

II.- MÉTODOS DE UNIÓN O CONEXIÓN

En la fabricación y montaje de estructuras de cualquier material, en este caso en el acero debe de ponerse una particular atención en el diseño y fabricación de conexiones, ya que deben ser capaces de transmitir los elementos mecánicos obtenidos en el análisis estructural de los elementos que se ligan, satisfaciendo al mismo tiempo las condiciones de restricción y continuidad supuestas en el análisis. Las uniones o conexiones generalmente se forman con elementos de unión como son: placas de cortante o de momento y ángulos. Los métodos unión o conexión que son utilizados en la actualidad son:

- a) El método de la soldadura.
- b) El método por tornillos.

Cabe mencionar que antiguamente se utilizaban los remaches como elementos de unión los cuales en la actualidad están en desusó.

Las conexiones pueden ser de dos tipos:

- a) Conexión flexible, la conexión flexible de un elemento permitirá el giro de los extremos del elemento permitiéndose la deformación inelástica de la conexión y siempre se diseñaran para resistir fuerza cortante.
- b) Conexión rígida, este tipo de conexión debe ser capaz de transmitir los momentos, fuerzas normales y cortantes, sin que existan desplazamientos lineales o angulares relativos entre los extremos de los elementos.

De acuerdo al tipo de conexión existen dos tipos de estructuras:

- a) Estructuras tipo 1: Estas son llamadas estructuras continuas o marcos rígidos
- b) Estructuras tipo 2: Son aquellas estructuras en que las conexiones permiten rotaciones relativas que son capaces de transmitir fuerzas cortantes y normales.

II.1 Uniones por medio de soldadura.

La soldadura es un proceso típico en la unión de piezas de metal, este proceso consiste en la unión de dos o más piezas de metal, en la cual simultáneamente se

funde parte de las dos piezas junto con el material de aportación conocido como electrodo, siendo este el tipo de soldadura más común en la fabricación de estructuras de acero, existen otros tipos de soldadura que pueden ser consultados en las referencias bibliográficas.

Dentro del proceso de soldadura es muy importante conocer el tipo y variedad de electrodos que se dispone, para tener conocimiento de sus características técnicas, un electrodo es una varilla cubierta por una pasta la cual en el momento de fundirse produce un gas que evita entre aire al material fundido, evitando de esta manera la formación de burbujas dentro de la soldadura, por esta razón es de gran importancia que el electrodo siempre cuente con este recubrimiento para asegurar parte de la calidad de la soldadura.

En el mercado se dispone de una variedad de electrodos de manera que se puede hacer un ajuste apropiado de la resistencia y características del metal base con el material de la soldadura.

Para aplicaciones estructurales, la ASTM (Sociedad Americana de Ensayos y Materiales), ha establecido un sistema de numeración de electrodos, que los clasifica de la manera siguiente:

Eaaabc

Donde:

E: Electrodo

aaa: Es un número de dos o tres dígitos que establece la resistencia última a tensión del metal de la soldadura o electrodo. En general se dispone de las siguientes resistencias: 60, 70, 80, 90, 100, 110 y 120 Kips/in² que sería igual a 4220, 4920, 5620, 6330, 7030, 7730 y 8440 kg/cm². Siendo los E70 los que más uso tienen en el trabajo estructural ya que son compatibles con todos los grados de acero hasta $F_y=60$ kips/in².

B: Es un dígito que sirven para indicar la posición adecuada para aplicar la soldadura con este tipo de electrodo, las cuales puede ser plana, horizontal, vertical o sobre cabeza, siendo esta última la menos recomendable y si es posible evitarla.

1= Apropriado para soldar en todas las posiciones.

2= Apropriado para filetes horizontales y en posición plana de trabajo.

c: Es un dígito que indica el tipo de fuente de corriente y la técnica de la soldadura o bien para indicar una característica particular del electrodo.

El metal de aportación o soldadura deberá cumplir con las siguientes condiciones para que sea compatible con el metal base:

- a) Tanto el esfuerzo mínimo de fluencia como el esfuerzo mínimo de ruptura en tensión del metal de aportación depositado, sin mezclarse con el metal base deberán ser igual o ligeramente mayores que las correspondientes al metal base.
- b) El acero más común es el A-36, las soldaduras manuales más comunes en el medio utilizan electrodos E60XX o E70XX, los cuales producen un metal de aportación con esfuerzos mínimos de fluencia de 3,500 y 4,000 kg/cm² respectivamente y esfuerzos mínimos de ruptura en tensión de 4,200 y 4,900 kg/cm², los cuales son compatibles con el acero A-36 cuyos esfuerzos mínimos especificados de fluencia y de ruptura son de 2,500 y 4,100 kg/cm² respectivamente.

Existen tres tipos básicos de soldadura:

- a) Soldadura de filete: la cual se obtiene depositando un cordón del metal de aportación en el ángulo formado por los bordes de las dos piezas, cuya sección transversal formara un triángulo.
- b) Soldadura de penetración: se obtiene depositando el metal de aportación entre el borde de dos placas, la soldadura puede ser de penetración completa o de penetración parcial.
- c) Soldadura de tapón.

La sociedad americana de soldadura (AWS) ha especificado un conjunto de símbolos que proporcionan los medios para dar en los planos de fabricación o de taller una información completa en cuanto a la soldadura.

II.2 Unión por medio de tornillos.

Los tornillos son elementos fabricados de diferentes metales y calidades y se usan para unir piezas de metal entre sí, insertándolos a través de agujeros conocidos como barrenos fabricados en dichas piezas metálicas por diferentes métodos ya sea manual o mecánicamente y posteriormente son sujetos en el lado extremo por una tuerca la cual se rosca y se aprieta de forma manual o mecánica.

Los tornillos estructurales pueden clasificarse de acuerdo con las siguientes características:

- 1.- Tipo de vástago.
- 2.- Material y resistencia.
- 3.- Forma de la cabeza y de la tuerca
- 4.- Tipo de cuerda.

Los diámetros de los barrenos deberán cumplir con una cierta holgura dependiendo del método que se utilizo para fabricar el barreno:

- a) Para barrenos punzonados la holgura deberá de ser de 1/8".
- b) Para barrenos taladrados la holgura deberá de ser de 1/16".

Los tornillos estructurales ordinarios o estándar se fabrican de acero dulce (A-307) con una resistencia última a la tensión de 4499 Kg/cm².

Los tornillos estructurales de alta resistencia a la tensión se fabrican de aceros tratados y templados los más utilizados son los **A-325** y los **A-490**, las limitaciones de uso entre tornillos es el control de calidad entre uno y otro,

siendo los primeros los que mayor calidad presentan. En caso que la calidad sea igual se deberá vigilar que la cuerda quede dentro o fuera del plano de corte, debido a que la cuerda de los tornillos A-490 es más larga.

Se debe saber que la capacidad de carga máxima de una junta de conexión dentro de los niveles de seguridad es la que permiten los esfuerzos permisibles proporcionados por las normas de diseño en aplicación.

Generalmente las capacidades de los tornillos en sus diferentes presentaciones se encuentran estandarizadas, estas las podemos encontrar en tablas proporcionadas por los manuales del IMCA (Instituto Mexicano de la Construcción y el Acero) o AHMSA (Altos Hornos de México).

Continuando con los procedimientos de diseño de una junta atornillada, se debe tener conocimiento de conceptos básicos como:

- a) Área total: que es el área completa de la sección transversal de un miembro.
- b) Área neta: es la que se obtiene al hacer deducciones de las áreas barrenadas según las normas de diseño para miembros sujetos a tensión.
- c) Espaciamiento entre conectores, es decir las separaciones mínimas entre ellos, la distancia mínima al borde, así como las distancias máximas al borde de la parte conectada, y conocer los conceptos de: Gramil, Paso, Distancia mínima al borde, Separación mínima, Separación máxima al borde.

Es muy importante para la supervisión que se tomen en cuenta estas limitaciones que establecen las normas de diseño en cuanto a los espaciamientos entre conectores, por ejemplo si la separación de los conectores es pequeña, el área neta de las placas puede regir la capacidad de la conexión, y si la separación es grande la resistencia de la conexión será gobernada por la suma de las capacidades de los conectores. Por esta razón debe haber separaciones óptimas, las cuales permitan determinar la máxima capacidad de una junta.

Si en la junta existen tres elementos, por ejemplo en una armadura si un montante formado por dos ángulos espalda con espalda llega a un elemento de unión tipo placa, se dice que el conector trabaja a cortante doble, la capacidad a cortante del conector será igual al doble del área de su sección transversal multiplicada por su esfuerzo permisible del acero con que está hecho el tornillo.

II.3 Ventajas.

II.3.1 Ventajas del uso de la soldadura con respecto al uso de los tornillos

Las múltiples ventajas que ofrece la soldadura, hacen que esta sea aplicada en la gran mayoría de los trabajos estructurales, entre las muchas ventajas se pueden mencionar las principales:

1.- La economía es uno de los factores principales dentro de los trabajos realizados con soldadura, ya que su empleo, hace que se eliminen varios elementos de conexión como placas de unión y empalme que generalmente son utilizadas en uniones hechas con tornillos y que además representan un considerado porcentaje en el peso de la estructura, y aunque la soldadura requiere ser hecha por una persona especializada, está sola persona sustituye a toda una cuadrilla para realizar un atornillado.

2.- La amplia aplicación de la soldadura es otra de las ventajas que esta tiene, ya que existen elementos en los que resulta más fácil hacer su conexión por medio de soldadura que con tornillos, resultando en algunos casos casi imposible, por ejemplo en la unión de una trabe a una columna circular, además de tomar en cuenta que en la actualidad el uso de estructuras especiales y caprichosas es cada vez más frecuente.

3.- El silencio que puede requerir la zona de trabajo, es también un factor determinante.

4.- Otra de las ventajas de la soldadura, es que cuando se hacen conexiones a alturas considerables con tornillos, las cabezas de estos pueden caer y resultar peligrosos.

5.- La eliminación de placas de unión y de empalme al usar soldadura hace que el tiempo en detalle, armado y montaje sea menor, además de que le proporciona un aspecto de limpieza y claridad a la obra.

6.- Si se busca que la unión sea rígida, esta tendrá que ser soldada ya que los miembros deben unirse directamente uno a otro, mientras que en una unión atornillada las uniones se hacen con placas y ángulos que se deforman por la transmisión de las cargas.

7.- Cuando se desea que una estructura sea continua, lo más viable es que se utilice soldadura en sus conexiones, ya que esta continuidad es proporcionada por la fusión de las partes unidas y el material de aportación siendo esta última en ocasiones más resistente que el metal base.

II.3.2 Ventajas de uso de tornillos con respecto al uso de la soldadura.

1.- Las uniones con tornillos no requieren de mano de obra tan especializada como en el caso de la soldadura, ya que la instalación de un tornillo se aprende en poco tiempo, mientras que el proceso de soldadura requiere de mucho tiempo y conocimiento de otros factores que pueden afectar su calidad.

2.- No se necesitan de conectores de montaje que se deben retirar después como en la soldadura.

3.- El equipo que se requiere para hacer una conexión atornillada es más sencillo, además de que su funcionamiento no requiere de energía eléctrica, en cambio el equipo de soldadura en ocasiones no se puede transportar a grandes alturas.

4.- Se ha demostrado que la resistencia a la fatiga de una unión atornillada es mayor que la de una unión soldada.

5.- Cuando un elemento se modifica o habrá que repararse por alguna necesidad, los cambios en la unión son más sencillos.

6.- De acuerdo con el tipo de construcción que admiten los reglamentos para el diseño y construcción de estructuras de acero; conexiones rígidas, semi rígidas y simples, las estructuras soldadas rígidas no permiten el desplazamiento entre elementos de unión bajo cargas de sismo, ya que de acuerdo a la definición una unión rígida, esta se usa para transmitir los elementos mecánicos de tal manera que los ángulos originales formados por los elementos conectados no experimenten cambio alguno con el objeto de mantener una estructura continua. Por lo anterior y de acuerdo a estudios realizados, una estructura debe absorber energía durante un sismo mediante un proceso de deformación. Las conexiones atornilladas si pueden considerarse como conexiones simples y semi rígidas.

II.4 Control de calidad.

II.4.1 Conexiones soldadas.

El diseño de una conexión soldada consiste en seleccionar el tipo de soldadura más favorable para las cargas a transmitir por medio del tamaño y distribución particular de los miembros, e implica la determinación del arreglo y tamaño de las soldaduras, sin embargo un buen diseño en el papel no nos puede asegurar una buena conexión soldada sin una buena mano de obra en el taller y en el campo, contar con los conocimientos necesarios sobre el tamaño y composición química de los electrodos, la secuencia y el número de pasos en la soldadura, la velocidad, la corriente y el voltaje adecuados para la soldadura en cuestión, una preparación adecuada de la junta antes de soldar y el uso de la experiencia para la utilización de elementos auxiliares para la aplicación de un cierto tipo de soldadura determinan la calidad de la mano de obra y por lo tanto de la calidad de la soldadura.

Para asegurar una buena calidad en la soldadura es importante que tanto el ingeniero, la supervisión y la mano de obra calificada cuenten con los conocimientos básicos de los efectos de la soldadura sobre los metales, es decir los efectos térmicos sobre el metal base y las

propiedades de los materiales, por ejemplo cuando se fusiona el metal de aporte con el metal base estas dos partes se calientan a temperaturas tan altas que los materiales se funden, después de esta etapa es importante que su enfriamiento sea lento y no acelerado para evitar una soldadura dura y frágil. Por esta razón es importante mencionar que se deben de evitar las soldaduras en fríos extremos, en momentos de lluvia y en ocasiones en horarios nocturnos.

Los defectos más comunes por el uso de una mano de obra no especializada o calificada son la socavación, la falta de fusión y penetración, la inclusión de escoria y la porosidad, sin una buena supervisión la mayoría de estos defectos tienen como resultado la falla de la unión soldada.

Para evitar este tipo de problemas existen centros educativos (CETIS) y laboratorios particulares que se dedican a impartir cursos de certificación de soldadores, los cuales después de sesiones teóricas y prácticas son certificados de acuerdo al tipo de soldadura que desean practicar. Las pruebas consisten en realizar ciertos tipos de soldaduras las cuales deberán cumplir con la resistencia y ductilidad requeridas y de acuerdo a la calidad de la soldadura el soldador recibe una calificación.

Sin embargo no es suficiente confiar solamente en las pruebas de calificación, si no debe tenerse una inspección más confiable que determine que la calidad de la soldadura cumplirá con los requisitos y normas de calidad.

Las pruebas en soldadura, se dividen en dos grandes grupos: Destructivas y No destructivas. Entendiéndose por destructivas, aquellas en las cuales después de realizadas, se destruye o inhabilitan la parte o pieza probada. Estas a su vez se dividen en Físicas, como las

pruebas de tensión, doblez, dureza o impacto. Y pruebas Químicas, como el análisis químico por elementos, las pruebas para determinar la resistencia a la corrosión o las metalografías.

Las pruebas No destructivas, son aquellas en que después de realizadas no se destruye o inhabilita la pieza, parte o soldadura inspeccionada. Las principales y más importantes utilizadas en la industria son la Inspección Visual, con Líquidos Penetrantes, Partículas Magnéticas, Ultrasonido y la Radiografía Industrial.

II.4.2 Inspección Visual

La Inspección Visual es de los métodos No-Destructivos el más importante y el más usado. Es fácil de realizar, rápido, barato, no se requiere de equipo especial y proporciona información muy importante con respecto a la concordancia general de la soldadura de acuerdo a las normas.

La práctica de la Inspección Visual, se realiza antes, durante y después de soldar. El inspector debe de estar familiarizado con los documentos aplicables al caso, a los estándares de manufactura y a todas las fases de las prácticas de taller.

Por lo general para realizar la Inspección Visual, el inspector se auxilia de una lámpara de mano, una lupa, espejos pequeños y calibradores adecuados.

La Inspección Visual en el pre-soldado empieza con el material a soldarse, en donde cualquier condición superficial dañina deberá

detectarse; las laminaciones serias en placa se pueden detectar sobre las orillas que han sido cortadas, las dimensiones de las partes a soldarse se deberán verificar y en general se debe considerar lo siguiente antes de soldar:

1. La preparación de la junta, dimensiones y acabados.
2. La separación y dimensiones del anillo o placa de respaldo.
3. Alineación y posicionamiento de las piezas a soldarse.
4. Verificación de la limpieza.

La Inspección Visual durante la ejecución de los cordones de soldadura, comprende la verificación de los siguientes puntos:

1. El proceso de soldadura.
2. Limpieza.
3. Precalentamiento y temperatura entre pasos.
4. Preparación de la junta.
5. El metal de aporte.
6. El fundente o gas de protección.
7. Pulido, desbaste, etc.
8. Control de la distorsión.
9. Tratamiento térmico.

II.4.3 Proceso de certificación de las soldaduras por medio de radiografía:

- a) Se realiza la preparación de la soldadura
- b) Antes de proceder a la inspección radiográfica se verificará visualmente que la soldadura esté terminada al 100% y que en

ningún punto exista una irregularidad, y si existiese se debe reparar.

- c) Que la soldadura aplicada sea la que indica el proyecto.
- d) La radiografía o muestra deberá contar con información necesaria para poder relacionarla con el punto correspondiente donde fue tomada.



Fig. II.1 Preparación de la unión para la toma radiográfica.

Los resultados impresos de las radiografías deberán de presentarse libres:

- a) Sin marcas por escurrimiento
- b) Sin rayones
- c) Sin marcas por estática

La radiografía deberá contar con la información necesaria para su correcta identificación.



Fig. II.2 Equipo para la toma de radiografías a soldaduras.

II.4.4 Método de líquidos penetrantes

El método de líquidos penetrantes es un medio seguro para detectar discontinuidades que estén abiertas a la superficie de materiales ferrosos, las discontinuidades físicas por este métodos de inspección no destructiva son roturas, fisuras, traslapes y porosidades.

Igual que el método por radiografía, el método por líquidos penetrantes aplicará después de proceder a la inspección de la junta soldada, es decir se verificará visualmente que la soldadura éste terminada al 100%, así como que esta se encuentre aplicada correctamente y posteriormente procediendo a realizar la limpieza hasta dejar la superficie libre de toda irregularidad.

Los métodos de aplicación se clasifican en:

- a) Penetrantes fluorescentes
- b) No fluorescentes



Fig. II.3 Líquidos en aerosol para la prueba de líquidos penetrantes.

El método de aplicación de este tipo de inspección consiste en cubrir completamente la superficie a inspeccionar por el líquido el cual se aplica con una brocha, aerosol o pistola de rociado. Después de la aplicación deberá dejarse escurrir el exceso de líquido dejando el tiempo conveniente para su óptima penetración que generalmente varía entre 5 y 10 minutos.



Fig. II.3 Unión sujeta a la prueba de líquidos penetrantes.

Transcurrido el tiempo de penetración debe ser removida cualquier cantidad del penetrante que permanezca en la superficie teniendo cuidado de no remover o eliminar la mínima cantidad de penetrantes de las discontinuidades o puntos malos, su remoción se puede hacer de acuerdo al tipo de líquido usado (agua, solventes o arenas).

Los resultados se obtendrán por medio de un examen de luz negra o visual.

II.4.5 Método de ultrasonido

Es un método utilizado con resultados pronto que se detectan en el momento de realizar la prueba.



Fig. II.4 Aplicación del método de ultrasonido.



Fig. II.5 Equipo utilizado en la aplicación del método.

II.4.6 Control de calidad en los tornillos.

Todos los elementos estructurales involucrados en el proyecto se sujetaron a las Especificaciones para el diseño, fabricación y montaje de estructuras de acero para edificios, Normas Técnicas Complementarias (NTC) y al Reglamento de prácticas generales del Instituto Mexicano de la Construcción en Acero (IMCA).

Todos los tornillos estructurales ASTM A325 ó A490 cumplirán con los requisitos de la ASTM (Sociedad Americana de Ensayos y Materiales).

El manejo y almacenamiento de los elementos de unión es una de partes más importantes en el control y calidad, por lo que en la obra deberán protegerse de la humedad y la suciedad y solo retirarse del almacén la cantidad que se estima se utilizara y el restante regresarse al mismo sitio, se deberá poner cuidado en no retirar el lubricante que traen de fabrica, y en caso de utilizar conectores con oxido o sin lubricante deberán lubricarse antes de ser colocados.

La reutilización de tornillos de alta resistencia A-325 ó A-490 está prohibida salvo que el supervisor lo permita para casos muy especiales.