El punto "a" es cuando la conexión esta completamente restringida en el momento extremo ($\theta_e = 0$), en otras palabras la viga sujeta en el extremo es igual a:

$$(a)M_e = -\frac{WL}{12}$$

El punto "b" es la rotación del extremo cuando la conexión no tiene restricción ($M_e = 0$), en otras palabras una viga simple es igual:

$$(b)\theta_e = -\frac{WL^2}{24EI}$$

Para incrementar las cargas vivas, la línea de la viga se mueve fuera de paralelo a la primera línea, con el correspondiente incremento de valores del momento extremo (M_e) y la rotación del extremo (θ_e). Esta segunda línea (trazada) de la viga en la grafica representa la adición de un factor de seguridad y es normalmente 1.67 a dos tiempos que el primero el cual es basado en la cantidad de trabajo.

El punto en el cual la curva de las conexiones intersecta la línea de la viga da el momento extremo resultante y la rotación por la carga dada. De esto se puede ver, como el comportamiento de la viga depende de sus conexiones.

Se asume en este caso, que la viga es simétricamente cargada y las dos conexiones extremas lo son. De esta manera ambos extremos reaccionan similarmente.

- La curva 1 representa una conexión flexible. En un momento muy bajo asegura los límites (M_1) y permite a la conexión rotar (θ_1). Esto es típico de las conexiones con ángulo superior, ángulos que se enmarcan con el alma y las conexiones de placa superior suficientemente pequeñas para el límite. Nota: Incluso en estas conexiones llamadas flexibles, en algún momento extremo, tienden a levantarse.
- La curva 2 representa una conexión semi-rígida. Un tipo es la placa superior conectada tan detallada que por debajo de la carga de trabajo los límites son lo suficientemente elásticos para proporcionar la rotación necesaria a la conexión y todavía tiene suficiente resistencia para proporcionar el correcto momento extremo.

Aunque el ángulo superior grueso ha sido sugerido para servicio de las conexiones semi-rígidas son imprácticos para diseñar y fabricar con deseada restricción incorporada.

- La curva 3 representa una conexión rígida, usando una placa superior conectada detallada para desarrollar el momento extremo total. Desde que el límite no es elástico es necesario que la placa sea hecha tan corta como practica.



Los tres tipos de estas conexiones tienen una abundante reserva en la capacidad de carga, según lo demostrado por donde sus curvas intersectan la línea de la viga a $1\frac{2}{3}$ de carga relativa a sus cruces de la línea de la viga a la carga de trabajo.

Los actuales resultados de las pruebas de las tres conexiones con placa superior en una viga 18"WF 85#, son mostradas en la figura 4.7. Dos condiciones son consideradas, mostradas por los diagramas de carga, figura 4.6.

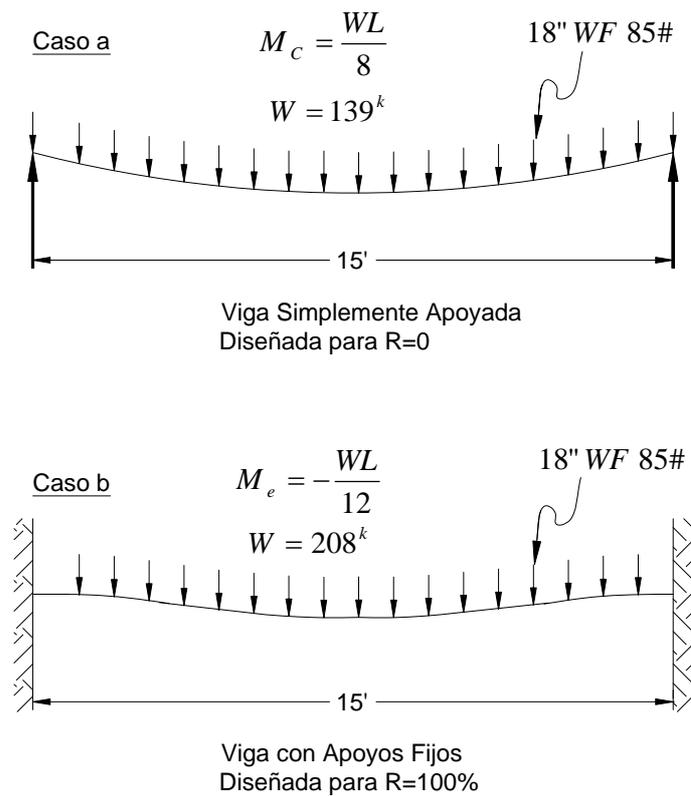


FIGURA 4.6

La línea de la viga "a" (en la figura 4.6) está basada en un momento de diseño a una línea central de $\frac{1}{8}WL$, simplemente apoyado. La línea de la viga a_1 es para los tiempos de la carga $1\frac{2}{3}$ que de la carga de trabajo.

La línea de la viga "b" está basada en un momento de diseño de $\frac{1}{12}WL$ en los extremos, con apoyos fijos, y soportará un 50% más de carga. La línea de la viga b_1 es por un tiempo de carga $1\frac{2}{3}$ que de la carga de trabajo. Ambas de estas dos líneas de viga para R=50%, por que ha esta restricción el centro de la viga ahora tendrá un momento de $\frac{1}{12}WL$ y una restricción menor que podría sobrecargar la porción central de la viga.

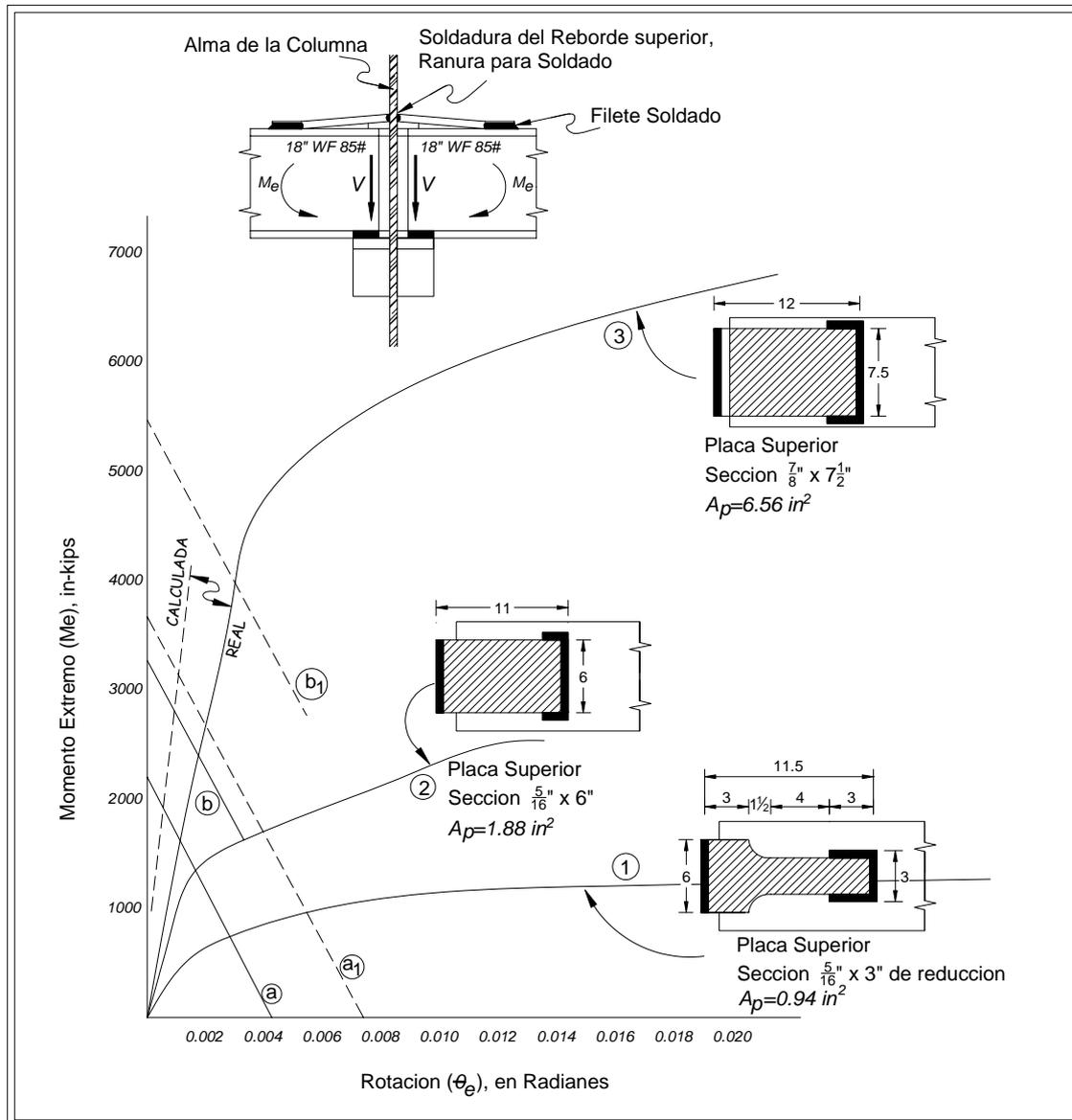


Figura 4.7

La placa superior numero 1, tienen una placa gruesa de $\frac{5}{16}$ " , con un ancho de 3" a la sección reducida y un área de sección transversal de $A_p = 0.94 \text{ in}^2$. Esto es ensanchado a 6" a la conexión soldada en la ranura (soldadura en el reborde superior). Esta conexión puede alcanzar limites a cerca de $M = A_p \sigma_y d_b = (0.94)(33000)(18) = 558 \text{ in.} - \text{kip}$.

El valor actual de la prueba es sobre de $M = 600 \text{ in.} - \text{kip}$.



Sobre este momento la placa limita y debe torcerse duramente y tendrá incrementada la resistencia. El último momento sería sobre 2 veces este valor de tensión, o sobre $M = 1200 \text{ in.} - \text{kip}$. La restricción resultante es acerca de $R=34.5\%$, un poco demasiado arriba para que la viga pueda ser clasificada como soporte simple.

La placa superior numero 2 tiene el mismo grueso de $\frac{5}{16}$ " pero tiene un ancho de 6" en toda su longitud. Tiene el doble del área de sección transversal $A_p = 1.88 \text{ in}^2$. Como se esperaba, esto es dos veces más rígido. Esto alcanzaría una tensión acerca de $M = 1110 \text{ in.} - \text{kip}$. La actual esta cerca de $M = 1000 \text{ in.} - \text{kip}$. La restricción es acerca de $R=58\%$.

Nota: Si la viga ha sido diseñada por un momento de $\frac{1}{12}WL$, $\frac{1}{6}$ una restricción de $R=100\%$. La curva de las conexiones se habría cruzado con la línea de la viga "b" justo bajo el valor $R=50\%$, entonces habría una pequeña sobrecarga de la viga a la línea central.

La placa superior numero 3, es mas gruesa, tiene un grosor de $\frac{7}{8}$ ", un ancho de $7\frac{1}{2}$ " y un área de sección transversal de $A_p = 6.56 \text{ in}^2$. Esta área mas grande produce una mayor rigidez en la conexión con mayor restricción. La curva real de la conexión (línea continua) nos muestra ligeramente mas flexibilidad que la curva calculada (línea punteada). La flexibilidad extra probablemente viene de algún movimiento de la porción mas baja de la conexión, el cual tiene solo soldado un filete paralelo bajo uniendo el reborde inferior de la viga al asiento. Una soldadura en ranura (soldadura en el reborde superior que une al alma de la viga con la placa) situada directamente a través del extremo de este reborde inferior a la columna, indudablemente, traería la rigidez de la curva de conexión arriba, casi al valor de la curva calculada.

La figura 4.8 se ilustra la acción restringida adicional proveniente de los atiesadores (refuerzos) para los rebordes de la columna. Ambas conexiones usan una placa superior de $\frac{5}{16}$ " de grueso y 6" de ancho.

La conexión numero 1, tiene atiesadores (refuerzos) en la columna. En el caso de la viga diseñada para un momento de $\frac{1}{12}WL$ ($R=100\%$ por debajo de $R=50\%$), daría una restricción cerca de $R=70.2\%$.

La conexión numero 2, no tiene atiesadores (refuerzos) en la columna y pierde rigidez suficiente, así que, la viga diseñada para un momento de $\frac{1}{12}WL$ ($R=100\%$ por debajo de $R=50\%$) será sobrecargada. Esto es por que la restricción de la conexión sería solo alrededor de $R=45\%$.

Esto demuestra la importancia de reforzar adecuadamente la columna.

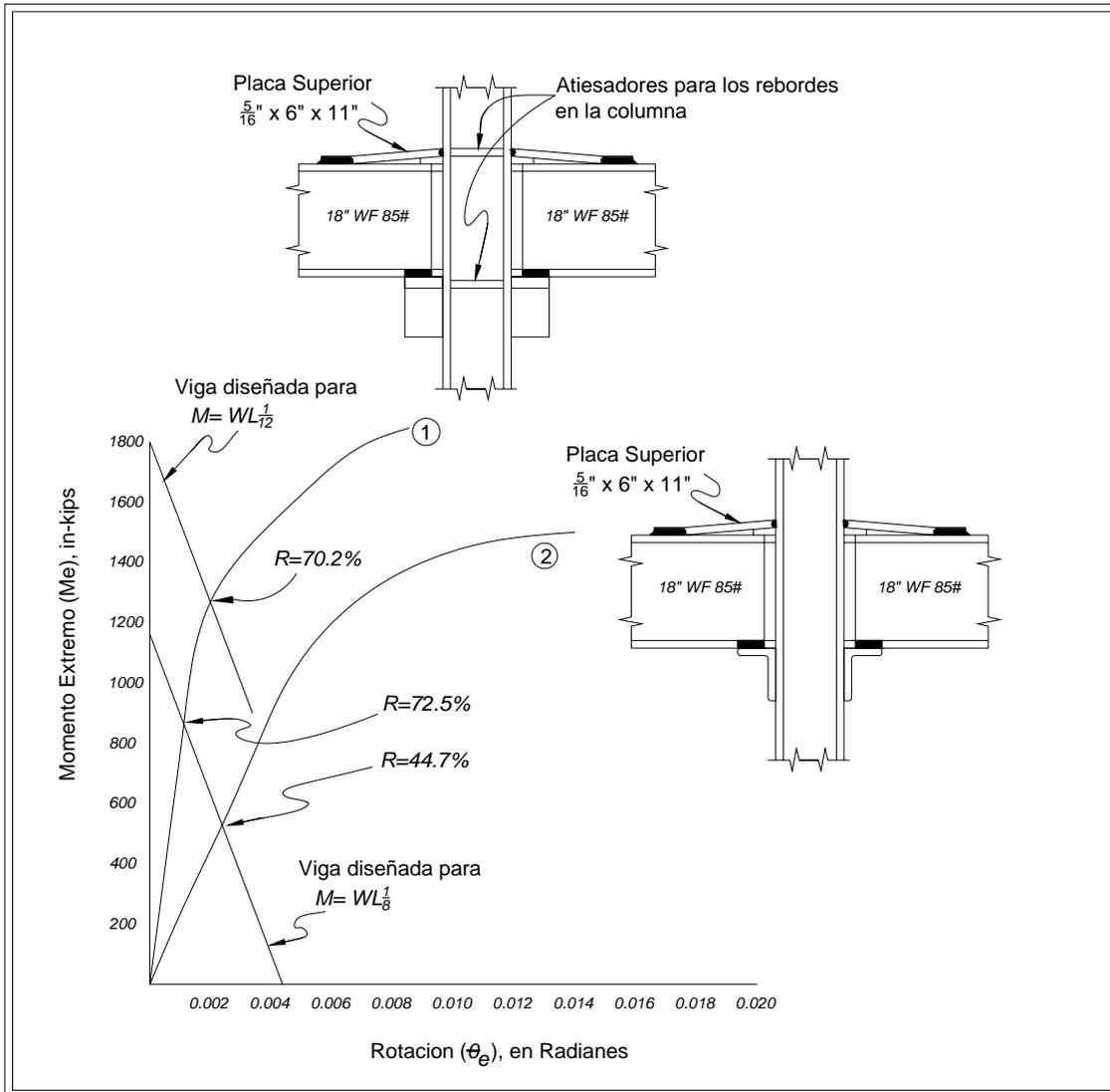


Figura 4.8 Comportamiento con el uso de Atiesadores.



4.3 FACTORES DE DISEÑO DE CONEXIÓN.

El siguiente artículo afecta de gran manera el costo de la soldadura en el acero estructural y por lo tanto no puede pasarse por alto. A fin de tomar total ventajas de las construcciones soldadas, necesitan ser consideradas.

Transferencia de Momento

Las fuerzas del momento extremo se extienden casi completamente dentro de los rebordes de la viga. El método más efectivo y directo para transferir estas fuerzas es algún tipo de reborde soldado. Los meritos relativos de estos tres tipos son los siguientes:

En la figura 4.9, los rebordes son conectados directamente a la columna por medio de una ranura para soldadura. Este es el método más directo de transferir fuerzas y requerimientos de la menor cantidad de soldadura.

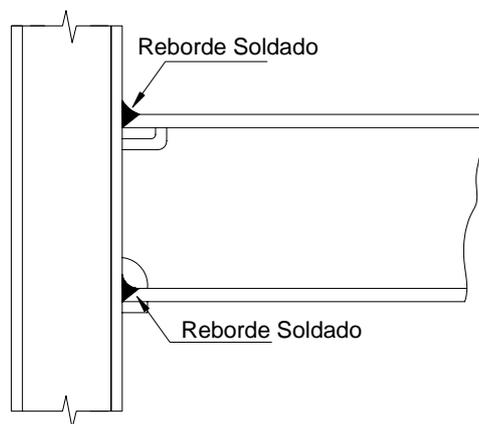


FIGURA 4.9

Moviendo un poco hacia atrás la alineación, la soldadura que se realiza, apenas por debajo de cada uno de los rebordes, tendrá una razonable penetración mientras exista una correcta abertura de raíz.

Hay una pequeña provisión para el sobre-funcionamiento de las dimensiones de la columna, el cual puede ser como de $\pm \frac{1}{8}$ ". Para el excesivo sobre-funcionamiento, los rebordes pueden tener una parte posterior oxi-cortada, en ese campo, ordenada para proveer la mínima abertura de raíz. Para el bajo-funcionamiento, la abertura de raíz excesiva incrementará la cantidad de soldadura requerida, pero la unión es todavía posible.

Esto es usualmente más costoso para cortar la viga a la longitud exacta, en adición está el costo de biselar los rebordes. Rebajar o cortar la viga a la longitud es costoso y no recomendado por que el sobre-funcionamiento y el bajo-funcionamiento tienen una tolerancia de $\pm \frac{1}{8}$ " y podría reducir esta exactitud en la penetración de soldadura.



En la figura 4.10 la placa superior es pedida suelta de la conexión, para que el soldador, después de que la viga es montada, pueda colocar la placa en su lugar de cierta forma que se pueda obtener una apropiada penetración de soldadura en la junta, una mayor tolerancia puede ser permitida en el corte a lo largo de la viga y cualquier método puede ser usado (esmeril, equipo de corte, etc.), sin el biselado subsecuente de los rebordes. Las vigas frecuentemente son ordenadas al proveedor de acero, cortadas mas bajas que lo requerido: $\frac{3}{4}'' \pm \frac{1}{4}''$. Algunas veces las vigas son ordenadas todavía mas cortas permitiendo una tolerancia de recorte de $\pm \frac{3}{8}''$. Esto reduce grandiosamente el costo de recorte y preparación.

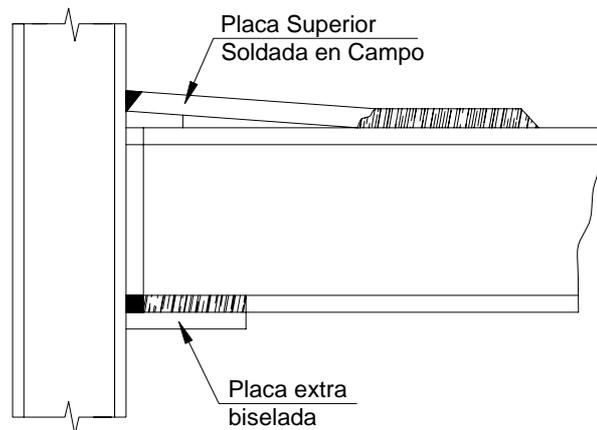


Figura 4.10

Este tipo de conexión requiere una placa de conexión extra, la cual debe ser cortada y biselada según sea necesario. Esto redobla la cantidad de soldado en campo del reborde superior.

Ocasionalmente la placa superior es comprada soldada al reborde superior en uno o varios extremos de la viga. Esto disminuye la cantidad de soldado en campo pero elimina las ventajas de la penetración y ensamble que da la soldadura en campo.

El reborde inferior de la viga puede ser una ranura soldada directamente a la columna si es obtenido el suficiente espacio de raíz, aunque el borde del reborde no este biselado, esto no es una Unión Precalificada AWS pero es ampliamente usado, tal vez por que el reborde inferior soldado esta en compresión. Una desventaja es que la longitud de la viga debe ser considerada con precisión. Como el reborde de la viga incrementa en grosor el espacio de raíz requerido debe incrementar. El asiento de la parte inferior además sirve como una línea de respaldo. A veces para fuerza adicional, el reborde es un filete soldado a esta placa por una distancia corta a en toda su longitud, toda la soldadura de este filete es hecha en posición plana.

En la figura 4.11 en el reborde mas bajo, la ranura no esta soldada directamente a la columna; en cambio la placa situada en el inferior es extendida mas lejos a lo largo de la viga (placa mas larga) y el filete es soldado al reborde de la viga. Esta soldadura es diseñada para transferir la fuerza compresiva al reborde de atrás en la columna. Todo la soldadura del filete esta hecha en posición plana.

Esta conexión requiere de más cuidado en el manejo y transporte, de tal manera que estas placas mas largas no sean dañadas. Esto además incrementa un poco el peso del material en la conexión.



Una viga que es considerada "compacta (según AISC) permite una curva de tensión superior de, $\sigma_b = 0.666\sigma_y$. Sin embargo para tomar ventaja de esta curva superior permisible en la conexión, es necesario que el soporte sea soldado al alma casi a su toda su profundidad. De tal manera que esto pueda ser posible, para tensionar la profundidad entera del alma a la fluencia (σ_y) en la curva a desarrollar del momento plástico (M_p), (AISC).

Si estas mismas vigas continúan sobre los soportes o proporcionando rigidez a las columnas, pueden ser proporcionadas para el 90% del momento negativo siempre que el momento positivo máximo se incremente por el 10% del promedio de los dos momentos negativos.

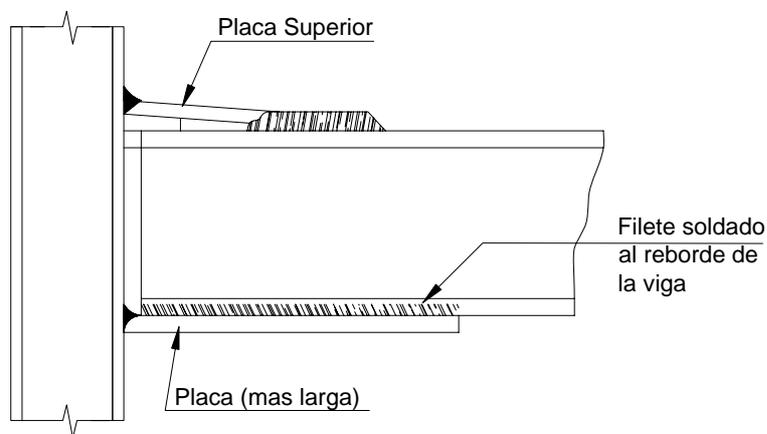


Figura 4.11

Se debe revisar si es necesario el uso de atiesadores (refuerzos) entre los rebordes. Recientemente las investigaciones indican que el mutilado del alma es el factor decisivo y si el alma de la columna tiene suficiente grosor, los atiesadores no son requeridos. El patín de la columna debe ser del suficiente espesor para resistir, sin excesiva deformación, la fuerza a tensión del patín de la viga.

Si los atiesadores en los rebordes son requeridos, considerar si estos pueden ser soldados con un filete a la columna. Usualmente el tipo de ranura de la unión "T" es detallada, $\frac{y}{o}$ los atiesadores tienen un solo bisel de 45° alrededor de sus tres lados. Si el soldado de filete tiene un tamaño de pierna cerca de $\frac{3}{4}$ " del grosor de los atiesadores será desarrollada una fuerza completa de la placa. Ambas de estas uniones requerirán ceca de la misma cantidad de metal soldado. El bisel unido solo requiere un ensamblado extra, y una corriente de soldadura más baja y electrodos más pequeños para los primeros pasos. En este caso la ranura unida no es muy accesible para el soldador, y presenta un problema adicional, por que obtener este soldado abajo entre los rebordes de la columna resulta una tarea muy complicada.

La doble unión de biseles depende de dos factores importantes para determinar el costo y la maniobra, tanto como de la soldadura, así como del tipo de unión del filete soldado: pero a menos que los atiesadores sean extremadamente gruesos, tal vez cerca de $1\frac{1}{2}$ " , la soldadura de filete todavía puede ser lo más bajo en costo y problemas.



Transferencia de Cortante.

La fuerza cortante que se encuentra casi enteramente dentro del alma de la viga, debe ser:

1. Transferida directamente fuera de la columna de apoyo por medio de una conexión en el alma, o
2. Bajar directamente a un asiento de soporte.

La conexión del alma debe tener suficiente longitud soldada vertical para no sobre-tensionar el alma de la viga en compresión o relación.

En la figura 4.12, la reacción vertical de la viga es cargada por una soldadura que conecta el alma de la viga con una placa sujetadora. Esta placa, la cual es comprada soldada a la columna, es usada también para colocar tornillos o pernos de montaje. Este método de transferencia de cortante no solo requiere una soldadura de filete, pero es necesario que la soldadura sea hecha en posición vertical y a una baja velocidad.

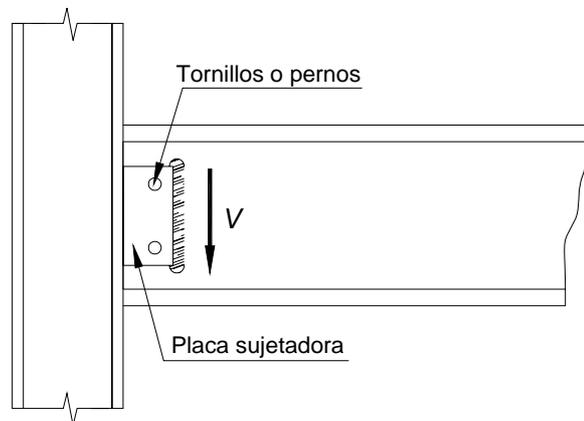


Figura 4.12 Transferencia de Cortante

En la figura 4.13, la viga se encaja lo suficientemente cerca para que el alma sea soldada en ambos lados directamente a la columna. La longitud de estos soldados es determinado por la reacción cortante a ser transferida, este método de transferencia también requiere un soldado en campo en posición vertical a una velocidad de soldado baja.

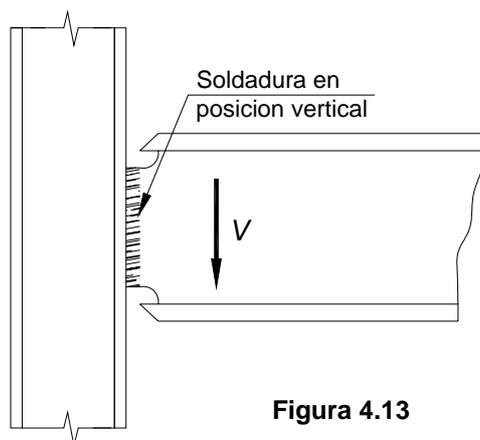


Figura 4.13

La soldadura vertical en campo, incrementa el costo de la unión y debe eliminarse si es posible.



El diseño de los angulares para la conexión de vigas consiste en seleccionar un angular o un para satisfacer el cortante. La fuerza máxima de soldadura para el angular que conecta con el alma de la viga se obtiene calculando el momento polar de inercia de la soldadura. Es posible, usando el momento polar de inercia, calcular las componentes horizontales y verticales de la resistencia al cortante de la soldadura, para equilibrar el momento producido de $R/2$.

En general se usan angulares 4x3" ò 3x3" para la conexión por alma. Si se usa una construcción toda soldad, con angulares de 4x3", el lado de 4 pulgadas se debe usar sobre el alma de la viga para reducir la excentricidad de la soldadura a lo largo del lado exterior del angular sobre el patín de la columna. Si el angular se suelda al alma de la viga, y se atornilla en el campo al patín de la columna (o el alma de otra trabe), el lado de 3 pulgadas se debe soldar a la viga y usar tornillos en el lado de 4 pulgadas, de manera que haya margen adecuado para montaje y distancia al borde.

El angular de asiento se ha de diseñar para estabilidad a flexión y debe tener el suficiente espesor y longitud en sus lados para que se pueda colocar un filete adecuado a lo largo de los lados verticales, para soportar el cortante y momento debido a la excentricidad de la reacción.

En la figura 4.14, el asiento de montaje, se encuentra reforzado y tienen suficiente soldadura para transmitir la reacción cortante atrás de la columna. Esta soldadura en la columna esta hecha en taller en posición plana, para la velocidad más rápida de soldado.

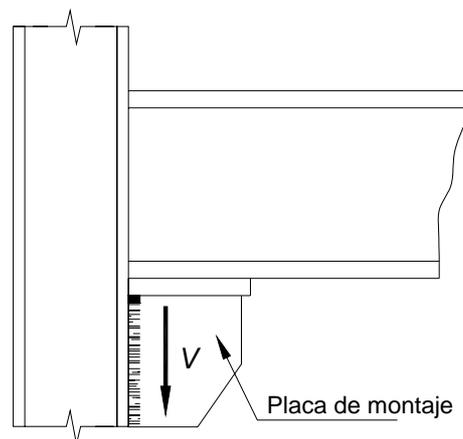


Figura 4.14

Esto elimina alguna posición fuera de sitio, que resultaría más costosa soldada en el campo. La placa de montaje, sirve como un soporte para la viga durante su montaje y alineación, y un sitio para el montaje de pernos o tornillos, a través del reborde inferior y un medio para cargar la reacción cortante. Este soporte no debe extenderse demasiado, no debe quedar fuera de los rebordes o interferiría con alguna prueba o con la construcción de algún muro. El alma de la viga a veces es reforzada con una placa adicional en el extremo para darle el grosor necesario, en esta reducida relación de longitud.

Si alguna soldadura vertical en campo es todavía requerida, se debe considerar tener uno o más soldadores para esta labor, y otros soldadores para realizar la soldadura plana con la corriente superior. Esto elimina el cambio en la corriente de soldado y tamaño de los electrodos para las diferentes posiciones de soldadura.



4.4 MONTAJE.

La conexión debe permitir el montaje rápido y ensamblado en el lugar de la viga. Esto debe proporcionar un soporte temporal para la carga muerta y alguna estabilidad horizontal hasta que la conexión pueda ser completada por la soldadura.

Si se usan tornillos o pernos de montaje los agujeros se deben de realizar con ayuda de un taladro en el miembro. Para las vigas y las columnas con rebordes gruesos los cuales excedan la capacidad del taladro, estos agujeros deben de realizar desde taller; esto es costoso. Lo cual, puede provocar que los hoyos se coloquen en el alma delgada de la viga.

Donde posiblemente, se requiera el uso de pequeñas placas sujetadoras las cuales pueden ser perforadas mientras se encuentran separadas, entonces se puede adquirir la soldadura para la viga o columna. Esto elimina alguna necesidad de mover miembros pesados a otra área para golpear o perforar.

En la figura 4.15, la soldadura apoya a un angular de montaje para tomar la carga muerta de la viga. La viga es colocada en su lugar por medio de tornillos de montaje a través del reborde inferior.

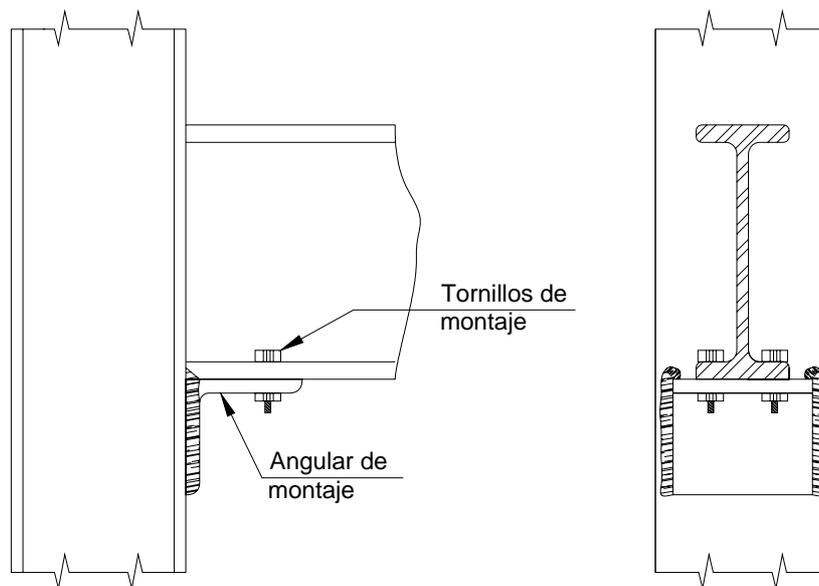


Figura 4.15 Angular y tornillos de montaje

En la figura 4.16, una placa soldada a la columna proporciona un soporte temporal para la viga. Unos tornillos de montaje pasan a través del alma de la viga que coloca la viga en su posición correcta. Un ángulo puede ser usado en lugar de la placa, aunque esto aumentaría ligeramente el costo del material, sería mas fácil instalarlo y sujetarlo en la correcta alineación durante el soldado. A veces un asiento (placa o angular de montaje) es comprado soldado a la columna, como se muestra en la figura, la elevación del alma de la viga puede cambiar por el posible sobre-funcionamiento o el bajo-funcionamiento de la viga.

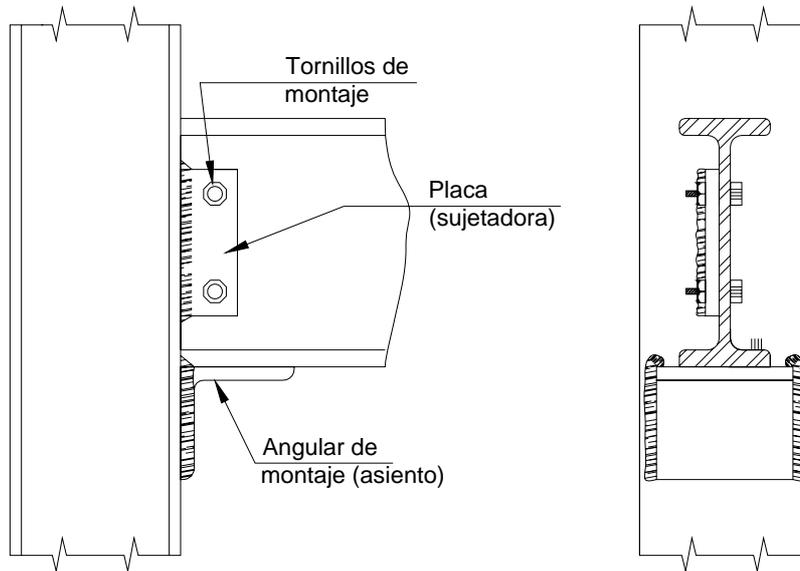


Figura 4.16 Placa en el alma de la viga

El montaje con Saxe Clips, figura 4.17, son hechos o forjados de acero y son fáciles de soldar. El saxe clip es comprado soldado bajo el lado del reborde de la viga y el asiento es pedido soldado en la posición apropiada respecto a la columna.

Esto permite a la viga deslizarse fácilmente a su sitio durante el montaje. Un tipo de saxe clip es ajustable y permite un movimiento de $\frac{3}{16}$ " así como una cierta rotación.

Se debe considerar el uso de remaches soldados en la mayoría de los miembros en lugar de pernos o tornillos de montaje; esto eliminara el perforado de la mayoría de los miembros, estos se han aceptado ya en los campos de edificios y puentes para usar como acoplamiento de la cortante.

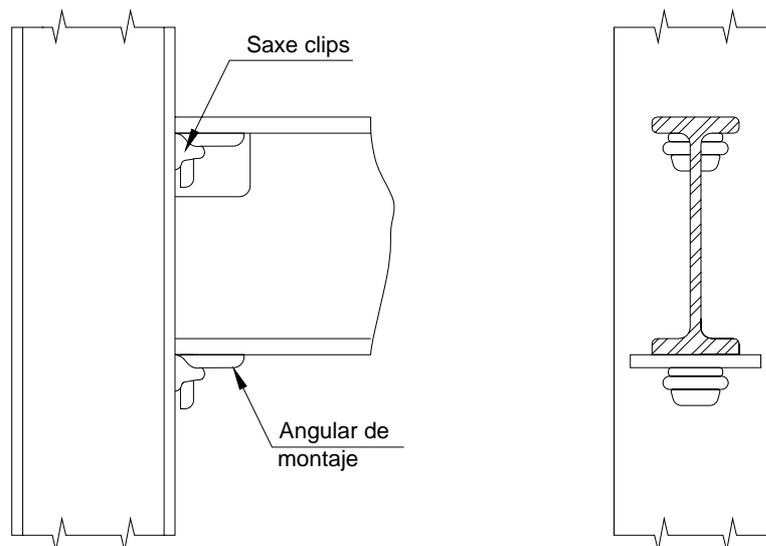


Figura 4.17 Montaje con Saxe clips



RECOMENDACIONES:

- Muchas conexiones proporcionan una directa y efectiva transferencia de fuerzas y aun así, todavía son muy costosas en preparación, ensamblado y soldado.
- La máxima economía es obtenida, cuando una unión es designada para la soldadura. Esto no es suficiente para aplicar soldadura al diseño remachado o pernado.
- El uso de rigidez y conexiones continuas para una estructura más eficiente, reducirá el peso de la viga y comúnmente reduce el peso total de estructura.
- El uso de diseños plásticos reduce el peso del acero debajo del marco simple, y reduce el tiempo de diseño por debajo del diseño convencional de rigidez elástica.
- La mayor porción de soldadura debe ser hecha en taller y en posición plana, tanto como sea posible, las placas utilizadas en las conexiones, así como los ángulos de montaje, sujetadores en columnas, etc. Deben ser reunidos, ensamblados y soldados en el taller en posición plana.
- La conexión debe ofrecer una accesibilidad completa para el soldado si se ha terminado en taller o en el campo. Esto es especialmente cierto en cuanto se trata del enmarcado de las vigas al alma de las columnas.
- El correcto ensamblado superior y penetración debe ser obtenido por la mejo soldadura.
- Se debe tener cuidado en la distribución de la conexión, cortando con fuego la viga a la correcta longitud, la preparación de las uniones y levantando cada miembro a la posición y alineación correcta.

VENTAJAS DE LA SOLDADURA

- El empleo de conexiones soldadas en vez de atornilladas o remachadas permite un ahorro de material (hasta de un 15%).
- La soldadura requiere menos trabajo y por lo tanto menos personal que la colocación de remaches o tornillos (un soldador puede reemplazar una cuadrilla de remachadores).
- La soldadura permite una gran variedad de conexiones, cosa que no se puede con remaches o tornillos.
- Las conexiones soldadas son más rígidas que las demás, lo cual permite una verdadera continuidad en la transmisión de elementos mecánicos entre miembros.
- Debido a la mayor resistencia del metal de aportación las conexiones soldadas permiten una gran resistencia a la fatiga.
- Las estructuras soldadas pueden repararse muy fácilmente a diferencia del resto.
- Las conexiones soldadas han permitido la construcción de estructuras soldadas y "limpias".
- Las conexiones soldadas permiten ajustes de proyecto más fácilmente que en otro tipo de conexiones.
- El trabajo de soldadura es silencioso comparado con el remachado.
- Hay un ahorro considerable en el cálculo, detallado y montaje de las estructuras.

DESVENTAJAS

- Las conexiones rígidas pueden no ser óptimas en el diseño.
- La revisión de las conexiones soldadas no es muy sencillo con respecto al resto.
- La creencia de la baja resistencia a la fatiga en conexiones soldadas (no se permite aún en algunos puentes ferroviarios U.S.A).



CAPITULO 5

DISEÑO DE CONEXIONES

5.1 INTRODUCCIÓN

La soldadura es un proceso por el cual se unen piezas de metal, calentándolas hasta alcanzar es estado fluido o casi fluidas, con o sin aplicaron de presión.

La soldadura estructural es casi toda eléctrica, y se dispone de numerosos procesos. La corriente se usa para calentar el electrodo hasta alcanzar el estado líquido, y luego depositarlo como relleno sobre las superficies de contacto de las piezas que se requieren unir. Si la cantidad de electrodo depositado es pequeña en relación con el espesor de las partes unidas, el proceso tiende a ser poco confiable (es decir, ocurre una fusión insuficiente del metal base de manera que la soldadura puede reventarse o no efectuar una junta completa).

Excentricidades

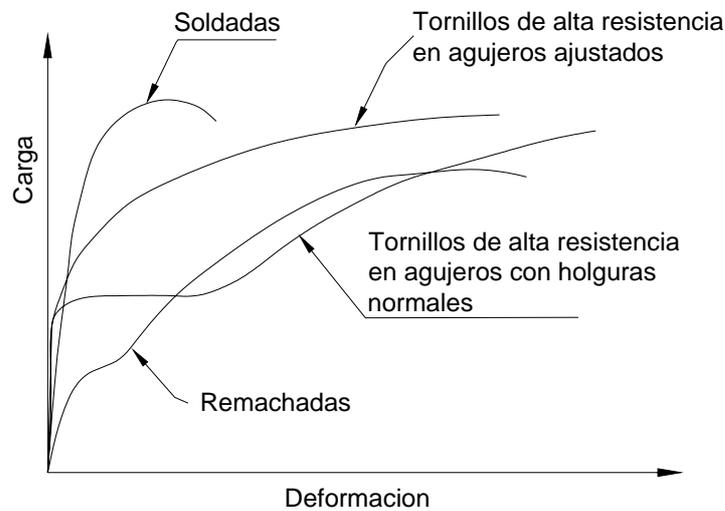
Suele suponerse que los ejes conectados entre sí ocurren en un punto; sin embargo, al estudiar la conexión en detalle, teniendo en cuenta las dimensiones reales de los elementos que la forman y la necesidad de colocar entre ellos determinada longitud de soldadura o cierto número de remaches o tornillos, es frecuente que sea imposible lograr coincidencia de los ejes. Las excentricidades deben reducirse a un mínimo, pero aún así los momentos adicionales que crean han de tenerse en cuenta el diseño.

Las pequeñas excentricidades existentes entre el eje de un miembro formado por uno solo o por dos ángulos y el centro de gravedad del grupo de remaches o tornillos utilizados para conectarlo se han ignorado tradicionalmente, pues tienen no afectan en la resistencia de los miembros mencionados, cuando están cargados estáticamente; si la conexión es soldada se justifica una práctica similar.

Sin embargo, la resistencia a la fatiga de ángulos soldados cargados excéntricamente disminuye drásticamente, por lo que en miembros sujetos a cargas cíclicas se recomienda "balancear" las soldaduras, es decir, colocar a los lados del ángulo las longitudes necesarias para que la línea de acción de la fuerza pase por el centro de gravedad de los cordones de soldadura.

Conexiones Soldadas.

En la grafica 5.1 se muestran curvas carga-deformación típicas de conexiones soldadas, atornilladas y remachadas, que transmiten las fuerzas por cortante. Las uniones con tornillos de alta resistencia colocados en agujeros de dimensiones usuales proporcionan una rigidez inicial muy alta, que se conserva hasta que la junta desliza; durante el deslizamiento las deformaciones crecen significativamente, hasta que los tornillos entran en contacto con las placas; después, la rigidez aumenta de nuevo.



Gráfica 5.1. Curva carga-deformación de conexiones de distintos tipos

El deslizamiento puede reducirse instalando los tornillos en agujeros de su mismo diámetro, pero esto no es práctico en estructuras reales.

La rigidez de las conexiones remachadas es menor que la de las juntas con tornillos de alta resistencia diseñadas para transmitir fuerza por fricción. Es frecuente que aparezca un cambio súbito de pendiente en la curva carga-deformación, comparable al deslizamiento mencionado arriba, pero cuya magnitud es del orden de un tercio del que presenta en conexiones atornilladas resistentes al deslizamiento.

Las conexiones soldadas tienen una capacidad de deformación mucho menor que las atornilladas o remachadas; en ellas no hay deslizamiento, y su rigidez inicial sólo cambia en la cercanía de la carga última.

Comparando las curvas carga-deformación de la gráfica se concluye que la combinación de dos tipos de sujetadores será apropiada cuando tengan características de deformación compatibles. Las combinaciones más convenientes son soldaduras con tornillos resistentes al deslizamiento y remaches con tornillos.

La capacidad de deformación total de las soldaduras es del mismo orden de magnitud que el deslizamiento máximo de las conexiones con tornillos de alta resistencia diseñados por fricción colocados, en agujeros de diámetro 1.5 mm. mayor que el suyo propio. Por tanto, si se usan los dos tipos de sujetadores en un plano de corte común, la capacidad de la junta combinada resultante puede tomarse igual a la suma de la resistencia a la ruptura de la soldadura más la resistencia al deslizamiento proporcionada por los tornillos.

Puede esperarse que la falla por cortante de la soldadura suceda al mismo tiempo en que los tornillos deslizan, hasta entrar en contacto con las partes unidas; si la junta se diseñó como resistente al deslizamiento, esto constituye la falla. Si los tornillos se diseñaron por aplastamiento, la conexión consiste ahora en una junta atornillada que trabaja por aplastamiento; las soldaduras están rotas.



De acuerdo con el comportamiento descrito, en estructuras nuevas sólo es lógico utilizar tornillos de alta resistencia y soldadura combinadas en la misma junta cuando los primeros se diseñan para que la conexión resiste al deslizamiento. La resistencia máxima de la junta, definida como la separación completa de las partes, será igual a la mayor de las capacidades siguientes:

- a) De los tornillos al corte,
- b) De las placas al aplastamiento, y
- c) De las soldaduras al cortante.

La resistencia determinada así debe ser, cuando menos, igual al efecto de las fuerzas de diseño (factorizadas).

En reparación o refuerzo de estructuras existentes se identifican dos casos.

1. Si, por ejemplo, se añaden soldaduras a una junta atornillada que tiene una carga muy pequeña o nula, la situación es igual a la descrita para estructuras nuevas.
2. En cambio, si la carga inicial en la conexión es importante, las soldaduras o tornillos existentes la están ya resistiendo, y los sujetadores que se coloquen después servirán sólo para resistir cargas aplicadas posteriormente.

En conexiones en las que se combinan soldaduras y sujetadores mecánicos diseñados para transmitir la carga por aplastamiento, éstos deslizan antes de que se presente la falla, lo que hace que las soldaduras tengan que resistir una porción indeterminada, pero importante, de la fuerza que les correspondería a los tornillos o remaches; por este motivo, las soldaduras deben diseñarse para las cargas completas, ignorando la parte, pequeña e indeterminada, que pueden resistir los sujetadores mecánicos.

Para que los tornillos de alta resistencia en conexiones diseñadas para transmitir las fuerzas por fricción, sin deslizamiento, compartan la carga con soldaduras, es conveniente apretarlos por completo antes de hacer la soldadura; si se cambia el orden, las distorsiones angulares producidas por el calor de la soldadura pueden impedir el contacto íntimo entre las partes conectadas, necesario para desarrollar la fuerza de fricción. Cuando los tornillos se aprietan adecuadamente antes de soldar, la soldadura y los tornillos comparten la fuerza en el plano de corte común. El calor producido al soldar cerca de los tornillos no afecta sus propiedades mecánicas.

Cuando se hace una modificación con soldadura, a una estructura existente, ya se han presentado los deslizamientos propios de las juntas remachadas o atornilladas; por ello, se considera que los sujetadores originales siguen soportando la carga muerta que hay al hacer la modificación, y que las solicitaciones posteriores son resistidas por la soldadura.

Es claro que las observaciones anteriores no son válidas para placas u otros elementos que están soldados en uno de sus extremos y atornillados o remachados en el otro, como sucede, por ejemplo, en las placas por alma para transmitir la fuerza cortante de una viga a la columna en que se apoya.



5.2 RESISTENCIA DE DISEÑO DE LAS SOLDADURAS

5.2.1 SOLDADURA DE FILETE

Las excentricidades y discontinuidades propias de las soldaduras de filete, combinadas con los complejos ciclos térmicos que acompañan en su ejecución, producen estados de esfuerzos muy complicados, que no pueden estudiarse analíticamente, por lo que el cálculo de su resistencia se basa en estudios experimentales.

La mayoría de los códigos actuales, basan la determinación de la resistencia de la soldadura de filete en dos suposiciones principales:

1. La falla se presenta siempre por cortante en la garganta, cualquiera que sea el tipo de sollicitación.
2. Las fuerzas cortantes se distribuyen uniformemente en la superficie de falla, en toda la longitud del cordón.

El área efectiva de una soldadura de filete es igual al producto de su longitud por el tamaño efectivo de la garganta; la resistencia de una soldadura se calcula multiplicando su área efectiva por un esfuerzo constante.

Se ha demostrado experimentalmente que la resistencia de las soldaduras de filete no es independiente de la dirección de las fuerzas que obran sobre ella, y aunque la falla es siempre por cortante varía la inclinación del plano de ruptura.

En estudios experimentales realizados alrededor de 1930 se encontró que las soldaduras con carga transversal, normal al eje del cordón (Fig. 5.1.A), tienen una resistencia del orden de 30% mayor que las cargadas longitudinalmente; a lo largo de su eje (Fig. 5.1.B), lo que se ha corroborado con ensayos más recientes en los que se reportan incrementos de resistencia comprendidos entre 40% y 50%, y se indica que el plano da falla no suele formar ángulos de 45° con los planos de las piernas, sobre todo en soldaduras transversales.

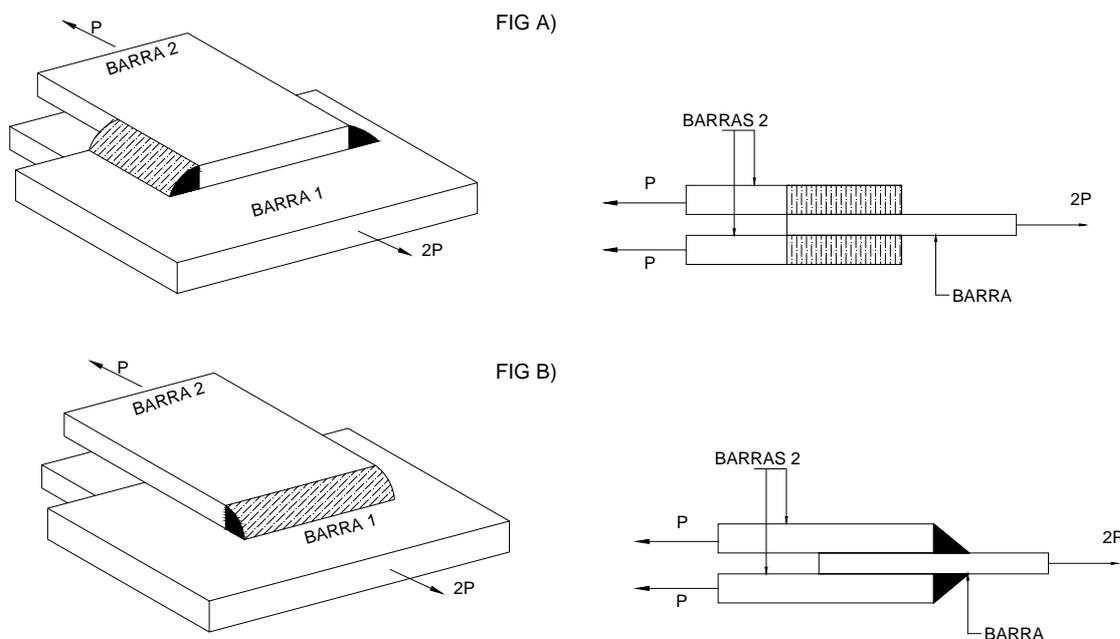




Figura 5.1 Soldadura de filete longitudinales y transversales

La mayor parte de las normas recomienda el empleo de resistencias constantes, independientes del ángulo de inclinación, pues se considera que la economía en la soldadura que puede lograrse utilizando esfuerzos variables no justifica las complicaciones adicionales en el diseño. Cuando se usan soldaduras transversales se eleva el coeficiente de seguridad de la junta, pero se pierde ductibilidad.

En los últimos años se empieza a manifestar una tendencia a utilizar más racionalmente la resistencia de las soldaduras de filete teniendo en cuenta, entre otros factores, el ángulo de inclinación de la carga, pues aunque los cálculos numéricos se complican mucho, el trabajo se facilita con la ayuda de la computadora para resolver los casos de interés práctico, y basar el diseño rutinario en tablas de resistencias obtenidas con ellas.

Las soldaduras de filete con carga longitudinal están sometidas a solicitaciones muy diferentes de las que aparecen en las transversales, lo que justifica que sus resistencias difieran apreciablemente.

La transmisión de las fuerzas P de las barras 2 a la 1 en la junta de la figura 5.1.A se efectúa a través de los cuatro filetes colocados entre ellas, que quedan sometidos a fuerzas longitudinales aplicadas en sus caras vertical y horizontal.

En la figura 5.2 se muestra uno de los filetes aislado del resto de la junta; se indican fuerzas que actúan sobre él y los esfuerzos y deformaciones, predominantemente cortantes, que ocasionan. Los esfuerzos, que cambian de intensidad a lo largo de las soldaduras, son máximos en los extremos, pero cuando las deformaciones de las barras, de las soldaduras, o de ambas, sobrepasan la correspondiente al límite de fluencia, se redistribuyen y tienden a uniformizarse, de manera que cerca de la falla es correcta la suposición de que son constantes en toda la longitud, cuando menos en juntas con carga estática.

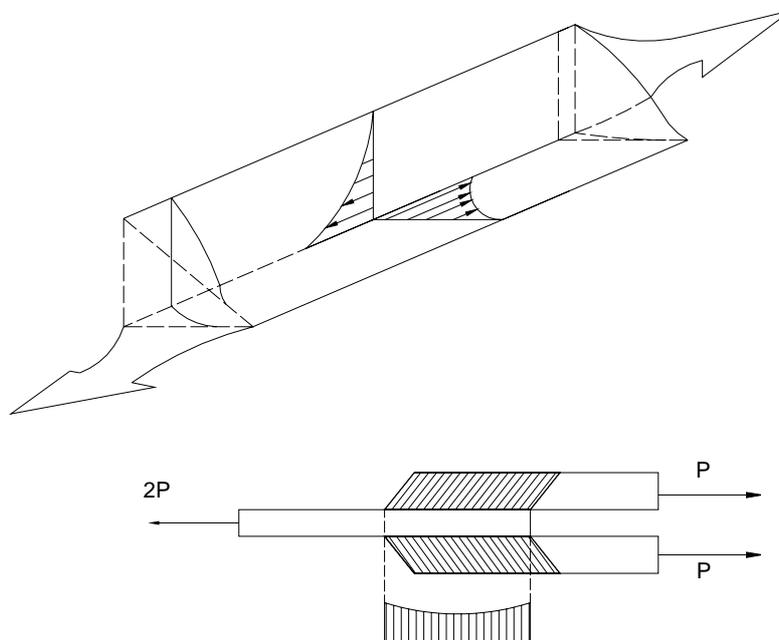


Figura 5.2. Esfuerzos en soldaduras de filete cargadas longitudinalmente



Se recomienda que se utilice la longitud real en cordones de hasta 2 m, y que para calcular la resistencia de soldaduras más largas se emplee una longitud reducida que se obtiene multiplicando la real por el factor:

$$n = 1.3 - 0.15l$$

donde: l = la longitud del cordón.

Así en conexiones viga-columna se emplea la longitud total no reducida de las soldaduras del alma de las vigas, y lo mismo se hace en los cordones entre almas y patines de travesaños soldados.

La distribución de esfuerzos en soldaduras con carga transversal es mucho más compleja, como se ve en la figura 5.3 en la que se muestran uno de los cordones de la figura 5.1b, aislado, y los esfuerzos que aparecen en él, medidos experimentalmente, que pueden considerarse constantes en toda la longitud de la junta; además de los cortantes, hay ahora importantes esfuerzos normales producidos por flexión.

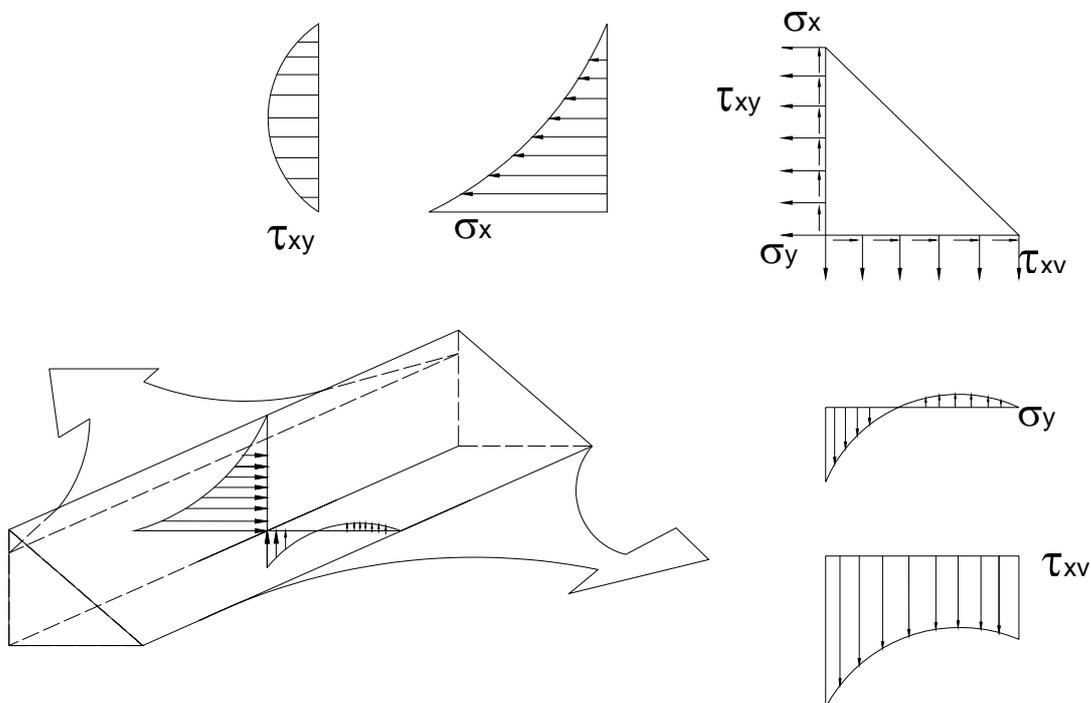


Figura 5.3 Esfuerzos en soldaduras de filete cargadas transversalmente

El problema se complica más cuando las juntas son asimétricas, pues aparecen en las soldaduras esfuerzos y deformaciones adicionales significativas.

Por lo cual se recomienda que el esfuerzo cortante permisible en el área efectiva de las soldaduras de filete se tome, para cualquier dirección de la carga, igual a 0.3 veces la resistencia mínima a la ruptura en tensión del metal depositado, siempre que el electrodo se utilice para soldar aceros con características mecánicas similares a las del metal de aportación; se obtiene así un coeficiente de seguridad contra la ruptura de la soldadura comprendido entre 2 y 3.



Cuando el metal base es más resistente que el de aportación se conserva el mismo esfuerzo.

Si se supone que las soldaduras de filete fallan siempre por cortante en la garganta y que los esfuerzos están distribuidos uniformemente en toda el área efectiva, su resistencia de trabajo se obtiene multiplicando está por el esfuerzo permisible; por ejemplo: si el cordón se ha depositado con un electrodo E70XX, la fuerza que resiste en condiciones de trabajo es:

$$(D \cos 45^\circ)L(0.30(4920))$$

Donde:

- $D \cos 45^\circ$ es el tamaño de la garganta,
- $(D \cos 45^\circ)L$ = El área efectiva, y
- $0.30(4920)$ = El esfuerzo permisible ($4920 \text{ g/cm}^2 (70000 \text{ b/in}^2)$), es el esfuerzo mínimo de ruptura en tensión del metal depositado con un electrodo E70XX)

En diseños basados en estados límite se necesita conocer la resistencia nominal de ruptura de las soldaduras de filete; para determinarla se conservan las hipótesis relativa al plano y forma de falla y a la distribución de esfuerzos, que sigue considerándose uniforme, y la resistencia nominal en el área efectiva se toma igual a:

$$0.60 F_{EXX},$$

Donde: F_{EXX} es el esfuerzo mínimo de ruptura en tensión del metal depositado; además, se recomienda un factor de resistencia de 0.75.

De esta manera, la resistencia de diseño de una soldadura de filete, R_s , es:

$$R_S = F_R * F_{MB}$$

donde:

$F_{MB} = F_S$ = Resistencia nominal del metal base.

$F_R = 0.60 * F_{EXX}$ es la Resistencia nominal del metal de aporte (electrodo).

Las soldaduras utilizadas en estructuras deberán resistir gran número de repeticiones de carga durante su vida útil, y se diseñaran tomando en cuenta la posibilidad de falla por fatiga.

La resistencia de diseño de un filete de tamaño D y longitud L es:

$$(D \cos 45^\circ) L(0.75 * 0.60 F_{EXX})$$

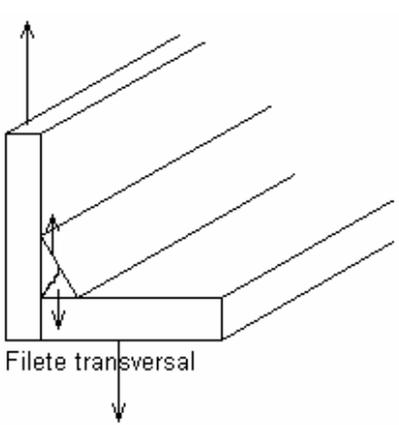
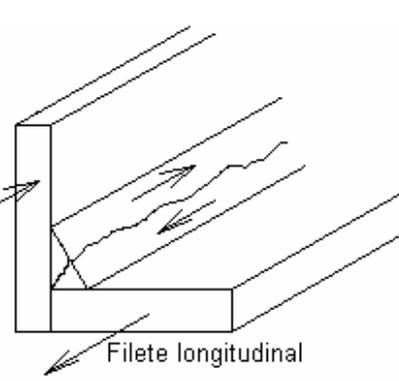
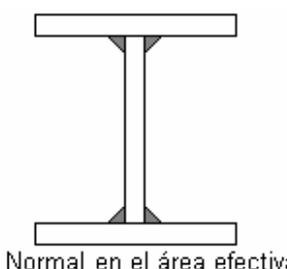
esta expresión es semejante a la que se usa en diseño por esfuerzos permisibles, en la que se ha sustituido el factor 0.3 que multiplica a F_{EXX} por $0.75 * 0.60 = 0.45$; se obtiene así una relación entre el esfuerzo de falla de diseño y el de servicio de $0.45/0.3 = 1.5$, igual a la que se ha utilizado tradicionalmente en diseño por esfuerzos permisibles.

En el diseño de juntas con soldaduras de filete debe tenerse en cuenta que su resistencia puede quedar regida por la soldadura o por el metal base; el diseño de la soldadura está gobernado por su área efectiva, y el de las partes conectadas por las áreas de sus secciones transversales.



RESISTENCIA DE DISEÑO

➤ SOLDADURA TIPO FILETE

Tipo de soldadura	Material	F_R	F_{MB} o F_S	Nivel de resistencia requerido
 <p>Filete transversal</p>	Metal base*	-----	-----	Puede usarse soldadura de resistencia igual o menor que la compatible con el metal base
 <p>Filete longitudinal</p>	Electrodo	0.75	$0.6 F_{EXX}$	El diseño del metal base queda regido de acuerdo al caso particular, que está sufriendo de acuerdo a las N.T.C.
 <p>Normal en el área efectiva</p>	Metal base	0.9	F_y	



La figura 5.4 ilustra los planos de cortante para las soldaduras de filete y el metal base en dos juntas con soldaduras cargadas longitudinalmente; el diseño queda regido por el plano de transmisión de cortante más débil, que puede ser el 1-1 o el 3-3, en los que gobierna la resistencia al cortante de las placas, o el 2-2, donde rige la resistencia de las soldaduras; el plano 2-2 de la junta b es doble, puesto que la fuerza se transmite por dos soldaduras.

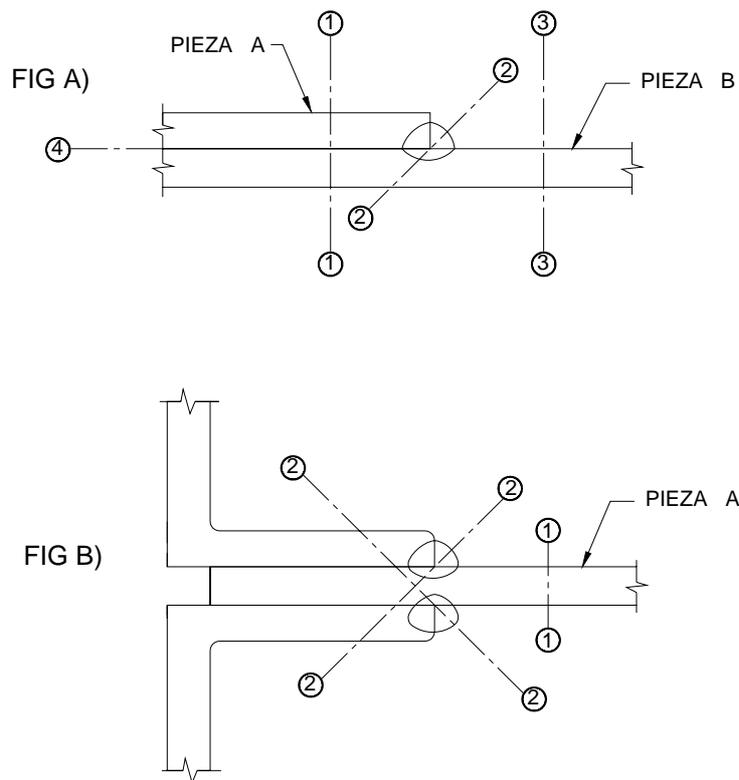


Figura 5.4 Planos de cortante para juntas con soldaduras de filete cargadas longitudinalmente

Si la pieza A de la junta b trabajase a tensión, se compararía su resistencia en tensión, en el plano 1-1, con la suma de resistencias al corte de los dos filetes (planos 2-2); además, se revisarían las resistencias de los ángulos.

Los planos 1-1 y 3-3 están fuera de la zona de fusión entre soldaduras y metal base, pues se ha demostrado experimentalmente que esa zona no suele regir la resistencia de las juntas. Sin embargo, si el metal de aportación es más resistente que el base, lo que puede suceder cuando se unen dos aceros de resistencias diferentes, el diseño de la junta puede quedar regido por el plano de corte, en la zona fundida, del acero menos resistente. Si la pieza B de la figura 5.4 estuviese hecha con acero de menor resistencia que la A, tendría que revisarse el plano 4-4 en que el área efectiva sería el producto del tamaño del filete (dimensión de la pierna, D) por la longitud, y el esfuerzo permisible 0.3 veces la resistencia en tensión del acero de la pieza B, en esa área efectiva.



HIPÓTESIS PARA EL DISEÑO DE SOLDADURA DE FILETE

Las juntas soldadas que se utilizan en estructuras contienen con frecuencia grupos de soldaduras que deben resistir la acción simultánea de varias acciones diferentes. Como la complejidad del problema impide el cálculo de los esfuerzos reales, las soldaduras se dimensionan utilizando esfuerzos nominales que se determinan tomando como punto de partida las siguientes hipótesis:

- A)** El material de las soldaduras es elástico, homogéneo e isótropo.
- B)** Se desprecian las deformaciones de las partes conectadas, que se consideran rígidas.
- C)** Solamente se tienen en cuenta los efectos de las cargas exteriores, y se ignoran los esfuerzos.
- D)** La respuesta de la soldadura es elástica hasta la falla, e independiente del ángulo que forma la fuerza que actúa sobre ella con el eje del cordón.
- E)** Los esfuerzos, o las acciones nominales, se calculan con las fórmulas ordinarias de la resistencia de materiales en régimen elástico, referidas siempre a los ejes centroidales y principales del conjunto de soldaduras.
- F)** Cuando las solicitaciones son de varios tipos diferentes, los esfuerzos totales, o las acciones nominales totales, se obtienen sumando vectorialmente los producidos por cada solicitación, considerada por separado.
- G)** El tamaño del filete se escoge de manera que el esfuerzo máximo, calculado como se indica en el inciso F, no exceda el cortante admisible en la garganta, o de manera que al acción de diseño no sobrepase la resistencia de diseño.



5.2 SOLDADURA DE PENETRACIÓN.

Como el metal de relleno sustituye al metal base, las soldaduras de penetración completa quedan sometidas a las mismas sollicitaciones que los elementos que unen. Si se utiliza un metal de aportación que al combinarse con el material base produce una soldadura de resistencia cuando menos igual a la de éste, no se necesita hacer ningún análisis de esfuerzos, y el diseño se reduce a escoger un metal de aportación (electrodo, ó combinación de electrodo y fundente) adecuado al tipo de acero que se esté soldando, y a utilizar las preparaciones y procesos necesarios para obtener soldaduras correctas.

En soldaduras de penetración incompleta sí puede requerirse un cálculo de resistencias, excepto en los casos, bastante frecuentes, que se utilicen para ligar las placas que forman una sección compuesta y no tengan que transmitir fuerzas importantes.

El área efectiva de una soldadura de penetración es igual al producto de su longitud y garganta efectivas; la longitud efectiva es el ancho de la parte unida medido perpendicularmente a la dirección de los esfuerzos, aunque la soldadura esté inclinada con respecto al eje de la pieza y tenga una longitud mayor.

La garganta efectiva de las soldaduras de penetración completa es el grueso de las partes unidas, o de la más delgada si tienen espesores diferentes; no se permite ningún incremento por el esfuerzo.

La resistencia de diseño de las soldaduras es igual al menor de los siguientes resultados:

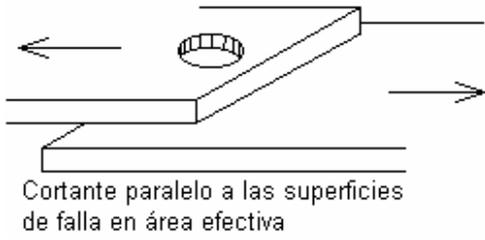
$$R_S = F_R * F_{MB}$$

donde:

$F_{MB} = F_S$ = Resistencia nominal del metal base.

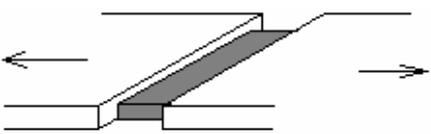
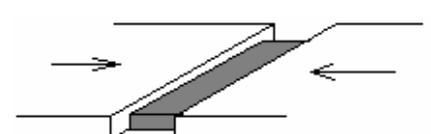
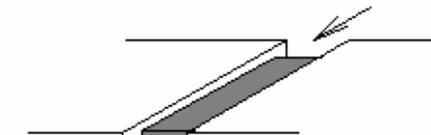
$F_R = 0.60 * F_{EXX}$ es la Resistencia nominal del metal de aporte (electrodo).

SOLDADURA DE TAPÓN O RANURA

Tipo de soldadura	Material	F_R	F_{MB} o F_S	Nivel de resistencia requerido
 <p>Cortante paralelo a las superficies de falla en área efectiva</p>	<p>Metal base*</p> <p>Electrodo</p>	0.75	$0.60 F_{EXX}$	Puede usarse soldadura con resistencia igual o menor que el del electrodo compatible con el metal base

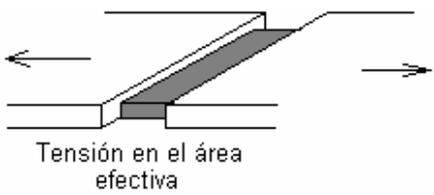
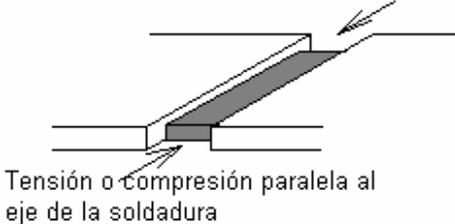


➤ **SOLDADURA DE PENETRACIÓN COMPLETA**

Tipo de soldadura	Material	F_R	F_{MB} o F_S	Nivel de resistencia requerido
 <p>Tensión en el área efectiva</p>	Metal base	0.9	F_y	Debe usarse soldadura compatible con el metal base (E60, E70)
 <p>Compresión en el área efectiva</p>	Metal base	0.9	F_y	Puede usarse soldadura de resistencia igual o menor que la soldadura compatible con el metal base
 <p>Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura</p>	Metal base	0.9	F_y	
 <p>Cortante paralelo al eje de la soldadura</p>	Metal base Electrodo	0.9 0.8	$0.60 F_u$ $0.60 F_{EXX}$	



➤ **SOLDADURA DE PENETRACIÓN PARCIAL**

Tipo de soldadura	Material	F_R	F_{MB} o F_S	Nivel de resistencia requerido
 <p>Tensión en el área efectiva</p>	Metal base Electrodo	0.9 0.8	F_y $0.60 F_{EXX}$	Puede usarse soldadura de resistencia igual o menor a la del electrodo compatible al metal base
 <p>Compresión en el área efectiva</p>	Metal base	0.9	F_y	
 <p>Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura</p>	Metal base	0.9	F_y	* De acuerdo a la conexión que soporte el material se diseñara de acuerdo a las NTC
 <p>Cortante paralelo al eje de la soldadura</p>	Metal base* Electrodo	0.75	$0.60 F_{EXX}$	



5.3 TABLAS PARA DISEÑO DE SOLDADURA.

TABLA 5.1 METALES DE APORTACION COMPATIBLES CON EL ACERO A36

METAL BASE	SOLDADURA CON ELECTRODO RECUBIERTO	SOLDADURA DE ARCO SUMERGIDO	SOLDADURA PROTEGIDA CON GASES	SOLDADURA CON ELECTRODO CON NUCLEO FUNDENTE	PROPIEDADES DEL METAL DE SOLDADURA			
					Fy		Fu	
					kg/cm2	KSI	kg/cm2	KSI
A36	E60XX	F6X-EXXX	ER70S-X (ANSI/AWS A5.18)	E6XT-X	3515	50	4360	62
	E70XX (ANSI/AWS A5.1 ó ANSI/AWS A5.5)	F7X-EXXX (ANSI/AWS A5.17 ó A5.23)		E7XT-X Excepto -2, -3, -10, -GS. (ANSI/AWS A5-20)	4220	60	5062	72



TABLA 5.2
SOLDADURAS DE FILETE. RESISTENCIAS PERMISIBLES, kg/cm
(Corresponden a solicitaciones producidas por cargas de trabajo)

TAMAÑO NOMINAL DEL FILETE		SOLDADURA MANUAL CON ELECTRODO RECUBIERTO Y AUTOMÁTICA DE ARCO SUMERGIDO			SOLDADURA AUTOMÁTICA CON ARCO SUMERGIDO		
PULG.	mm	GARGANTA EFECTIVA (mm)	FUERZA CORTANTE ADMISIBLE (kg/cm)		GARGANTA EFECTIVA (mm)	FUERZA CORTANTE ADMISIBLE (kg/cm)	
			E60XX F6XX- EXXX	E70XX F7XX- EXXX		F6XX-EXXX	F7XX-EXXX
1/8	3.18	2.25	284	331	3.18	401	468
3/16	4.76	3.37	426	497	4.76	602	702
1/4	6.35	4.49	568	663	6.35	803	938
5/16	7.94	5.61	710	829	7.94	1005	1173
3/8	9.53	6.74	852	994	9.53	1205	1405
7/16	11.11	7.86	994	1160	10.65	1347	1572
1/2	12.7	8.98	1137	1326	11.77	1490	1738
9/16	14.29	10.1	1279	1492	12.9	1634	1906
5/8	15.88	11.23	1421	1657	14.02	1774	2069
11/16	17.46	12.35	1563	1823	15.14	1916	2235
3/4	19.05	13.47	1705	1989	16.26	2058	2401
13/16	20.64	14.59	1847	2155	17.39	2211	2579
7/8	22.23	15.72	1989	2320	18.51	2342	2732
15/16	23.81	16.84	2131	2486	19.63	2484	2898
1	25.40	17.96	2273	2652	20.76	2627	3065

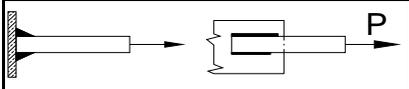
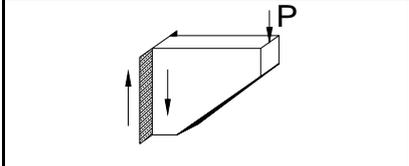
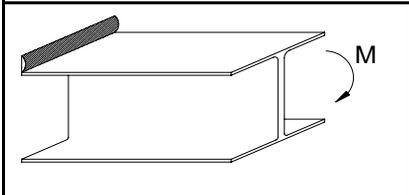
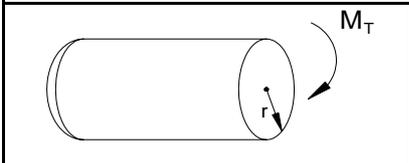


TABLA 5.3
SOLDADURAS DE FILETE. RESISTENCIAS DE DISEÑO

TAMAÑO NOMINAL DEL FILETE		SOLDADURA MANUAL CON ELECTRODO RECUBIERTO. AISC-LRFD 86 y NTC-RDF 2004			SOLDADURA DE ARCO SUMERGIDO. AISC-LRFD 86 y NTC-RDF 2004		
mm	PULG.	GARGANTA EFECTIVA (mm)	FUERZA CORTANTE DE DISEÑO (kg/cm)		GARGANTA EFECTIVA (mm)	FUERZA CORTANTE DE DISEÑO (kg/cm)	
			E60XX	E70XX		F6-XX-EXXX	F7XX-EXXX
3.2	1/8	2.25	427	498	3.18	604	704
4.8	3/16	3.37	640	746	4.76	904	1054
6.3	1/4	4.49	582	994	6.35	1205	1406
7.9	5/16	5.61	1062	1243	7.94	1507	1759
9.5	3/8	6.74	1279	1493	9.53	1809	2111
11.1	7/16	7.86	1492	1741	10.65	2021	2359
12.7	1/2	8.98	1704	1989	11.77	2234	2607
14.3	9/16	10.10	1917	2237	12.90	2449	2857
15.9	5/8	11.23	2132	2487	14.02	2661	3105
17.5	11/16	12.35	2344	2735	15.14	2874	3353
19	3/4	13.47	2557	2983	16.26	3086	3601
20.6	13/16	14.59	2769	3232	17.39	3301	3852
22.2	7/8	15.72	2984	3482	18.51	3513	4100
23.8	15/16	16.84	3196	3730	19.63	3726	4348
25.4	1	17.96	3409	3978	20.76	3940	4598



TABLA 5.4 FORMULAS PARA DETERMINAR LAS FUERZAS EN SOLDADURAS DE FILETE

TIPO DE SOLICITACIÓN		FORMULA ORDINARIA: ESFUERZOS (kg/cm ²)	SOLDADURAS TRATADAS COMO LINEAS: FUERZAS (kg/cm)
	TENSION O COMPRESION	$\sigma = \frac{P}{A}$	$F = \frac{P}{L}$
	CORTANTE	$\tau = \frac{P}{A}$	$V = \frac{P}{L}$
	FLEXIÓN	$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M}{S}$	$F_{m\acute{a}x} = \frac{P}{L}$
	TORSION	$\tau_{MT} = \frac{M_T}{J} r$	$V_{MT} = \frac{M_T}{J_L} r$

A, S y J.- Area, módulo de sección y momento de inercia del área efectiva (cm², cm³, cm⁴)
L, S_L y J_L .- Area, módulo de sección y momento polar de inercia de las líneas que coinciden con los filetes (cm, cm², cm⁴).

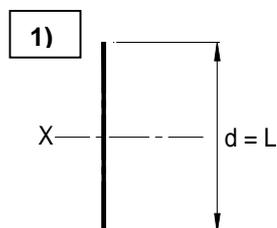


TABLA 5.5

PROPIEDADES DE CONJUNTOS DE SOLDADURAS TRATADAS COMO LÍNEAS

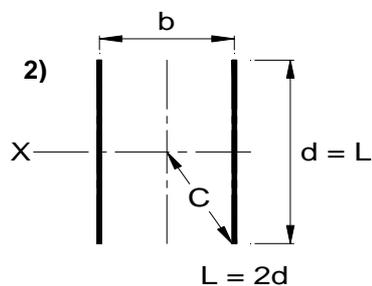
S = Módulo de sección = $\frac{I_x}{y}$

$I_p = J$ = Momento Polar de Inercia, referente al centro de gravedad.



$$I_x = I_p = \frac{d^3}{12}$$

$$S_x = \frac{d^2}{6}$$



$$I_x = \frac{d^3}{6}$$

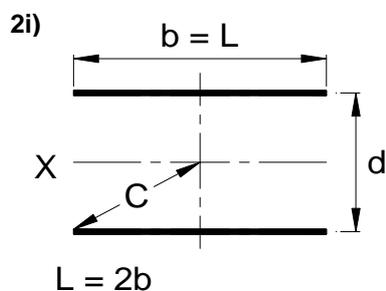
$$S_x = \frac{d^3}{3}$$

$$I_p = J = \frac{d}{6}(3b^2 + d^2)$$

$$I_y = \frac{b^2 d}{2}$$

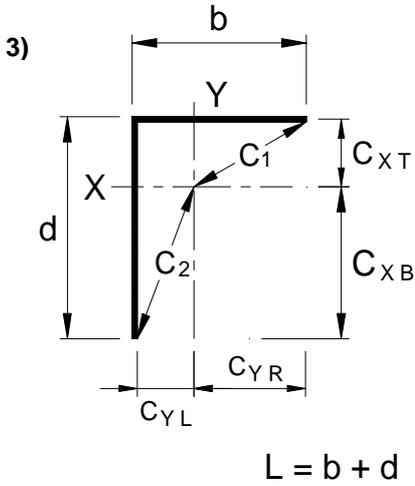
$$S_y = bd$$

$$C = \frac{(b^2 + d^2)^{1/2}}{2}$$



$$S_x = bd$$

$$I_p = J = \frac{d}{6}(3b^2 + d^2)$$



$$I_x = \frac{d^3}{12} \left(\frac{4b+d}{b+d} \right) \quad S_{XT} = \frac{d}{6} \left(\frac{4b+d}{b+d} \right)$$

$$S_{XB} = \frac{d^2}{6} \left(\frac{4b+d}{b+d} \right)$$

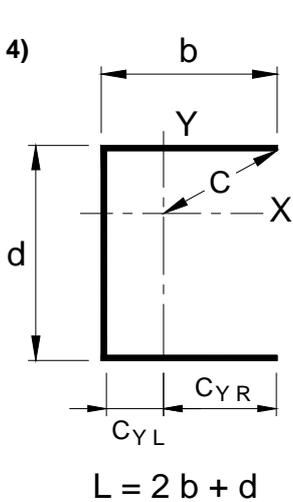
$$I_y = \frac{b^3}{12} \left(\frac{b+4d}{b+d} \right) \quad S_{YL} = \frac{b}{6} \left(\frac{b+4d}{b+d} \right)$$

$$S_{YR} = \frac{b^2}{6} \left(\frac{4b+d}{b+d} \right)$$

$$I_P = J = \frac{b^3 + d^3}{12} + \frac{bd(b^2 + d^2)}{4(b+d)} \quad \text{ó} \quad I_P = J = \frac{(b+d)^4 - 6b^2d^2}{12(b+d)}$$

$$C_{XT} = \frac{d^2}{2(b+d)} \quad C_{XB} = \frac{d}{2} \left(\frac{2b+d}{b+d} \right) \quad C_1 = (C_{XT}^2 + C_{YR}^2)^{1/2}$$

$$C_{YL} = \frac{b^2}{2(b+d)} \quad C_{YR} = \frac{b}{2} \left(\frac{b+2d}{b+d} \right) \quad C_2 = (C_{XB}^2 + C_{YL}^2)^{1/2}$$



$$I_x = \frac{d^2}{12} (6b+d) \quad S_x = \frac{d}{6} (6b+d)$$

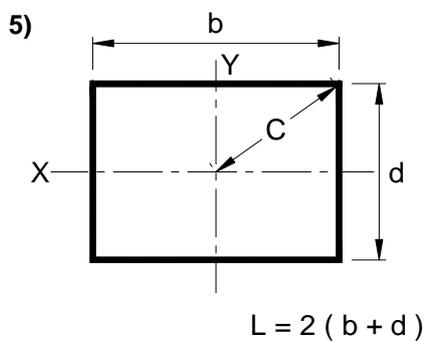
$$I_y = \frac{b^3}{3} \left(\frac{b+2d}{2b+d} \right) \quad S_{YL} = \frac{b}{3} (b+2d)$$

$$C_{YL} = \frac{b^2}{2b+d} \quad C_{YR} = \frac{b(b+d)}{2b+d} \quad S_{YR} = \frac{b^3}{3} \left(\frac{b+2d}{b+d} \right)$$

$$C = \left[C_{YR}^2 + \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right]^{1/2}$$



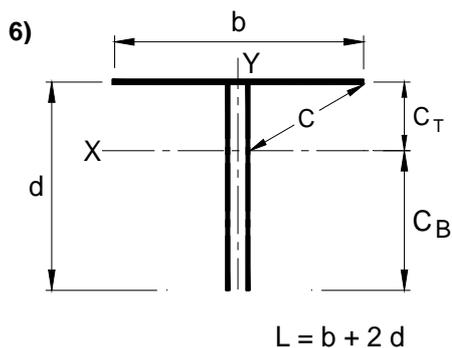
$$I_P = J = \frac{b^3}{3} \left(\frac{b+2d}{2b+d} \right) + \frac{d^2}{12} (6b+d) \quad \text{ó} \quad I_P = J = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d}$$



$$I_X = \frac{d^2}{6} (3b+d) \quad S_X = \frac{d}{3} (3b+d)$$

$$I_Y = \frac{d^2}{6} (b+3d) \quad S_Y = \frac{b}{3} (b+3d)$$

$$I_P = J = \frac{(b+d)^3}{6} \quad C = \frac{(b^2 + d^2)^{1/2}}{2}$$



$$I_X = \frac{d^3}{3} \left(\frac{2b+d}{b+2d} \right)$$

$$S_{XT} = \frac{d}{3} (2b+d) \quad S_{XB} = \frac{d^2}{3} \left(\frac{2b+d}{b+d} \right)$$

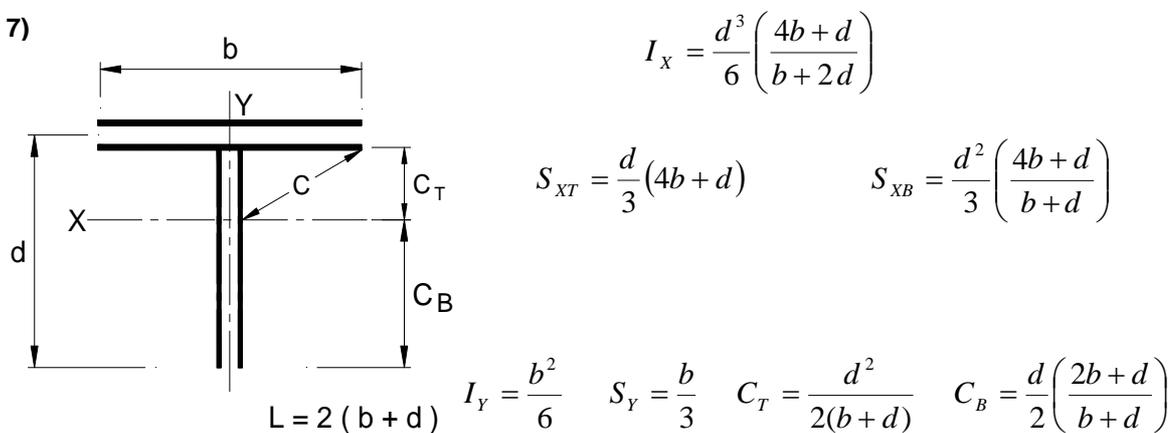
$$I_Y = \frac{b^3}{12} \quad S_Y = \frac{b^2}{6} \quad C_T = \frac{d^2}{b+2d}$$

$$C_b = d \left(\frac{b+d}{b+2d} \right) \quad C = \left[C_T^2 + \left(\frac{b}{2} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$I_P = J = \frac{d^3}{3} \left(\frac{2b+d}{b+2d} \right) + \frac{b^3}{12} \quad \text{ó} \quad I_P = J = \frac{b^3 + 8d^3}{12} - \frac{d^4}{b+2d}$$



7)



$$I_x = \frac{d^3}{6} \left(\frac{4b + d}{b + 2d} \right)$$

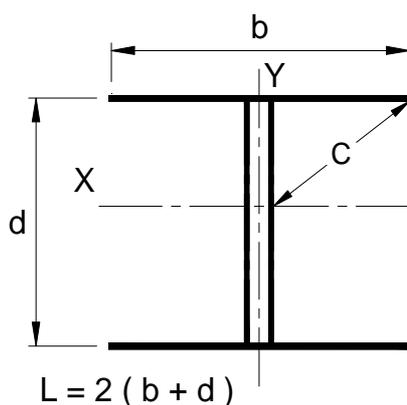
$$S_{XT} = \frac{d}{3} (4b + d)$$

$$S_{XB} = \frac{d^2}{3} \left(\frac{4b + d}{b + d} \right)$$

$$I_y = \frac{b^2}{6} \quad S_y = \frac{b}{3} \quad C_T = \frac{d^2}{2(b + d)} \quad C_B = \frac{d}{2} \left(\frac{2b + d}{b + d} \right)$$

$$I_p = J = \frac{d^3}{6} \left(\frac{4b + d}{b + d} \right) + \frac{b^2}{6} \quad C = \left[C_T^2 + \left(\frac{b}{2} \right)^2 \right]^{1/2}$$

8)



$$I_x = \frac{d^2}{6} (3b + d)$$

$$S_x = \frac{d}{3} (3b + d)$$

$$I_y = \frac{b^3}{6}$$

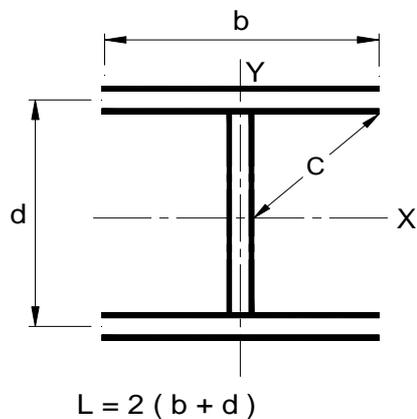
$$S_y = \frac{b^2}{3}$$

$$I_p = J = \frac{d^2}{6} (3b + d) + \frac{b^3}{6}$$

$$C = \frac{(b^2 + d^2)^{1/2}}{2}$$



9)



$$I_x = \frac{d^2}{6}(6b + d)$$

$$S_x = \frac{d}{3}(6b + d)$$

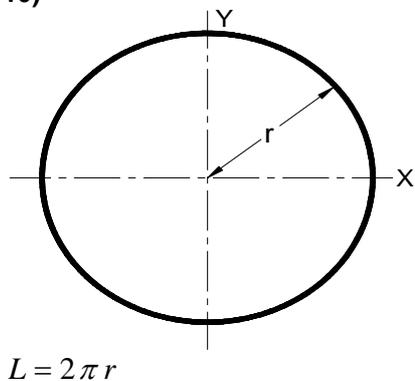
$$I_y = \frac{b^3}{3}$$

$$S_y = \frac{2}{3}b^2$$

$$J = \frac{d^2}{6}(6b + d) + \frac{b^3}{3}$$

$$C = \frac{(b^2 + d^2)^{1/2}}{2}$$

10)



$$I = \pi r^3$$

$$S_w = \pi r^2$$

$$J = 2\pi r^3$$

$$L = 2\pi r$$



5.4 EJEMPLOS

Ejemplo 1.- Determinar el tamaño y la longitud de las soldaduras de filete necesarias para unir las placas de la junta traslapada de la figura 5.5, suponiendo que las placas tienen resistencia adecuada. Las fuerzas indicadas corresponden a acciones nominales de trabajo. El acero es A36 y la soldadura de arco eléctrico con electrodo recubierto, depositada con electrodos E70XX.

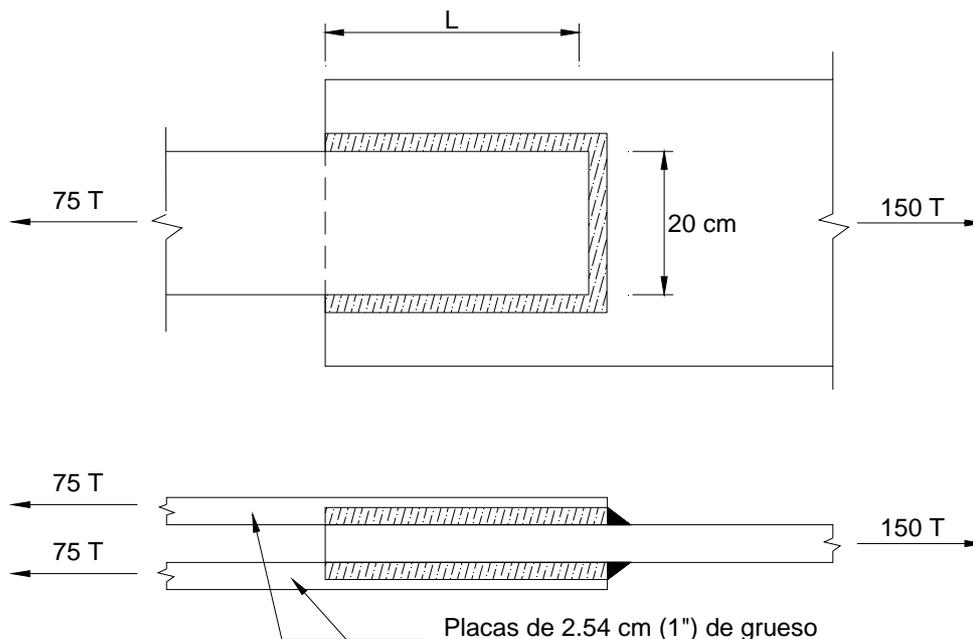


Figura 5.5

La soldadura se colocará en los bordes longitudinales y en el transversal de las dos placas laterales, como se indica en la figura. Para dimensionarla no se toma en cuenta la flexión debida a que las fuerzas P y $P/2$ están en diferentes planos horizontales, en vista de que la excentricidad es pequeña.

A) Diseño de Acuerdo con NTC-RDF 87

Se utilizará un factor de carga $F_c = 1.5$

Fuerza de diseño $F_D = 1.5 (75) = 112.5$ ton.
Corresponde a cada uno de las placas laterales.

Tamaño máximo de los filetes = $2.54 - 0.15 = 2.39$ cm,

Tamaño mínimo = 0.79 cm, Se utilizarán filetes de 2.22 cm. (7/8")

Tabla 5.2

Resistencia de diseño de un filete depositado con electrodo E70XX:

$$F_R F_S = 0.75 (0.60) (4922) = 2215 \text{ kg/cm}^2 \quad (F_{XX} = 70000 \text{ lb/in}^2 = 4922 \text{ kg/cm}^2)$$

Resistencia de diseño de un filete de 2.22 cm = $2.22 \cos 45^\circ (1) (2215) = 3477$ kg/cm.



La fuerza en la soldadura no debe ser mayor que la resistencia al cortante de la placa:

$$F_R (0.6 F_U) Anc = 0.75 (0.6) (4078)(2.54(1)) = 4661 \text{ kg/cm} > 3477$$

El diseño queda regido por la resistencia de la soldadura.

La longitud necesaria de soldadura "l" se obtiene de la expresión:

$$3477 l = 112500$$

por lo tanto:

$$l = 32.4 \text{ cm} = 2L + 20,$$

$$L = \frac{32.4 - 20}{2} = 6.2 \text{ cm}$$

Se necesitan 32.4 cm de soldadura, que se obtienen con el filete transversal de 20 cm y dos filetes longitudinales de longitud $L = 6.2$ cm.

El problema se puede resolver más rápidamente considerando las soldaduras como líneas y utilizando la tabla 5.3:

Resistencia de diseño de un filete de 2.2 cm (7/8") depositado con electrodo E70XX (de acuerdo a la tabla 5.3) se tienen una fuerza de cortante de diseño = 3482 kg/cm.

$$\text{Longitud necesaria} = 112500/3482 = 32.3 \text{ cm.}$$

$$\text{La longitud de cada cordón lateral } L = \frac{32.30 - 20}{2} = 6.2 \text{ cm}$$



Ejemplo 2.- En La figura 5.6 se ilustra los esfuerzos nominales de diseño en una soldadura de filete sometida a una condición de carga compleja.

La pieza, tienen una forma de L, de sección transversal rectangular hueca, está ligada en uno de sus extremos a una columna, por medio de una soldadura de filete de tamaño uniforme, colocada en todo el perímetro; en su otro extremo, libre, actúa una carga vertical, P. Se desea determinar los esfuerzos nominales máximos en la soldadura, que se ha dibujado en la figura (b) con los elementos mecánicos que debe resistir.

Las dimensiones de la figura 5.6, son:

- $L = 3.00$ m.
- $H = 1.00$ m.
- $d = 40$ cm.
- $b = 30$ cm. y
- la fuerza de trabajo P aplicada en su extremo es de 5 ton.
- El acero es A36

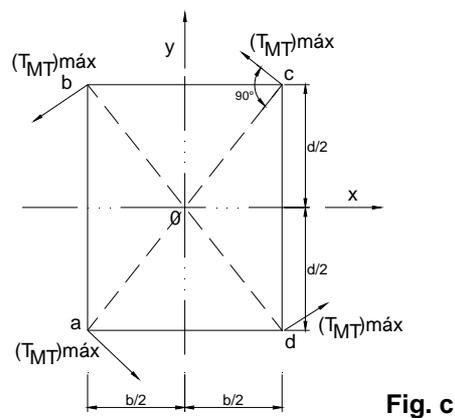
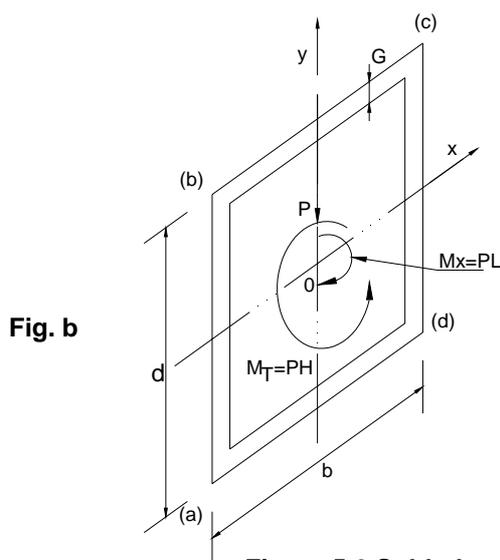
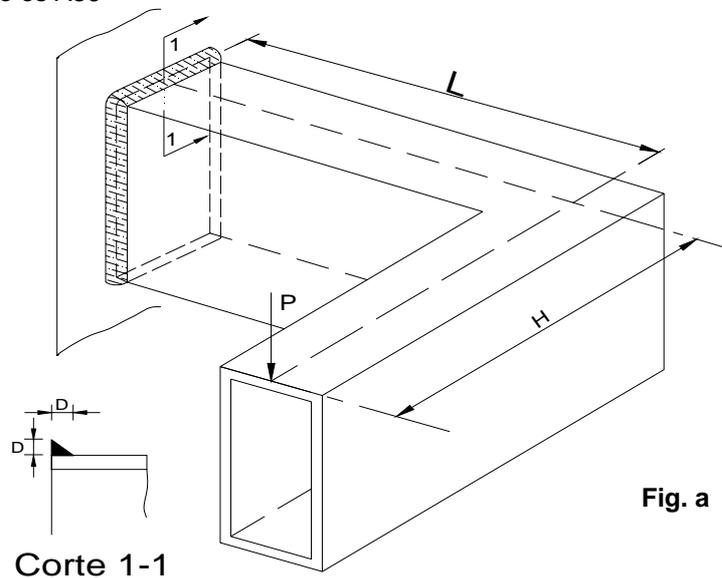


Figura 5.6 Soldadura con una condición de carga compleja.



- a) Calcúlese el esfuerzo nominal máximo en un filete de 1.27 cm (1/2")
- b) Determinése el tamaño necesario del filete, tratando la soldadura como una línea y suponiendo que es de arco eléctrico recubierto E70XX.

a) Elementos mecánicos nominales en la soldadura.

P = 5 ton;
 $M_x = PL = 5.00 \text{ Ton. (3.00 m)} = 15.00 \text{ t/m.}$
 $M_T = PH = 5.00 \text{ Ton. (1.00 m)} = 5.00 \text{ ton/m.}$

- **Propiedades geométricas de la Soldadura.**

Se determinan tomando como base las dimensiones del área efectiva, por lo que en la figura 5.6 se utiliza el tamaño de la garganta, G, y no el de la pierna D. Como el tamaño de los filetes es casi siempre pequeño en comparación con las longitudes de los cordones, no se suele cometer errores importantes al basar los cálculos en las distancias entre ejes b y d en la figura (b).

$$A = 2(b + d)G$$

$$I_x = 2 \left[\frac{Gd^3}{12} + bG \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right] = \frac{Gd^3}{6} + \frac{bGd^2}{2} = \frac{Gd^2}{6} (d + 3b)$$

$$I_y = \frac{Gb^2}{6} (b + 3d)$$

$$J = I_x + I_y = \frac{Gd^2}{6} (d + 3b) + \frac{Gb^2}{6} (b + 3d) = \frac{G}{6} (b + d)^3$$

En el cálculo de I_x e I_y se desprecian los momentos de inercia de los cordones respecto a sus ejes longitudinales.

Las formulas de la tabla 5.5, son para soldaduras tratadas como líneas; para obtener las correspondientes a un filete de 1.27 cm, deben multiplicarse por el tamaño de la garganta:

$$G = 1.27 \cos 45^\circ$$

$$A = 2(b + d)G = 2(40 + 30)1.27 \cos 45^\circ = 125.70 \text{ cm}^2$$

$$I_x = \left(\frac{d^2}{6} \right) (d + 3b)G = \left(\frac{40^2}{6} \right) (40 + 3 * 30)(1.27 \cos 45^\circ) = 31132.00 \text{ cm}^4$$

$$J = (b + d)^3 \left(\frac{G}{6} \right) = (40 + 30)^3 \left(\frac{1.27 \cos 45^\circ}{6} \right) = 51337 \text{ cm}^4$$

- **Esfuerzos nominales.** En la figura 5.7 se muestra cómo calcular las componentes vertical y horizontal de τ_{MT} (Tabla 5.4)



La fuerza P , cuya línea de acción pasa por O , centro de gravedad del conjunto de soldaduras, produce un esfuerzo cortante uniforme en el área efectiva, de intensidad $\tau_p = p / A$.

Los esfuerzos normales máximos ocasionados por el momento M_x calculados suponiendo que el peralte total es d , valen $\sigma_{máx} = \left(\frac{M_x}{I_x} \right) \left(\frac{d}{2} \right)$

Por último, el momento de torsión M_T produce esfuerzos cortantes que se determinan con la expresión $M_T = \left(\frac{M_T}{J} \right) r$. La línea de acción del esfuerzo τ_{MT} ligado a un punto cualquiera es normal a la recta que lo une con el centro de gravedad O , y su magnitud es proporcional a la distancia de O al punto considerado; los esfuerzos máximos, que se presentan en los vértices del rectángulo, tienen las direcciones y sentidos indicados en la figura 5.6 c.

Como los esfuerzos producidos por torsión se combinan con los ocasionados por las otras sollicitaciones, conviene trabajar con sus componentes vertical y horizontal, que se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$(\tau_{MT})_y = \left(\frac{M_T}{J} \right) y, \quad (\tau_{MT})_x = \left(\frac{M_T}{J} \right) x \quad \text{Figura 5.7.}$$

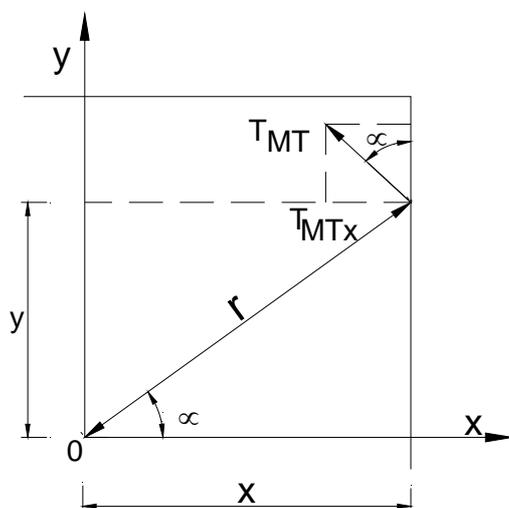


Figura 5.7 Componente del esfuerzo τ_{MT}

$$\tau_{MTx} = \tau_{MT} \operatorname{sen} \alpha = \frac{M_T}{J} r \operatorname{sen} \alpha = \frac{M_T}{J} y$$

$$\tau_{MTy} = \tau_{MT} \operatorname{cos} \alpha = \frac{M_T}{J} r \operatorname{cos} \alpha = \frac{M_T}{J} x$$



Los puntos críticos son las esquinas a y b (de la figura 5.6 b y c), en las que son máximos los esfuerzos normales producidos por la flexión y los tangenciales debidos a la torsión y, además, la componente vertical de éstos se suma con el cortante directo.

De tal manera las componentes vertical y horizontal de τ_{MT} se obtienen de la siguiente forma:

$$\tau_p = \frac{P}{A} = \frac{5000}{125.70} = 40 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{Mx}{Ix} \frac{d}{2} = \frac{15 (10)^5}{31132} \left(\frac{40}{2} \right) = 964 \text{ kg/cm}^2$$

$$(\tau_{MTx})_{m\acute{a}x} = \frac{M_T}{J} y_{m\acute{a}x} = \frac{5 (10)^5}{51337} (20) = 195 \text{ kg/cm}^2$$

$$(\tau_{MTy})_{m\acute{a}x} = \frac{M_T}{J} x_{m\acute{a}x} = \frac{5 (10)^5}{51337} (15) = 146 \text{ kg/cm}^2$$

- **Esfuerzo máximo:** En la figura 5.8 se muestran los esfuerzos en el punto b, el máximo, que se considera arbitrariamente como un cortante en la garganta, se obtiene combinándolos vectorialmente:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{\tau_{MTx}^2 + (\tau_p + \tau_{MTy})^2} + \sigma^2$$

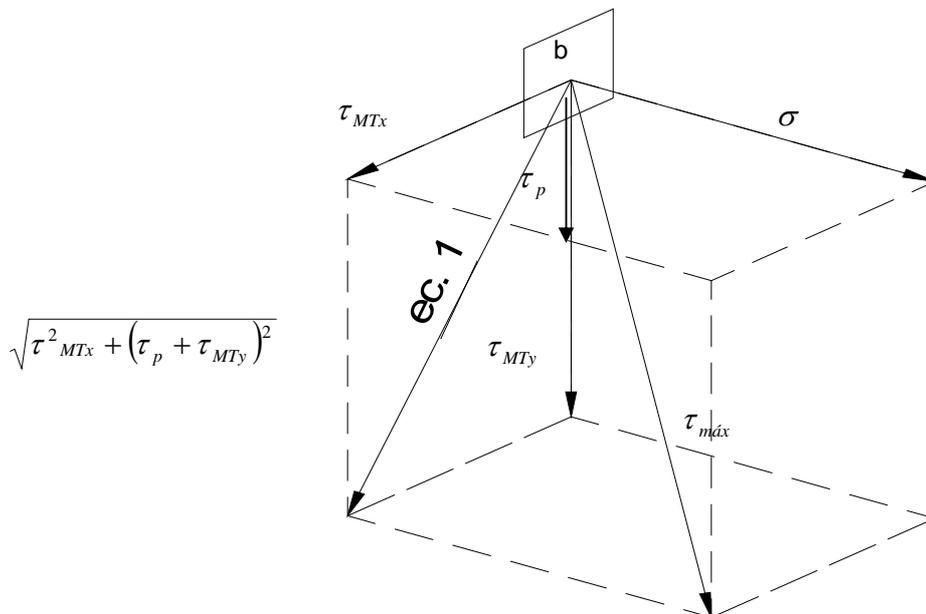


Figura 5.8 Combinación de esfuerzos



La suposición de que el esfuerzo máximo es la suma vectorial de los esfuerzos en el punto considerado es arbitraria, pues τ_{MT} y τ_p son esfuerzos cortantes mientras que σ es normal; una solución más racional consistiría en calcular el esfuerzo principal máximo; sin embargo, se han efectuado comparaciones ente los dos métodos, y entre ellos y resultados experimentales, que indican que ninguno de los dos es mucho más preciso que el otro, por lo que se recomienda la suma vectorial, por ser el más sencillo; además sus resultados son siempre conservadores.

Por lo tanto:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{(\tau_{MTx})^2 m\acute{a}x + (\tau_p + (\tau_{MTY})m\acute{a}x)^2 + \sigma^2 m\acute{a}x} = \sqrt{195^2 + (40 + 146)^2 + 964^2} = 1001 \text{ kg/cm}^2$$

Los esfuerzos permisibles en soldaduras hechas con electrodos E60XX y E70XX son, respectivamente:

$$0.3(60000) = 18000 \text{ lb/in}^2 = 1266 \text{ kg/cm}^2; \text{ y}$$

$$0.3(70000) = 21000 \text{ lb/in}^2 = 1477 \text{ kg/cm}^2.$$

El filete de 1.27 cm, está sobrado en los dos casos.

b) Elemento mecánicos nominales en la soldadura.

Las dimensiones de la figura 5.6, son:

- L = 3.00 m.
- H = 1.00 m.
- d = 40 cm.
- b = 30 cm. y
- la fuerza de trabajo P aplicada en su extremo es de 5 ton.
- El acero es A36

$$F_c = 1.4$$

$$P = 5 \text{ ton}(1.4) = 7.0 \text{ ton.}$$

$$M_x = PL = 5.00 \text{ Ton. (3.00 m)} = 15.00 \text{ t/m.}(1.4) = 21.00 \text{ t/m.}$$

$$M_T = PH = 5.00 \text{ Ton. (1.00 m)} = 5.00 \text{ ton/m. (1.4)} = 7.0 \text{ t/m.}$$

Propiedades Geométricas:

Tomando las Propiedades de la soldadura de la figura 5 de la tabla 5.5, tenemos:

$$L = 2(b+d) = 2(30+40) = 140.00 \text{ cm.}$$

$$I_x = \frac{d^2}{6}(3b + d) = \frac{(40)^2}{6}(3(30) + 40) = 34668 \text{ cm}^4$$

$$S_x = \frac{Ix}{d/2} = \frac{34668}{40/2} = 1733 \text{ cm}^2$$

$$J = \frac{(b+d)^3}{6} = \frac{(30+40)^3}{6} = 57168 \text{ cm}^3$$



Fuerzas máximas de diseño por unidad de longitud

De acuerdo a la tabla 5.4, tenemos:

$$V_p = \frac{P}{L} = \frac{7000}{140.00} = 50 \text{ kg/cm}$$

$$F_{m\acute{a}x} = \frac{M_x}{S_x} = \frac{2.10 (10)^5}{1733} = 1212 \text{ kg/cm}^2$$

$$(V_{M_Tx})_{m\acute{a}x} = \frac{M_T}{J} y_{m\acute{a}x} = \frac{7.00 (10)^5}{57168} * 20 = 245 \text{ kg/cm}^2$$

$$(V_{M_Ty})_{m\acute{a}x} = \frac{M_T}{J} x_{m\acute{a}x} = \frac{7.00 (10)^5}{57168} * 15 = 184 \text{ kg/cm}^2$$

Fuerza máxima de diseño (Figura 5.8)

$$V_{m\acute{a}x} = \sqrt{(V_{M_Tx})^2 + (V_p + (V_{M_Ty})_{m\acute{a}x})^2 + F^2_{m\acute{a}x}} = \sqrt{(245)^2 + (50 + 184)^2 + (1212)^2}$$

$$V_{m\acute{a}x} = 1258 \text{ kg/cm}$$

Según la tabla 5.3 para Soldadura de Filete. Resistencia de diseño, Se requiere un filete de 7.9 mm., (5/16"); su resistencia de diseño es de 1243 Kg./cm, prácticamente igual a la necesaria (1243/1258 = 0.988).

Como se ve en este ejemplo, al tratar la soldadura como una línea, calcular la fuerza máxima de diseño y buscar en la tabla 5.3 el tamaño requerido, se eliminan los tanteos que son necesarios si se utiliza el primer método. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que el tratamiento de las soldaduras como líneas es válido sólo si todas las de la junta son del mismo tamaño.



Ejemplo 3.- Determinar el tamaño de la soldadura de filete de la ménsula de la figura 5.9. Los electrodos son E70XX. El acero es A36. La carga indicada es de trabajo.

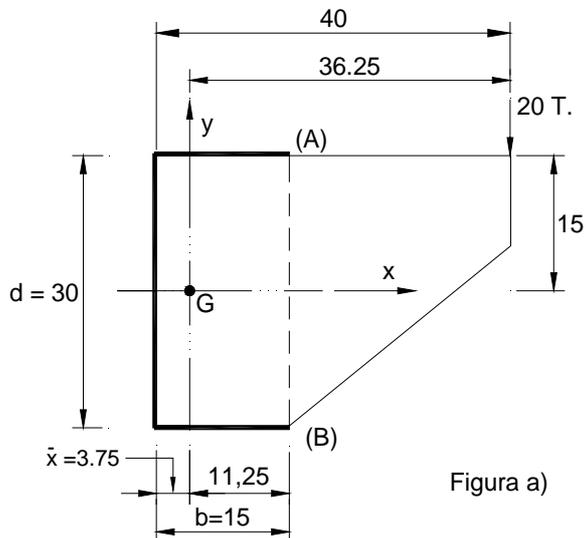


Figura a)

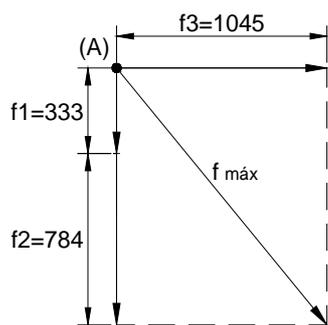


Figura b) Acotaciones en cm

Figura 5.9 Ménsula

a) Diseño elástico por esfuerzos permisibles.

De la tabla 5.5, figura 4, el valor de x , se obtiene de las formulas:

$$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d} = \frac{(15)^2}{2(15) + 30} = 3.75 \text{ cm}$$

$$M_T = 20 * 36.25 = 725 \text{ Ton} * \text{cm}$$

La longitud total de soldadura:

$$L = 2b + d = 2(15) + 30 = 30 \text{ cm}$$

$$J = \frac{b^3}{3} \left(\frac{b + 2d}{2b + d} \right) + \frac{d^2}{12} (6b + d) = \frac{(15)^3}{3} \left(\frac{15 + 2(30)}{2(15) + 30} \right) + \frac{(30)^2}{12} (6(15) + 30) = 10406 \text{ cm}^3$$



Los puntos críticos son A y B; en la figura 5.9b se muestran las fuerzas por unidad de longitud en el primero de ellos.

$$f_1 = \frac{T}{L} = \frac{20000}{60} = 333 \text{ kg/cm}$$

$$f_2 = \frac{M_T}{J} x = \frac{725 (10)^3}{10406} (11.25) = 784 \text{ kg/cm}$$

$$f_3 = \frac{M_T}{J} y = \frac{725 (10)^3}{10406} (15) = 1045 \text{ kg/cm}$$

$$f_{m\acute{a}x} = \sqrt{(333 + 784)^2 + (1045)^2} = 1530 \text{ kg/cm}$$

A pesar de que está ligeramente escaso, según la tabla 5.2, se utilizaría un filete de 1.43 cm (9/16") que resiste 1492 Kg./cm (1492/1530 = 0.975).

b) Diseño elástico por estados límite

Tomando $F_c = 1.4$, la fuerza de diseño es:

$$F_D = 1.4 (1530) = 2142 \text{ Kg/cm}$$

Se utiliza también un filete de 1.43 cm (9/16"), que tiene una resistencia de diseño de 2237 kg/cm. (según tabla 5.3). De acuerdo con este método, el filete escogido está ligeramente sobrado (2237/2142 = 1.044).

c) Diseño por resistencia última de la soldadura

$$d = 30 \text{ cm} = 11.8''$$

$$kd = 15, \therefore k = 15/30 = 0.50;$$

$$ad = 36.25, \therefore a = 36.25/30 = 1.21$$

$$c_1 = 1.00 \text{ (Electrodos E70XX)}$$

$$P_U = 20 (1.4) = 28 \text{ ton.} = 61.7 \text{ kips.}$$

De la tabla, para $k = 0.50$,

$$a \cong 1.20,$$

$$c = 0.861 \text{ (incluye } F_R = 0.75)$$

$$D = \frac{P_U}{CC_1 d} = \frac{61.70}{0.861(11.80)} = 6.08 \text{ Dieciseisavos de pulgada} \cong 6/16'' = 3/8'' (0.95 \text{ cm}).$$

el tamaño del filete es apreciablemente menor que el que se obtuvo con el método elástico.



Ejemplo 4.- Diseñar las soldaduras de un apoyo flexible con ángulos por alma para una viga IPR 40.6cmX17.8cmX74.5 kg./m de acero A36, que transmite a la estructura de soporte una fuerza vertical nominal de 24 ton. Los dos ángulos son de 10.2X10.2X0.95 cm (4X4X3/8"). El factor de carga es $F_c = 1.4$ y la soldadura E70XX. La junta se muestra en la Figura 5.10

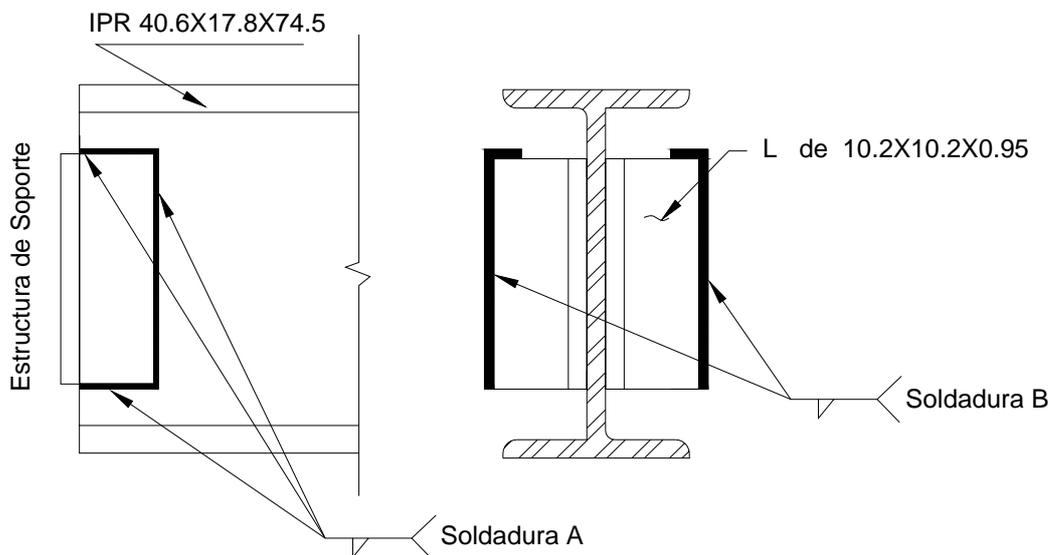


Figura 5.10 Apoyo Flexible

Las conexiones de este tipo se utilizan para apoyar vigas en columnas, o vigas secundarias en principales. En el análisis se supone que el apoyo es una articulación, que transmite sólo fuerza cortante al elemento de soporte, por lo que deben emplearse ángulos flexibles, que se deformen y permitan las rotaciones del extremo de la viga cuando los momentos son todavía suficientemente pequeños par no influir de manera significativa en el comportamiento de la estructura.

En este ejemplo se van a diseñar únicamente las soldaduras necesarias para transmitir la fuerza cortante; no se revisan los ángulos ni los efectos locales en el extremo de la viga y en la estructura de soporte.

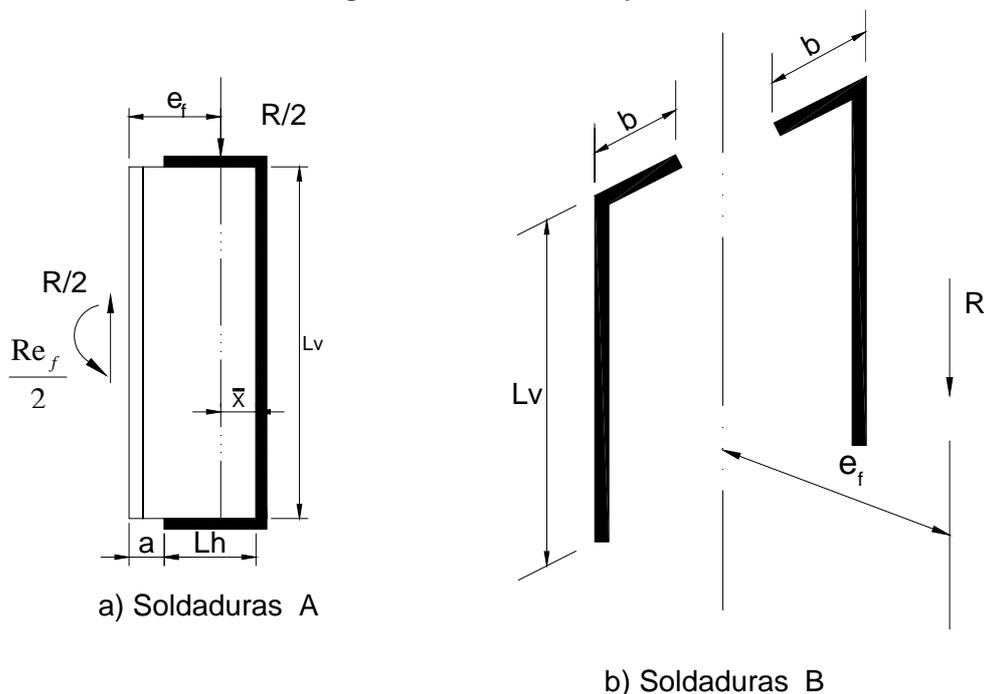
El diseño de una junta de este tipo comprende el de dos grupos de soldaduras:

- Las A, entre los ángulos y la viga,
- Y las B, entre ellos y la estructura de soporte, (como se muestra en la figura 5.10).

En la figura 5.11a se muestra el diagrama de cuerpo libre de uno de los ángulos de conexión, que transmite al apoyo la mitad de la reacción, $R/2$, trazado con la suposición de que esta fuerza pasa por el centroide de las soldaduras que unen los ángulos con el alma de la viga, y en la figura 5.11 b, se han dibujado las soldaduras que los unen con la estructura de soporte, las que deben resistir la fuerza total R , aplicada con una excentricidad e_f ; de acuerdo con las figuras, las soldaduras A deberían diseñarse trabajando al cortante simple, y las B en cortante y flexión combinadas.



Figura 5.11 Soldaduras que se diseñarán.



Sin embargo, como no se conoce con exactitud ni la línea de acción de la resultante ni la forma de trabajo de las soldaduras, las A suelen diseñarse como si trabajasen en cortante y torsión, siendo el momento de torsión igual al producto de la reacción por la distancia del borde del ángulo al centroide de las soldaduras, mientras que las B se dimensionan par que resistan la fuerza vertical excéntrica de la figura 5.11 b.

Soldaduras A. Se muestran en la figura 5.12; se ha supuesto que los ángulos tienen una longitud $L_v = 25$ cm, que deberá modificarse si no se obtiene con ella una solución adecuada.

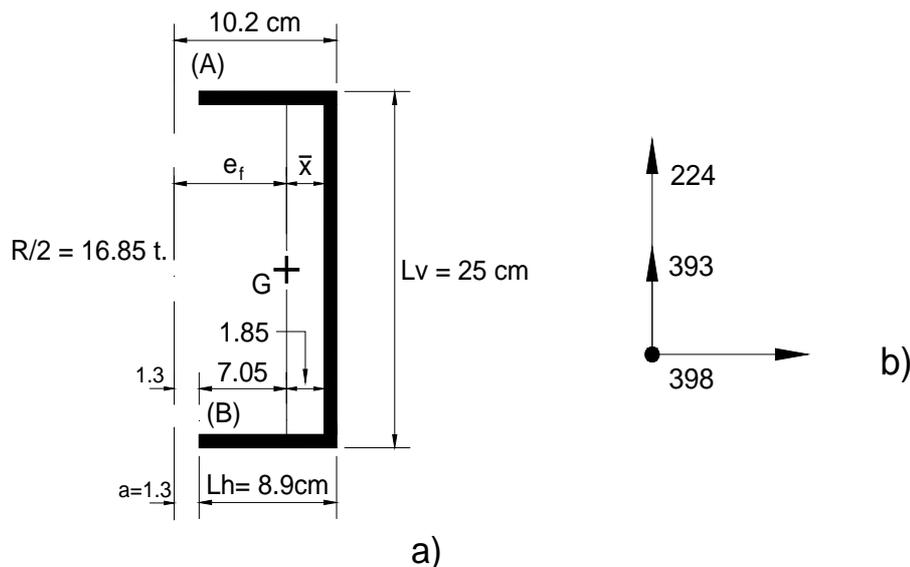


Figura 5.12 Geometría y fuerzas por unidad de longitud de las soldaduras A



La fuerza $R/2$ de diseño es de $(24/2) 1.4 = 16.80$ ton.

De la tabla 5.5, en la figura 4, tenemos:

$$\bar{X} = C_{YL} = \frac{b^2}{2b + d}$$

$$\bar{X} = \frac{(8.9)^2}{2(8.9) + 25} = 1.85 \text{ cm}$$

$$e_f = b - \bar{X} = 10.2 - 1.85 = 8.35 \text{ cm}$$

$$I_p = J = \frac{b^3}{3} \left(\frac{b + 2d}{2b + d} \right) + \frac{d^2}{12} (6b + d)$$

$$I_p = J = \frac{(8.9)^3}{3} \left(\frac{8.9 + 2(25)}{2(8.9) + 25} \right) + \frac{(25)^2}{12} (6(8.9) + 25) = 4406.70 \text{ cm}^3$$

$L = 42.80$ cm. (longitud de soldadura)

$$M_T = \left(\frac{R}{2}\right)e_f = 16.80(8.35) = 140.30 \text{ t} * \text{ cm}$$

Los puntos críticos son los extremos A y B de las soldaduras; en ellos. Conforme a la tabla 5.4, tenemos:

$$V = \frac{R/2}{L} = \frac{16800}{42.80} = 393 \text{ kg/cm}$$

$$(V_{MT})_x = \frac{M_{Ty}}{J} = \frac{140300}{4406.70} (12.5) = 398 \text{ kg/cm}^2$$

$$(V_{MT})_y = \frac{140300}{4406.70} (7.05) = 224 \text{ kg/cm}^2$$

En la figura 5.12 se indican las fuerzas por unidad de longitud en el punto A.

Fuerza máxima en la soldadura (puntos A y B):

$$(F_{TOT})_{\text{máx}} = \sqrt{(393 + 224)^2 + (398)^2} = 734 \text{ kg/cm}^2$$

Se necesita un filete de 4.8 mm. (3/16"), que resiste 746 Kg./cm² (de acuerdo ala tabla 5.3)



Soldaduras B. Para su diseño se recomienda que se tome, conservadoramente, una excentricidad igual al tamaño del ala del ángulo adosada al alma de la viga, como se muestra en la figura 5.11b.

El conjunto de soldaduras trabaja en cortante y flexión combinados; los puntos críticos son los extremos inferiores de los cordones.

Se recomienda que la longitud b sea el doble del tamaño de los cordones, aproximadamente; se tomará $b = 2$ cm. De la tabla 5.5 tenemos:

$$V = R = 24 (1.4) = 33.60 \text{ ton.}$$

$$M_x = R e_f = 33.60 (10.20) = 342.70 \text{ ton-cm.}$$

$$L = 2b + d = 2(25) + 2 = 54 \text{ cm.}$$

$$(S_x)_{\text{mín}} = \frac{(25)^2}{3} \left(\frac{2(4) + 25}{4 + 25} \right) = 237.10 \text{ cm}^2$$

$$V = \frac{R}{L} = \frac{33600}{54} = 622 \text{ kg/cm}$$

$$F_{\text{máx}} = \frac{342700}{237.10} = 1445 \text{ kg/cm}$$

$$(F_{\text{TOT}})_{\text{máx}} = \sqrt{(622)^2 + (1445)^2} = 1573 \text{ kg/cm}^2$$

Tomando los valores que nos proporciona la tabla 5.3. Se opta por utilizar un filete de 9.5 mm. (3/8") que resiste 1493 kg/cm (1493/1573 = 0.949).



Ejemplo 5.- Calcule el factor de capacidad de Carga P_u , de la soldadura A, en el ángulo de la conexión mostrada en la figura 5.13. La viga es una W30X99, la soldadura es de $\frac{1}{4}$ " utilizar electrodos E70XX. Los ángulos son $4 \times 3\frac{1}{2} \times 5/16 \times 1'-2\frac{1}{2}"$ de longitud. Utilizar acero A36.

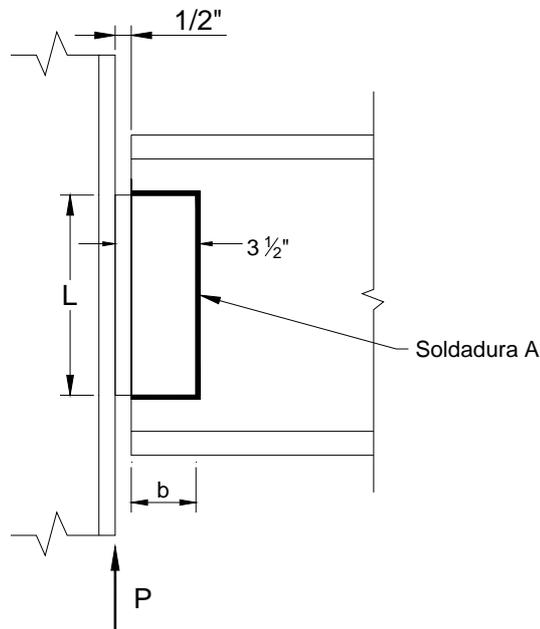


Figura 5.13 Conexión de cortante simple de dos ángulos.

El análisis de este ejemplo, se diseña únicamente las soldaduras necesarias para transmitir la fuerza cortante.

- **Método elástico.** Utilizando las fórmulas de la tabla 5.5, figura 4, para I_p y tomando como referencia la figura 5.13 :

$$I_p = J = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b + d}$$

$$I_p = \frac{8(3)^3 + 6(3)(14.5)^2 + (14.5)^3}{12} - \frac{(3)^4}{2(3) + 14.5} = 583.5 \text{ pulg.}^4$$

Usando el momento de inercia, utilizando un espesor de 1" de garganta efectiva, la fuerza por longitud de unidad en los puntos críticos puede ser calculada:

$$L = 2b + d = 2(3) + 14.5 = 20.5 \text{ pulg.}$$

$$R_v = \frac{P_u}{2L} = \frac{P_u}{2(20.5)} = 0.0244 P_u \text{ componente de cortante directo } \downarrow$$

$$\bar{x} = C_{YL} = \frac{b^2}{2b + d} = \frac{(3)^2}{2(3) + 14.5} = 0.44 \text{ pulg.}$$



Los componentes "x" y "y" debido a la fuerza del momento de torsión son:

$$R_y = \frac{Pu(3.50 - 0.44)(3.50 - 0.44 - 0.50)}{2(583.5)} = 0.00671 P_U \downarrow$$

$$R_x = \frac{Pu(3.50 - 0.44)(7.25)}{2(583.5)} = 0.0190 P_U \rightarrow$$

$$R_U = Pu\sqrt{(0.0244 + 0.0067)^2 + (0.0190)^3} = 0.0364 P_U$$

El esfuerzo de diseño ϕR_{nw} por pulgada de soldadura es:

$$(\phi R_{nw}) = \phi(0.70 a)(0.60 F_{EXX})$$

$$(\phi R_{nw}) = 0.75(0.707)\left(\frac{1}{4}\right)(0.60)70 = 5.57 \text{ kips./pulg.}$$

Checar el esfuerzo de diseño por cortante del metal inferior para la viga y los ángulos.

$$(\phi R_{nw})_{base\ metal} = 0.75(0.60 F_u)t = 0.45 F_u t$$

$$(\phi R_{nw})_{angulo} = 0.45(58)0.3125 = 8.16 \text{ kips./pulg.}$$

$$(\phi R_{nw}) = 0.45(58)\left(\frac{0.520}{2}\right) = 6.79 \text{ kips./pulg.}$$

El control de la fuerza de soldadura; $(\phi R_{nw}) = 5.57 \text{ kips./pulg.}$

$$Pu = \frac{5.57}{0.0364} = 153 \text{ kips.}$$



- **Análisis de esfuerzo.** Para realizar este método se debe usar el manual LRFD, referencia (1.18), tabla 8-42, "Coeficientes C para los grupos excéntricos de soldaduras cargada" con $\phi = 0^\circ$, soldadura de $\frac{1}{4}$ " utilizando electrodos E70.

$$\alpha = \frac{(e - xL)}{L} = \frac{(3.5 - 0.44)}{14.5} = 0.211$$

$$k = \frac{kL}{L} = \frac{3.0}{14.5} = 0.207$$

$\alpha = 0.2$	$k = 0.2$			
	1.98	0.207	0.3	
0.211	1.958		2.33	
	1.88	<u>1.982</u>	2.306	$C = 1.982$
0.25			2.22	

Valor de tabla = ϕP_n

$$\phi P_n = CC_1 DL = 1.982(1.0)(4)14.5 = 115 \text{ kips}$$

Donde:

C_1 = Coeficiente para el electrodo =(Electrodo usado)/70

D = Tamaño de la soldadura de 1/16 pulg.

L = Longitud vertical de la soldadura, en pulgadas.

Desde que existen dos ángulos, el factor de capacidad de carga de la reacción es:

$$P_u = 2(115) = 230 \text{ kips.}$$

Como se esperaba el análisis de fuerza dio el valor más alto



Ejemplo 6.- Determine la capacidad de carga de la soldadura B mostrada en la figura 5.12, si la soldadura es de $\frac{5}{16}$ " , tienen una longitud, $L = 20$ pulg. utilizar electrodo E70XX, por el método de Soldadura Manual de Arco eléctrico con Electrodo recubierto (SMAW), el ángulo tienen una sección de $4X3X\frac{3}{8}$ ". Asumir que el metal base es lo suficientemente grueso para evitar una fractura y soportara los esfuerzos por cortante, la soldadura tomara los esfuerzos, utilizar el factor de carga y resistencia de diseño.

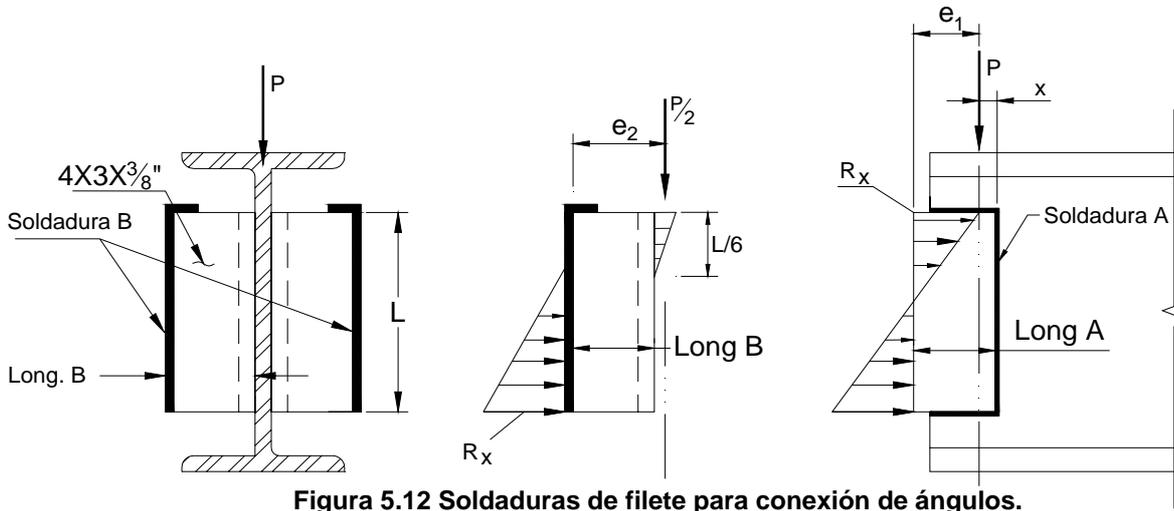


Figura 5.12 Soldaduras de filete para conexión de ángulos.

a) El mejor procedimiento es utilizando la siguiente formula :

$$R_U = \frac{P}{2L^2} \sqrt{L^2 + 20.25e_1^2} \text{ kips/pulg.}$$

El esfuerzo de diseño ϕR_{nw} por pulgada de soldadura es

$$(\phi R_{nw}) = \phi(0.70 a)(0.60 F_{EXX})$$

$$(\phi R_{nw}) = 0.75(0.707)\left(\frac{5}{16}\right)(0.60)70 = 6.96 \text{ kips/pulg.}$$

$$\text{Actual } R_U = \frac{P}{2L^2} \sqrt{L^2 + 20.25e_1^2}$$

De la tabla 5.5, en la figura 4, tenemos:

$$\bar{X} = C_{YL} = \frac{b^2}{2b + d}$$

$$\bar{X} = \frac{(2.5)^2}{2(2.5) + 20} = 0.25 \text{ pulg.}$$

$$e_1 = b - \bar{x} = 3.00 - 0.25 = 2.75 \text{ pulg.}$$



$$\text{Actual } R_U = \frac{P}{2(20)^2} \sqrt{(20)^2 + 20.25(2.75)^2} = 0.0294 P_U$$

Despejando la ecuación Ru, y sustituyendo valores tenemos:

$$P_U = \frac{\phi R_{nw}}{0.0294} = \frac{6.96}{0.0294} = 237 \text{ kips}$$

b) Retomando los datos anteriores y utilizando la siguiente ecuación tenemos:

$$R_U = \frac{P}{2L^2} \sqrt{L^2 + 36e_1^2} \text{ Fuerza/unidad de longitud}$$

$$\text{Actual } R_U = \frac{P}{2(20)^2} \sqrt{(20)^2 + 36(2.75)^2} = 0.0324 P_U$$

$$P_U = \frac{\phi R_{nw}}{0.0324} = \frac{6.96}{0.0324} = 215 \text{ kips}$$

c) Utilizando de referencia la ecuación:

$$\text{Actual } R_U = \frac{P}{2L^2} \sqrt{L^2 + 12.9e_2^2} \text{ Fuerza/unidad de longitud}$$

$$e_2 = 4 \text{ pulg. long.}$$

$$\text{Actual } R_U = \frac{P}{2(20)^2} \sqrt{(20)^2 + 12.9(4.00)^2} = 0.0308 P_U$$

$$P_U = \frac{\phi R_{nw}}{0.0324} = \frac{6.96}{0.0308} = 226 \text{ kips}$$

De los tres resultados se cree que el inciso a, es el más apropiado, Pu = 237 kips.

Hay que resaltar que cuando es usado el método elástico estas fórmulas se pueden utilizar para el diseño de tensión permisible y para el factor de carga de resistencia y diseño. En ASD, P, es la capacidad de carga de servicio de la conexión, R es la carga de servicio resultante de la fuerza por unidad de longitud a la tensión máxima del segmento soldado, y la resistencia permitida es Rw, en el LRFD, Pu y Ru representan los factores de carga y es usada la fuerza de diseño ϕR_{nw} .



Ejemplo 7.- Diseñe el borde superior de la placa que trabaja a tensión, conectándola por soldadura el momento ultimo a una columna W14X61. Utilice acero A572, Grado 50. Asumiendo que la conexión es del tipo que se muestra en la figura 5.13.

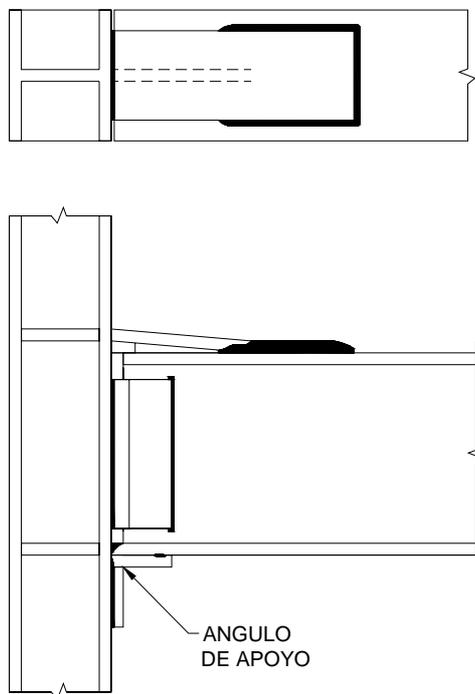


Figura 5.13 Conexión viga-columna

a) Diseñar la placa como un miembro a tensión.

Desde que la viga W14X61 es una sección compacta, para acero de grado 50, la descomposición del factor de fuerza del reborde T_U es aproximadamente:

$$T_U = \frac{\phi M_n}{d_{bm}} = \frac{\phi F_y Z_x}{d_{bm}} = \frac{0.90(50)102}{\approx 14} = 328 \text{ kips}$$

Cuando no hay orificios, el estado del límite elástico para los miembros de tensión controlara sobre la fractura en el estado límite la sección neta. Así que, utilizando la siguiente ecuación, el grosor de la placa requerida es:

$$\phi_t T_n = \phi_t F_y A_g = 0.90 F_y A_g$$

$$A_g = \frac{T_U}{\phi_t F_y} = \frac{328}{0.90(50)} = 7.35 \text{ sq pu lg. (pulgada cuadrada)}$$

El ancho de la placa debe ser menor que el ancho del patín de la viga W 14X61 de 10 pulgadas.
Utilizar PL – 7/8X9, $A_g = 7.95 \text{ sq pu lg.}$ para la construcción de la soldadura.



- b) Determinar la soldadura para el reborde de la viga. Intentar con soldadura de filete de 3/8"; utilizar electrodo E70XX, por el método de Soldadura Manual de Arco eléctrico con Electrodo recubierto (SMAW).

$$(\phi R_{nw}) = \phi(0.70a)(0.60 F_{EXX}) = 0.75(0.707a)(0.60)70 = 22.3a$$

Si 3/8" = 0.375", sustituimos:

$$(\phi R_{nw}) = 22.3a = 22.3(0.375) = 8.35 \text{ kips / pulg.}$$

La longitud de soldadura L_w , requerida es:

$$L_w = \frac{T_U}{\phi R_{nw}} = \frac{328}{8.35} = 39 \text{ pulg.}$$

Para reducir la longitud de la soldadura podemos utilizar un filete de soldadura mas grueso, por lo tanto, lo cambiaremos a 1/2", tenemos:

$$(\phi R_{nw}) = \phi(0.70a)(0.60 F_{EXX}) = 0.75(0.707a)(0.60)70 = 22.3a$$

Si 1/2" = 0.50", sustituimos:

$$(\phi R_{nw}) = 22.3a = 22.3(0.50) = 11.15 \text{ kips / pulg.}$$

La longitud de soldadura L_w , requerida es:

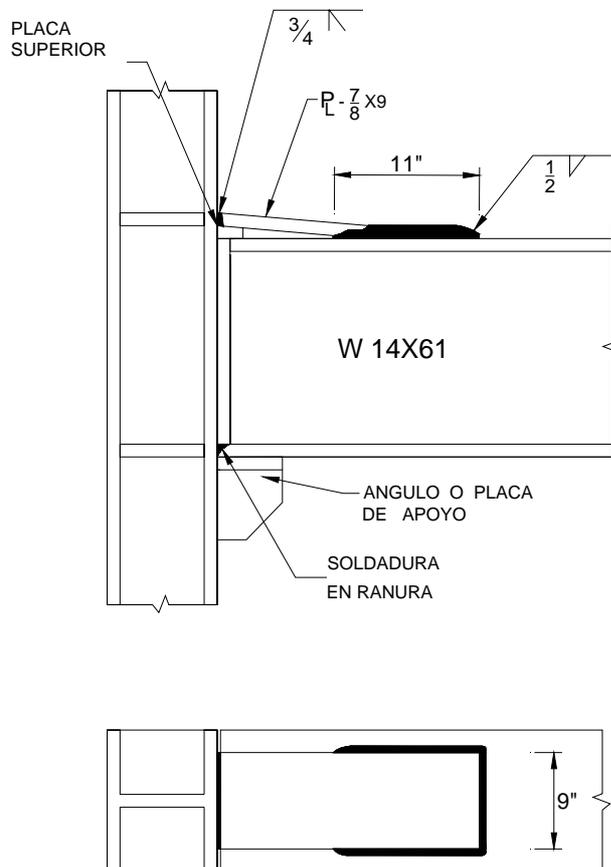
$$L_w = \frac{T_U}{\phi R_{nw}} = \frac{328}{11.15} = 29.4 \text{ pulg.}$$

Entonces, requerimos $L_w = 29.4$ pulgadas.

Por lo cual usaremos una soldadura de filete de 1/2", 9" en el extremo y 11" en cada lado, para obtener un total de 31". el diseño esta resumido en la figura 5.14.



Figura 5.15 Conexión de momento, utilizando una placa de apoyo



La placa esta conectada al patín de la columna por una soldadura de penetración completa y solo por la parte de abajo se soldara una ranura, se utilizara una placa superior como refuerzo.

Cuando se utiliza un ángulo o placa de apoyo (como asiento), este nos puede servir para depositar la soldadura en la ranura (hacer un bisel soldado), esto, si no es necesario otra placa de refuerzo debajo del reborde de compresión.



CONCLUSIONES

Este trabajo cumple con el objetivo principal, pues se ha expuesto en forma clara y concisa el funcionamiento de la soldadura en estructuras de acero, así como los requerimientos con que se debe cumplir el diseño de soldadura.

Queda claro que el proceso de Soldadura Manual de Arco Eléctrico con Electrodo Recubierto (SMAW) se utiliza en una amplia gama de aplicaciones tanto en taller como en obra, la selección de los electrodos tiene una influencia decisiva en la calidad y el costo de la soldadura.

Para el usuario, es muy importante disponer de una correcta relación de electrodos con finalidades específicas. En este sentido, los catálogos y folletos que editan los fabricantes suelen contener información con los diferentes diámetros, parámetros de uso, revestimientos y precauciones sobre el almacenaje y funcionamiento de cada uno de sus productos

Cuando la estructura pueda prefabricarse en taller, es posible la utilización de los procesos de Soldadura de Arco Eléctrico Protegido con Gases (GMAW) y Soldadura de Arco Eléctrico Sumergido (SAW), que por su automatismo presentan ventajas económicas. Pero si ha de construirse en obra, es inevitable el uso total o parcial del proceso Arco Eléctrico con Electrodo Recubierto (SMAW).

Desde el punto de vista constructivo, es técnicamente aceptable el uso de electrodos de rutilo, que presentan ventajas de rapidez y economía sobre los electrodos básicos, aunque estos últimos son aconsejables si se exige una buena tenacidad a las uniones soldadas, de acuerdo con la climatología del lugar de emplazamiento o las cargas dinámicas asociadas a la sustentación de la estructura. Ante la dificultad de realización de ensayos no destructivos, se recomienda utilizar una garganta mínima de 5 mm para asegurar la fusión.

Asimismo, resulta aconsejable añadir 1mm como mínimo a la garganta resultante del cálculo, en concepto de sobre-espesor disponible para corrosión durante la vida de la estructura.

Debido a múltiples causas pueden aparecer defectos en la soldadura, que si son de gran importancia, pueden comprometer seriamente la estabilidad de la estructura de la que forman parte, por ello es necesario someter a las soldaduras a una inspección tanto más intensa cuanto más importante sea la estructura, las cuales garanticen la bondad y correcta ejecución de las mismas. Esta inspección forma parte del control general de la obra y tanto el proyectista, como el residente de obra deben prestar la máxima atención.

La importancia de la posición en que se efectúan las soldaduras, se encuentra, en que no todas se hacen con la misma facilidad. Las soldaduras más fáciles, en las que los rendimientos de electrodo y soldador son máximos y se reducen a un mínimo las posibilidades de que haya defectos, son las que se hacen en posición plana, mientras que las más difíciles son las depositadas sobre cabeza; por lo tanto, las estructuras deben diseñarse y fabricarse de manera que la mayor parte de la soldaduras, tanto de taller como de campo, se efectúen en posición plana, mientras que las soldaduras sobre cabeza deben evitarse, o limitarse a casos excepcionales. La soldadura sobre cabeza no debe utilizarse en taller.

Las soldaduras manuales efectuadas al arco eléctrico con electrodo recubierto, las protegidas con gases y las hechas con electrodos con núcleo fundente, pueden depositarse en cualquier posición, pero se recomienda que siempre que sea posible se hagan en posición plana.

Las soldaduras de arco sumergido se deben hacer siempre en posición plana.

Las soldaduras verticales y sobre cabeza presentan más dificultades que las planas u horizontales, cuando se hacen bien tienen la misma resistencia, por lo que no se penalizan con ninguna reducción en capacidad de carga, sin embargo, pueden incrementar el costo de la estructura en forma apreciable.



Algunas de las ventajas de la soldadura esta en el área de la economía porque el uso de la soldadura permite grandes ahorros en el peso del acero utilizado en las estructuras soldadas y eliminar un gran porcentaje de las placas de unión de empalme. En el proceso de soldado se fusionan ambas partes por lo que las piezas quedan realmente continuas, como si formaran una sola pieza, es más fácil realizar cambios en el diseño y corregir errores durante el montaje a menor costo si se usa soldadura.

El primer factor que se tome en cuenta al elegir el tipo de acero, es el costo directo de los elementos. Una comparación de costo puede hacerse fácilmente, pero la economía por el grado de acero a usar no se puede obtener a menos que se involucren: el peso, las dimensiones, deflexiones, costos de mantenimiento, fabricación, etc; hacer una comparación general exacta de los aceros es probablemente imposible la menos que se tenga un tipo específico de obra a considerar.

Aun cuando el precio de los aceros estructurales se incrementa con el aumento de su límite de fluencia, este incremento no es linealmente proporcional y puede resultar económica la utilización de estos, a pesar de su costo, si el uso de ellos se realiza diseñándolos a sus máximos esfuerzos permisibles, a máxima eficiencia, sobre todo en piezas de tensión o tirantes, en vigas con patines impedidos de pandeo, columnas cortas (o de baja relación de esbeltez).

Otros factores que pueden conducir al uso de aceros de alta resistencia, son los siguientes:

- Superior resistencia a la corrosión.
- Posible ahorro en costo de flete, montaje y cimentación, por su menor peso.
- Uso de vigas poco aperaltadas (poca altura) que permiten entresijos menores.
- Posible ahorro en materiales de recubrimiento incombustible, ya que pueden utilizarse miembros más pequeños.

No se debe olvidar que las propiedades físicas del acero dependen principalmente de la cantidad del carbono presente y en como es distribuido en el hierro y que a más resistencia de acero menor soldabilidad y más frágil, debido a su alto contenido de carbono.

Cabe mencionar que no todos los acero son soldables y, aunque, la soldadura es un proceso con bastantes ventajas tanto estructurales, constructivas y económicas no siempre es posible su uso, debido a los diferentes requerimientos de diseño de cada proyecto.

Todo lo que se indica en este trabajo parece evidente; sin embargo, conviene poner énfasis, que cada vez mas, se extiende en nuestro medio, la practica de no hacer planos de fabricación detallados, aún para estructuras importantes, con objeto de evitarse el costo y el tiempo necesario para elaborarlos o por la velocidad en que se desarrolla el proyecto. Al trabajar de esta manera se dificulta la fabricación y la revisión de la estructura, con lo que crecen las posibilidades de cometer errores geométricos, en tamaños de piezas y gruesos de placas, o en las características y posiciones de las soldaduras u otros medios de unión. Esta práctica, en lugar de ser económica, provoca gastos mayores a largo plazo, pues se provocan la necesidad de reparaciones, ya sea durante la obra o después de terminada, y, al mismo tiempo las vuelve, menos seguras, puesto que una estructura reparada suele ser menos resistente que la misma estructura bien hecha desde un principio.



BIBLIOGRAFÍA

- Blogdett W. Omer, DESIGN OF WELDED STRUCTURES, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 1966.
- Charles G. Salmon, John E. Johnson, Faris A. Malhas, STEEL ETRUCTURES Design and Behavior, Fourth Edition. Edit. Harper and Row, 1990, College Publishers.
- De Buen Lopez de Heredia Oscar. ESTRUCTURAS DE ACERO: Comportamiento y Diseño. Editorial Limusa, 1980.
- IMCA A. C. MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE ACERO TOMO I. Editorial Limusa, 2005.
- Instituto de Ingeniería UNAM. Comentarios, ayudas de diseño y ejemplos de las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras metálicas, DDF.Vol. I y II, 1987.
- Jack McCormac. DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS. Editorial Alfaomega, 1972.
- Johnston J. Bruce G. DISEÑO BÁSICO DE ESTRUCTURAS DE ACERO. Editorial Prentice Hall Hispanoamerica S. A. 1988.
- Joseph E. Bowles. DISEÑO DE ACERO ESTRUCTUTRAL, Editorial Limusa, 1989.
- Manual del AISC
- McCormac Jack C. ESTRUCTURAS DE ACERO MÉTODO LRFD TOMO II. Editorial Alfaomega, 1991.
- Instituto de Ingeniería UNAM. NTC-Diseño de estructuras de acero, 1989
- Rodríguez Peña Delfino. DISEÑO PRÁCTICO DE ESTRUCTURAS DE ACERO. Editorial Limusa, 1987.