

**UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA
DE MÉXICO**



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CAMPUS “ARAGÓN”.**

***“INTRODUCCIÓN A LAS CONEXIONES EN
ESTRUCTURAS DE ACERO, POR EL MÉTODO
LRFD”.***

TÉSIS

Que para obtener el Título de:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA

FRANCISCO S. SALINAS MARISCAL

ASESOR DE TESIS:

ING. KARLA I. GUTIÉRREZ VÁZQUEZ.

MAYO DE 2006



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.

A mi mama:

Por darme la oportunidad de estudiar, por todo lo que significas para mí. El llegar hasta aquí, es mi forma de agradecerte y corresponder a todo el esfuerzo que depositaste en mí durante 24 años.

Siempre te estaré agradecido...

A mis Tíos:

Quiero agradecer a todos mis tíos por su apoyo y aliento. En especial a mi tía Inés, por estar conmigo siempre que la necesito.

Tía Inés, Muchas gracias por todo...

A mis primos:

ALEJANDRO, ÁNGELES, DICK, ISABEL, LUÍS, MARISELA, MIGUEL, RAÚL, ROCÍO Y VÍCTOR. Por el apoyo que recibí de cada uno de ellos, para lograr llegar a la meta.

Gracias por su cariño...

Al ingeniero Juan A. González Zaraut:

Agradezco, por la amistad, confianza y estimación que me ha demostrado como persona en tan poco tiempo, por asesorarme, por compartir su conocimiento y experiencia, para la elaboración de mi tesis.

Gracias por creer en mí...

A Rocío Adilenne Álvarez Bocanegra:

A quien le agradezco por creer en mi, por ser la persona por quien comencé la realización de mi tesis y titulación. Y por estar a mi lado cuando te necesito.

Para mí, eres parte de esto, creo en ti y se que tú también lo vas a lograr...

A la Ingeniera Karla Ivonne Gutiérrez Vázquez

Quiero agradecer en forma especial a la Ing. Karla, por el apoyo que me ha ofrecido. Y por todas las facilidades que me proporciono para la realización de mi tesis.

Al ingeniero Martín Ortiz León

Agradezco el apoyo que me ha ofrecido.

A mí amigo Juan A. González Sakaguchi:

Le agradezco por brindarme su amistad, y por todo el apoyo que me ofreció en los momentos difíciles de la carrera.

Gracias amigo, por ayudarme a continuar siempre hacia adelante...

A mis amigos de la Universidad:

Alfonso (Poncho), Alfredo (Charmín), Antonio (Mugre), Arturo (Frigo), Belinda (Bel), Gabriel (Pelón), Hugo (joseph), Israel (Morrongo), Iván (Búho), Julio (Abuelo), María Teresa (Tere), José (Activo), Víctor (Tragos).

Este agradecimiento es especial, porque lo dedico a las personas que me dieron apoyo y amistad sincera durante una de las etapas más bonitas de mi vida, LA DE LA UNIVERSIDAD... y por todos los momentos inolvidables que compartimos juntos...MUCHAS GRACIAS A TODOS.

A mis amigos:

Adrián, Alberto, Eduardo, Elías, Fernando, Jonathan, Julián, Silvano. Porque han estado conmigo para apoyarme, aún en las situaciones más difíciles y por todo lo que hemos vividos juntos.

A todas las personas que en algún momento de mi vida, me ofrecieron una palabra de aliento y que no he nombrado.

Gracias...



TEMARIO

INTRODUCCIÓN GENERAL

TEMA 1 INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO.

- 1.0 INTRODUCCIÓN.
 - 1.1 EL ACERO Y SU COMPOSICIÓN.
 - 1.1.1 IMPORTANCIA DEL ACERO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.
 - 1.1.2 COMPOSICIÓN DEL ACERO (METALOGRAFÍA FÍSICA).
 - 1.1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS.
 - 1.2 FABRICACIÓN DE LOS ACEROS.
 - 1.3 PROPIEDADES MECÁNICAS.
 - 1.4 ESTRUCTURAS Y CARGAS.
 - 1.5 FABRICACIÓN.
 - 1.6 MONTAJE DE ESTRUCTURAS METÁLICAS.
 - 1.7 FALLAS COMUNES EN ESTRUCTURAS METÁLICAS.
 - 1.7.1 POR VIENTO.
 - 1.7.2 POR ERROR DE CÁLCULO.
 - 1.7.3 POR CAMBIOS DE LA ESTRUCTURA METÁLICA.
 - 1.7.4 POR SISMOS.
 - 1.7.5 POR INCENDIOS.
 - 1.7.6 POR MONTAJE.
 - 1.8 FACTORES DE CARGA PARA DISEÑO USADOS EN MÉXICO.
 - 1.9 FACTORES DE CARGA PARA DISEÑO USADOS EN E.U.A. SEGÚN AISC O UBC-94.
 - 1.10 FACTORES DE REDUCCIÓN DE RESISTENCIA.
 - 1.11 CÓDIGOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL.



TEMA 2 CONEXIONES ATORNILLADAS.

- 2.0 INTRODUCCIÓN.
- 2.1 TIPO DE TORNILLOS.
- 2.2 RESISTENCIA A TENSIÓN DE UN TORNILLO.
 - 2.2.1 ANCLAS A TENSIÓN.
- 2.3 TORNILLOS A CORTANTE.
 - 2.3.1 RESISTENCIA A CORTANTE SIMPLE DE TORNILLOS.
 - 2.3.2 RESISTENCIA AL CORTANTE DOBLE.
- 2.4 TORNILLOS AL APLASTAMIENTO.
 - 2.4.1 TORNILLOS SUJETOS A LA COMBINACIÓN DE TENSIÓN Y CORTANTE, SIMULTÁNEOS.
- 2.5 MÉTODO DE APRIETE DE TORNILLOS.
 - 2.5.1 APRIETE CON LLAVES CALIBRADAS.
 - 2.5.2 APRIETE POR EL MÉTODO DEL GIRO DE LA TUERCA.
- 2.6 SUJETADORES AUTOCONTROLABLES DE APRIETE.
 - 2.6.1 INDICADOR DE TENSIÓN DIRECTA (I.T.D.).
 - 2.6.2 TORNILLOS DE CONTROL DE TENSIÓN (T.C.T).
 - 2.6.3 MÉTODO DE TORNILLOS DE DISEÑO ALTERADO.
 - 2.6.4 MÉTODO DEL TORNILLO DE DISEÑO ALTERNATIVO.
- 2.7 CONEXIONES SUJETAS A TENSIÓN.
 - 2.7.1 ACCIÓN SEPARADORA.
- 2.8 CONEXIONES CON TORNILLOS POR CORTE SIMPLE Y CORTE DOBLE.
 - 2.8.1 BLOQUE DE CORTANTE.
- 2.9 CONEXIONES POR FRICCIÓN Y APLASTAMIENTO.
- 2.10 CLASIFICACIÓN DE LAS CONEXIONES RESISTENTES A MOMENTO.
- 2.11 CONEXIONES TÍPICAS.



- 2.12 RESISTENCIA DE DISEÑO POR DESLIZAMIENTO CRITICO, PARA CARGAS CRITICAS FACTORIZADAS (L.R.F.D., FRICCIÓN (A.I.S.C.-J3.8B)).
- 2.13 CONEXIONES DISEÑADAS PARA TENSIÓN Y CORTANTE COMBINADOS.
- 2.14 RESISTENCIA DE DISEÑO POR DESLIZAMIENTO CRITICO PARA CARGAS DE SERVICIO.

TEMA 3 CONEXIONES SOLDADAS.

- 3.0 INTRODUCCIÓN.
- 3.1 TIPOS DE SOLDADURAS.
 - 3.1.1 SOLDADURA ARCO ELÉCTRICO.
 - 3.1.2 SOLDADURA CON ARCO METÁLICO PROTEGIDO.
 - 3.1.3 SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO.
 - 3.1.4 MARCAS DE IDENTIFICACIÓN DE LOS ELECTRODOS DE ACERO AL CARBONO.
- 3.2 PROCESO DE SOLDADURA.
 - 3.2.1 TIPOS DE CORRIENTE EN SOLDADURA DE ARCO ELÉCTRICO.
- 3.3 SIMBOLOGÍA DE SOLDADURA.
- 3.4 CLASIFICACIÓN DE LAS SOLDADURAS.
- 3.5 INSPECCIÓN DE LAS SOLDADURAS.
 - 3.5.1 INSPECCIÓN VISUAL.
 - 3.5.2 LÍQUIDOS PENETRANTES.
 - 3.5.3 PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.
 - 3.5.4 PRUEBA ULTRASÓNICA.
 - 3.5.5 PROCEDIMIENTOS RADIOGRÁFICOS.
- 3.6 FALLAS COMUNES EN SOLDADURAS.
 - 3.6.1 CAUSAS DE DEFECTOS Y POSIBLES CORRECCIONES DE SOLDADURAS FALLADAS.
 - 3.6.2 NOMENCLATURA DE DEFECTOS EN SOLDADURA.
 - 3.6.3 FALLAS EN CUANTO AL SOLDADOR.
- 3.7 RECOMENDACIONES LRFD (DFCR) APLICABLES A LA SOLDADURA.
- 3.8 CAPACIDAD DE CARGA EN SOLDADURAS.



- 3.9 ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA SOLDADURA.
- 3.10 CONEXIONES SOLDADAS A CORTANTE.
- 3.11 CONEXIONES SOLDADAS A FLEXIÓN.
- 3.12 CONEXIONES SUJETAS A CORTANTE Y TORSIÓN.
 - 3.12.1 MÉTODO ELÁSTICO.

TEMA 4 CONEXIONES ATORNILLADAS Y SOLDADAS CARGADAS EXCÉNTRICAMENTE.

- 4.0 INTRODUCCIÓN.
- 4.1 CONEXIONES EXCÉNTRICAS ATORNILLADAS A CORTANTE.
- 4.2 CONEXIONES EXCÉNTRICAS ATORNILLADAS A CORTANTE MAS TENSION.
- 4.3 CONEXIONES EXCÉNTRICAS SOLDADAS A CORTANTE.
- 4.4 CONEXIONES EXCÉNTRICAS SOLDADAS A CORTANTE MAS TENSION.
- 4.5 CONEXIONES RESISTENTES A MOMENTO.

TEMA 5 CONCLUSIONES

TEMA 6 BIBLIOGRAFÍA.



INTRODUCCIÓN GENERAL.

El propósito de este trabajo es mostrar con simplicidad las diferentes conexiones utilizadas dentro de las Estructuras Metálicas, los tipos de conexión utilizados son tres: Soldadas, atornilladas y remachadas.

Debido a las ventajas que ofrece la construcción a base de Estructuras Metálicas como son: rapidez en el montaje y su fabricación, se vuelve muy cotidiano la utilización de este tipo de sistemas constructivos es muy importante, que el ingeniero cuente con los conocimientos básicos necesarios para el diseño de estructuras metálicas y sus conexiones.

En general las conexiones metálicas se diseñan mediante dos métodos los cuales son de esfuerzos permisibles (ASD) y el método de factores de carga y resistencia (LRFD).

Este trabajo esta basado en el método de factores de carga y resistencia (LRFD), teniendo la finalidad de presentar las teorías elementales necesarias para el diseño de conexiones de acero en forma didáctica y sencilla.

Las conexiones entre los miembros estructurales son de gran importancia, ya que una conexión diseñada en forma inadecuada puede provocar fallas en los miembros conectados, o en el peor de los casos el colapso de la estructura. En muchas ocasiones el origen de las fallas es porque las conexiones no son diseñadas por el mismo ingeniero encargado del diseño de la estructura.

En la actualidad las conexiones en las estructuras de acero se realizan mediante el empleo de tornillos y soldadura esta última es muy utilizada en la actualidad, y en ciertas ocasiones por una combinación de ambos tipos de sistemas.

Anteriormente las conexiones se realizaban con la utilización de remaches, los cuales fueron sustituidos por los tornillos comunes o de alta resistencia, debido a las grandes ventajas que estos presentan, como son: mano de obra no calificada, rapidez y facilidad de colocación de sus elementos, lo que dio popularidad al uso de tornillos como método de conexión.

Actualmente la soldadura presenta diversas ventajas sobre el atornillado, ya que una conexión a base de soldadura requiere de menos preparaciones en la estructura a unir, por ejemplo perforaciones y la utilización de otro elemento para transmitir la carga entre los elementos a conectar.

Lo negativo de la utilización de soldadura en las conexiones, es que se requiere de trabajadores calificados para soldar correctamente, además de necesitar de una inspección que puede en ocasiones ser complicada y de costo elevado. Se recomienda siempre que sea posible el empleo, de soldadura de taller en vez de la soldadura de campo, ya que la calidad de la misma se garantiza con mayor facilidad en condiciones de control de un taller de fabricación.



TEMA 1 INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO.

1.0 INTRODUCCIÓN.

El propósito del diseño de estructuras es dar forma a un sistema estructural, para que realice una función determinada, proporcionando un grado de seguridad aceptable, garantizando así que en una condición normal de servicio dicha estructura presente un comportamiento aceptable, para el cual fue diseñada.

El diseño de estructuras, esta constituido por diversas etapas, como son: la etapa de estructuración, estimación de cargas, el análisis estructural, siendo estas etapas muy importantes para la determinación de la estructura adecuada, además del tipo de material mas apropiado para su construcción, así como la determinación de las dimensiones de los miembros estructurales, para garantizar la resistencia adecuada de la estructura, a las acciones o cargas a la que estará sometida.

Un aspecto de gran importancia es la estimación adecuada de las cargas o acciones que van a incidir sobre la estructura, como son: la carga viva, carga muerta, cargas accidentales. Ya que la realización de una estimación inadecuada, puede generar miembros con dimensiones no apropiadas para resistir las acciones a las que realmente estará sometida la estructura, generando así posibles fallas en la misma, y en el peor de los casos el colapso de la misma.

La finalidad de este capítulo es proporcionar aspectos fundamentales para el diseño de estructuras construidas a base de perfiles de acero, tales como sus propiedades, tipos de aceros, ventajas y desventajas que presenta este material como elemento de construcción y otros aspectos, como su proceso de elaboración.

El aspecto de seguridad de la estructura es muy importante en el diseño de cualquier tipo de estructura, dentro de este capítulo se proporcionan valores de los factores de carga utilizados para el análisis de la estructura y para cada una de sus combinaciones de carga a las que podría llegar a estar sometida. Los valores de los factores de resistencia que se presentan en este trabajo son los correspondientes a cada tipo de trabajo estructural como es el cortante y la tensión.

Los factores de carga y de resistencia que se proporcionan corresponden aun acero tipo A-36 utilizado en México, de acuerdo a lo estipulado en las Normas Técnicas Complementarias, para el diseño y construcción de estructuras de acero (Octubre - 2004).



1.1 EL ACERO Y SU COMPOSICIÓN.

La composición del acero es una aleación de hierro y carbono que contiene otros elementos de aleación, los cuales proporcionan propiedades mecánicas específicas para su utilización. Donde el carbono es considerado el elemento básico a añadir al hierro, mientras los otros elementos, según su porcentaje, dan características específicas para determinadas aplicaciones.

Su composición es estudiada por la metalurgia, que es la ciencia que se dedica al estudio de la extracción de metales desde su estado primitivo, su refinación y preparación para su uso. Además de su composición, estructura y propiedades así como su comportamiento ante diversas condiciones de servicio.

1.1.1 IMPORTANCIA DEL ACERO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.

El acero es uno de los materiales más importantes empleados en la construcción moderna, a pesar de su alto peso volumétrico. Por su alta resistencia específica a tensiones lo hacen especialmente útil en el diseño de elementos sujetos a este tipo de esfuerzos, la construcción con estructura de acero presenta ventajas y desventajas, en esencia las más importante son:

VENTAJAS.

- a) La elaboración de elementos de acero, permite llevar a cabo una prefabricación de los mismos, disminuyendo así los tiempos de construcción.
- b) Facilita la elaboración de secciones compuestas de varios perfiles
- c) El acero presenta facilidad al ser soldado, simplificando así la conexión entre elementos.
- d) Facilita las modificaciones en estructuras terminadas así como reparaciones o reforzamientos en caso de daños estructurales. Por ejemplo: un sismo de magnitud considerable.
- e) Presenta ductibilidad, la cual es una propiedad que permite soportar grandes deformaciones sin que este elemento falle a altos esfuerzos de tensión, propiedad que permite resistir sismos.

Dentro de las ventajas en su comportamiento estructural del acero podemos mencionar las siguientes:

- a) **Homogeneidad:** Refiere a que las propiedades del acero no se alteran con el tiempo, si se le proporciona el mantenimiento apropiado.
- b) **Elasticidad:** Propiedad que le permite al acero alcanzar esfuerzos considerables.
- c) **Tenacidad:** Debe entenderse como la capacidad que tiene el material, de absorber grandes cantidades de energía en deformación (elástica e inelástica).



DESVENTAJAS:

- a) La utilización de acero como material de construcción requiere la utilización de mano de obra calificada en la fabricación.

Otras desventajas que podemos mencionar del acero son las siguientes:

- b) **Corrosión:** Fenómeno que afecta al acero al ser expuesto a la intemperie, el cual puede disminuirse recubriendo al acero con esmaltes alquidalicos. La corrosión genera un alto costo de mantenimiento en aceros susceptibles a este fenómeno, sobre todo en zonas costeras. Exceptuando a los aceros especiales como el inoxidable.
- c) **Calor o Fuego.** Se presenta en caso de incendio, con altas temperaturas y lapsos largos provocando generación de calor, ocasionando una disminución en su resistencia, esto puede reducirse empleando aislantes de calor y de fuego (retardantes).
- d) **Pandeo elástico:** Se presenta debido a su alta resistencia / peso el empleo de perfiles esbeltos sujetos a compresión, haciéndolo susceptible al pandeo elástico.).
- e) **Fatiga:** Disminuye su resistencia del acero, cuando se somete a un gran número de aplicaciones de carga o cambios frecuentes de magnitud de esfuerzos a tensión. (Cargas pulsantes y alternativas).

1.1.2 COMPOSICIÓN DEL ACERO (METALOGRAFÍA FÍSICA).

En la composición del acero se presentan diversos elementos de aleación, y se muestra en que porcentajes se encuentran, un ejemplo: es el acero al carbón, que esta compuesto fundamentalmente por:

Hierro: Principalmente.
Carbono: 0.18 a 0.30%
Manganeso: 0.60 a 90%
Fósforo: 0.40%
Sílice: 0.05%

Las aleaciones no llegan a sumar 1% del total, sin embargo, tiene gran influencia en la soldabilidad y resistencia del metal.



1.1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS.

Los aceros al carbono se clasifican por su contenido de carbono en:

- Bajo.
- Mediano.
- Alto.
- Muy alto, Contenido de carbono.

En este tipo de acero al carbono, sus principales elementos de resistencia son el carbono y el manganeso, los cuales son dosificados cuidadosamente.

Un acero al carbono es aquel que se compone por los siguientes elementos y cantidades máximas, siguientes:

Carbono:	1.7%
Manganeso:	0.65%
Silicio y Cobre:	0.60%

Los anteriores porcentajes varían de acuerdo a la clasificación de los aceros.

- a) **Un acero de bajo contenido de carbono:** Tiene entre 0.15 y 30 % de carbono, por lo que se le denomina como un acero suave.
- b) **Para un acero de medio carbono:** Contienen de 0.30 a 0.45 % de carbono, son sólidos, duros y no fáciles de forjar y soldar (se le denomina un acero de grado duro). Por ejemplo: una varilla.
- c) **Los aceros de alto carbono:** Tienen de 0.45 a 0.75% de carbono, son sumamente sólidos y duros (Se conoce como acero acerado) suelen soldarse pero requieren de electrodos especiales. (Chicote de auto).
- d) **Los aceros de muy alto carbono:** Presentan de 0.75 a 1.5 % de carbono, son muy raramente fabricados debido a las restricciones para trabajarlos, se usan generalmente para herramientas y no se pueden soldar. Ejemplos: (Buriles, Yunques).

La resistencia en el acero se incrementa al aumentar su contenido de carbono, pero esto provoca la disminución en su ductibilidad, además de reducirse capacidad a ser soldado.

En la actualidad el acero mas utilizado en la fabricación de estructuras metálicas es el denominado acero A-36.

Y su composición es la siguiente:

Carbono:	0.26%
Fósforo:	0.04%
Sulfuro:	0.05%



El A-36, es un acero dúctil con un alargamiento de 20% en 20 cm., su esfuerzo de influencia es de $F_Y = 2530 \text{ Kg/cm}^2$.

Y su resistencia a la tensión es $F_U = 4000 \text{ a } 5600 \text{ Kg/cm}^2$.

En la actualidad se usan aceros de alta resistencia como el A-50 cuyos componentes son:

Carbono: 0.15%
Manganeso: 1.02%
Fósforo: 0.15%
Sulfuro: 0.05%
Cobre: 0.20%

Su esfuerzo de influencia $F_Y = 3500 \text{ Kg/cm}^2$.

Y su resistencia a tensión $F_U = 4930 \text{ Kg/cm}^2$.

Es acero menos dúctil ya que tiene un alargamiento de 18% en 20 cm.

1.2 FABRICACIÓN DE LOS ACEROS.

Los avances mas importantes en el desarrollo de los metales ha ocurrido en la fabricación de hierro y acero. Actualmente el hierro y el acero comprenden casi el 95% en peso de todos los metales producidos en el mundo.

El primer acero, se obtuvo cuando los otros elementos necesarios para producirlo se encontraron presentes por accidente cuando se calentaba el hierro. Al paso de los años, el acero se fabrico muy probablemente calentando hierro en contacto con carbón vegetal. La superficie del hierro absorbió algo de carbono del carbón vegetal que luego se martillo en el hierro caliente. Al repetir este proceso varias veces, se obtuvo una capa exterior endurecida de acero.

El acero se fabrica partiendo de la fundición o hierro colado; éste es muy impuro, pues contiene excesiva cantidad de carbono, silicio, fósforo y azufre, elementos que perjudican considerablemente la resistencia del acero y reducen el campo de sus aplicaciones.

La verdadera fabricación del acero se inició hacia 1856, cuando se introdujo en la siderurgia el empleo del convertidor Bessemer, consistente en un recipiente de gran capacidad y de forma de pera, de paredes de hierro y fondo provisto de numerosos orificios, a través de los cuales se hacía llegar una potente corriente de aire, que removía con violencia la masa de hierro colado fundido que llenaba el convertidor.



La reacción entre el oxígeno del aire y los componentes de la fundición era violentísima y tal el calor desarrollado dentro del convertidor que la masa de la fundición se mantenía líquida por sí misma. En la reacción indicada se combinaba la mayor parte del carbono, fósforo y azufre con el oxígeno del aire insuflado, pero no se eliminaba el silicio, lo que constituía un grave inconveniente, razón por la cual no podían utilizarse los minerales de hierro ricos en níquel.

Los más modernos aún son los aceros eléctricos, obtenidos en hornos eléctricos, en éstos se afina el acero obtenido en los hornos Martín-Siemens, y se le recarbura con carbono puro o aglomerados de limaduras de hierro y carbón vegetal.

Las propiedades del acero se modifican con relativa facilidad, calentándolo a temperatura próxima a 1.000 °C y sumergiéndolo con rapidez en agua, aceite o mercurio fríos (temple) se aumenta su elasticidad; si, por el contrario, se le calienta a elevada temperatura y se le deja enfriar lentamente (recocido) se obtiene acero menos elástico pero más tenaz y resistente al choque. El acero es una aleación de hierro y carbono, esto, es, un carburo de hierro, por eso no existe de él un tipo único; sus propiedades (tenacidad, elasticidad, etc.) varían según el contenido de carbono y la clase empleada en su fabricación (martensita, perlita, ferrita o hierro puro; también influye en él, el método seguido en su fabricación. Existen aceros duros, rápidos (resistentes a la lima), etc., el acero es de gran importancia a causa de las múltiples aplicaciones que recibe. Se pueden modificar sus propiedades aleándolo con otros metales; de este modo se obtienen los aceros especiales.

FÁBRICA DE AGLOMERACIÓN:

Para preparar el mineral de hierro: Éste se tritura y calibra en granos que se aglomeran (se aglutinan) entre ellos. El aglomerado así obtenido se compacta, cargándolo después en el alto horno junto con el coque. El coque es un potente combustible, que se obtiene como residuo sólido de la destilación de la hulla (una clase de carbón muy rico en carbono).

ALTO HORNO:

Se extrae el hierro de su mineral. El mineral y el coque sólidos se introducen por la parte superior del horno. El aire caliente (1200°C) inyectado en la base produce la combustión del coque (carbono casi puro). El óxido de carbono así formado reduce los óxidos de hierro, es decir, extrae su oxígeno, aislando el hierro de ese modo.

El calor desprendido por la combustión funde el hierro y la ganga en una masa líquida en que la ganga, de menor densidad, flota sobre una mezcla a base de hierro, denominada "fundición". Los residuos formados por la ganga fundida (escorias) son aprovechados por otras industrias: construcción de carreteras, fabricación de cementos.



CONVERTIDOR DE OXÍGENO:

Aquí se convierte la fundición en acero. La fundición en fusión se vierte sobre un lecho de chatarra. Se queman los elementos indeseables (carbono y residuos) contenidos en la fundición, inyectando oxígeno puro. Se recuperan los residuos (escoria de acero). Se obtiene acero líquido "bruto", que se vierte en una cuchara. Se denomina acero bruto porque, en esa etapa, está todavía inacabado.

COQUERÍA:

El coque es un combustible obtenido mediante destilación (gasificación de los componentes no deseados) de la hulla en el horno de la fábrica de coque. El es carbono casi en estado puro, dotada de una estructura porosa y resistente a la rotura. Al arder en el alto horno, el coque aporta el calor necesario para la fusión del mineral y los gases necesarios para su reducción.

PROCEDIMIENTO ELÉCTRICO:

La materia prima introducida en el horno puede incluir desde material en bruto (por ejemplo, piezas de maquinaria) debidamente seleccionado, hasta chatarra entregada en forma preparada, clasificada, triturada y calibrada con un contenido mínimo de hierro del 92%. La chatarra se funde en un horno eléctrico.

EI ACERO LÍQUIDO:

Obtenido de esa manera, se somete a continuación a las mismas operaciones de afinado y de matización que en el procedimiento de fundición. La chatarra procede de envases desechados, edificaciones, maquinaria y vehículos desguazados o desechos de fundición o acero recuperados en la planta siderúrgica o de sus clientes transformadores. Cada matiz de acero requiere una elección rigurosa de la materia prima, especialmente en función de las "impurezas" que un metal determinado u otro mineral contenido en la chatarra pueda representar para un matiz.

ESTACIÓN DE AFINO:

Afino (descarburación) y adiciones químicas Las operaciones se producen en un recipiente al vacío, haciendo que gire el acero entre la cuchara y el recipiente con la ayuda de un gas inerte (argón). Se inyecta oxígeno a fin de activar la descarburación y calentar el metal. Este procedimiento permite una gran precisión en el ajuste de la composición química del acero ("matización").

Posteriormente se realiza un proceso de laminación, que puede ser:

- a) Laminación.
- b) Laminado en caliente.
- c) Laminado en frío.



a) Laminación.

La laminación del lingote inicia con un molino desbastador, el lingote de acero calentado a 1330°C se hace pasar entre dos enormes rodillos arrancados por motores de 3500 H.P. convirtiéndolo en lupias de sección cuadrada o en planchones de sección rectangular. Ambos son la materia prima para obtener placa laminada, perfiles laminados, rieles, varilla corrugada, alambrón, etc.

b) Laminado en caliente.

Es el proceso más común de laminado y consiste en calentar la lupia (o planchón) a una temperatura que permita el comportamiento plástico del material para así extruirlo en los "castillos" de laminado y obtener las secciones laminadas deseadas.

c) Laminado en frío.

Es un proceso que permite obtener secciones con un punto de fluencia más elevado, al extruir el material a temperatura completamente más baja que la del laminado en caliente.

El proceso siderúrgico del acero, es presentado en la siguiente figura 1.1.

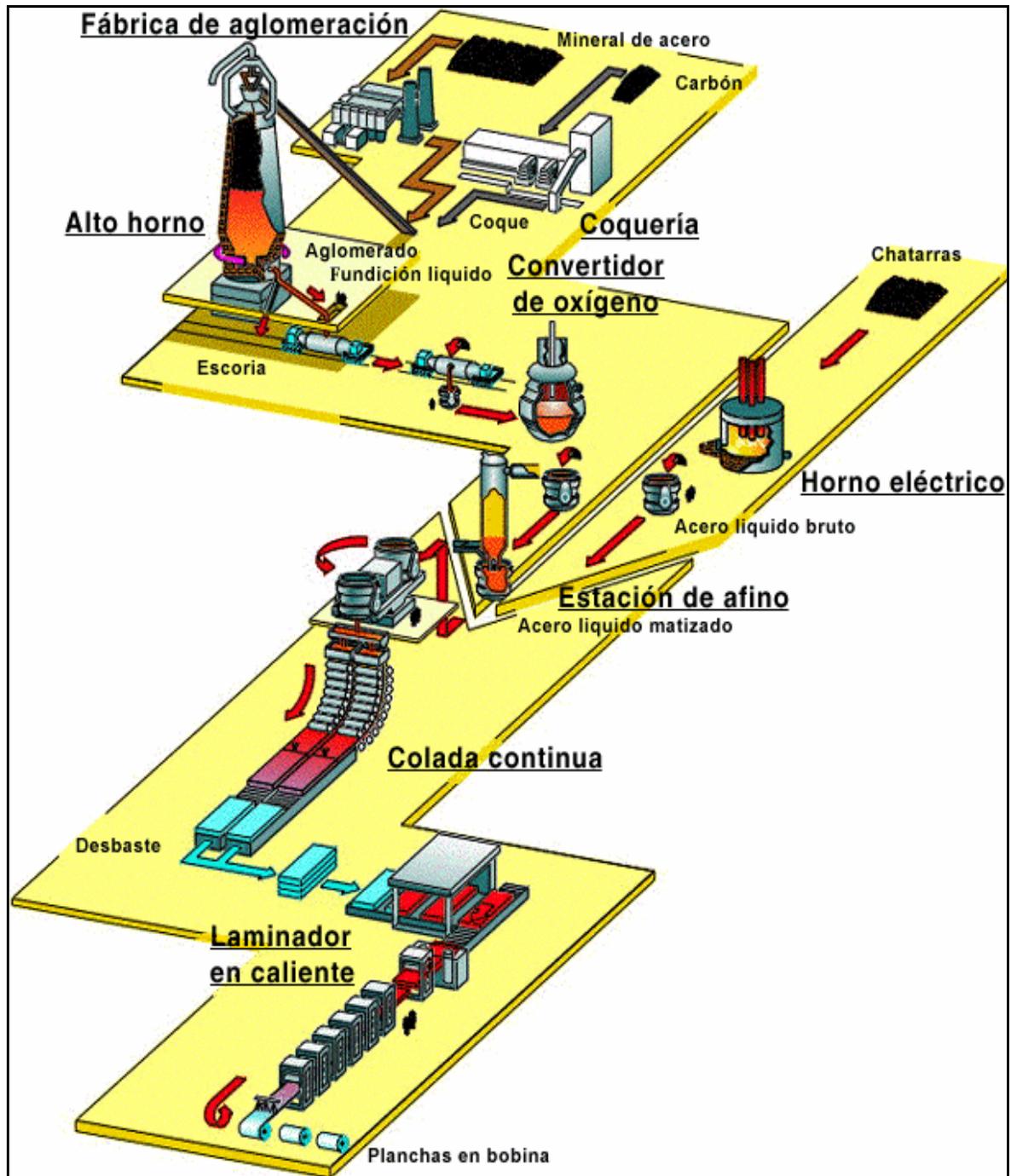


Fig. 1.1. Proceso siderúrgico para la fabricación de acero.



1.3 PROPIEDADES MECÁNICAS.

Las propiedades mecánicas del acero dependen principalmente, de la composición química, los procesos de laminado y tratamiento térmico de los aceros, y se desprenden del diagrama de esfuerzo-deformación nominal.

El esfuerzo en que se presenta un incremento brusco en el alargamiento o deformación sin un incremento correspondiente en el esfuerzo, se denomina esfuerzo de fluencia; corresponde al primer punto de diagrama esfuerzo-deformación para el cual la tangente a la curva es horizontal. El esfuerzo de fluencia es la propiedad más importante del acero, ya que muchos procedimientos de diseño se basan en este valor. Más allá del esfuerzo de fluencia hay un intervalo en el que ocurre un incremento considerable en la deformación sin incremento del esfuerzo. La deformación que se presenta antes del esfuerzo de fluencia se denomina deformación estática; la deformación que ocurre después del esfuerzo de fluencia, sin incremento de esfuerzo, se denomina deformación plástica.

La figura siguiente muestra el diagrama Esfuerzo-Deformación.

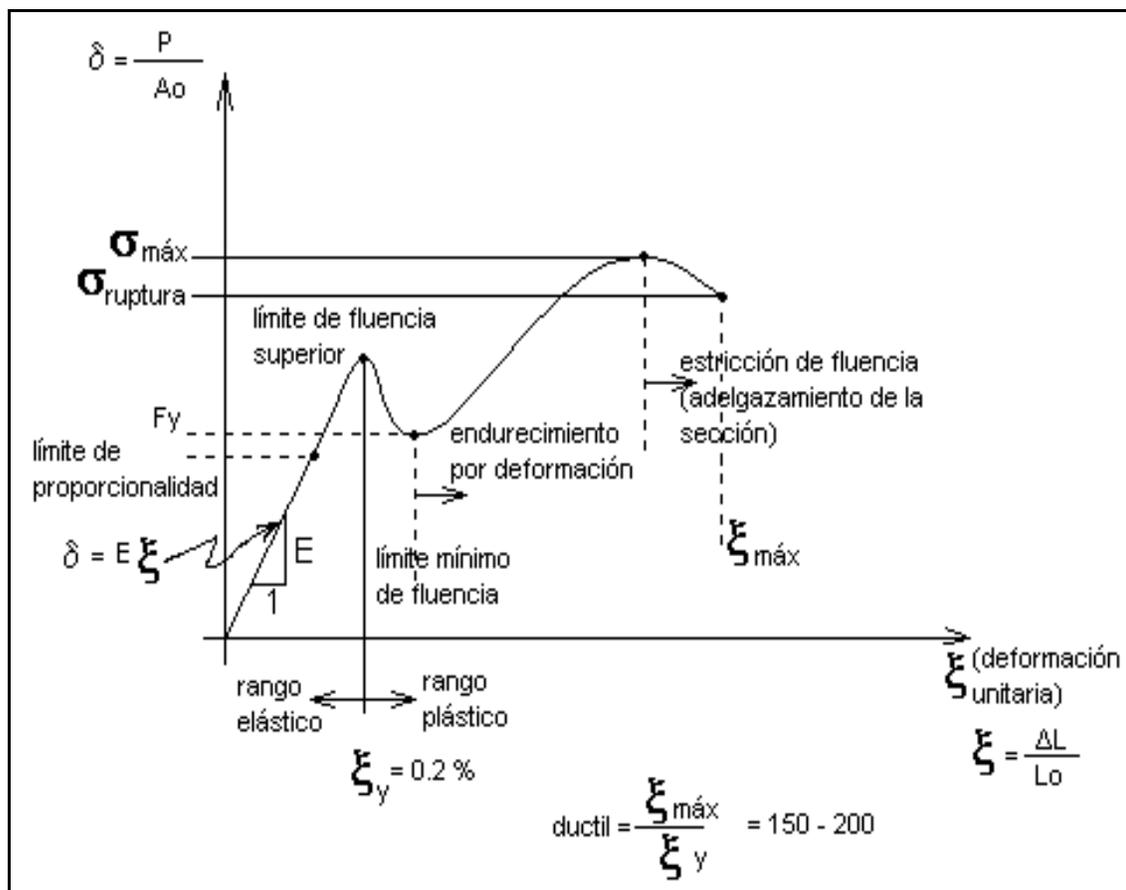


Figura 1.2 Diagrama esfuerzo-deformación.



Del diagrama de esfuerzo-deformación, podemos obtener el factor de ductibilidad y las deformaciones, con las expresiones siguientes:

$$\mu_1 = \frac{\varepsilon_{MAX.}}{\varepsilon_Y} = \frac{0.013}{0.0012} = 10.83 \quad (\text{Factor de ductibilidad}).$$

ACERO A-36

ACERO A-50

$$\varepsilon_Y = \frac{F_Y}{E}$$

$$\varepsilon_Y = \frac{F_Y}{E}$$

$$\varepsilon_Y = \frac{2530}{2,040,000} = 0.0012 \text{ cm} * \text{ cm}$$

$$\varepsilon_Y = \frac{3520}{2,040,000} = 0.0017 \text{ cm} * \text{ cm}$$

Donde: μ_1 = Factor de ductibilidad.

ε_Y = Deformación Unitaria del tipo de acero.

E = Modulo de elasticidad del acero.

OTROS VALORES IMPORTANTES DEL ACERO ESTRUCTURAL SON:

Del diagrama esfuerzo-deformación nominal podemos obtener para cualquier tipo de acero:

Módulo de elasticidad. Que es la tangente de esfuerzo deformación el modulo de elasticidad.

$$E = 2,040,730 \frac{Kg.}{cm^2}; \text{ En Estados Unidos.}$$

$$E = 2,040,000 \frac{Kg.}{cm^2}; \text{ En México.}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$$

Donde:

$\mu = 0.25$ a 0.33 ; Es la relación de Poisson.

$\gamma_s = 7850 \frac{Kg.}{m^3}$; Peso Volumétrico del acero para diseño estructural. Este valor es m importante precisarlo ya que las estructuras metálicas se cotizan por Kg. de material.



En la tabla siguiente se muestra los aceros comerciales usados para estructuras metálicas en la actualidad, los aceros más utilizados son: A-36 y el acero A-50 cuyas propiedades son las siguientes:

ACEROS COMERCIALES EN MÉXICO Y EN E.U.A.					
NOM ASTM	Fy. Lbs. / Pulg. ²	Fy Kg./cm. ²	Fu Lbs./Pulg. ²	Fu (Kg./ cm. ²)	Comentario.
A-7	33,000	2320	53,000	3935	Se uso hasta 1965.
A-36	36,000	2530	58,000	4086	El más usado en Méx.
A-50	50,000	3520	65,000	4580	En EU se esta usando.
A-60	60,000	4320	75,000	5284	En EU se usa poco.

Los productos de acero laminados en caliente que se producen en México son:

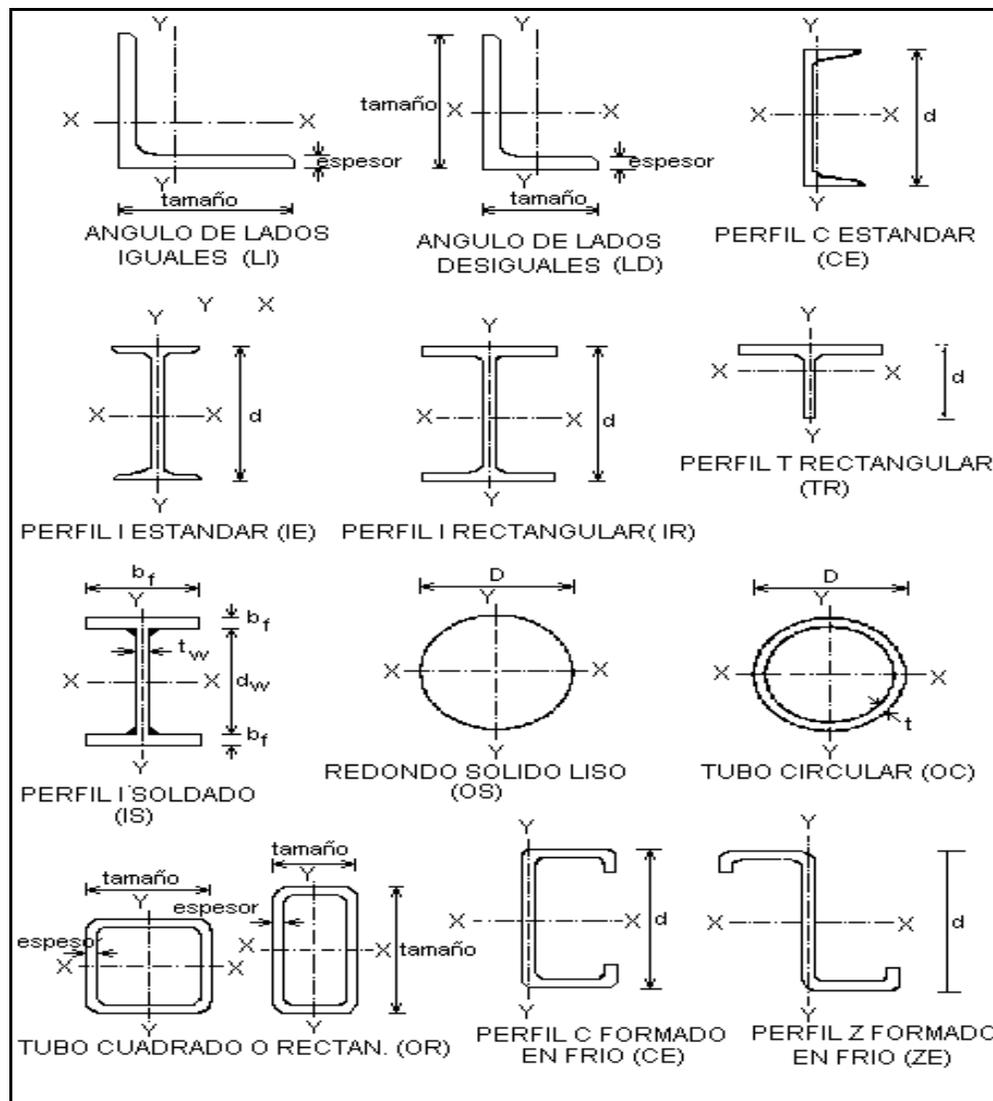


Figura 1.3 Diferentes perfiles laminados que se producen en México.



1.4 ESTRUCTURAS Y CARGAS.

MÉTODOS DE DISEÑO.

El AISC. Publica en el año de 1923 su primer reglamento para construcción de estructuras metálicas y el diseño se hacía a base de valores admisibles ASD (DVA) método que se usó hasta 1994. En 1992 se comienza el diseño de factor de carga y resistencia, LRFD (DFCR) que es el concepto actual aceptado en casi todo el mundo.

Método: ASD. $Q \leq R_n / F_s$; DVA, Diseño de valores admisibles.

Método: LRFD. $\gamma_i Q_i \leq \phi R_n$; Diseño de factor de carga y resistencia.

Donde:

Q = Carga.

R_n = Resistencia Nominal.

$F.S.$ = Factor de seguridad.

ϕ = Coeficiente de reducción de resistencia (En base a pruebas de laboratorio).

γ_i = Factor de carga.

Q_i = Carga.

El diseño por factores de carga y resistencia (LRFD). Es similar al diseño plástico en tanto que se considera la resistencia o la condición de falla. Los factores de carga se aplican a las cargas de servicio y se selecciona un miembro que tenga suficiente resistencia frente a las cargas factorizadas. Además, la resistencia teórica del miembro es reducida por la aplicación de un factor de resistencia. A partir de esto surge un criterio a satisfacer en la elección de un miembro, y es el siguiente:

$$\text{Carga Factorizada} \leq \text{Resistencia Factorizada}$$

Dicha carga factorizada, corresponde de la suma de todas las cargas de servicio que resistirá el miembro, cada una multiplicada por un factor de carga particular. Por ejemplo, las cargas muertas tendrán unos factores de carga que son diferentes de aquellos que se utilizan. La resistencia factorizada es la resistencia teórica multiplicada por un factor de resistencia. Por lo que obtenemos que:

$$\Sigma(\text{Cargas} \times \text{Factores de Carga}) \leq \text{Resistencia} \times \text{Factor de Resistencia}$$

La carga factorizada es una carga de falla mayor que la carga de servicio real total, por lo que los factores de carga son usualmente mayores que la unidad. Sin embargo, la resistencia factorizada es una resistencia reducida y el factor de resistencia es usualmente menor a la unidad. Estas cargas factorizadas son las que llevan a la estructura o al miembro a su límite. En términos de seguridad, este estado límite puede ser fractura, fluencia o pandeo y la resistencia factorizada es la resistencia útil del miembro, reducida del valor teórico por el factor de resistencia. El estado límite puede también ser uno de servicio, como la deflexión máxima aceptable.



CARGAS.

Es muy importante realizar la estimación adecuada de las cargas que recibirá o a las que estará sometida una estructura, durante su vida útil. Debe considerarse cualquier carga que pueda llegar a presentarse. Otra cuestión importante después de la determinación de las cargas, es considerar las combinaciones más desfavorables a la que puede llegar a ser sometida la estructura en un momento dado. Por ejemplo, las circunstancias que pueden presentarse en el diseño de un puente, como pueden ser las cargas muertas, cargas vivas, carga por viento y sismo, etc.

Las cargas a considerar pueden ser de varios tipos dependiendo de la estructura, por lo que se dará una breve introducción a los tipos de cargas más relevantes y que deben considerarse, el proyectista debe tener conocimiento de ellas. Esta definición de cargas es con el propósito de dar una idea general al lector sobre el tema. En general los tipos de carga más comunes son las siguientes:

A. CARGAS MUERTAS.

Este tipo de carga tiene magnitud constante que permanece fija en un mismo lugar. Se puede definir como el peso propio de la estructura y otras cargas permanentemente unidas a esta, por ejemplo, las cargas que ejercen las instalaciones. En un edificio de estructura de acero, algunas de las cargas muertas se deben a: la estructura en sí, los muros, los pisos, el techo, etc.

Al efectuar el diseño de una estructura es necesario estimar los pesos o cargas muertas de sus partes o elementos. Así como los tamaños y pesos exactos de las partes, dichas dimensiones y pesos se conocen hasta que se realiza el análisis estructural y se seleccionan los miembros de la estructura. Es recomendable efectuar una comparación entre los pesos determinados de acuerdo con el diseño, y los pesos estimados. Y en caso de existir grandes discrepancias, será necesario repetir el análisis y efectuar el diseño con una estimación más precisa de las cargas.

La estimación de las cargas en la estructura puede hacerse con base en otras similares, el procedimiento a seguir para la estimación, así como la exactitud y rapidez, dependerá de la experiencia del proyectista.

B. CARGAS VIVAS.

Se refiere a todas aquellas cargas que pueden cambiar de lugar y magnitud. En otras palabras son todas las cargas que no son cargas muertas, como son cargas no permanentes como son personas, mobiliario móvil, elementos de almacenaje temporales y variable, para este tipo de cargas los códigos de los diferentes países dan valores aproximados dependiendo del uso que tendrá la construcción.



C. CARGAS MOBILES.

Este tipo de cargas se mueven bajo su propio impulso, por ejemplo: camiones, personas, trenes etc. También se le denominan cargas móviles aquellas que pueden ser desplazadas, como materiales en un almacén.

D. CARGAS ACCIDENTALES.

Son las fuerzas producidas por la acción del viento y de los sismos no son las únicas cargas accidentales, pero son las que comúnmente se utilizan en el análisis y diseño de estructuras. Otro caso de carga accidental es la provocada por explosiones, pero estas fuerzas no se prevén solo en casos excepcionales.

E. CARGA POR VIENTO.

Este tipo de carga depende de la ubicación y localidad geográfica de la estructura, de su altura, del área expuesta y de su posición. Este tipo de carga se manifiesta en forma de presiones y succiones.

Estas presiones generalmente se suponen aplicadas uniformemente en todas las superficies de los edificios y que pueden afectar a la estructura en cualquier dirección.

Las fuerzas de viento actúan como presiones sobre las superficies verticales a barlovento, como presiones o succiones sobre superficies inclinadas a barlovento (dependiendo de la pendiente) y como succiones sobre superficies planas y superficiales verticales o inclinadas muros a sotavento (debido a la creación de presiones negativas o vacíos).

F. CARGA POR SISMO.

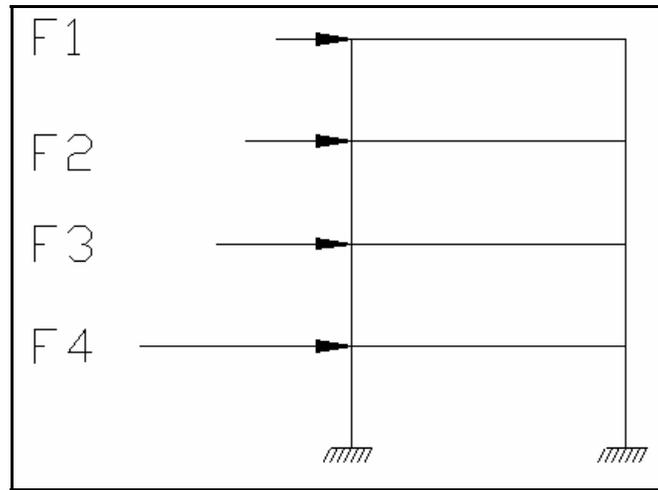
Para evaluar las cargas producidas por sismo, se recurre a la segunda ley de Newton:

$$F = m * a$$

Ya que podemos conocer la masa de un edificio (su peso), que se calcula evaluando las cargas muertas y cargas vivas necesarias. La aceleración a emplearse esta en función de una división por zonas, las que difieren de acuerdo con el tipo de suelo donde se ha de construir y el tipo de construcción de que se trata; el tipo de construcción esta determinado por su forma y por la manera en que resiste la acción de un sismo.



Las cargas producidas por sismo las consideramos concentradas en cada nivel, como se muestra en la fig. 1.4.



La figura 1.4 Fuerzas que se generan por sismo en una estructura.

La carga de sismo es una carga importante que se debe considerar, dado que en muchos casos es la que determina las dimensiones y resistencia de las piezas de una construcción.

G. CARGA POR NIEVE.

La carga por la acción de la nieve es muy probable en la parte norte de nuestro país, por lo que el reglamento impone ciertos valores para considerar esta acción accidental, la cual llega a ser crítica en estructuras ligeras.



LOS SIGUIENTES DIAGRAMAS MUESTRAN LA CLASIFICACIÓN DE LAS CARGAS DE MANERA CLARA Y SENCILLA.

CARGAS “PERMANENTES”.
O
CARGAS “MUERTAS”.

Se refiere a los pesos volumétricos de los materiales mediciones de volúmenes en planos preliminares del proyecto o en obra, esto incluye acabados (pisos, plafones, etc.).

CARGAS “VARIABLES”.
O
CARGAS “VIVAS”.

Especificadas Por los reglamentos según el uso o destino de las áreas de la construcción. Basadas en extensas observaciones y estudios estadísticos.

CARGAS “ACCIDENTALES”.

a) **VIENTO.**

Influyen: la velocidad del viento, la densidad del aire, la altura sobre el suelo y la forma y orientación de la construcción.

b) **SISMO.**.....

Influyen la ubicación de la construcción, el tipo de terreno en el que se desplanta su cimentación y el tipo de estructura.

c) **NIEVE.**.....

Carga que debe ser considerada principalmente estructuras ligeras, como son naves industriales.



1.5 FABRICACIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA.

Esta etapa consiste en la elaboración de los elementos para un cierto trabajo en específico (Lo que puede ser el corte a las dimensiones requeridas y el punzonado de los agujeros necesarios para las conexiones de campo).

Es muy importante cuando se fabrica una estructura, detallar directamente a la laminadora o a los suministradores de este, a que longitud deben ser cortados los perfiles.

Al solicitar el suministro de acero, el proyectista efectúa planos o dibujos de taller, donde se muestra los tamaños de los miembros estructurales, las dimensiones generales a si como conexiones fuera de lo común.

Estos planos deben contener la información necesaria para la fabricación de la estructura correctamente, ya que la empresa encargada de la fabricación, se basará en lo especificado en dichos planos. Los planos deben mostrar las dimensiones de cada miembro, las localizaciones y tamaños de agujeros, las posiciones y tamaños de las conexiones, etc.

1.6 MONTAJE DE ESTRUCTURAS METÁLICAS.

Es importante poner especial cuidado, durante la carga, descarga, transporte, almacenamiento y montaje de las piezas de acero, ya que debe cuidarse que estas no sufran sobresolicitaciones, alabeos o incluso deformaciones. Especialmente cuando se manejan con cadenas deberán protegerse adecuadamente.

Cada elemento se marca en taller con letras y números para lograr distinguirlos de los demás miembros. El montaje se efectúa de acuerdo con una serie de planos denominados “Planos de montaje”. Los cuales no son dibujos detallados, sino simples diagramas que muestran la posición que ocupa cada elemento dentro de la estructura. Y debe fijarse mucha atención para obtener las formas indicadas en los planos. Además de la correcta posición de los elementos, por lo cual se recomienda comprobar con repetidas mediciones.

También hay que asegurar la estabilidad y resistencia de la estructura durante el montaje, mediante apuntalamientos y otros dispositivos auxiliares de montaje, estos no deberán retirarse hasta haber asegurado que no son ya requeridos.

Para el dimensionamiento y ejecución de los armazones de apoyo o acceso para las piezas que se montan, deberán realizarse de acuerdo a las normas correspondientes, para el montaje de estructuras de acero. Debe considerarse que al montar las estructuras, las piezas que la conforman pueden sufrir deformaciones por su plano menos resistente.



1.7 FALLAS COMUNES EN ESTRUCTURAS METÁLICAS.

Algunas causas que provocan que estructuras especialmente ligeras como son naves industriales en México, se colapsen son principalmente:

1.7.1 VIENTO.

Las estructuras ligeras en zonas costeras son las más propensas o expuestas a fallas o colapsos por esta causa provocada principalmente por huracanes. En base a la clasificación de ciclones Zafiro-Simpson, una depresión tropical tiene vientos menores a 63 kilómetros por hora; mientras que una tormenta tropical entre 63 y 118 Km. / hrs. Los huracanes tienen velocidades de viento mayores a los 119 kilómetros.

Categoría de huracanes.

Los huracanes se dividen en cinco categorías, según la intensidad de sus vientos y sus intervalos son:

I	II	III	IV	V
INTERVALOS				
118.1Km. a 154.0Km.	154.1 Km. a 178 Km.	178.1 Km. a 201.0 Km.	201.1Km. a 250.0 Km.	250.1 Km. en Adelante.

Se señala que el viento causa sub-presión, es decir, levanta a la estructura venciendo el peso propio de la misma, por lo que es importante que el estructurista considere esta condición de esfuerzos, principalmente en zonas costeras de formación de huracanes, se puede pensar en hacer techumbres mas pesadas, para lograr equilibrar la sub-presión, aunque estas resultan antieconómicas y no es la mejor solución.

Las causas más comunes de colapsos en cubiertas suelen ser:

- a) Que la separación sea muy grande entre largueros lo que hace que fallen o vuelen las laminas.
- b) Diseño equivocado de elementos, los que en general producen pandeos con lo que ocurrirán fallas locales o colapsos en el peor de los casos.



1.7.2 SISMOS.

En sismos generalmente mayores a los 6.5 grados Richter ocurren daños de diferentes magnitudes en elementos estructurales.

Los colapsos en estructuras rígidas en general se presentan por sismos intensos debido a falta de rigidez, resistencia o ambas, las causas más comunes en las fallas o colapsos se deben a pandeos generales.

1.7.3 CAMBIO DE ESTRUCTURA.

Cuando se fabrican estructuras en muchas ocasiones ocurre lo siguiente:

- a) Se llega a modificar la geometría o secciones en obra contra las del proyecto de manera arbitraria en secciones menores.
- b) Se cambian las cargas colocando por ejemplo aire acondicionado o cambiando la techumbre en su estructura haciéndola más pesada.
- c) Es común cambiar las conexiones buscando el fabricante la facilidad constructiva y esto no siempre es conveniente.

1.7.4 GRANIZO.

Se refiere a una acción accidental, que consiste en una sobrecarga, que cuando no se considera en el diseño estructural provoca sobreesfuerzos en los elementos y por lo consiguiente fallas o inclusive colapsos.

Las causas de falla que generalmente se presentan por granizo y son:

- a) Porque llegan a taparse las bajadas de aguas pluviales.
- b) Al no ser considerado el peso del granizo en el diseño estructural.
- c) Poca pendiente que provoca el estancamiento del granizo y entonces se acumula en la techumbre provocando la falla.

1.7.5 INCENDIOS.

El fuego también es causa de fallas, las cuales causan daños y en algunas ocasiones son pérdida total. El daño depende del material que está contenido, como muebles, cortinas, papel, telas combustibles, pintura, etc. es decir, que tan flamables o inflamables y en que cantidad están, también incide en el daño, el tiempo de duración del incendio o sea que el cuerpo de bomberos llegue a tiempo y sea eficiente. También es importante la disipación del calor en base a la rotura de ventanas.



1.7.6 ERROR DE CÁLCULO.

Este tipo de falla se origina desde el cálculo de las estructuras, debido a diversas causas, como: Una mala consideración de las condiciones de carga, a las cuales la estructura estará sometida, el mal análisis de los esfuerzos, deflexiones, etc. Otras causas que pueden originar la falla de una estructura es: el mal diseño de los elementos estructurales y de las conexiones entre los elementos, e incluso la elección de otro elemento, que no sea el indicado.

También puede considerarse como causa de falla, las modificaciones que se efectúen al proyecto original, sin la debida revisión y autorización del estructurista responsable del cálculo. Suelen cometerse errores de transferencia de información de los cálculos a la elaboración de los planos, pueden cambiarse las dimensiones de los perfiles. Por ultimo también debe considerarse la falta de conocimiento del proyectista.

1.8 FACTORES DE CARGA UTILIZADOS EN MÉXICO.

Los factores de carga tienen el propósito de proteger el diseño de las estructuras esto mediante el incremento de las cargas a considerar para el diseño de todas las magnitudes de las cargas vivas y muertas para el cálculo, esto debido a que si por algún motivo no se consideran algunas cargas.

El valor del factor de carga utilizado para cargas muertas es el mismo que el usado para cargas vivas, aunque puede estimarse con mayor exactitud las magnitudes para cargas muertas que de cargas vivas. Por tal razón se considera que las cargas que permanecen fijas durante largos periodos varían menos en magnitud en comparación con aquellas cargas que se aplican por cortos periodos como son las cargas vivas.

Los siguientes factores son los utilizados en México, de acuerdo a su reglamento.

a). $1.4D + 1.4L$; Para estructuras del grupo “B”.
b). $1.5D + 1.5L$; Para estructuras del grupo “A”.
c). $1.1D + 1.1(EoW)$
d). $0.9D - 1.1(EoW)$
e). $1.1D + 1.1Lm + 1.1G$



Donde:

D = Cargas Muertas.	W = Carga por viento
E = Carga Por Sismo.	Lm = Carga Viva Media.
L = Cargas vivas máximas.	G = Granizo.

1.9 FACTORES DE CARGA USADOS EN E.U.A SEGÚN AISC O UBC-94

Los factores de carga y combinaciones que se utilizan, de acuerdo al código A.I.S.C.- 2004 y los cuales son las mínimas que se recomiendan para el análisis de las estructuras.

El diseño por resistencias conocida como resistencia factorizada (ϕR_n), se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\sum \gamma_i Q_i \leq \phi R_n$$

Donde:

Q_i = Carga (una fuerza o un momento).

γ_i = Un factor de carga.

R_n = La resistencia nominal de la componente bajo consideración.

ϕ = Coeficiente de reducción de resistencia (En base a pruebas de laboratorio).

La ecuación indica que la sumatoria en el lado izquierdo, es sobre el número total de efectos de carga (incluidas, pero no limitada a las cargas muertas y vivas), cada efecto de carga puede asociarse con un factor de carga diferente. Esto indica que no solo puede cada efecto de carga tener un factor de carga diferente, si no que también el valor del factor de carga para un efecto de carga particular dependerá de la combinación de las cargas bajo consideración.

Las combinaciones de cargas a considerar son las especificadas en el AISC tales como:

a) $U = 1.4D$
b) $U = 1.2D + 1.6L + 0.5(L, o S, o R)$
c) $U = 1.2D + 1.6(L, o S, o R) + (0.5L, o, 0.8W)$
d) $U = 1.2D + 1.3W + 0.5L + 0.5(L, o, S, o, R)$
e) $U = 1.2D \pm 1.0E + 0.5L + 0.2S$
f) $U = 0.9D \pm (1.3W, o, 1.0E) \dots\dots$ Cuando existe volteo.



Donde:

U = Carga ultima.	S = Carga viva en nieve.
D = Carga muerta.	R = Carga inicial de agua o lluvia sin Incluir encharcamiento
L = Carga viva.	W = Carga de viento.
Lr = Carga viva de techo.	E = Carga por sismo.

1.10 FACTORES DE RESISTENCIA.

Para obtener con precisión la resistencia última de una estructura es necesario tomar en cuenta las incertidumbres que se tienen en la resistencia de los materiales. Con el factor de resistencia, el calculista reconoce implícitamente que la resistencia de un miembro no puede conocer con exactitud.

Para efectuar la aproximación, se multiplica la resistencia ultima teórica (llamada resistencia nominal) de cada elemento por un factor ϕ , de resistencia o de sobrecapacidad que es casi siempre menor que 1.0.

Los factores de reducción de resistencia para el acero A-36 utilizados en México, en base a las N.T.C. son:

Fr.	
0.9	Resistencia a tensión para estado límite de flujo plástico en la sección total, resistencia a flexión y cortante en vigas, determinación de cargas críticas, tensión o compresión paralela al eje de soldaduras tipo filete y de penetración parcial.
0.80	Tensión normal al área efectiva en soldaduras de penetración parcial cortante en el área efectiva en soldaduras de penetración completa
0.75	Resistencia a tensión por estado límite de fractura en la sección neta, resistencia a compresión para estado límite de pandeo local en secciones tipo 4, cortante en el área efectiva en soldaduras de filete, cortante paralela al eje de la soldadura de penetración parcial, resistencia a tensión de tornillos.
0.70	Resistencia a compresión de columnas de sección transversal circular hueca tipo 4.
0.60	Resistencia a compresión de columnas de sección transversal circular hueca tipo 4.



1.11 CÓDIGOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL.

Los códigos en los cuáles se dan los principales lineamientos para el diseño de estructuras metálicas son los siguientes, es importante hacer notar que en México muchos de estos códigos son de uso cotidiano.

En E.U.A.

Instituto Nacional Americano de Especificaciones. (Avala la calidad de los reglamentos).	ANSI.
Sociedad Americana de Ingenieros Civiles.	ASCE.
Sociedad Americana de Pruebas y Materiales.	ASTM
Sociedad Americana de Soldadura (AWS-96).	AWS
Consejo de investigaciones sobre Conexiones Estructurales.	
Especificaciones para Diseño por Factores de Carga y Resistencia de Uniones Estructurales con Tornillos A.S.T.M., A-325 o A-490 en 1988.	ASTM
Especificaciones para Diseño por Factores de Carga y Resistencia de Miembros de Acero Formados en Frío 1996, A.I.S.I., Instituto Americano del Hierro y el Acero.	AISI
Código de Practicas Generales para Edificios de Acero y Puentes. AISC Instituto Americano de la Construcción en Acero.	AISC
UBC-97; Uniform Building Code-96.- Código Uniforme de Edificios. Es un reglamento que se usa en toda la Unión Americana, Tomando en cuenta todo tipo de estructuras y regula las solicitaciones.	UBC-97

EN MÉXICO.

Las Normas Técnicas Complementarias, Para el Diseño y Construcción de estructuras de acero (Octubre - 2004).	N.T.C. (OCT.-2004)
--	---------------------------



TEMA 2 CONEXIONES ATORNILLADAS.

2.0 INTRODUCCIÓN.

Durante varios años el método mas aceptado para realizar conexiones entre los elementos de una estructura de acero fue el sistema constructivo a base de remaches. Con el paso del tiempo, el uso de remaches fue declinando debido al incremento en la utilización del sistema basado en pernos y tornillos de alta resistencia.

El montaje de estructuras de acero por medio de tornillos, es un proceso que además de ser muy rápido requiere mano de obra menos especializada que cuando se realizan trabajos con remaches o con soldadura, obteniéndose con lo anterior ventajas económicas, en comparación con los otros tipos de conexión.

Aunque el costo de adquisición de un tornillo de alta resistencia es varias veces mayor que el de un remache, el costo total de la construcción atornillada es menor que el de la construcción remachada, debido a los menores costos por mano de obra, equipo y al menor numero de tornillos requeridos para resistir las mismas acciones.

Anteriormente las conexiones que se realizaban con tornillos y tuercas ordinarias no eran muy satisfactorias cuando estaban sometidas en especial a cargas vibratorias porque las tuercas con frecuencia se aflojaban. Durante muchos años este problema se resolvió usando contratuerzas, pero los tornillos modernos de alta resistencia proporcionan una solución mas satisfactoria.



2.1 TIPOS DE TORNILLOS.

En la actualidad existe una gran variedad de sujetadores (tornillos), los cuales están a disposición del diseñador, quien se encargara mediante su criterio y experiencia de seleccionar el sujetador que mejor satisface al diseño. Los tornillos se dividen en dos grandes tipos tornillos comunes y tornillos de alta resistencia. Dentro del campo de la ingeniería se designan con la norma ASTM A-307 a los tornillos comunes y a los tornillos de alta resistencia se designan como ASTM A-325 y ASTM A-490.

Es importante mencionar que la resistencia de los tipos de tornillos, difiere en las propiedades de los materiales con que se fabrican, influyendo también la consideración de la fuerza de apriete resultante en los mismos. Debido a lo anterior es importante revisar la resistencia de los tornillos por tensión, cortante, aplastamiento o en el caso mas critico, la combinación de varios de ellos si el diseño así lo requiere.

Algunas consideraciones que deben ser tomadas en cuenta en la elección de los tornillos son:

1. Resistencia requerida por la unión.
2. Las limitaciones de espacio en la conexión. si se requiere de personal calificado para la fabricación.
3. Montaje de la estructura, costo total, etc.

En la realización de conexiones, los sujetadores realizan la función de transmitir cargas de un elemento a otro, por lo que dependerán de las consideraciones de análisis y diseño para su elección, las características generales de cada tipo de tornillo son las siguientes:

TORNILLOS COMUNES TIPO (A-307).

Los tornillos ordinarios o comunes los designa la ASTM como tornillos A-307 y se fabrican con aceros al carbono con características de esfuerzos y deformaciones muy parecidas al acero A-36. Estos tornillos están disponibles en diámetros que van de 5/8” hasta 1 1/2” en incrementos de 1/8.”

La fabricación de tornillos A-307 se efectúa generalmente con cabezas y tuercas cuadradas para reducir costos, pero las cabezas hexagonales en ocasiones se emplean porque tiene una apariencia un poco más atractiva, y facilitan la manipulación con las llaves mecánicas y se reduce así el espacio requerido para girarlas.

Estos tornillos presentan grandes tolerancias en el vástago y en las dimensiones de la cuerda, pero sus resistencias de diseño son menores que las de los remaches o de los tornillos de alta resistencia. Su utilización es primordialmente en estructuras ligeras que se encuentran sujetas a cargas estáticas y en miembros secundarios (largueros, correas, riostras, plataformas, armaduras de pequeñas dimensiones).



TORNILLOS DE ALTA RESISTENCIA TIPO (A-325 Y A-490).

Los tornillos de alta resistencia basan su capacidad en la acción de apriete producida al ajustar el tornillo o la tuerca hasta producir una fuerza de tensión predeterminada. La tensión se desarrolla al apretar la tuerca con llaves de torsión calibradas, o utilizando el método del giro de la tuerca. Además pueden utilizarse llaves denominadas de impacto, las cuales deben ser de la capacidad adecuada y contar con el suministro de aire suficiente para llevar a cabo el apriete requerido para cada tornillo en un tiempo aproximado de 10 seg.

El valor de esta tensión se encuentra establecido en la tabla proporcionada por AISC llamada Tabla de Tensión Mínima en Tornillos, y una forma clara y sencilla de determinar este valor aproximado es considerando el 70% de la resistencia mínima por tensión del tornillo (Tabla 2.1). Se menciona que los tornillos A 490 presentan una resistencia, última a tensión más elevada en comparación del tipo ASTM A325 por lo cual se les asigna una resistencia nominal mayor.

Los sujetadores tipo A-325 y A-490 están fabricados a base de acero al carbono tratado térmicamente, sin embargo los tornillos A-490 están fabricados con acero aleado. Este tipo de sujetadores se utilizan para todo tipo de estructuras.

El siguiente esquema muestra las características e identificación para tornillos estructurales de mayor uso.

	CALIDAD	IDENTIFICACION			Material.
		Tornillos.	Tornillos.	Tornillos.	
Estandar	Acero A.S.T.M A-307 S.A.E 2				Acero bajo en carbon
ALTA RESISTENCIA.	Acero A.S.T.M. A-449 S.A.E5				Acero medio en carbon o bien. baja aleacion tratamiento termico.
	A.S.T.M. A-354 BB A.S.T.M. A-325				
	Acero A.S.T.M. A-490 S.A.E. 8				Acero medio en carbon y con aleacion templado y revenido.

* Alternativas de marcas de tuercas “2”, “D” o “2HP”.

** Alternativas de marcas de tuercas “2H” o “DH”.



Tabla 2-1

Tabla de tensión mínima (T_b), (especificaciones A.I.S.C. - L.R.F.D.)

DIÁMETRO DEL TORNILLO		TENSIÓN MÍNIMA DEL TORNILLO ^a EN TONELADAS MÉTRICAS	
PULGADAS	mm.	Tornillos A-325	Tornillos A-490
1/2	13	5.43	6.80
5/8	16	8.62	10.90
3/4	19	12.70	15.90
7/8	22	17.65	22.25
1	25	23.15	29.10
1 1/8	29	25.40	36.30
1 1/4	32	32.20	47.30
1 3/8	35	38.60	54.90
1 1/2	38	46.80	67.10

^a Igual a 0.70 de la resistencia mínima a la tensión de los tornillos, redondeadas a Ton. como se determina en las especificaciones ASTM para A325 y A490.

2.2 RESISTENCIA A TENSIÓN DE UN TORNILLO.

La resistencia a tensión en un tornillo se obtiene con la expresión:

$$\phi P_n = \phi F_t A_b \dots\dots\dots \text{EC. 2.1}$$

Siendo: $\phi = 0.75$

Donde:

F_t = Esfuerzo a tensión del tornillo.

A_b = Área del tornillo.

Tabla J3.2 AISC – LRFD. (VALORES DE TENSION F_t).

TORNILLOS	F_t en $\frac{Kg}{cm^2}$
A - 325	6330
A - 490	7950
A - 307	3165



EJEMPLO: Calcular la capacidad a tensión de un tornillo tipo A-325 y A-490):

Utilizando la ecuación 2.1:

$$\phi P_n = \phi F_t A_b,$$

Para un tornillo de $d = 1/2''$.

Para Tornillo tipo A-325 y A-490 tenemos:

$$d = 1/2'' = 0.50 \times 2.54 = 1.27 \text{ cm.}$$

Donde: d = Diámetro del tornillo.

r = Radio del tornillo.

Calculando el área del tornillo:

$$A_b = \pi * r^2$$

$$A_b = \pi * 0.635^2 = 1.27 \text{ cm.}$$

Los valores son capacidades últimas del tornillo en tensión.

Sustituyendo valores en la formula tenemos; que $\phi = 0.75$

Tabla.- 2-2

Proporciona la capacidad de tensión para los tornillos:

TORNILLO	$\phi F_t A_b$	CAPACIDAD EN Kg.
A-325	$0.75(6330)(1.27) =$	6029
A-490	$0.75(7910)(1.27) =$	7534
A-307	$0.75(3165)(0.71) =$	1685



EJEMPLO.- Obtener la resistencia a la tensión de un tornillo tipo A-307, A-325 y A-490 cuyos diámetros son :

$$d = 3/8''; \text{ . } d = 1/2''$$

a). Para el tornillo de $d = 3/8''$.

Utilizando la formula $\phi P_n = \phi F_t A_b$ tenemos:

$$d = \frac{3}{8} = 0.375 * 2.54 = 0.95cm ;$$

$$d = \frac{1}{2} = 0.5 * 2.54 = 1.27cm$$

Donde:

d = Diámetro del tornillo.

r = Radio del tornillo.

Por lo que el radio es $r = 0.475$ cm.

Obteniendo el área del tornillo tenemos:

$$\text{Tornillo de } 3/8'' = A_b = \pi * r^2 = 3.1416 * 0.475^2 = 0.71cm^2$$

$$\text{Tornillo de } 1/2'' = A_b = \pi * r^2 = 3.1416 * 0.635^2 = 1.27cm^2$$

Sustituyendo valores en la formula la tensión última de cada tornillo será:

Considerando:

$$\phi = 0.75$$

$$F_t = 3165,6330 \text{ y } 7910. \text{ Para tornillos tipo A-307; A-325, A-490, respectivamente.}$$

Estos valores se obtienen de la tabla J3.2 AISC - LRFD), proporcionada anteriormente.

Para tornillo de $d = 3/8''$ y tipo:

$$A-307 = 0.75 * (3165) * 0.71 = 1685Kg.$$

$$A-325 = 0.75 * (6330) * 0.71 = 3371Kg.$$

$$A-490 = 0.75 * (7910) * 0.71 = 4212Kg.$$

Para tornillo de $d = 1/2''$ y tipo:

$$A-307 = 0.75 * (3165) * 1.27 = 3015Kg.$$

$$A-325 = 0.75 * (6330) * 1.27 = 6029Kg.$$

$$A-490 = 0.75 * (7910) * 1.27 = 7534Kg.$$



Tabla 2-3

Valores de capacidad a tensión última de tornillos de alta resistencia, para diversos diámetros.

DIÁMETRO COMERCIAL	d cm.	ÁREA cm. ²	ALTA RESISTENCIA	
			A – 325 (Kg.)	A – 490 (Kg.)
3/8	0.95	0.71	-----	-----
½	1.27	1.27	6029	7534
5/8	1.59	1.99	9448	11,806
¾	1.91	2.86	13,578	16,967
7/8	2.22	3.87	18,373	22,959
1	2.54	5.07	24,070	30,078
1 1/8	2.86	6.42	30,479	38,087
1 ¼	3.18	7.94	37,695	47,104
1 1/8	3.49	9.57	45,434	56,774
1 1/2	3.81	11.40	54,122	67,631

Tabla 2-4

Valores de capacidad a tensión última de anclas, para diversos diámetros.

DIÁMETRO COMERCIAL	d cm.	ÁREA cm. ²	ANCLAS	
			A-36 (Kg.)	A efectiva
3/8	0.95	0.71	740	0.39
½	1.27	1.27	1575	0.83
5/8	1.59	1.99	2694	1.42
¾	1.91	2.86	4137	2.18
7/8	2.22	3.87	5806	3.06
1	2.54	5.07	7856	4.14
1 1/8	2.86	6.42	10190	5.37
1 ¼	3.18	7.94	12846	6.77
1 1/8	3.49	9.57	15692	8.27
1 1/2	3.81	11.40	19373	10.21



2.2.1 ANCLAS EN TENSIÓN.

Cuando la tensión es transmitida por la cuerda del tornillo es necesario reducir la capacidad en tensión de la siguiente manera (cuando se le hace cuerda al tornillo pierde área). Cuando es un tornillo de fábrica y ya viene con cuerda, no se reduce, su valor, se calcula con la ecuación:

$$\phi P_n = \phi F_t A_b \text{efect.} \dots \dots \dots \text{EC.- 2.2}$$

Donde:

- 0.6Fu = Esfuerzo por fractura cortante de la parte conectada.
- Lc = Distancia del borde del agujero al borde de la parte conectada.
- t = Espesor de la parte conectada.
- Fu = Resistencia a la tensión. Ejemplo A-36 Fu = 2530 Kg./cm.²

EJEMPLO:

Calcular la capacidad a tensión de una ancla donde $\phi = 0.75$ y su $d = 7/8$ "

$$A_b \text{efect.} = 0.7854(d - 0.2447)^2$$

- d = Diámetro de la barra en cm.
- d = 7/8" = 2.22cm. (Redondo liso); A-36
- Fy = 2530Kg / cm²
- Ab = 3.87cm².

$$A_b \text{efect.} = 0.7854(2.22 - 0.2447)^2 = 3.06\text{cm}^2 \text{ Es menor que el de la tabla, se redujo}$$

$$3.06 < 3.87$$

Sustituyendo valores en la ecuación 2.2 tenemos que:

$$\phi P_n = 0.75 * 2530 * 3.06 = 5806\text{Kg.}$$



EJEMPLO.- Obtener la tensión última de la siguiente ancla:

$d = 1/2''$; Considerar liso y de acero A-36.

Donde:

d = Diámetro del tornillo.

r = Radio del tornillo.

Obteniendo el área de la barra, tenemos:

Para $d = 1/2''$; $A_b = \pi * r^2 = 3.1416 * 0.635^2 = 1.27cm^2$

Obteniendo el área efectiva con:

Para $d = 1/2''$; $A_b,efec = 0.7854(d - 0.2447)^2$

Sustituyendo valores:

$A_b,efec = 0.7854(1.27 - 0.2447)^2 = 0.83cm^2$, se observa que es menor que 1.27.

Sustituyendo valores, tenemos que:

$$\phi P_n = \phi F_t A_b,efec.$$

Para tornillo de diámetro de $1/2''$

$$\phi P_n = 0.75 * 2530 * 0.83 = 1575Kg.$$



2.3 RESISTENCIA DE TORNILLOS A CORTANTE.

La resistencia por cortante de los tornillos de alta resistencia esta en función del área de corte, y la resistencia nominal a cortante es aproximadamente un 60% de su capacidad en tensión. La resistencia en este tipo de tornillos esta dada por el esfuerzo cortante ultimo multiplicado por el área nominal del tornillo. Esta resistencia depende también de que si las roscas están en un plano de corte. Los tornillos se pueden utilizar en dispositivos de esfuerzos cortantes sencillo o doble, lo que refiere al numero de planos en que se transfiere el esfuerzo por los tornillos, como se muestra en la figura 2.1(a) y 2.1(b).

TIPOS DE ESFUERZOS CORTANTES EN CONEXIONES.

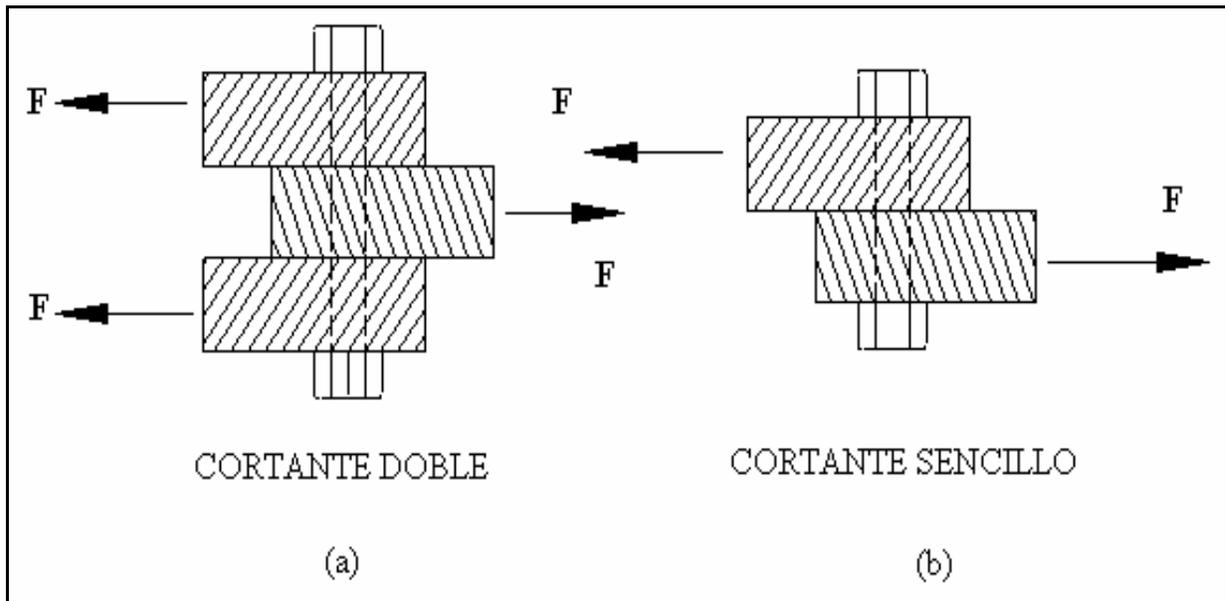


Fig. 2.1 (a). Tornillo en corte doble. Fig. 2.1 (b). Tornillo en corte simple.

En el cálculo de la resistencia a cortante el factor de resistencia adquiere el valor de $\phi = 0.75$, que se define como la razón o porcentaje aproximado del área roscada al área no roscada, para el cálculo de la resistencia al cortante se tiene la siguiente ecuación:

$$\phi V_n = \phi F_v A_b N_s N_b \dots \dots \dots \text{EC. 2.3}$$

Donde:

- Ns= Número de planos de corte.
- Nb= Número de tornillos.
- Ns= 1 = Corte simple.
- Ns= 2 = Corte doble.
- A_b = Área del tornillo.

Nota: Aunque se tengan mas placas el Ns no puede ser mayor de Ns = 2.



Tabla J3.2 AISC-LRFD.

Tabla 2-5

Da valores de Fv de acuerdo a las especificaciones del AISC, para tornillos A-325 y A-490.

CALIDAD	(SEGÚN TABLA J3.2 AISC-LRFD) Fv = Kg./cm. ²
A – 325 N	3380
A – 325 X	4227
A – 490 N	4227
A – 490 X	5284
A-307	1690

Donde:

N: Designa que se incluye la rosca en el plano de corte.

X: Designa que se ha excluido la cuerda en el plano de corte.

2.3.1 RESISTENCIA A CORTANTE SIMPLE DE TORNILLOS.

EJEMPLO:

Calcular la resistencia al cortante de un tornillo con d = 1/2” para todas las clases de tornillos.

Partiendo de la ecuación 2.3, se obtiene que:

φVn = φFvAbNsNbEC.2.3

Ns = 1 (Corte Simple) Nb = 1 y φ = 0.75

Para tornillo tipo A-325 y A-490 tenemos.

d = 1/2” = 0.50x2.54 = 1.27 cm.

r = 0.635 cm.

Calculando el área:

Ab = π * r²

Ab = π * 0.635² = 1.27cm.



La siguiente tabla proporciona valores de cortante simple.

	TORNILLO	DIÁMETRO	$\phi F_v A_b N_s N_b$	ϕV_n
1.-	A-325N	½”	0.75(3380)(1.27)(1)(1)=	3219
2.-	A-325X	½”	0.75(4227)(1.27)(1)(1)=	4026
3.-	A-490N	½”	0.75(4227)(1.27)(1)(1)=	4026
4.-	A-490X	½”	0.75(5284)(1.27)(1)(1)=	5033

Tabla 2-6

TABLA DE RESISTENCIA A CORTE SIMPLE (ULTIMA)

Diámetro comercial	D cm.	Área πr^2	Estándar A-307	ALTA RESISTENCIA			
				A325N	A325X	A490N	A490X
3/8”	0.95	0.71	900	-----	-----	-----	-----
½”	1.27	1.27	1810	3219	4026	4026	5033
5/8	1.59	1.99	2836	5672	7552	6828	9448
¾	1.91	2.86	4076	8151	10854	9813	13578
7/8	2.22	3.87	5515	11030	14687	13279	18373
1	2.54	5.07	7225	14450	19241	17396	24070
1 1/8	2.86	6.42	9149	18297	24364	22029	30479
1 ¼	3.18	7.94	11315	22629	30132	27244	37695
1 3/8	3.49	9.57	13637	27275	36318	32837	45434
1 ½	3.81	11.40	16245	32490	43263	39116	54122

2.3.2 RESISTENCIA AL CORTANTE DOBLE TORNILLOS.

Es el doble de los valores de la tabla 2-6; Considerando ahora $N_s = 2$ $N_b = 1$ y aplicando la formula 2.3, y con el valor de $\phi = 0.75$ se tiene que:

$\phi V_n = \phi F_v A_b N_s N_b$ EC.2.3



EJEMPLO.- Calcular la resistencia al cortante doble de un tornillo con $d = \frac{1}{2}''$ en sus diferentes tipos.

$$d = \frac{1}{2}'' = 0.50 \times 2.54 = 1.27 \text{ cm.}$$

$$r = 0.635 \text{ cm.}$$

Calculando el área:

$$A_b = \pi * r^2$$

$$A_b = \pi * 0.635^2 = 1.27 \text{ cm.}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 2.3, se obtienen los valores mostrados a continuación:

	Tornillo	Diámetro	$\phi F_v A_b N_s N_b$	ϕV_n
1.-	A325N	$\frac{1}{2}''$	$0.75(3800)(1.27)(2)(1)=$	7239
2.-	A325X	$\frac{1}{2}''$	$0.75(5060) (1.27)(2)(1)=$	9639
3.-	A490N	$\frac{1}{2}''$	$0.75(4575) (1.27)(2)(1)=$	8715
4.-	A490X	$\frac{1}{2}''$	$0.75(6330) (1.27)(2)(1)=$	12059

N = Incluye la cuerda; X = Excluye la cuerda.

TABLA 2-7

TABLA DE RESISTENCIA A CORTE DOBLE (ULTIMA).

Diámetro comercial	D Cm	Área πr^2	Estándar A-307	ALTA RESISTENCIA			
				A325N	A325X	A490N	A490X
$\frac{3}{8}''$	0.95	0.71	2024	-----	-----	-----	-----
$\frac{1}{2}''$	1.27	1.27	3620	7239	9639	8715	12,059
$\frac{5}{8}$	1.59	1.99	5672	11,343	15,104	13,656	18,895
$\frac{3}{4}$	1.91	2.86	8151	16,302	21,707	19,627	27,156
$\frac{7}{8}$	2.22	3.87	11030	22,059	29,373	26,558	36,746
1	2.54	5.07	14450	28,899	38,481	34,793	48,140
1 $\frac{1}{8}$	2.86	6.42	18297	36,594	48,728	44,057	60,958
1 $\frac{1}{4}$	3.18	7.94	22629	45,259	60,265	54,488	75,390
1 $\frac{3}{8}$	3.49	9.57	27275	54,549	72,636	65,674	90,867
1 $\frac{1}{2}$	3.81	11.40	32490	64,980	86,526	78,233	108,243



TABLA (2-8) J 3.4

Designa valores de distancia mínima al borde para cortante, de acuerdo a las especificaciones del AISC

DIÁMETRO NOMINAL DEL TORNILLO EN mm.	BORDES CIZALLADOS EN mm.	BORDES LAMINADOS DE PLACAS, ERFILES BARRAS O BORDES CORTADOS CON GAS EN mm.
13	22	19
16	29	22
19	32	25
22	38	29
25	44	32
29	51	38
32	57	41
Mas de 32	1.75 *d	1.25 *d



EJEMPLO.- Calcular la resistencia al corte simple de los siguientes tornillos tipo A-307, A-325N, A-325X, A-490N y A-490X.

Para los siguientes diámetros:

$$d = 7/8''$$

$$d = 1/2''$$

$$d = 3/4''$$

Ns = 1 Por ser cortante simple.

Nb = 1

Considerando: $\phi = 0.75$

Para tornillos tipo:

Partiendo de la fórmula 2.3, de cortante simple para tornillos tenemos que:

$$\phi V_n = \phi F_v A_b N_s N_b \dots\dots \text{Ec.2.3}$$

Obteniendo el diámetro de cada tornillo:

Para $d = 7/8'' = 0.875 \times 2.54 = 2.22 \text{ cm.}$

Para $d = 1/2'' = 0.5 \times 2.54 = 1.27 \text{ cm.}$

Para $d = 3/4'' = 0.75 \times 2.54 = 1.90 \text{ cm.}$

Obteniendo el área de cada tornillo:

$$A_b = \pi * r^2$$

Para $d = 7/8'' = 3.1416 * 1.11^2 = 3.87 \text{ cm}^2$

Para $d = 1/2'' = 3.1416 * 0.635^2 = 1.27 \text{ cm}^2$

Para $d = 3/4'' = 3.1416 * 0.95^2 = 2.83 \text{ cm}^2$

La Fv se obtiene de la tabla 2-5 antes proporcionada, así tenemos:

CALIDAD	Fv = Kg./cm. ²
A – 325 N	3380
A – 325 X	4227
A – 490 N	4227
A – 490 X	5284
A-307	1690



Sustituyendo valores en la formula obtenemos el valor de resistencia al cortante simple para cada uno de los tornillos respectivamente:

Para el tornillo tipo:

$$A-307; \text{ Con } d = 7/8'' \quad \phi V_n = 0.75 * 1690 * 3.87(1)(1) = 4905Kg.$$

$$A-307; \text{ Con } d = 1/2'' \quad \phi V_n = 0.75 * 1690 * 1.27(1)(1) = 1609Kg.$$

$$A-307; \text{ Con } d = 3/4'' \quad \phi V_n = 0.75 * 1690 * 2.83(1)(1) = 3587Kg.$$

Para el tornillo tipo:

$$A-325N; \text{ Con } d = 7/8'' \quad \phi V_n = 0.75 * 3380 * 3.87(1)(1) = 9810Kg.$$

$$A-325N; \text{ Con } d = 1/2'' \quad \phi V_n = 0.75 * 3380 * 1.27(1)(1) = 3220Kg.$$

$$A-325N; \text{ Con } d = 3/4'' \quad \phi V_n = 0.75 * 3380 * 2.83(1)(1) = 7174Kg.$$

Para el tornillo tipo:

$$A-325X; \text{ Con } d = 7/8'' \quad \phi V_n = 0.75 * 4227 * 3.87(1)(1) = 12270Kg.$$

$$A-325X; \text{ Con } d = 1/2'' \quad \phi V_n = 0.75 * 4227 * 1.27(1)(1) = 4026Kg.$$

$$A-325X; \text{ Con } d = 3/4'' \quad \phi V_n = 0.75 * 4227 * 2.83(1)(1) = 8972Kg.$$

Para el tornillo tipo:

$$A-490N; \text{ Con } d = 7/8'' \quad \phi V_n = 0.75 * 4227 * 3.87(1)(1) = 12270Kg.$$

$$A-490N; \text{ Con } d = 1/2'' \quad \phi V_n = 0.75 * 4227 * 1.27(1)(1) = 4026Kg.$$

$$A-490N; \text{ Con } d = 3/4'' \quad \phi V_n = 0.75 * 4227 * 2.83(1)(1) = 8972Kg.$$

Para el tornillo tipo:

$$A-490X; \text{ Con } d = 7/8'' \quad \phi V_n = 0.75 * 5284 * 3.87(1)(1) = 15337Kg.$$

$$A-490X; \text{ Con } d = 1/2'' \quad \phi V_n = 0.75 * 5284 * 1.27(1)(1) = 5033Kg.$$

$$A-490X; \text{ Con } d = 3/4'' \quad \phi V_n = 0.75 * 5284 * 2.83(1)(1) = 11220Kg.$$



EJEMPLO.- Calcular la resistencia al corte doble de los siguientes tornillos tipo A-307, A-325N, A-325X, A-490N y A-490X.

Para los siguientes diámetros:

$$d = 7/8''$$

$$d = 1/2''$$

$$d = 3/4''$$

$N_s = 2$ Por ser cortante simple.

$N_b = 1$

$$\phi = 0.75$$

Para tornillos tipo:

A-307; A-325N; A-325X; A-490N; A-490X.

Partiendo de la fórmula de cortante simple para tornillos tenemos que:

$$\phi V_n = \phi F_v A_b N_s N_b$$

Obteniendo el diámetro de cada tornillo:

$$\text{Para } d = 7/8'' = 0.875 \times 2.54 = 2.22 \text{ cm.}$$

$$\text{Para } d = 1/2'' = 0.5 \times 2.54 = 1.27 \text{ cm.}$$

$$\text{Para } d = 3/4'' = 0.75 \times 2.54 = 1.90 \text{ cm.}$$

Obteniendo el área de cada tornillo:

$$A_b = \pi * r^2$$

$$\text{Para } d = 7/8'' = 3.1416 * 1.11^2 = 3.87 \text{ cm}^2$$

$$\text{Para } d = 1/2'' = 3.1416 * 0.635^2 = 1.27 \text{ cm}^2$$

$$\text{Para } d = 3/4'' = 3.1416 * 0.95^2 = 2.83 \text{ cm}^2$$

La F_v se obtiene de la tabla 2.5 antes proporcionada, así tenemos:

CALIDAD	$F_v = \text{Kg./cm.}^2$
A – 325 N	3380
A – 325 X	4227
A – 490 N	4227
A – 490 X	5284
A-307	1690



Sustituyendo valores en la formula obtenemos el valor de resistencia al cortante doble para cada uno de los tornillos respectivamente:

Para el tornillo tipo:

$$A-307; \text{ Con } d = 7/8'' \quad \phi V_n = 0.75 * 1690 * 3.87(2)(1) = 9810Kg.$$

$$A-307; \text{ Con } d = 1/2'' \quad \phi V_n = 0.75 * 1690 * 1.27(2)(1) = 3216Kg.$$

$$A-307; \text{ Con } d = 3/4'' \quad \phi V_n = 0.75 * 1690 * 2.83(2)(1) = 8066Kg.$$

Para el tornillo tipo:

$$A-325N; \text{ Con } d = 7/8'' \quad \phi V_n = 0.75 * 3380 * 3.87(2)(1) = 19620Kg.$$

$$A-325N; \text{ Con } d = 1/2'' \quad \phi V_n = 0.75 * 3380 * 1.27(2)(1) = 6440Kg.$$

$$A-325N; \text{ Con } d = 3/4'' \quad \phi V_n = 0.75 * 3380 * 2.83(2)(1) = 14348Kg.$$

Para el tornillo tipo:

$$A-325X; \text{ Con } d = 7/8'' \quad \phi V_n = 0.75 * 4227 * 3.87(2)(1) = 24540Kg.$$

$$A-325X; \text{ Con } d = 1/2'' \quad \phi V_n = 0.75 * 4227 * 1.27(2)(1) = 8052Kg.$$

$$A-325X; \text{ Con } d = 3/4'' \quad \phi V_n = 0.75 * 4227 * 2.83(2)(1) = 17944Kg.$$

Para el tornillo tipo:

$$A-490N; \text{ Con } d = 7/8'' \quad \phi V_n = 0.75 * 4227 * 3.87(2)(1) = 24540Kg.$$

$$A-490N; \text{ Con } d = 1/2'' \quad \phi V_n = 0.75 * 4227 * 1.27(2)(1) = 8052Kg.$$

$$A-490N; \text{ Con } d = 3/4'' \quad \phi V_n = 0.75 * 4227 * 2.83(2)(1) = 17944Kg.$$

Para el tornillo tipo:

$$A-490X; \text{ Con } d = 7/8'' \quad \phi V_n = 0.75 * 5284 * 3.87(2)(1) = 30674Kg.$$

$$A-490X; \text{ Con } d = 1/2'' \quad \phi V_n = 0.75 * 5284 * 1.27(2)(1) = 10067Kg.$$

$$A-490X; \text{ Con } d = 3/4'' \quad \phi V_n = 0.75 * 5284 * 2.83(2)(1) = 22431g.$$



2.4 TORNILLOS AL APLASTAMIENTO.

Debido a que la tensión inicial desarrollada por los tornillos estándar es desconocida y probablemente muy pequeña no se supone ninguna resistencia a la fricción sobre las superficies en contacto y el deslizamiento puede ocurrir, por tanto, bajo cargas cortantes de poca intensidad. Lo anterior hace trabajar a los tornillos en aplastamiento. Ver figura 2.2.

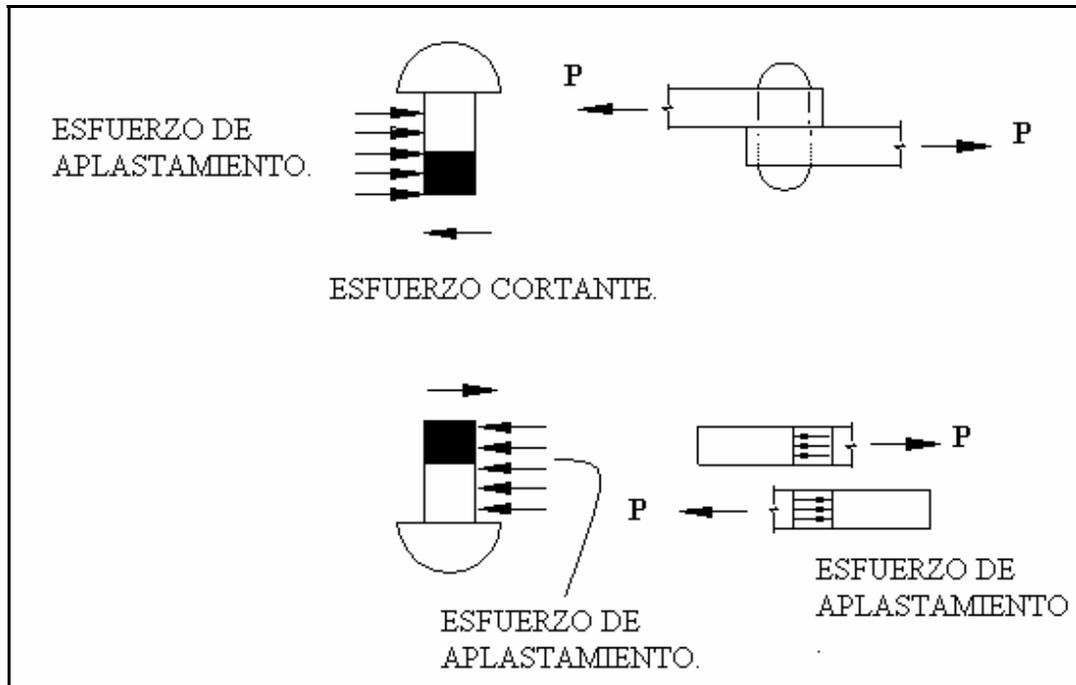


Figura 2.2 Transmisión del esfuerzo por cortante y aplastamiento en una conexión tipo aplastamiento.

Se aclara mediante la figura 2.3 que la distancia L_c . Indica que al calcular la resistencia por aplastamiento en un tornillo, debe considerarse la distancia del tornillo al siguiente adyacente o al borde en la dirección de la carga de aplastamiento sobre la parte conectada. En la ilustración la carga de aplastamiento esta siendo considerada del lado izquierdo de cada agujero. Por lo que la resistencia para el tornillo 1 se calcula entonces con L_c , medida al borde del tornillo 2 y en el calculo de la resistencia para el tornillo 2 L_c , es medida al borde de la parte conectada.

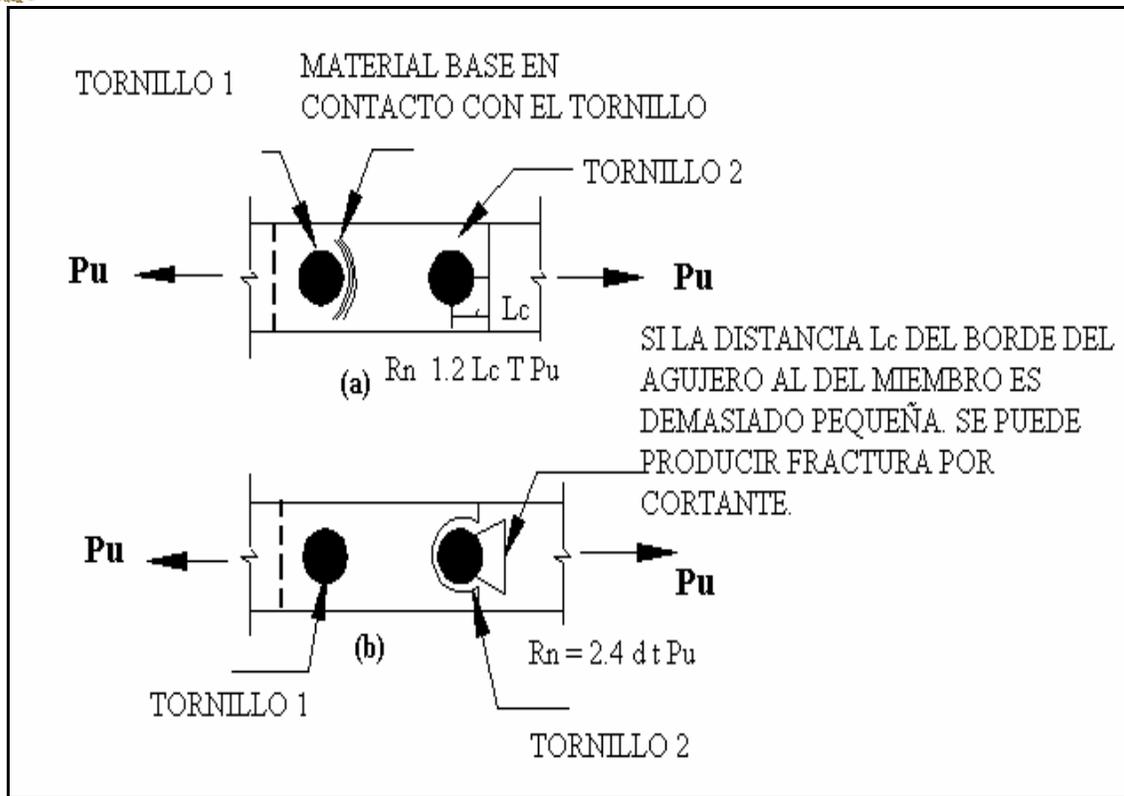


Figura.- 2.3

La resistencia por aplastamiento es independiente del tipo de sujetador, ya que el esfuerzo que se considera es sobre la parte conectada y no sobre el sujetador. Por lo anterior la resistencia por aplastamiento es independiente del tipo de sujetador.

Por tanto la resistencia al aplastamiento para un solo tornillo esta dada por la ecuación:

$$\phi R_n \dots\dots\dots \text{EC. 2.4.}$$

Donde:

ϕ = Coeficiente.

R_n = Resistencia de diseño al aplastamiento en agujeros para tornillos.

Para evitar el aplastamiento en las conexiones atornilladas es conveniente que:

$$L_c \geq 1.5d \quad S \geq 3d$$



Donde:

$$\phi = 0.75$$

S = Distancia paralela a la carga aplicada entre los centros de los agujeros STD, o AC o AL, perpendiculares a la línea de fuerza.

F_U = Capacidad a tensión especificada que tiene la placa en Kg./ cm.²

t = Espesor del material conectado, cm.

L_c = Distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material en cm o mm.

d = Diámetro nominal del tornillo.

La resistencia al aplastamiento depende de varios factores, como son los siguientes:

El tipo de barreno que debe ser considerado, STD, SD, AC, AL, que son mostrados en la figura 2.4

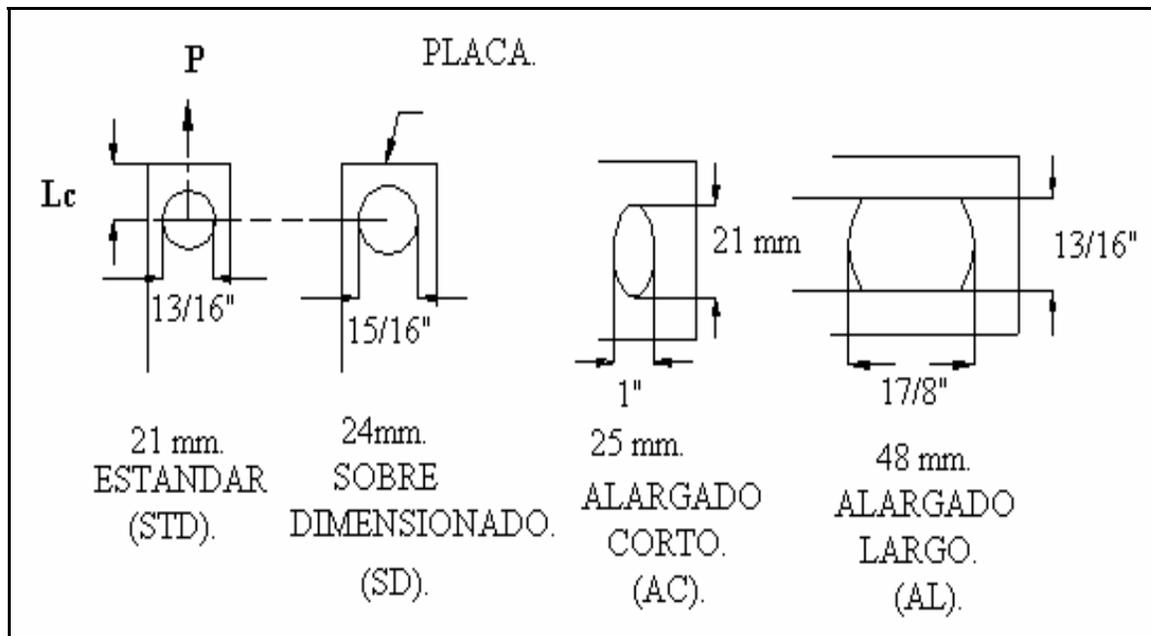


Figura 2.4 Tipos de barrenos y simbología.



a). RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO DE TORNILLOS

EN UNA CONEXIÓN CON AGUJEROS (STD, SD Y AC).

Cuando en la conexión se manejan agujeros de tipo STD, SD y AC independientemente de la dirección de la carga, o del lado largo (AL) con el lado largo paralelo a la dirección de la fuerza de aplastamiento.

Si la deformación en el agujero para el tornillo en carga de servicio es una consideración de diseño se considera:

$$R_n = 1.2L_c t F_u \leq 2.4dt F_u \dots\dots\dots \text{EC. 2.5.}$$

Cuando la deformación en el agujero para tornillo a carga de servicio no es de consideración en diseño, se tiene que:

$$R_n = 1.5L_c t F_u \leq 3.0dt F_u \dots\dots\dots \text{EC.2.6}$$

b) EN UNA CONEXIÓN ATORNILLADA CON AGUJEROS (AL).

Para una conexión atornillada con agujeros del tipo alargado largo (AL) con el largo perpendicular a la dirección de la fuerza, la resistencia al aplastamiento se toma como:

$$R_n = 1.0L_c t F_u \leq 2.0dt F_u \dots\dots\dots \text{EC.2.7}$$

Al tener aplastamiento en las conexiones puede darse un posible modo de falla, resultado de un excesivo aplastamiento que se conoce como desgarramiento por cortante que ocurre en el extremo de un elemento conectado como se ilustra en la fig. 2.5 (a). Si la superficie de la falla se considera como se muestra en la fig. 2.5 (b), la carga de la falla sobre una de las dos superficies es igual al esfuerzo por fractura cortante multiplicado por el área del cortante, y esto se representa con la siguiente expresión:

$$\frac{R_n}{2} = 0.6F_u L_c t \dots\dots\dots \text{EC. 2.8}$$

Donde:

- $0.6F_u$ = Esfuerzo por fractura cortante de la parte conectada.
- L_c = Distancia del borde del agujero al borde de la parte conectada.
- t = Espesor de la parte conectada.
- F_u = Resistencia a la tensión. Ejemplo A-36 $F_u = 2530 \text{ Kg./cm.}^2$

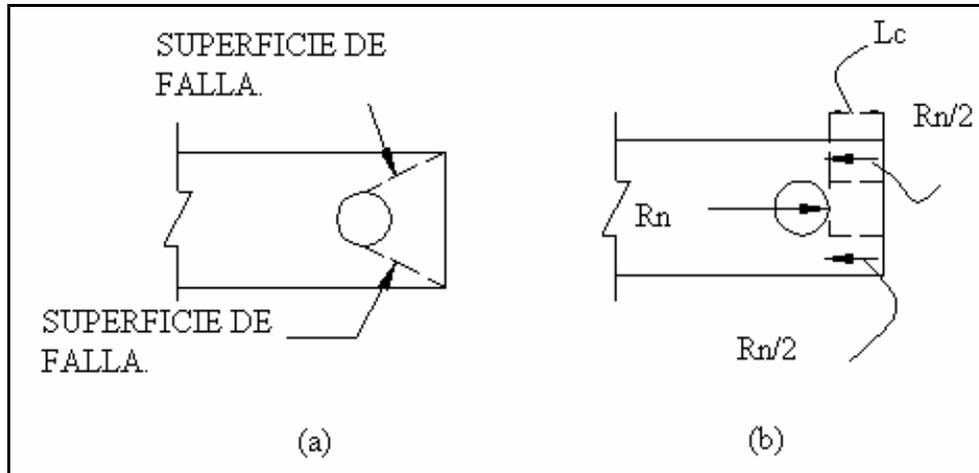
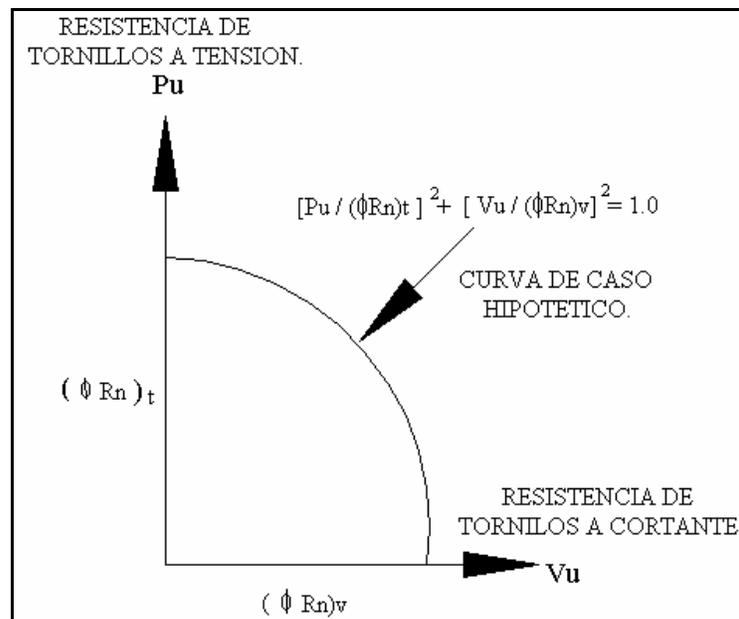


Figura 2.5 Plano de falla por aplastamiento.

2.4.1 TORNILLOS SUJETOS A LA COMBINACIÓN DE TENSIÓN Y CORTANTE SIMULTÁNEOS.

En muchas de las situaciones en las que un tornillo está sometido a fuerzas de cortante y tensión, propicia que la conexión esté cargada excéntricamente. Como en varios casos de carga combinada, puede usarse la perspectiva de resistencia, la interacción de cortante y tensión se puede tomar y apreciar de la siguiente gráfica que está representada por una curva elíptica donde las resistencias por cortante y tensión de tornillos, esta basada en los resultados obtenidos de diversas pruebas.

La perspectiva de resistencia, la interacción de cortante y tensión se puede apreciar en la siguiente gráfica:



Gráfica de interacción por efectos combinados.



Por lo que se deduce que la resistencia de diseño a tensión es, $= \phi P_n$, que proviene de la ecuación 2.1, que permite calcular la tensión de un tornillo.

Donde:

$$P_u = F_t A_b N_b \dots\dots\dots \text{EC. 2.9.}$$

El valor de: $\phi = 0.75$

De la ecuación anterior F_t es el esfuerzo límite a tensión. Este límite es variable, y depende del esfuerzo cortante f_v actuante.



2.5 MÉTODO DE APRIETE DE TORNILLOS.

Es muy importante vigilar que no se aflojen las tuercas, ya que se reduce la resistencia de la conexión; para evitar esto las tuercas deben asegurarse definitivamente en su posición. Para esto se utilizan ampliamente tuercas acastilladas con tornillos con un agujero taladro en el vástago, a través del cual se hace pasar una chaveta, que evita que la tuerca gire y se afloje. Las tuercas de cuña (jamnuts) con la tuerca pesada por la parte exterior realizan el mismo propósito. También se dispone comercialmente de varios tipos especiales de tuercas llamadas generalmente tuercas de cierre (Locknuts) que evitan el aflojamiento de la conexión; también se usa un sistema típico de tuercas de cierre, conocido como tornillo estriado. Una alta tensión inicial en los tornillos sirve también para evitar que se aflojen las tuercas. También se tienen diferentes métodos de apriete de tornillos, esto con el fin de evitar que se aflojen los mismos, los métodos de apriete de tornillos son principalmente los siguientes:

2.5.1 APRIETE CON LLAVES CALIBRADAS.

En este procedimiento se utilizan llaves denominadas de torsión o calibradas, que permiten suministrar al tornillo la tensión especificada anteriormente en la tabla 2.1, deben ajustarse de forma que la tensión que se induce al tornillo sea de 5 a 10% mayor que el valor en cuestión. Además se deben calibrar por lo menos una vez por cada día de uso o trabajo, apretando no menos de tres tornillos típicos de cada diámetro por instalar en un dispositivo capaz de determinar la tensión real del tornillo. En el caso de llaves de operación mecánica se deben ajustar para que detengan o dejen de funcionar al llegar a la tensión determinada o calibrada.

Al utilizar llaves calibradas en la instalación o apriete de varios tornillos en una misma unión, es necesario que los tornillos que se colocaron inicialmente vuelvan a ser apretados, porque estos pueden aflojarse durante la colocación de los siguientes, este paso se recomienda debe efectuarse hasta lograr que todos los tornillos queden apretados a la tensión solicitada.

2.5.2 APRIETE POR EL MÉTODO DEL GIRO DE LA TUERCA.

Este procedimiento considera las características de Carga-Deformación de los sujetadores y de las partes que se están conectando. Toma en consideración que una vuelta entera de una tuerca corresponde a una longitud fija de avance a lo largo de las roscas del tornillo, lo que se correlaciona con el alargamiento del mismo. Empleando la relación de esfuerzo-deformación unitaria del material con que esta elaborado el tornillo, para el calculo u obtención de la tensión mínima de este, la cual podemos obtener de la tabla 2-9.

Al usar este método para suministrar la tensión específica, primeramente debe tenerse en condición de “apriete ajustado” una cantidad suficiente de tornillos para asegurar que todas las partes de la junta están en pleno contacto unas con otras.

La condición de apriete ajustado se definirá como la que se obtiene con unos cuantos golpes de una llave de impacto o con el esfuerzo total de un hombre que use una llave de tuercas ordinaria. Enseguida de esta operación inicial, se colocaran tornillos en cada uno de los agujeros restantes, apretándolos hasta la condición de apriete ajustado. Deben entonces apretarse adicionalmente todos los tornillos de la junta, haciendo girar a la tuerca la cantidad



especificada en la tabla 2-9, empezando a apretar los tornillos que estén colocados en la parte mas rígida de la junta y progresando sistemáticamente.

Tabla 2-9 Rotación de la tuerca ^a a partir de la condición de apriete ajustado.

DISPOSICIÓN DE LAS CARAS EXTERIORES DE LAS PARTES ATORNILLADAS.		
Ambas caras normales al eje del tornillo, o una cara normal al eje y la otra inclinada 1:20 (sin usar rondanas achaflanadas).		Ambas caras inclinadas 1:20 con respecto a la normal al eje del tornillo (sin usar rondanas achaflanadas).
Longitud del tornillo ^b no mayor de 8 diámetros u 8 pulgadas.	Longitud del tornillo ^b mayor de 8 diámetros u 8 pulgadas.	Para todas las longitudes de tornillos ³ / ₄ de vuelta.
1/2 Vuelta.	2/3 Vuelta.	

^a

El giro de la tuerca es la rotación relativa con respecto al tornillo, sin que importe a cual de los dos (tuerca o tornillo) se le aplica el giro. La tolerancia en la rotación es de 1/6 de giro (60°) en más, y nada menos. Para tornillos pesados estructuralmente de cabeza hexagonal y rosca estándar de todos los tamaños y longitudes, y para tuercas hexagonales pesadas semiterminadas.

^b

La longitud del tornillo se mide desde la parte inferior de la cabeza hasta el vástago. Con lo anterior se llega a la deducción que para cualquier tipo y tamaño de tornillo, se obtiene el número de vueltas de la tuerca, requeridas para producir una fuerza de tensión dada. En las especificaciones sobre tornillos de alta resistencia (RCSC,1994), encontramos la rotación requerida de la tuerca para varios tamaños de tornillos en términos de la longitud al diámetro.



La figura 2.6 Tipos de llaves de apriete para trabajo pesado / golpeteado.

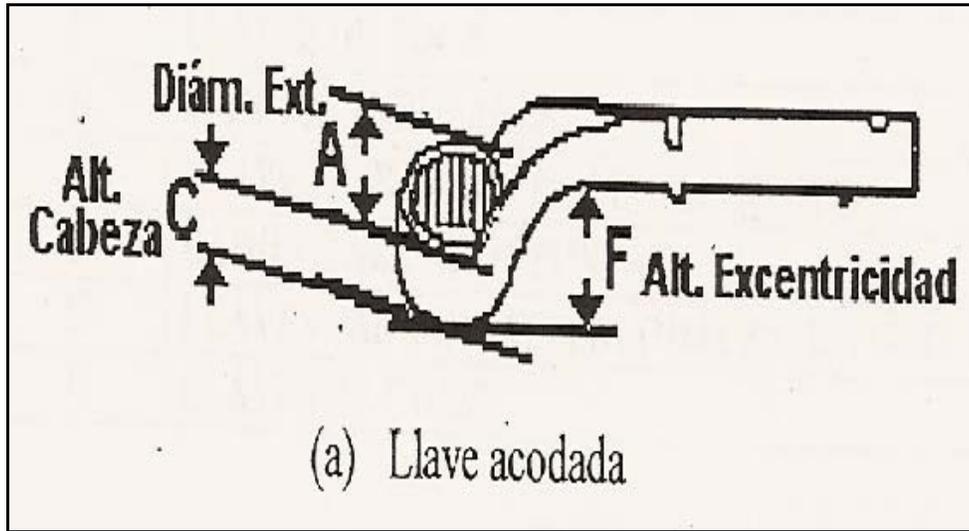


FIGURA 2.6

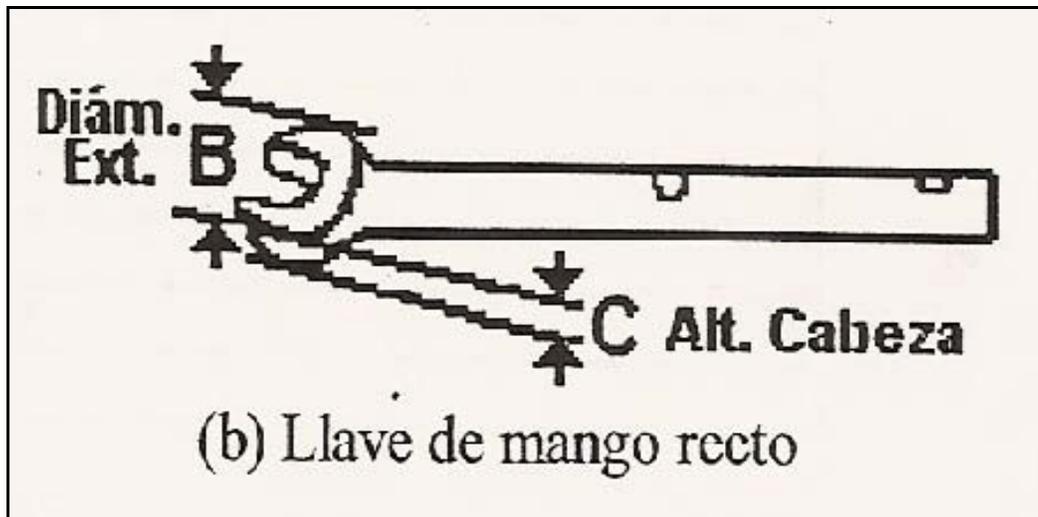


FIGURA 2.6

2.6 SUJETADORES AUTO CONTROLABLES DE APRIETE.

Existen en la actualidad dos tipos de dispositivos para auto-controlar el apriete de tornillos y así garantizar la tensión mínima en las tuercas y tornillos.

A continuación se detallan cada uno de estos métodos de apriete.

2.6.1 INDICADOR DE TENSIÓN DIRECTA (ITD).

En este método se utiliza un dispositivo denominado arandela con protuberancias en su superficie, que es una rondana simple con capacidad de carga mecánica. El cual consiste en que al momento de apretar el tornillo se provoca que las protuberancias comiencen a comprimirse en proporción a la tensión que se está presentando en el tornillo. La tensión apropiada de ajuste para cada tornillo en este método, se determina mediante una cantidad prescrita de deformación establecida para cada uno de los tornillos y al momento que se alcanza esta deformación indicada el tornillo ha alcanzado la tensión apropiada. La deformación se obtiene o se determina al medir la abertura que se genera entre la tuerca o cabeza del tornillo y la parte no deformada de la superficie de la arandela.

Resumiendo este método, consiste solamente en comprimir las protuberancias. Midiendo así únicamente la tensión en el tornillo.

En las figuras 2.7(a) y (b).- A continuación mostradas, se observa el sistema que consiste en comprimir las protuberancias. Midiendo así únicamente la tensión en el tornillo.

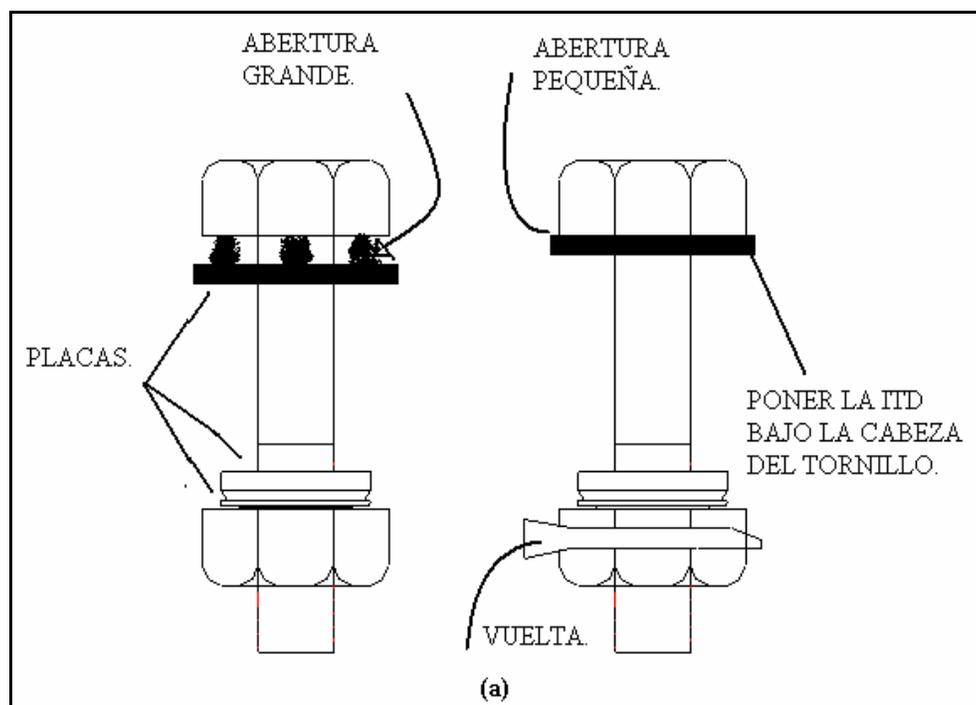


Fig.2.7 (a).- Como debe realizarse la colocación del ITD bajo la cabeza del tornillo.

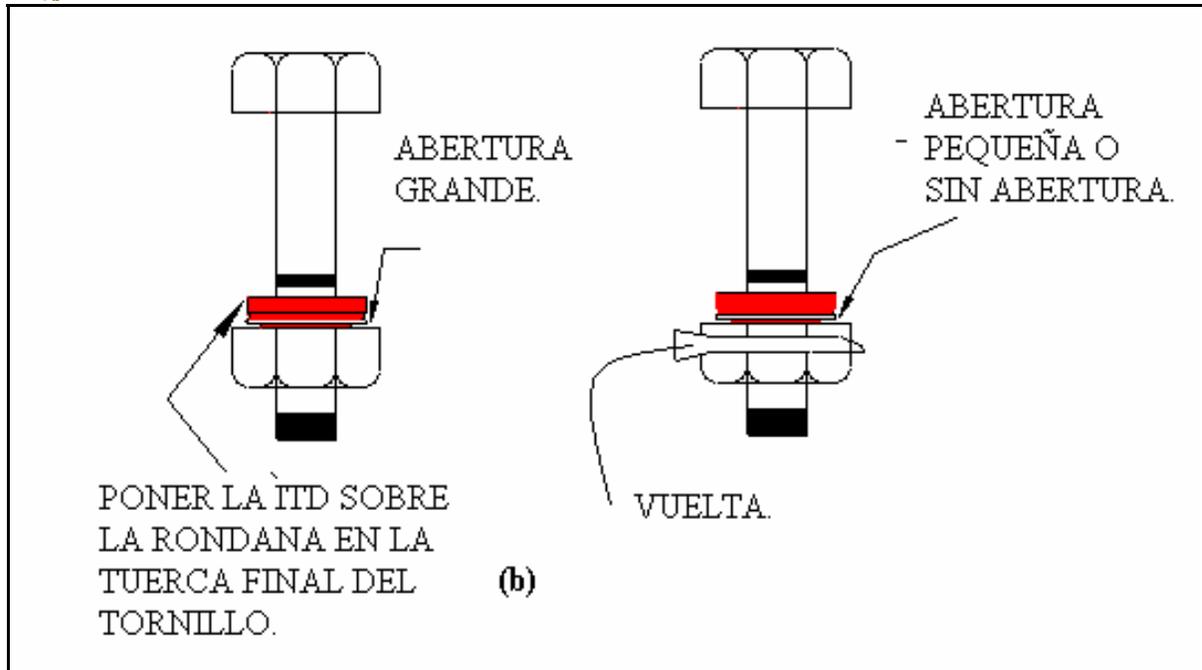


Figura 2.7 b).- Colocación del ITD sobre la rondana en la tuerca final del tornillo.

2.6.2 TORNILLOS DE CONTROL DE TENSIÓN (TCT).

Al utilizar este método se sabe que la tensión especificada se ha alcanzado, cuando la punta especial del tornillo se corta en el surco por lo que se tiene una inspección visual sencilla ya que cuando la punta se rompe la tensión en el tornillo es la correcta. Este tipo de tornillos en la actualidad puede encontrarse en México. (Ver fig. 2.8).

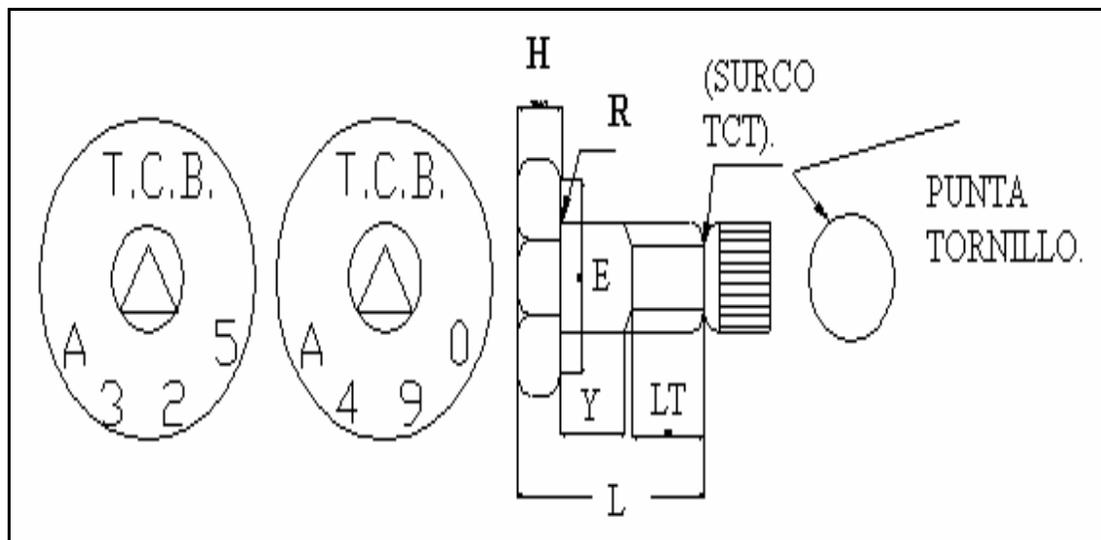
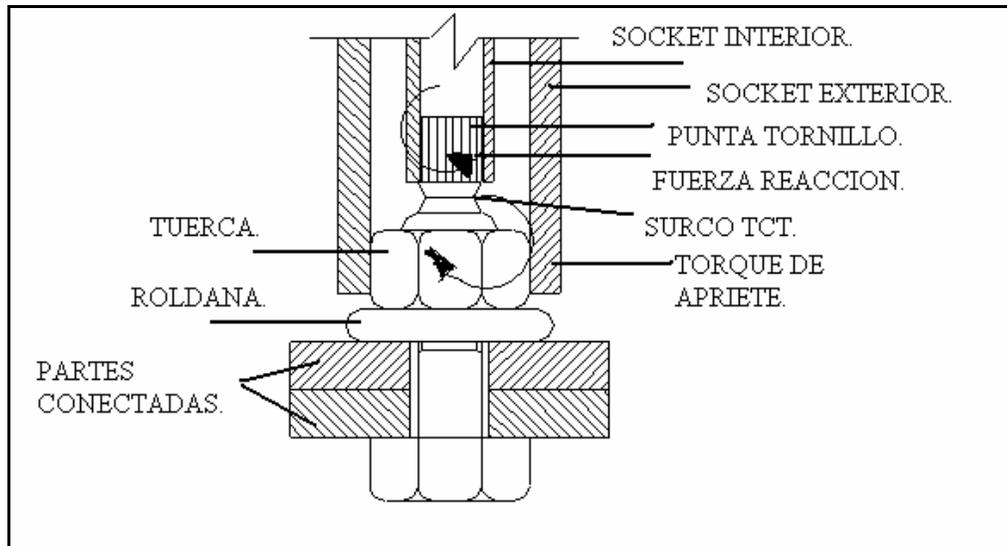


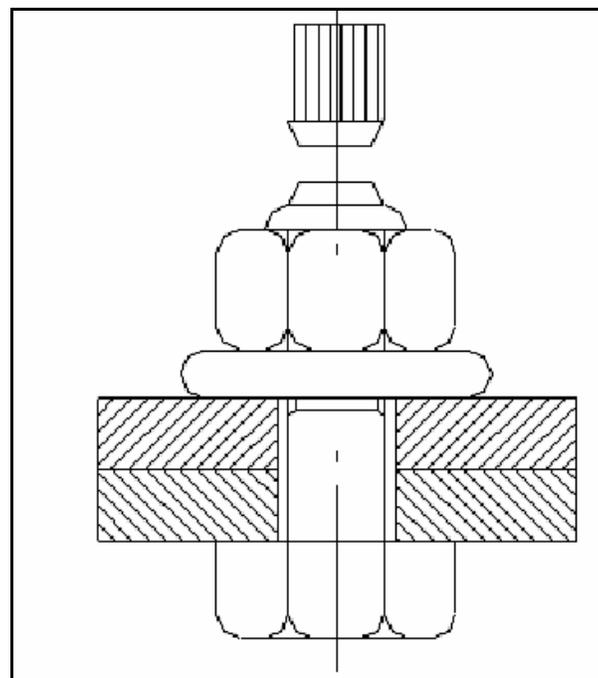
Figura 2.8. Tornillo con Torque - Control.



LAS FIGURAS (2.9a) y (b) MUESTRAN LA FORMA DE TRABAJO PARA EL APRIETE DEL TORNILLO PARA ALCANZAR LA TENSIÓN.
DEL TORNILLO PARA ALCANZAR LA TENSIÓN.



(a).- Forma de trabajo para el apriete del tornillo.



(b).- El apriete esta garantizado al separarse la parte desprendible del tornillo.



Existen otros métodos para lograr que los tornillos alcancen la tensión requerida, los cuales son:

2.6.3 MÉTODO DE TORNILLOS DE DISEÑO ALTERADO.

Este método es en base a la utilización de tornillos tipo A-325 y A-490 que son de alta resistencia, los cuales son especialmente diseñados, para provocar que sus puntas sufran una torcedura cuando el tornillo alcanzado la tensión apropiada. El procedimiento requiere de la utilización de llaves especiales para la instalación, y de una inspección al momento de la instalación de los tornillos siendo relativamente sencilla.

2.6.4 METODO DEL TORNILLO DE DISEÑO ALTERNATIVO.

Además de los métodos anteriores existen algunos tornillos de diseño alternativo que pueden tensarse satisfactoriamente. Un ejemplo de estos son los tornillos con extremos ranurados que se extienden más allá de la porción roscada.

Se requiere de boquillas especiales en las llaves para apretar las tuercas hasta que se degollan los extremos rasurados.

En los métodos de apriete mencionados anteriormente no se especifica una tensión máxima para el tornillo, esto permite que el tornillo puede ser apretado a la carga mas alta que no lo rompa y aun así garantiza su eficiencia. En caso de que el tornillo se rompa se procede a sustituirlo por otro sin mayores consecuencias.

En este caso las tuercas son más resistentes que el tornillo por lo que el tornillo se rompiera antes que la tuerca se fracture.



2.7 CONEXIONES SUJETAS A TENSIÓN.

Este tipo de conexión a tensión, se utiliza principalmente por los sistemas de contraventeo en los edificios altos. También se han utilizado, en las conexiones de colgantes para puentes, conexiones de brida para sistemas tuberías, etc. A continuación se muestra una conexión de un colgante con una carga de tensión.

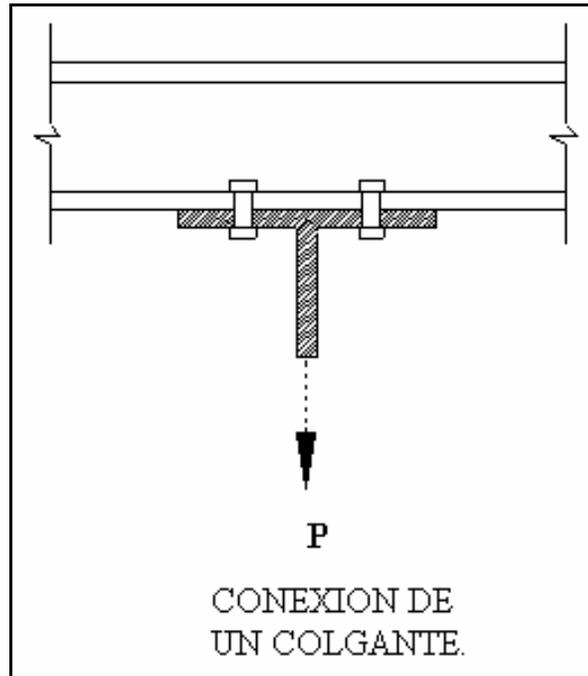


Figura 2.10. Conexión de un colgante.

Los tornillos de alta resistencia completamente tensados, no tienen libertad para acortarse, con lo que se producen grandes esfuerzos de tensión en estos durante su instalación.

Los esfuerzos de tensión que se generan en los conectores, provocan una compresión a los miembros conectados. Si aplicamos una carga de tensión a dicha conexión en la superficie de contacto, no podrá ejercer ninguna carga adicional en los tornillos hasta que los miembros comiencen a separarse sometiendo entonces a esfuerzos adicionales a los sujetadores.

Los miembros no se separan hasta que la carga que se aplica exceda la tensión total en los conectores de la junta. Lo que indica que la junta se encuentra preesforzada contra fuerzas de tensión, por un esfuerzo aplicado inicialmente en las espigas de los conectores.

Otra manera de explicar lo anterior, es que si se aplica una carga de tensión P a la superficie de contacto, tiende a reducir un poco el espesor de las placas, pero como al mismo tiempo la presión de contacto entre las placas, se reducirá y las placas tenderán a dilatarse la misma cantidad, el resultado teórico es que no existe cambio en el espesor de la placa y no hay cambio en la tensión del conector.



En ese momento, un incremento de P se traducirá en la separación de las placas y después de eso, la tensión en el conector será igual a P.

Sin embargo, si la carga se aplicara a las superficies externas, habría aumento inmediato de la deformación del conector.

Este incremento estaría acompañado por una expansión de las placas, aunque la carga no excediera el preesfuerzo, pero el incremento sería muy ligero, porque la carga irá a la placa y conectores en proporción aproximada a sus rigideces. Puesto que la placa es por mucho la más rígida, recibirá la mayor parte de la carga.

La resistencia de diseño por tensión para tornillos y partes roscadas la da la siguiente expresión que es independiente de cualquier fuerza inicial de ajuste.

$$P_U = \phi F_t A_g \dots\dots\dots \text{EC.2.10.}$$

Cuando los tornillos se cargan a tensión generalmente hay algo de flexión debido a la deformación de las partes conectadas. Por ello el valor ϕ de 0.75 en esta expresión es algo pequeño.

En la expresión anterior A_g es el área nominal de un remache o de la porción sin cuerda de un tornillo.

El aspecto por considerar en las conexiones a tensión es la acción de la fuerza separadora. La figura 2.11 (a) muestra una conexión a tensión sujeta a la acción separadora como se ilustra en la parte (b) de la misma figura. Si los patines de la conexión son bastantes gruesos y rígidos o tienen placas atiesadotas como se ve en la figura (2.11 c), la acción separadora probablemente podrá ignorarse.

Generalmente es recomendable limitar el número de hileras de tornillos o remaches en una conexión a tensión porque su alto porcentaje de la carga la soportan las hileras interiores aun bajo carga ultima.

La conexión mostrada en la figura 2.11 ilustra este punto, pues la acción separadora mandara una parte considerable de la carga a los conectores interiores, sobre todo si las placas son delgadas y flexibles. En las conexiones sujetas a cargas puras de tensión se debe analizar la posibilidad de la acción separadora y estimar la magnitud de esta.

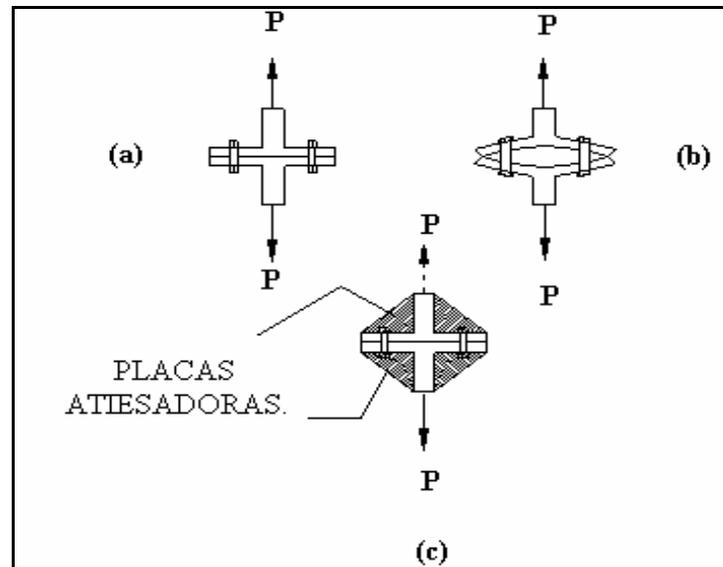


Figura 2.11. Acción separadora.

En las conexiones sujetas a cargas puras de tensión debe analizarse la posibilidad de la acción separadora y estimar la magnitud de esta.

La fuerza adicional en los tornillos debida a la acción separadora debe sumarse a la fuerza de tensión resultante a las cargas aplicadas. Aunque la determinación precisa de las fuerzas de separación es bastante difícil y sobre el tema aun se llevan a cabo investigaciones.

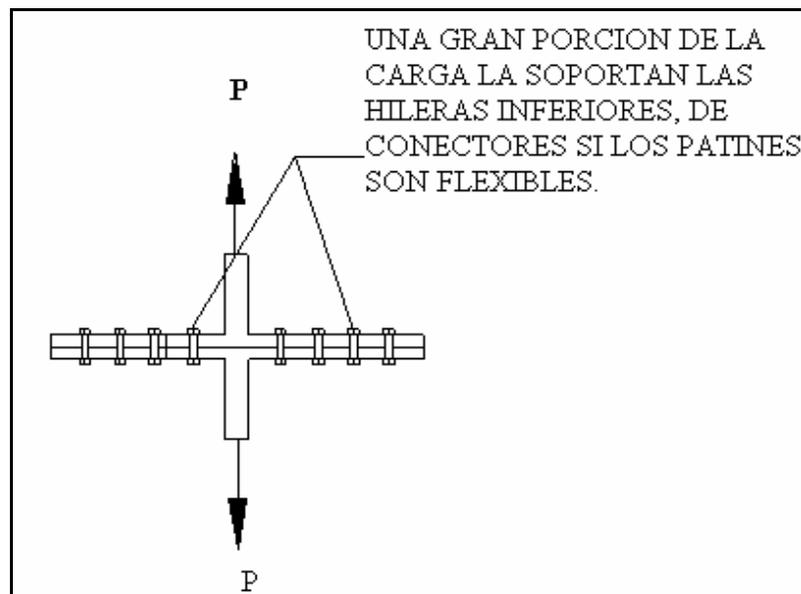


Figura 2.12. Incremento de tensión en los tornillos

Se debe usar solamente tornillos totalmente tensados en las conexiones en las que las cargas aplicadas someten a los conectores a tensión axial. Esto es independiente de que la conexión sea tipo fricción, de que estén o no sometidos los tornillos a cargas de fatiga o de que exista o no la acción separadora.

Si se usan tornillos con ajuste apretado en cualquiera de estas situaciones, las cargas de tensión empezarán inmediatamente a incrementar la tensión en los tornillos. Lo anterior se observa en la figura 2.12.

Para las conexiones colgantes y otro tipo de conexiones a tensión debe diseñarse para prevenir deformaciones considerables. La parte más importante en tales diseños son los patines rígidos. La rigidez es más importante que la resistencia a la flexión. Para lograr esto, la distancia b mostrada en la figura 2.13 debe hacerse lo mas pequeña posible con un valor mínimo igual al espacio requerido para usar una llave para apretar los tornillos.

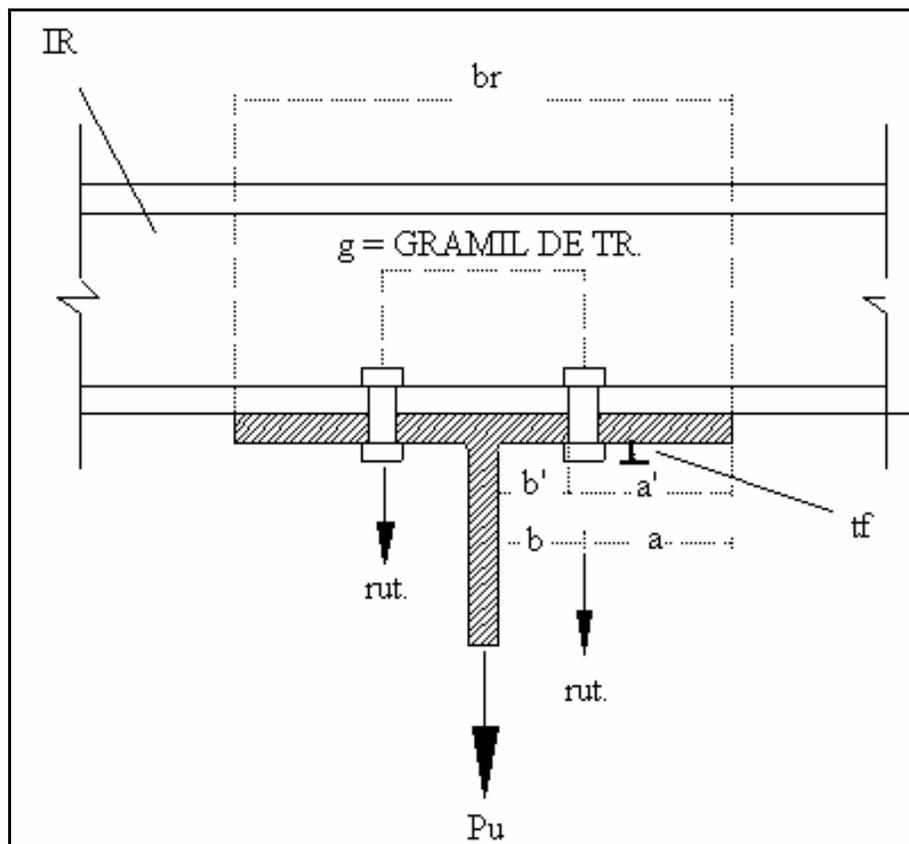


Figura 2.13 Distancia mínima (b) para el uso de la llave de apriete.



2.7.1 ACCIÓN SEPARADORA.

Para determinar la fuerza separadora en la conexión de un colgante el manual LRFD presenta una larga serie de ecuaciones empíricas. A continuación se aclara el significado de algunas de las letras usadas en las siguientes expresiones.

La ecuación con que se calcula la acción separadora es la siguiente:

$$Q = B\delta\alpha p \left(\frac{t}{t_c}\right)^2 \dots\dots\dots EC.2.11.$$

Donde:

Q = A la fuerza separadora factorizada.

B = Resistencia de diseño a tensión de cada tornillo.

T = Fuerza de tensión aplicada a cada tornillo sin incluir la acción separadora. (Esta fuerza en realidad es ficticia, a menos que la carga de tensión exceda al preesfuerzo en los tornillos).

$b = g/2 - t_w/2$ = Donde g es el gramil. Debe ser suficiente para la distancia libre necesaria para el paso de la llave según manual LRFD

a = Distancia entre el eje del tornillo y el borde del patín del perfil T o del lado del ángulo, pero no mayor que 1.25b.

$b' = b - \frac{d}{2}$, En donde d es el diámetro del tornillo.

$a' = a + \frac{d}{2}$

ρ = Longitud de conexión tributaria de cada tornillo.

d' = Ancho del agujero del tornillo paralelo al alma de la T.

δ = Relación del área neta en la línea de tornillo al área total en la cara del alma de la

$$T = 1 - \frac{d'}{\rho}$$

$p = \frac{b'}{a}$

$$\alpha = 1/\delta \left[T/b / \left(\frac{t_f}{t_c}\right)^2 - 1 \right]$$

t_c = Espesor necesario del patín para que soporten B los tornillos sin acción separadora.

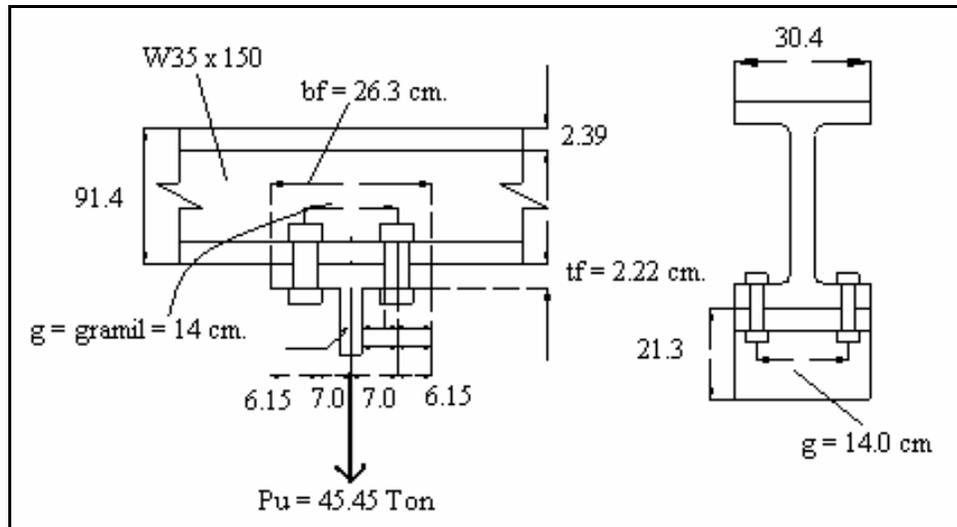
$$\sqrt{\frac{4.44Bb'}{\rho F_Y}}$$

B_c = Carga factorizada por tornillos incluyendo la acción separadora = $T + Q$



EJEMPLO.- Determinar el efecto de la acción separadora de la siguiente conexión mostrada a continuación.

Se tiene la siguiente conexión de una Tr 203 x 66.3 ($T_f = 2.22$, $T_w = 1.38$ y $bf = 26.3$ cm.) de 30.4 cm. De largo, esta conectada a una W36 x 150 (IR 914 x 223.9) como se muestra en la figura 2.20. Con cuatro tornillos A-325 de alta resistencia de 7/8". Se utiliza acero A-36. Determinar la acción separadora y revisar la conexión:



SOLUCIÓN:

Determinando la resistencia a tensión del tornillo.

$$d = 7/8'' = 0.875 \times 2.54 = 2.22 \text{ cm.}$$

Por lo que el radio $R = 1.11$ cm.

Obtención del área.

$$A = \pi * r^2 = 3.1416 * 1.11^2 = 3.87 \text{ cm}^2$$

Sustituyendo valores en la formula la tensión última de cada tornillo será:

Utilizando la formula $\phi r_n = \phi F_t A_b$ tenemos:

Considerando.

$$\phi = 0.75$$

$$F_t = 6330 \text{ Para tornillos A-325.}$$



El valor de Ft, se obtienen de la tabla J3.2 AISC - LRFD), proporcionada anteriormente.

Para tornillo de d = 7/8" y tipo:

A-325 = 0.75 * (6330) * 3.87 = 18,373Kg. > 11,360 Kg. Que es la tensión por cada tornillo.

Determinación del número de tornillos.

Utilizando la siguiente formula:

$$N_b = \frac{P_U}{\phi r_n} = \frac{45,450Kg.}{18,373} = 2.47 ; \text{ Lo que redondeamos por funcionalidad a 4 Tornillos.}$$

Obtención de la fuerza de tensión a cada tornillo.

$$r_{Ut} = \frac{P_U}{N_b} = \frac{45.45Ton}{4} = 11.4Ton. ; \text{ Que es la tensión por cada tornillo.}$$

Determinación de los valores b, a, b', a', d', p, δ, β, ρ.

$$b = \frac{g - t_w}{2} = \frac{14 - 1.33}{2} = 6.4cm. > 3.5 \text{ cm}; \text{ Que se requieren para el paso de la llave.}$$

$$a = \frac{b_f - g}{2} = \frac{2613 - 14}{2} = 6.15cm$$

$$b' = b - \frac{d}{2} = \left[6.4 - \frac{2.22}{2} \right] = 5.3cm$$

g = 14 cm.

$$a' = a + \frac{d}{2} = 6.15 + \frac{2.22}{2} = 7.3cm.$$

$$d' = \left[\frac{15''}{16} \right] = 0.94'' = 2.81cm$$

$$\delta = 1 - \frac{d'}{\rho} = \left[1 - \frac{2.831}{14} \right] = 0.83cm$$

$$\rho = \frac{b'}{a} = \frac{5.23}{6.15} = 0.85cm.$$

$$\beta = \frac{1}{\rho} \left[\frac{\phi r_n}{r_{ut}} - 1 \right] = \frac{1}{0.85} \left[\frac{18,373}{11,300} - 1 \right] = 0.74 < 1.0$$



Como:

$$\beta < 1.0$$

$$\alpha^1 = \frac{1}{\delta} \left[\frac{\beta}{1-\beta} \right] = \frac{1}{0.83} \left[\frac{0.74}{1-0.74} \right] = 3.4 \text{ Por lo que } \alpha^1 = 1.0 \text{ Se toma este valor por especificación.}$$

Calculando el valor del espesor requerido para el patin de la TR será:

$$t_{req} = \sqrt{\frac{4.44r_{ut}b'}{gF_y(1+\delta\alpha^1)}} = \sqrt{\frac{4.44 \times 11,360 \times 5.3}{14 \times 2530 \times (1+0.83(1.0))}} = 2.0 \text{ cm.} < \text{tf de la TR} = 2.2 \text{ cm.}$$

Lo que quiere decir que la conexión es satisfactoria.



2.8 CONEXIONES CON TORNILLOS POR CORTE SIMPLE Y CORTE DOBLE.

I.- CONEXIÓN ATORNILLADA POR CORTE SIMPLE.

En conexiones a cortante es importante examinar los diversos modos de falla que pueden presentarse en este tipo de conexiones, con los tornillos sometidos a fuerza cortante.

Se menciona a continuación dos tipos de falla mas frecuentes en conexiones a cortante:

1. Es cuando el tornillo o sujetador falla.
2. La falla se presenta en los elementos de conexión (placas).

1.- CASO EN EL QUE EL TORNILLO O SUJETADOR FALLA.

Para explicar las conexiones a cortante, nos apoyaremos del caso de una junta traslapada la cuál se muestra en la figura 2.14 (a).

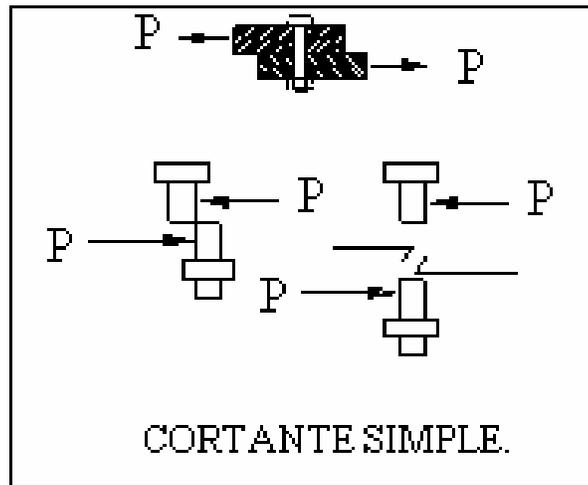


Figura 2.14 (a). Esquema de una conexión para cortante simple.

Determinando que el esfuerzo a cortante promedio se calcula con la formula:

$$f_v = \frac{P}{A} = \frac{P}{\frac{\pi d^2}{4}} \dots\dots\dots \text{Ec.2.12}$$

Donde:

- P = Es la carga que actúa sobre un tornillo individualmente.
- A = Es el área de la sección transversal del tornillo.
- d = Es el diámetro del tornillo.

La carga actuante sobre el tornillo se obtiene con la siguiente formula:

$$P = f_v A \dots\dots\dots \text{Ec. 2.13}$$



La carga en el tornillo, en la conexión de la figura 2.14(a), con solo un plano de corte, se le conoce como cortante simple. La adición de material al espesor de la conexión, incrementará el número de los planos de corte y reducirá la carga sobre cada uno de sus planos. Sin embargo, eso también incrementará la longitud del sujetador y podría tener un efecto de flexión en el tornillo.

2.- CASO EN QUE LA FALLA SE PRESENTA EN LAS PARTES CONECTADAS.

Pueden presentarse otros modos de falla en este tipo de conexiones a cortante, como es el caso de falla de las partes conectadas y caen en dos categorías generales las cuales son:

- a) Falla que resulta de la tensión, cortante o flexión excesivas en las partes conectadas.
- b) Falla de la parte conectada debido al aplastamiento ejercido por los tornillos.

a).- Falla que resulta de la tensión, cortante o flexión excesivas en las partes conectadas.

Para evitar fallas cuando se conecta un miembro a tensión, es recomendable que las tensiones en el área total y en el área neta efectiva se investigue. Además de considerarse el bloque de cortante.

b).- Falla de la parte conectada debido al aplastamiento ejercido por los tornillos.

Para evitar fallas de este tipo, es importante que si el agujero es ligeramente más grande que el tornillo y este se supone colocado sueltamente en el agujero, el contacto entre el sujetador y la parte conectada, se presentará sobre la mitad de la circunferencia del tornillo aproximadamente, al aplicar la carga. Esta condición se muestra en la figura 2.15.

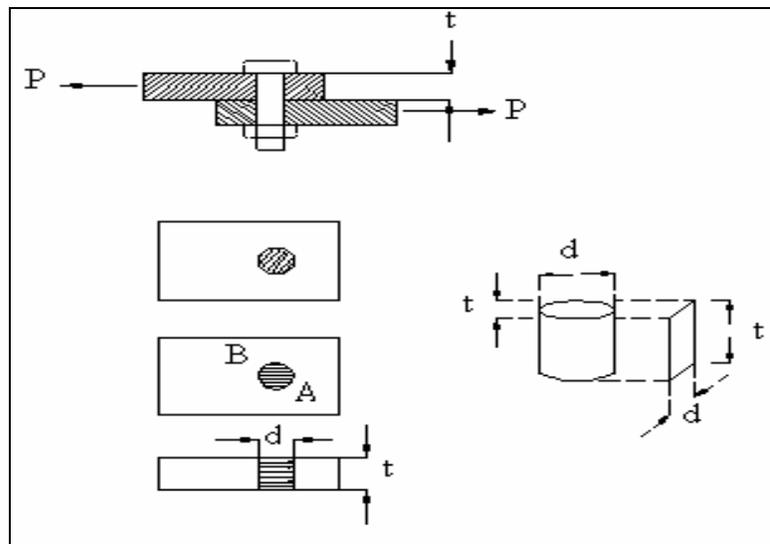


Figura 2.15 Falla de la parte conectada debido al aplastamiento ejercido por los tornillos.



El esfuerzo varía desde un máximo en A a cero en B; se emplea un esfuerzo promedio, el cual es calculado como una fuerza aplicada dividida entre el área proyectada de contacto.

Calculándose este esfuerzo de aplastamiento con la formula:

$$f_p = \frac{P}{(dt)} \dots\dots\dots \text{Ec. 2.14}$$

Donde:

P = Es la fuerza aplicada al sujetador.

d = Es el diámetro del tornillo.

t = Es el espesor de la parte sometida al aplastamiento.

La carga de aplastamiento es, por lo tanto:

$$P = f_p dt \dots\dots\dots \text{Ec.2.15}$$

II.- CONEXIÓN ATORNILLADA POR CORTANTE DOBLE.

La carga para este caso no es concéntrica, por lo que existe una excentricidad, la cual es pequeña y puede ser despreciada.

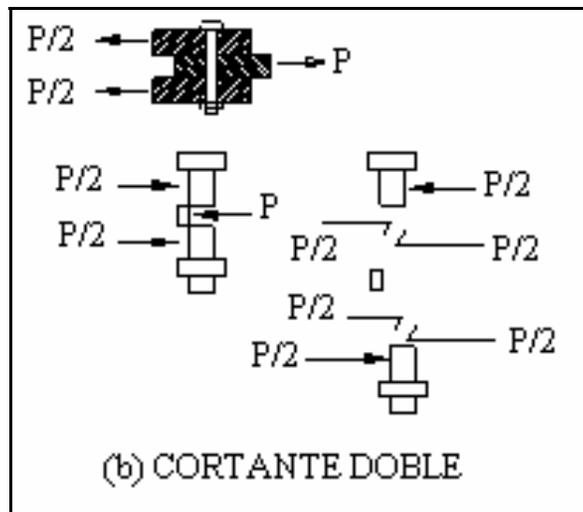


Figura 2.14 (b). Esquema para una conexión a cortante doble.

La conexión mostrada en la figura 2.14(b) es similar, a la conexión de la figura 2.14(a). La diferencia es que en la conexión (b), cada área transversal esta sometida a la mitad de la carga total.

En cualquier caso, la carga es:

$$P = 2f_v A \dots\dots\dots \text{Ec.2.16}$$

A esta condición se le llama cortante doble.



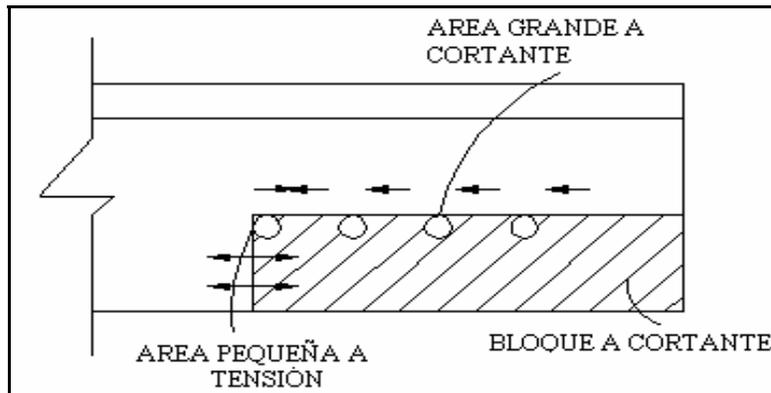
2.8.1 BLOQUE DE CORTANTE.

La resistencia del "bloque de cortante" es la zona definida por un plano de falla a cortante y uno transversal a tensión.

En este caso la falla de los planos no ocurre simultáneamente pudiendo presentarse dos casos:

- A. Cuando el área es grande a cortante y el área es pequeña a tensión.
- B. Cuando el es Área grande a tensión y área es pequeña a cortante.

CASO A: Área grande a cortante y área pequeña a tensión:



Cuando se tiene un área grande a cortante y una pequeña a tensión su resistencia será a cortante y no a tensión, por lo que primero se presentará el flujo del área a tensión y la falla después a cortante, a este caso se le denomina fluencia por tensión y fractura por cortante, y su resistencia se determina como:

$$R_{lb} = F_r (A_{gt} F_y + 0.6 A_{nc} F_u) \dots \dots \dots \text{Ec.2.17}$$

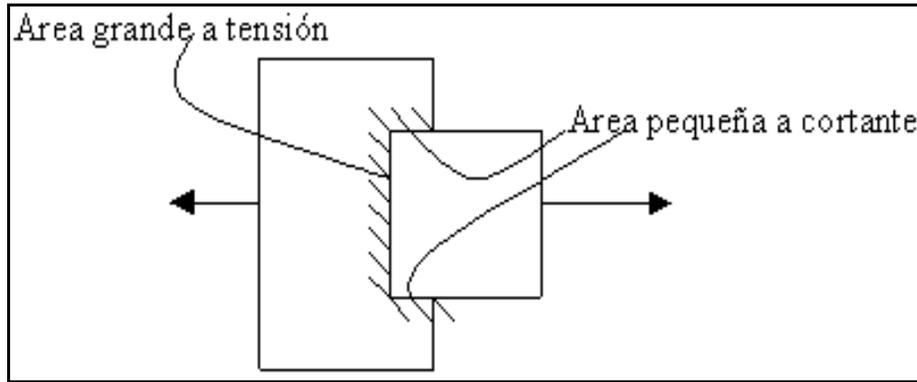
Donde:

$A_{gt} F_y$ = Fluencia por tensión.

$0.6 A_{nc} F_u$ = Fractura por cortante.



CASO B: Área grande a tensión y área pequeña a cortante:



Para este caso la resistencia será a tensión y no a cortante de modo que primero se presentará la fluencia a cortante y luego la fractura a tensión denominándole fractura por tensión y fluencia por cortante:

$$R_{tb} = F_r (A_m F_U + 0.6 A_{gv} F_Y) \dots \dots \dots \text{Ec. 2.18}$$

Donde:

- $A_m F_U$ = Fractura por tensión.
- $0.6 A_{gv} F_Y$ = Fluencia por corta
- A_{gt} = Área total sujeta a tensión
- A_{nv} = Área neta sujeta a cortante
- A_{nt} = Área neta sujeta a tensión
- A_{gv} = Área total sujeta a cortante
- R_{tb} = Resistencia total sujeta a cortante
- F_u = Esfuerzo último del material

La resistencia total del bloque de cortante R_{tb} , se determina como la menor de las dos expresiones calculadas de R_{tb} .

Nota: deberán aplicarse ambas ecuaciones, a fin de determinar el tipo de falla. Rigiendo la que de la menor resistencia (se escoge la menor).



2.9 CONEXIONES ATORNILLADAS POR FRICCIÓN Y APLASTAMIENTO.

Al tensar por completo los tornillos de alta resistencia, las partes conectadas quedan abrazadas fuertemente entre sí; es cuando se tiene una considerable resistencia al deslizamiento en la superficie de contacto. La resistencia será igual a la fuerza al apretar multiplicada por el coeficiente de fricción.

Si la fuerza cortante es menor que la resistencia permisible por fricción, la conexión se denominará como de tipo fricción. Y cuando la carga exceda a la resistencia por fricción, existirá un deslizamiento entre los miembros con un posible degollamiento de los tornillos y al mismo tiempo las partes conectadas empujarán sobre los tornillos como se muestra en la figura 2.16.

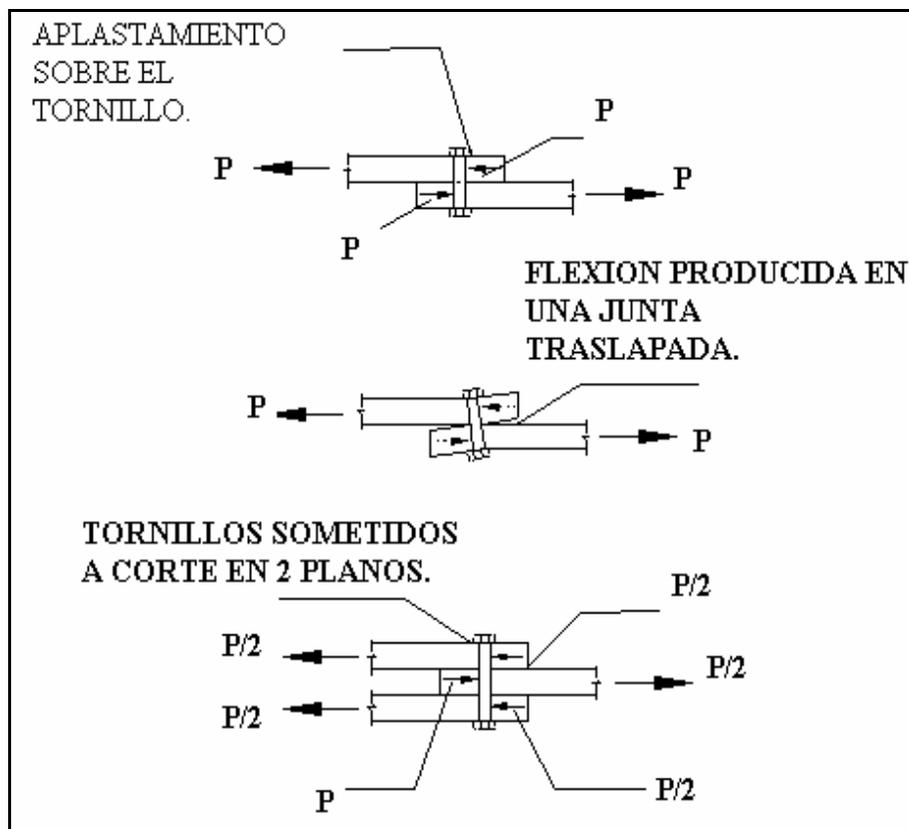


Figura 2.16 (a) Junta traslapada. (b) Muestra una junta a tope.

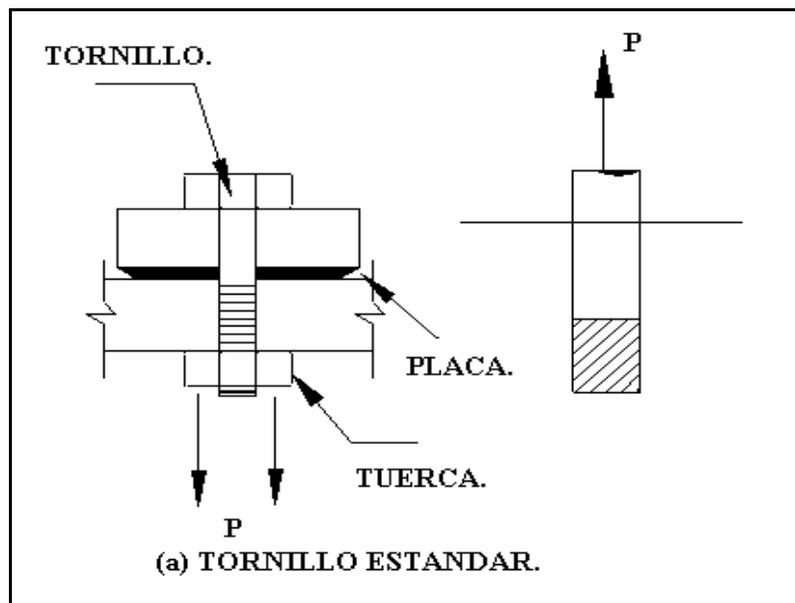
Cuando estas superficies de contacto estén galvanizadas, el factor de deslizamiento se reducirá casi en un 50% del valor correspondiente a las superficies limpias de costras de laminación.

Es posible lograr mejorar el factor de deslizamiento si las superficies se rayan mediante un cepillado manual o un sopleteado con arena. Dejando en claro que estos tratamientos no incrementan la resistencia al deslizamiento frente a cargas permanentes donde aparentemente se manifiesta un comportamiento de escurrimiento plástico.

Se hace mención en las especificaciones establecidas por AASHTO de 1983 que se permite la galvanización siempre que las superficies así tratadas se rayan con cepillos de alambre o se someten a un sopleteado con arena después de la galvanización y antes del montaje. También las especificaciones ASTM permiten la galvanización en tornillos A-325, pero no a los A-490. No se permite la galvanización en este tipo de tornillos de alta resistencia por que existe el peligro de que este acero de alta resistencia se vuelva frágil por la posibilidad de que le penetre hidrogeno durante el proceso de galvanización.

En caso de lograr las condiciones especiales mencionadas en las superficie de contacto (superficies sopleteadas y después recubiertas con capas especiales resistentes al deslizamiento) para aumentar la resistencia al deslizamiento, por lo que el proyectista podrá aumentar los valores usados aquí hasta alcanzar los establecidos por el consejo de investigación de juntas estructurales, establecidos en la sexta parte del manual LRFD.

La teoría antes mencionada, puede simplificarse básicamente en cuatro mecanismos de transferencia de carga (los cuales serán estudiados más adelante) que pueden ser desarrollados físicamente a través de tornillos. La resistencia del tornillo en tensión o cortante puede servir a limitar la carga que puede ser transmitida; la condición de la secuencia atornillada también puede ser una función del aplastamiento del tornillo de los miembros a unir, como se puede observar en la figura 2.17. Los tornillos de alta resistencia pueden y a veces son pretensionados, por lo tanto crean una carga de fricción entre las dos partes conectadas.

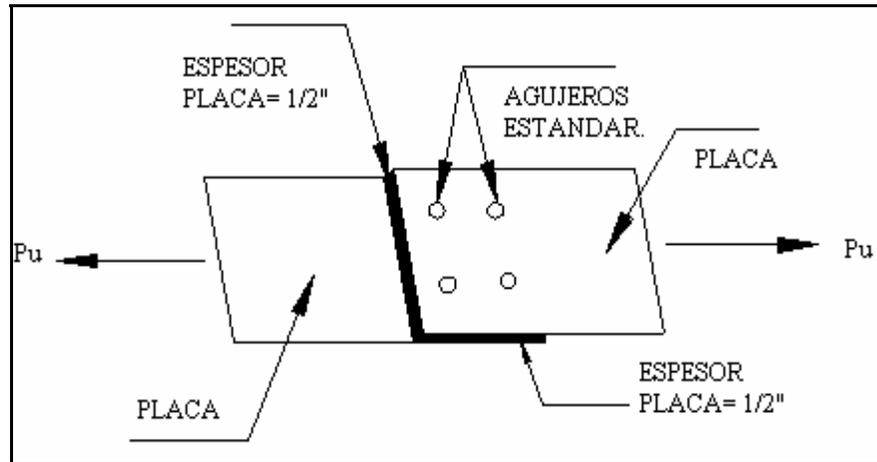


La figura 2.17. Tornillo estándar en tensión.



EJEMPLO.- DE CONEXIÓN DE APLASTAMIENTO.

Realizar el diseño para la conexión tipo aplastamiento considerando placas de acero A-36 y tornillo tipo A-325X de 7/8” de diámetro, además considerar agujeros de tamaño estándar (STD = 21 mm.) y distancias al borde mayor. La conexión esta sujeta a una carga $P_u = 42,000$ Kg. Y las placas son de un espesor de 1/2”. Como alternativa se pueden usar placas de 1/4” de espesor.



Considerando que el diámetro de la perforación debe ser estándar (21 mm.), tenemos que la distancia libre será:

$$L_c = 1.5 d$$

Por lo que la distancia libre es igual a :

$$\text{Si } d = 7/8 = 0.875 \times 2.54 = 2.22 \text{ cm.}$$

$$L_c = 1.5 (2.22 \text{ cm.}) = 3.4 \text{ cm. Por funcionalidad tomaremos } L_c = 5 \text{ cm.}$$

Considerando: $\phi = 0.75$ y $F_{v_n} = 5060 \text{ Kg/cm}^2$

$$\phi V_n = \phi F_{v_n} A = 0.75(3.87)5060 = 14,687 \text{ Kg.}$$

Obteniendo el número de tornillos, necesarios para la conexión:

$$N_b = \frac{P_u}{\phi V_n} = \frac{42,000 \text{ Kg}}{14,687 \text{ Kg}} = 3.0 \text{ Por funcionalidad se necesitan 4 tornillos } d = 7/8''.$$

Determinando la distancia mínima del tornillo al extremo de la placa.

$$L_c t F_u \leq 3.0 d t F_u$$



Anteriormente obtuvimos que $L_c = 5 \text{ cm}$. Y que $F_u = 4080$ para el tipo d tornillo A-325X.

Sustituyendo valores tenemos que:

$$L_c t F_U = 5 \times 1.27 \times 4080 = 25,910 \text{ Kg}$$

$$3.0 dt F_U = 3.0 \times 2.22 \times 1.27 \times 4080 = 34,200 \text{ Kg} \text{ Por lo que si cumple.}$$

$25,910 < 34,200 \text{ Kg}$. Lo que indica que esta condición si se cumple.

$$\left[5 - \frac{d}{2} \right] t F_U \leq 3.0 dt F_U = \left[5 - \frac{2.22}{2} \right] (1.27)(4080) \leq (3)(2.22)(1.27)(4080)$$

$20,157 \leq 34,200$; para el resto de los tornillos.

Evaluando $2.4 dt F_u = 27,360 \text{ Kg}$.

$$\phi R_n = \phi(2.4 dt F_u N_b) = 0.75(27360)4 = 82,080 \text{ Kg}. > P_u.$$

Evaluando con el espesor de la placa de $\frac{1}{4}$ " tenemos que:

$$L_c t F_U \leq 3.0 dt F_U$$

Tomando $L_c = 5 \text{ cm}$. Tenemos que:

$$(5) \times (0.635) \times (4080) = 12,954 \text{ Kg.}$$

$$(3) \times (2.22) \times (0.635) \times (4080) = 17,100 \text{ Kg.} \text{ Por tanto si cumple.}$$

$$12,954 \leq 17,100 \text{ Kg.}$$

$$\left[5 - \frac{d}{2} \right] t F_U \leq 3.0 dt F_U = \left[5 - \frac{2.22}{2} \right] (1.27)(4080) \leq (3)(2.22)(1.27)(4080) = 10,105 \text{ Kg}$$

$10,105 < 17,100$; Para el resto de los tornillos.

Realizando la evaluación con $2.4 dt F_u = 13,680 \text{ Kg}$.

$$\phi R_n = \phi(2.4 dt F_u N_b) = 0.75(13,680)4 = 41,040 \text{ Kg} < P_u \text{ Este valor esta muy justo, por seguridad se agregara un tornillo extra.}$$

Revisando la conexión con 5 tornillos.

$$\phi R_n = \phi(2.4 dt F_u N_b) = 0.75(13,680)5 = 51,300 \text{ Kg} > P_u$$

Por lo que se determina que se requiere de 5 tornillos de diámetro de $\frac{7}{8}$ ", para soportar la carga.



2.10 CLASIFICACIÓN DE LAS CONEXIONES RESISTENTES A MOMENTO.

Las conexiones a momento presentan restricciones al giro, o alguna resistencia a cambios angulares originales, formados por los miembros conectados. Dependiendo de esta magnitud de la restricción, las conexiones se clasifican de acuerdo a las especificaciones de la siguiente manera:

	ASD (DVA).	LRFD(DFCR)
Rígida.	Tipo I	Totalmente Restringida (FR.)
Simple.	Tipo II	Parcialmente Restringida (PR).
Semi-Rígida.	Tipo III	Parcialmente Restringida (PR).

Las Conexiones Totalmente Restringidas o Rígida (FR). Son rígidas o continuas propias de marcos; se supone que son suficientemente rígidas o que tienen un grado de resistencia tal, que los ángulos originales entre los miembros permanecen sin cambio bajo cargas de intensidad media.

La Conexión Parcialmente Restringida o Simple (PR). Es una conexión tipo PR en la cual se ignora la restricción. Se supone completamente flexible y libre para rotar y por ello, sin capacidad resistente a momentos. Aunque este tipo de conexión presenta cierta resistencia al momento (o resistencia a la rotación del extremo), se supone insignificante, y se consideran capaces de resistir solamente fuerza cortante.

Una conexión Parcialmente Restringida o semirrígida. Es una conexión tipo PR cuya resistencia a cambios en los ángulos queda entre las de los tipos simple y rígida. Además presentan una apreciable resistencia a la rotación del extremo, desarrollando así momentos de extremo de consideración.

Es muy utilizado este tipo de conexiones, porque en general al calcular no se obtiene ventaja de sus posibilidades de reducción de momentos. Quizás un factor que hace que los calculistas se abstengan de tomar ventaja de ellas mas a menudo, es la limitación de las especificaciones, que solo permiten la consideración de conexiones semirrígidas, cuando se presenta evidencia de que son capaces de resistir un cierto porcentaje del momento resistente que proporciona una conexión completamente rígida.



Para poder explicar con mayor claridad una conexión a momento se enfatiza una conexión totalmente restringida o rígida (FR).

La finalidad de diseño de una trabe rígida, con extremos empotrados es asegurar que la conexión transferirá el momento y los cortantes de trabe hacia la columna. Para el diseño de la conexión, ha sido demostrado que el momento puede ser resuelto en un par efectivo actuante de tensión compresión, consideradas como fuerzas axiales, y se calculan con la formula siguiente:

$$T = C = \frac{M}{d_m} \dots\dots\dots \text{EC.2.19}$$

Donde:

- T = Es la fuerza axial de tensión, en Kg.
- C = Fuerza axial de compresión, en Kg.
- M = Momento en la viga, en Kg.-Cm.
- d_m = Brazo de palanca, en Cm.

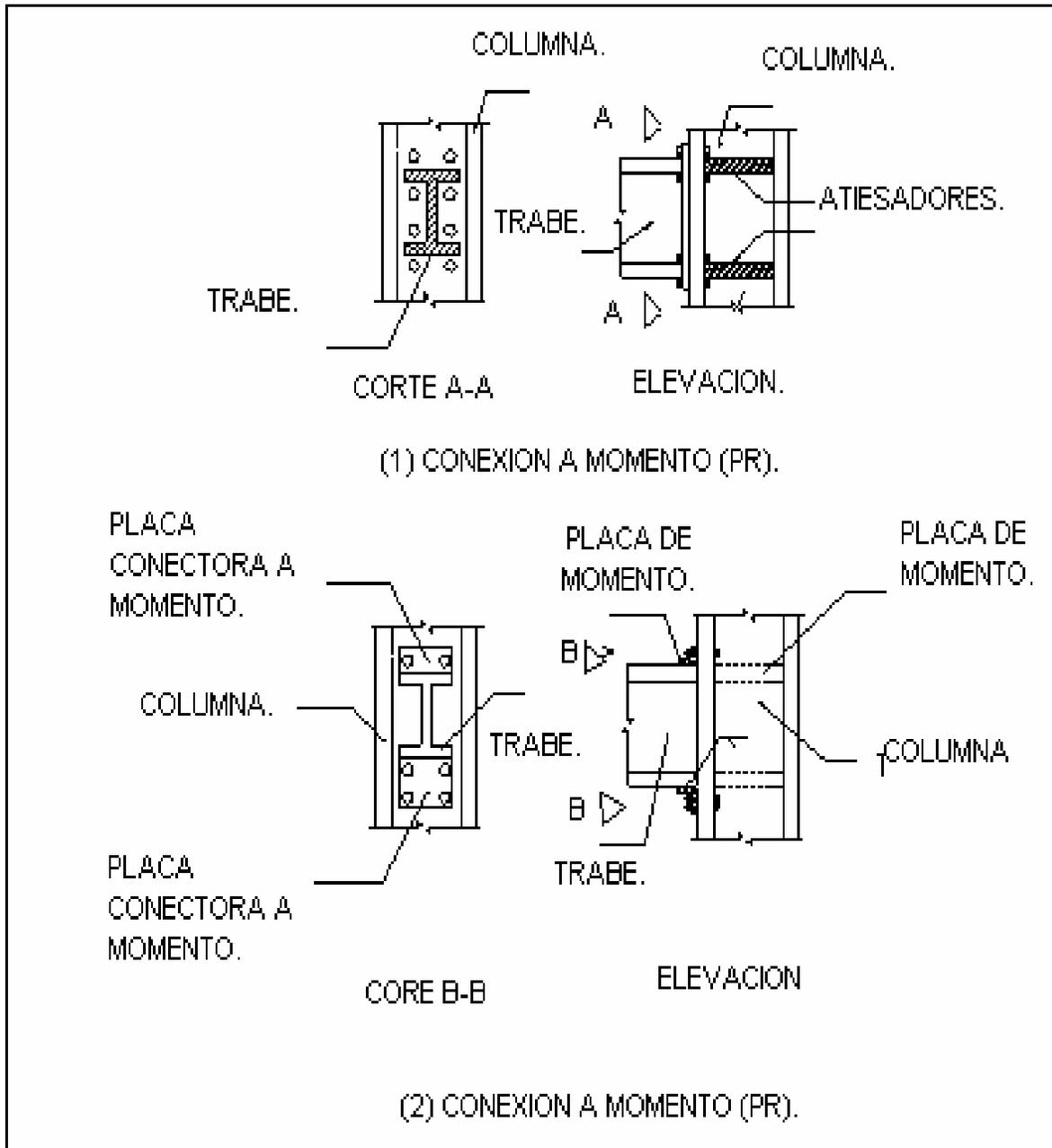
En una conexión totalmente restringida (PR), el cortante es primeramente trasferido a través de la conexión al alma de la trabe. Las fuerzas axiales, si se presentan, usualmente se suponen que van a ser distribuidas uniformemente a través del área de la sección de la trabe y son aditivas (algebraicamente) a los pares de fuerzas obtenidas y vectorialmente a las fuerzas cortantes.

Es importante mencionar, que los momentos existen debido a las fuerzas laterales debidas a cargas por viento o sismo, cargas gravitacionales continuas o excéntricas y otras condiciones reales o supuestas.



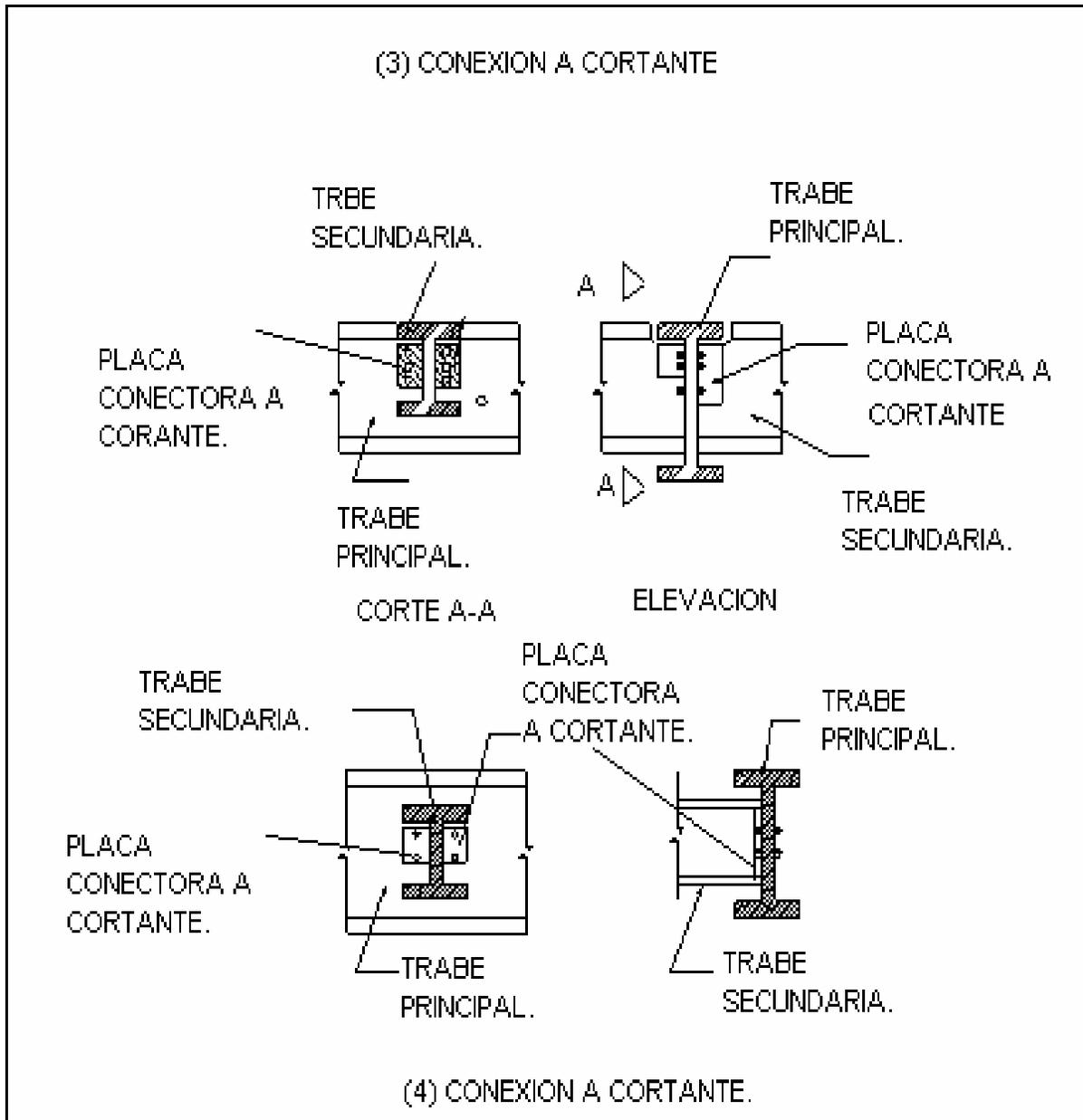
2.11 CONEXIONES TÍPICAS.

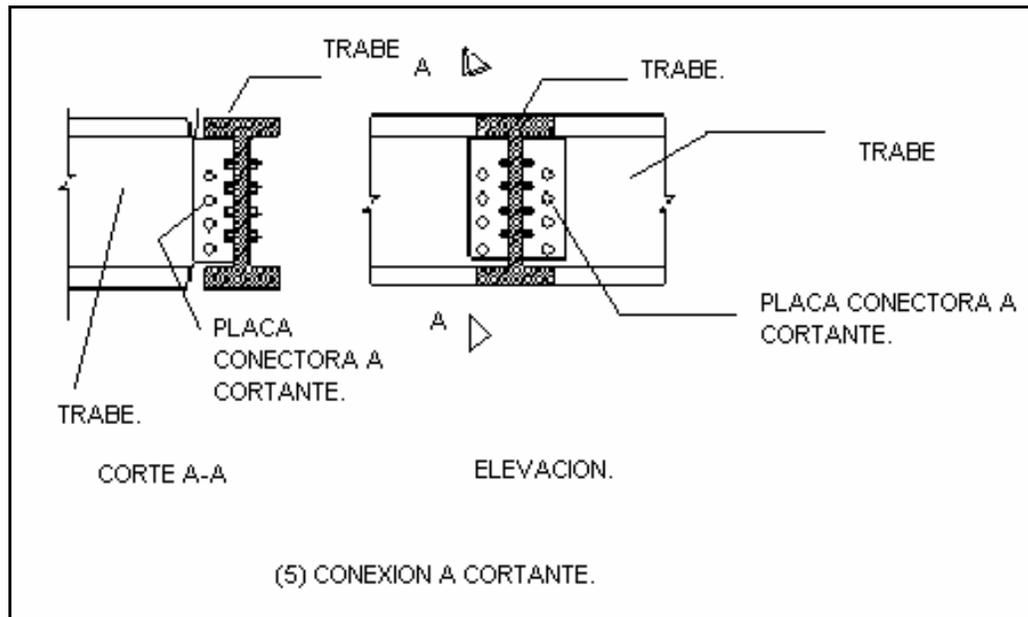
A continuación se presentan algunas de las conexiones a momento mas frecuentes dentro de la práctica ingenieril.



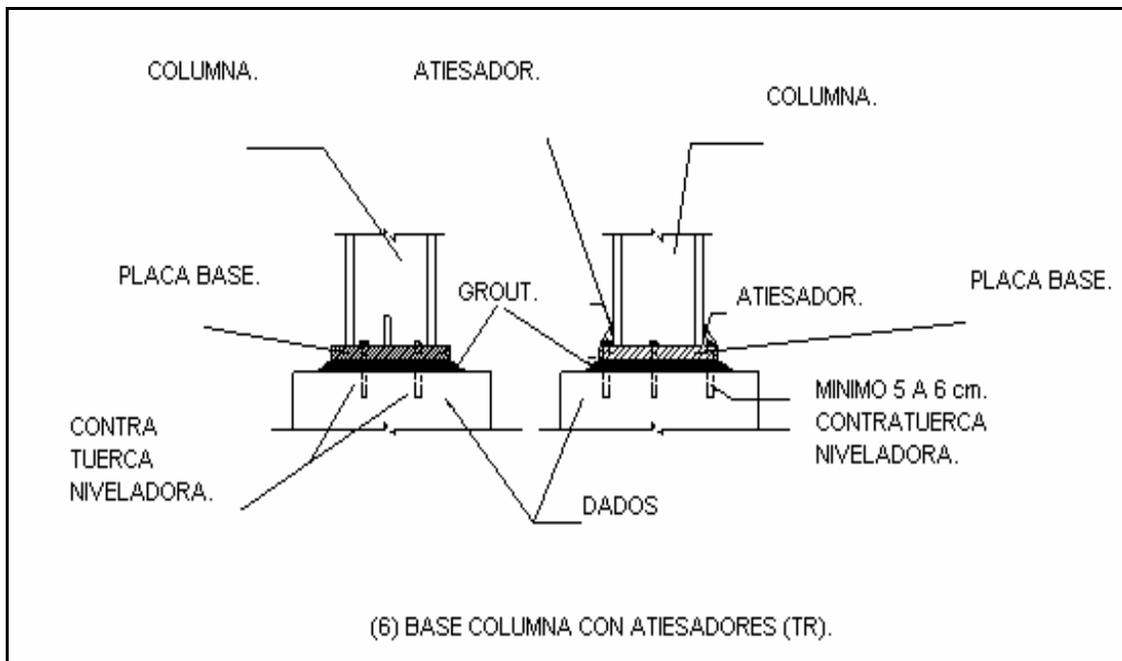


A continuación se muestran algunas de las conexiones típicas a cortante.





A continuación se esquematiza una base de columna con atiesadores.





2.12 RESISTENCIA DE DISEÑO POR DESLIZAMIENTO CRÍTICO PARA CARGAS FACTORIZADAS (LRFD, FRICCIÓN (AISC-J3.8B).

En el método LRFD, se menciona que no todos los tornillos de alta resistencia deben tensarse completamente. Ya que este proceso es costoso, así como su inspección.

Con las especificaciones LRFD, es necesario que los tipos de tornillos que deban estar en cualquier proyecto, estén identificados claramente en los planos. Esto es los tornillos usados en conexiones tipo fricción y en las conexiones sujetas a tensión directa.

Cuando las cargas de trabajo ocasionan un gran número de cambios en los esfuerzos con la posibilidad de que se generen problemas de fatiga es recomendable utilizar una conexión tipo fricción. Los tornillos de alta resistencia A-325 y A-490 deben ser apretados mínimo a un 70% de sus resistencias a la tensión mínima especificada, asegurando con este porcentaje que están completamente tensados los tornillos.

Al tensar completamente los tornillos de alta resistencia, las partes que se unen quedan abrazadas fuertemente entre si; generando una resistencia considerable al deslizamiento en la superficie de contacto. Donde esta resistencia es igual a la fuerza de apriete multiplicada por el coeficiente de fricción. Para el caso de cuando la fuerza cortante es menor a la resistencia permisible por fricción, la conexión puede considerarse como de fricción.

Para el caso contrario donde la carga excede a la resistencia por fricción, se presentara un deslizamiento entre los miembros lo cual puede ocasionar un posible degollamiento de los tornillos, provocando que las partes unidas ejerzan un empuje sobre los tornillos como se muestra en la Fig. 2.18. al igual de las partes unidas.

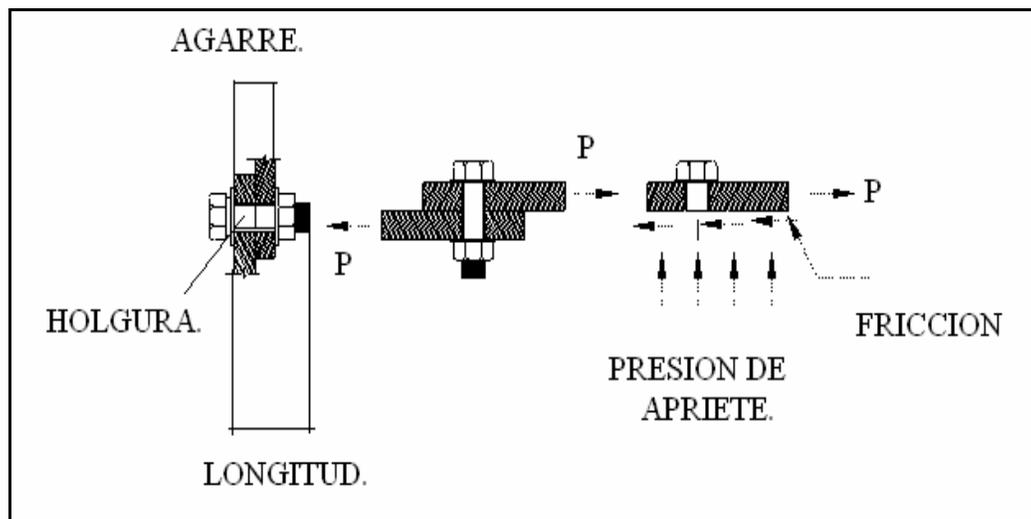


Figura 2.18. Si la carga excede a la resistencia por fricción, habrá un deslizamiento entre los miembros con un posible degollamiento de los tornillos, al mismo tiempo las partes conectadas empujaran sobre los tornillos como se muestra en la figura.



Es importante realizar cierta preparación sobre las superficies de las juntas, incluidas las adyacentes a las roldadas, esta preparación consiste en dejar libre de escamas, polvo, rebabas y otros defectos que puedan impedir un contacto pleno entre las partes a conectar. También es importante mantener una pendiente adecuada entre las superficies a conectar, y se recomienda que estas no sean mayores de 1:20 con respecto a las cabezas y tuercas de los tornillos a menos que se usen roldadas biseladas. En juntas de tipo fricción las superficies de contacto también deben de estar libres de aceite, pintura y lacas.

Someter las superficies a conectar a un cepillado manual o a un sopleteado con arena ayuda a mejorar el factor de deslizamiento. Se aclara que llevar acabo el cepillado o sopleteado no ayuda a incrementar la resistencia al deslizamiento frente a cargas permanentes.

Debe considerarse que si las superficies de contacto se encuentran galvanizadas, esto causara una reducción en el factor de deslizamiento de casi un 50% al valor que corresponda a las superficies que se encuentran limpias de costras de laminación. En las especificaciones ASTM, encontramos que permite usar tornillos A-325 galvanizados, y no permitiendo el uso de tornillos A-490 galvanizados, lo anterior se debe al peligro que presenta este tipo de acero a volverse frágil, por la posibilidad de penetración de hidrogeno durante el proceso de galvanización.

Un tornillo de alta resistencia al ser sometido a fuerzas que le provoquen esfuerzos de tensión sobre su vástago, ocasionan que se desarrolle una presión de apriete adecuada y confiable.

Y esta capacidad de carga por deslizamiento crítico se puede calcular en base a la siguiente ecuación:

$$\phi r_{str} = \phi(1.3\mu T_b N_b N_s) \dots\dots\dots \text{EC. 2.20}$$

Donde:

- ϕ = Factor de resistencia, es variable y depende del tipo de agujero.
- μ = Coeficiente de deslizamiento, el cual depende del tipo de la superficie del acero.
- T_b = Tensión mínima de apriete (En base a la tabla (2-11); J3.1).
- N_b = Numero de tornillos.
- N_s = Numero de planos de deslizamiento.

En las tablas siguientes se proporciona valores de factor de resistencia, de la tensión última (Tb.) y del coeficiente de deslizamiento μ .



Tabla 2-11

Proporciona valores para el factor de resistencia ϕ

TIPO DE AGUJERO	Φ
STD.	1.0
S.D. Y A.C.	0.85
A.L. \perp dir. carga	0.70
A.L. \parallel dir. Carga.	0.60

TABLA 2-12 (AISC J3.1)

Proporciona valores para T_b en Kg.

Pulg.	D mm.	A-325	A-490
1/2	13	5,430	6,800
5/8	16	8,620	10,900
3/4	19	12,700	15,900
7/8	22	17,650	22,250
1	25	23,150	29,100
1 1/8	29	25,400	36,300
1 1/4	32	32,200	46,300
1 3/8	35	38,600	55,000
1 1/2	38	46,800	67,100

TABLA 2-13

Proporciona valores del coeficiente de deslizamiento μ

CLASE	μ	SUPERFICIE
A	0.33	Sin pintura ni escamas de laminación.
B	0.50	Sin pintura y cepillados.
C	0.35	Galvanizados por inmersión en caliente y con superficie rugosa.

Con el apoyo de las tablas 2-11, 2-12 Y 2-13, obtenemos los valores de las diferentes incógnitas como (Φ , T_b μ), que necesitamos para poder sustituir en la formula y así obtener el deslizamiento crítico.



2.13 CONEXIONES DISEÑADAS PARA TENSION Y CORTANTE

COMBINADOS EN UNIONES EN DESLIZAMIENTO CRÍTICO, PARA CARGAS DE SERVICIO.

$$\phi F_v A_b N_b N_s \left[1 - \frac{T}{0.8 T_b N_b} \right] \dots\dots\dots \text{EC.2.21.}$$

En donde:

T_b = Representa tensión mínima previa del tornillo, a partir de los valores indicados en la tabla (2-12).

T = Es la fuerza de tensión producida por cargas de servicio. (NO ÚLTIMA).



2.14 RESISTENCIA DE DISEÑO POR DESLIZAMIENTO CRÍTICO PARA CARGAS DE SERVICIO.

La resistencia de diseño por deslizamiento por (AISC-LRFD), permite únicamente diseñar con cargas “no ultimas”, como una alternativa de diseño.

Es importante hacer mención que el AISC-LRFD, permite únicamente en este capítulo diseñar también con “cargas no ultimas” como una alternativa de diseño.

La siguiente expresión permite obtener la resistencia por deslizamiento crítico para cargas de servicio y la formula es:

phi F_v A_b N_b N_s EC.2.22.

Donde:

phi = 1.00 Para agujeros estándar, SD, AC, y AL, cuando la ranura es perpendicular a la línea de la fuerza.

phi = 0.85 Para agujeros largos cuando la ranura larga es paralela a la línea de carga.

F_v = Resistencia nominal al cortante por deslizamiento critico indicado

Cuando la combinación de cargas incluye cargas de viento en adición a cargas muertas y vivas el cortante total en el tornillo debido a la combinación de efectos de carga de servicio, puede ser multiplicado por 0.75.

TABLA 2-14 (TABLA SEGÚN AISC AJ3.2) CAPACIDAD A CORTANTE (F_v EN Kg./cm^2) EN JUNTAS DISEÑADAS POR DESLIZAMIENTO CRITICO CON TORNILLOS DE ALTA RESISTENCIA.

Table with 5 columns: TIPO DE TORNILLO, TAMAÑO DEL AGUJERO ESTANDAR, AGUJEROS ALARGADOS, CORTOS Y SOBREDIMENSIONADOS, AGUJERO ALARGADO (FUERZA perpendicular and FUERZA paralela). Rows include A-325 and A-490.

Los valores de F_v e la tabla 2-14 o AJ3.2 se basan a superficies A.(mu= 0.33) por lo que para conexiones con otros valores clase B o clase C (mu= 0.35) se hará el ajuste necesario.



TEMA 3 CONEXIONES SOLDADAS.

3.0 INTRODUCCIÓN.

La soldadura, es el proceso mediante el cual dos o más partes se unen y son sometidas a un proceso de calentamiento y fundición, con el metal fundido de aportación del agregado a la junta.

Aunque la soldadura existe desde hace bastantes años, es hasta en las últimas décadas que ha adquirido gran importancia en la ingeniería estructural. La utilización de soldadura estructural se vio desalentada mucho tiempo ya que varios ingenieros pensaban que presentaba dos desventajas:

1. Que tenía poca resistencia a la fatiga en comparación con las conexiones atornilladas o remachadas.
2. Que era imposible asegurar una alta calidad de soldadura si no contaba con una inspección irracionalmente amplia y que adicionalmente era muy costosa.

Actualmente, un mayor porcentaje de ingenieros aceptan que las juntas soldadas cuentan con una resistencia considerable a la fatiga. También se admite que las reglas que rigen la calificación de los soldadores, las mejores técnicas utilizadas y los requerimientos para la mano de obra de las especificaciones de la AWS (American Welding Society), hacen de la inspección de la soldadura un problema menos complicado. En la actualidad, la soldadura se permite en la mayoría de trabajos estructurales.

Un caso especial muy interesante, es el caso de los barcos soldados; estos están sujetos a cargas de impacto realmente severas y difíciles de predecir. Otro caso especial es el de los aeroplanos. Los puentes ferroviarios también tienen su complejidad, ya que están sometidos a cargas mucho más grandes, en comparación de las puentes carreteros, así mismo la presencia de vibraciones se incrementa considerablemente.



3.1 TIPO DE SOLDADURA.

A continuación se presentan los tipos de soldadura mas utilizados en la actualidad así como sus procesos de colocación.

3.1.1 SOLDADURA CON ARCO ELÉCTRICO.

La soldadura con arco eléctrico consiste en formar un arco eléctrico entre las piezas que se suelden, mientras el electrodo es sostenido por el operador con algún tipo de maneral o maquina automática. El arco eléctrico se logra a base de una chispa continua, entre el electrodo y las piezas que se sueldan efectuándose así la fusión. La resistencia del aire o gas entre el electrodo y las piezas que se suelden son los factores que provocan que la energía eléctrica se convierta en calor.

La temperatura que genera el arco eléctrico fluctúa entre los 6,000 y 10,000 F lo que equivale a (3,200 y 5,500° C). Conforme el extremo del electrodo se funde, se van generando o formando globulitos de metal fundido, las cuales son forzadas por el arco hacia las piezas por unir, penetrando en el metal fundido para así generar la soldadura.

El grado de penetración puede ser controlado con precisión mediante la corriente consumida. Como los globulitos fundidos de los electrodos son impulsados en la soldadura, permite que la soldadura con arco pueda emplearse con gran éxito en lugares donde tenga que soldarse a lo alto.

Al encontrarse el acero en su estado liquido puede contener gran cantidad de gases en solución, por tanto existe el riesgo que pueda combinarse químicamente con el oxígeno y el nitrógeno si no se tiene la protección adecuada contra el aire circundante. Al efectuarse el proceso de enfriado, las soldaduras presentan relativas porosidades debido a pequeñas bolsas formadas por los gases.

Una forma de proteger a la soldadura es utilizando un electrodo recubierto con ciertos componentes minerales. Con la utilización del arco eléctrico se logra que el recubrimiento se funda, formando así un gas inerte o vapor alrededor del área que se suelda. Actuando dicho vapor como un protector alrededor del metal fundido, protegiéndolo del contacto directo con el aire circundante, además de depositar escoria en el metal fundido, que tiene menor densidad que el metal base y sale a la superficie protegiendo a la soldadura mientras se enfría.

La escoria depositada una vez fría, puede ser removida fácilmente con la ayuda de una piqueta, o con un cepillo de alambre (esa remoción es indispensable antes de la aplicación de la pintura o de otra capa de soldadura).



3.1.2 SOLDADURA DE ARCO METÁLICO PROTEGIDO.

Para observar este proceso de soldadura de arco protegido se muestra la figura 3.1, que presenta los elementos del proceso de soldadura por arco protegido.

En este proceso es muy importante el tipo de electrodo que se este utilizando, ya que afecta decididamente las propiedades de la soldadura como son la resistencia, ductibilidad y resistencia a la corrosión. La fabricación de electrodos es muy diversa, dependiendo el tipo de electrodo a utilizar para realizar cierto trabajo del tipo de metal que se suelda, de la cantidad de material que se necesita depositar, la posición de trabajo etc.

Los electrodos se dividen en dos clases generales que son:

- Electrodos con recubrimiento pesado.
- Electrodos con recubrimiento ligero.

Los electrodos con recubrimiento pesado son utilizados principalmente en la soldadura estructural, ya que al fundirse sus recubrimientos se forma una protección de vapor muy satisfactoria alrededor del trabajo, así como escoria de protección. Con la utilización de este tipo de electrodos se obtienen soldaduras resultantes más fuertes, más resistentes a la corrosión y más dúctiles que las realizadas con electrodos con recubrimiento ligero.

Para el caso de utilizar electrodos con recubrimiento ligero, no se intenta prevenir la oxidación y no hay formación de escoria. Estos electrodos se recubren ligeramente con algún estabilizador químico del arco, tal como la cal.

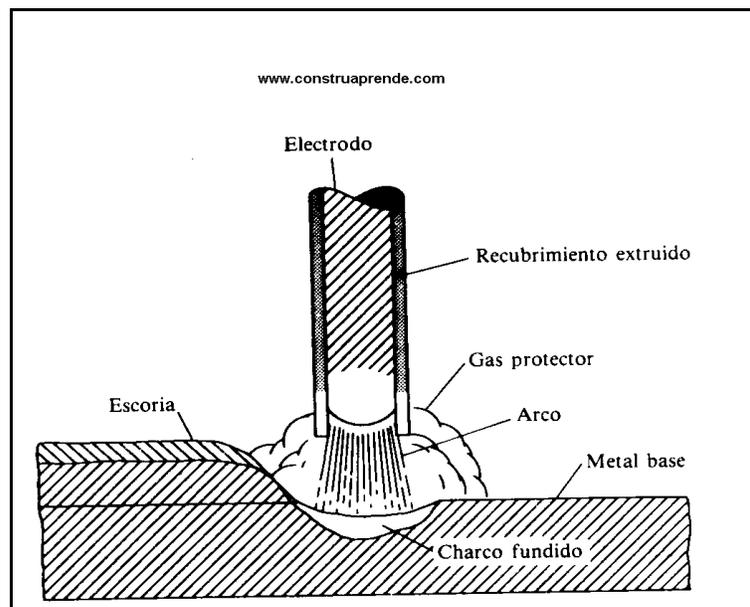


Figura 3.1 Elementos del proceso de soldadura de arco metálico protegido (SAP).



3.1.3 SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO.

Este proceso consiste en que el arco es cubierto con un montón de material fusible granular lo que hace que quede oculto a la vista. En el proceso un electrodo metálico desnudo se desenrolla de un carrete, el cual se funde y se deposita como material de aportación o relleno.

Este tipo de soldaduras por arco sumergido (SAS) se efectúa con rapidez y eficacia, además de ser de gran calidad, y presentar alta resistencia al impacto y a la corrosión y muestra muy buena ductibilidad. La soldadura de arco sumergido tiene mayor penetración, por lo que el área efectiva para resistir cargas es mayor. En la figura 3.2 se puede observar las marcas de electrodos de acero al carbono mas utilizados.

Tiene como característica que al utilizar un solo electrodo, el tamaño de la soldadura que se obtiene con un solo pase es limitada, siendo una solución el poder emplear múltiples electrodos, sin limitar el tamaño de la soldadura. Requiriendo solamente una posición de trabajo plana u horizontal.

3.1.4 MARCAS DE IDENTIFICACIÓN DE LOS ELECTRODOS DE ACERO AL CARBONO.

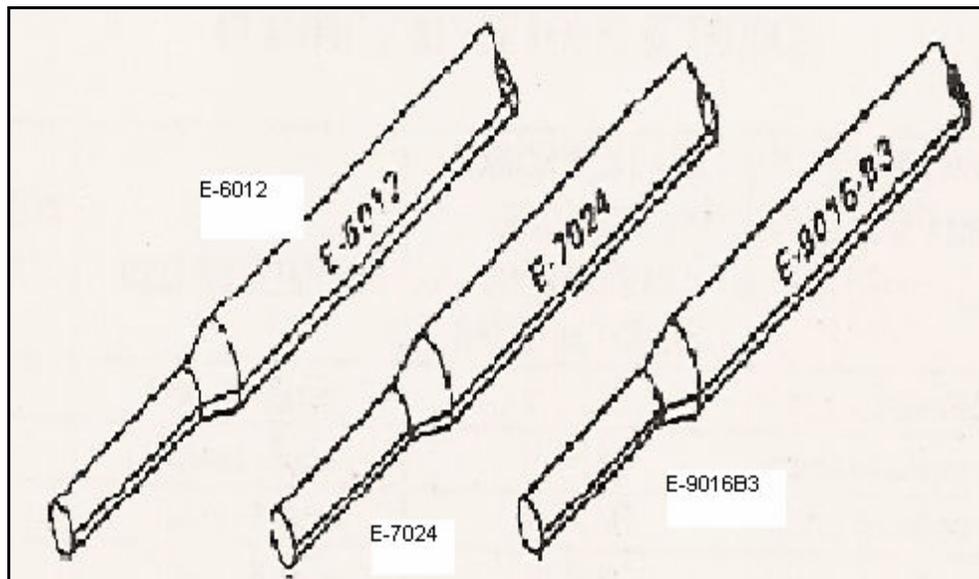


Figura 3.2.- Electrodos al carbono.



TABLA 3-1

DIGITO	SIGNIFICADO	EJEMPLO
PRIMEROS DOS O PRIMEROS TRES.	RESISTENCIA MÍNIMA A LA TENSIÓN (ALIVIO DE ESFUERZOS).	E-60XX= 4228(Kg./cm. ²)min. E-110XX=4933(Kg./cm. ²)min.
ANTERIOR AL ÚLTIMO.	POSICIÓN DE APLICACIÓN.	E-XX1X = Todas las posiciones. E-XX2X = Horizontal y E-XX3X = Plana.
ULTIMO.	TIPO DE ENERGÍA, TIPO DE ESCORIA, TIPO DE ARCO, MAGNITUD DE LA PENETRACIÓN, PRESENCIA DE POLVO DE HIERRO EN EL RECUBRIMIENTO.	



TABLA 3-2 INTERPRETACIÓN DEL ÚLTIMO DÍGITO EN LA CLASIFICACIÓN DE ELECTRODOS AWS.

	ÚLTIMO DÍGITO									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
Tipo De Energía.	a	CA o CD Polaridad invertida	CA o CD	CA o CD	CA o CD	CD Polaridad invertida.	CA o CD Polaridad Invertida.	CA o CD	CA o CD Polaridad Invertida	
Tipo de Escoria.	b	Orgánica.	Rutilo.	Rutilo.	Rutilo.	Bajo Hidrogeno.	Bajo Hidrogeno	Miner al.	Bajo Hidrogen o.	
Tipo de Arco.	Excavado	Exca vadora.	Regular.	Blando	Blando	Regular.	Regular.	Bland o.	Regular.	
Penetración.	c	Profunda.	Regular.	Ligera.	Ligera.	Regular.	Regular.	Regul ar.	Regular.	
Polvo de hierro en el recubrimiento	0-10%	Nada.	0-10%	0-10%	30 - 50%	Nada.	Nada.	50%	30-50%	

a. E-6010 es de CD, polaridad invertida; E-6020 es de CA o CD.

b. E-6010 es orgánica; E-6020 es mineral.

c. E-6010 es de penetración profunda; E-6020 es de penetración mediana o regular.

Nota: El prefijo "E" (a la izquierda de un número de 4 o 5 dígitos) significa electrodo para soldadura de arco.



CLASIFICACIÓN DE LOS ELECTRODOS.
TABLA 3-3

CLASIFICACIÓN AWS-ASTM	TIPO DE RECUBRIMIENTO.	POSICIONES PARA PRODUCIR SOLDADURAS SATISFACTORIAS.	TIPO DE CORRIENTE.
E-6010	Celulosa-Sodio	P,VH,SC	Continua polaridad, inversa, (Polo positivo).
E-6011	Celulosa-Sodio	P,VH,SC	Alterna o continúa polaridad inversa.
E-6012	Titanio-Potasio	P,VH,SC	Alterna o continúa polaridad directa (polo -).
E-6013	Titanio-Potasio	P,VH,SC	Alterna o continúa cualquier polaridad
E-6020	Oxido de hierro.	P,H-filetes	Alterna o continúa polaridad directa.
E-6027	Polvo de hierro ox hierro.	P,H-filetes	Alterna o continúa polaridad directa.
E-7014	Polvo de hierro y titania	P,V,H,SC	Alterna o continúa cualquier polaridad polaridad.
E-7015	Bajo hidrogeno y sodio.	P,V,H,SC	Continúa polaridad inversa.
E-7018	Polvo de hierro, bajo hidrogeno.	P,V,H,SC	Alterna o continúa polaridad inversa.
E-7024	Polvo de hierro.	H,Filetes,P	Alterna o continúa cualquier polaridad.

ELECTRODOS QUE FIJA LA NORMA SMAW SOLDADURA DE ACERO METÁLICO PROTEGIDO.

TABLA 3-4

ACERO ASTM Fy (Kg/cm. ²)		ELECTRODO		PROPIEDADES DEL ELECTRODO. $F_u = (Kg / cm^2)$	FY MINIMO.		
		Fy (FEXX)	(Kg./cm. ²)		Lb./pg. ²	(Kg./cm. ²)	
A-36	36(2530)	E-60XX ;60,000;(4228)		72,800 (5131)	ALA RG	50,000	(3,522)
		E-70XX; 70,000;(4933)		76,000(853569)		60,000	(4,227)
A-572	50(3500)	E-7015.16; (4933)		76,000(5356)	AMI ENT	60,000	(4,227)
		E-7018.28; (4933)				60,000	(4,227)
A-588	50(3500)	E-7015.16;(4933)		76,000(5356)	O 30%	60,000	(4,227)
		E-7018.28;(4933)				60,000	(4,227)

Cuando se abre un paquete de electrodos habrá que terminarlos de usar de no ser así los sobrantes deberán meterse a un horno, hasta su Nuevo uso.



3.2 PROCESOS DE SOLDADURA.

I.-Soldadura de arco (AW).Arc Weld.

I.1.- Soldadura con arco metálico y gas.	GMAW
Electro gas.	GMAW-EG
Soldadura de arco con plasma.	PAW
Soldadura de arco metálico protegido (*) el mas usado.	SMAW
Soldadura de arco de espárragos.	SW
Soldadura de arco sumergido.	SAW
En serie.	SAW-B
I.2.- Soldadura de arco con núcleo de fundente.	FCAW

II.- Procesos de soldadura.

II.1.- Soldadura por resistencia RW	RW
Soldadura por arco con presión.	FW
Soldadura por percusión.	PEW
Soldadura de costura por resistencia.	RSEW
Soldadura de puntos por resistencia.	RSW

III.- Corte térmico

III.1.- Corte con oxígeno.	IOC
Corte con gas combustible y oxígeno.	OFC
Corte oxiacetilenito.	OFC-A
III.2.- Corte con arco.	AC
Corte con arco metálico.	MAC
Corte con arco y plasma.	PAC
Corte con arco metálico protegido.	SMAC

IV.- Otros tipos de corte

IV.1.- Corte con haz de electrones.	EBC
Corte con haz de rayos láser.	LBC



3.2.1 TIPOS DE CORRIENTE EN SOLDADURA DE ARCO ELÉCTRICO.

La figura 3.3 muestra el proceso de arco eléctrico al utilizarse un electrodo positivo o negativo.

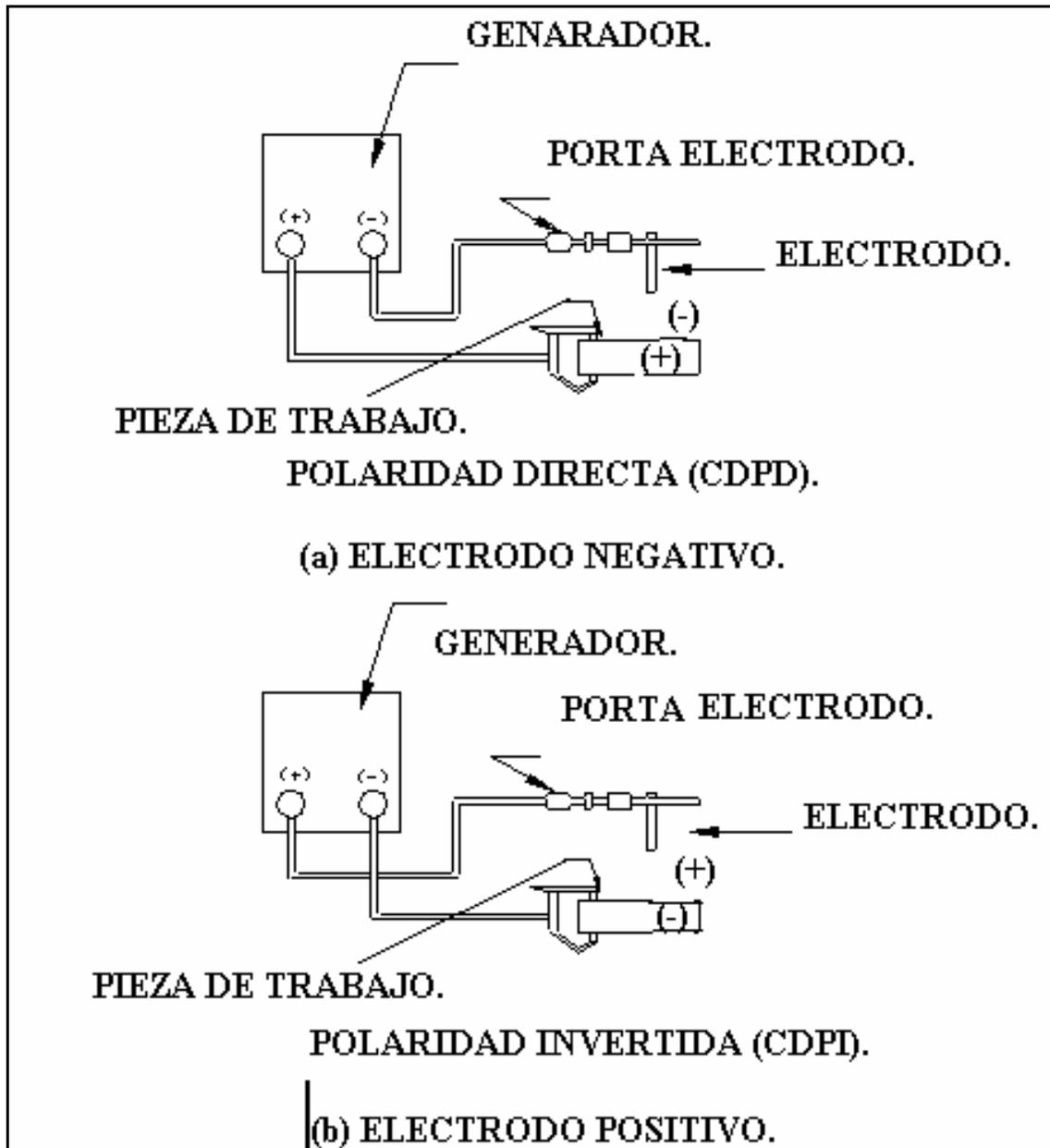


Figura 3.3 Arco eléctrico de electrodo positivo y negativo.



3.3 SIMBOLOGÍA DE SOLDADURA.

La siguiente figura 3.4 muestra un método para identificar soldaduras mediante símbolos, el cual fue desarrollado por la American Welding Society (Sociedad Americana de Soldadura).

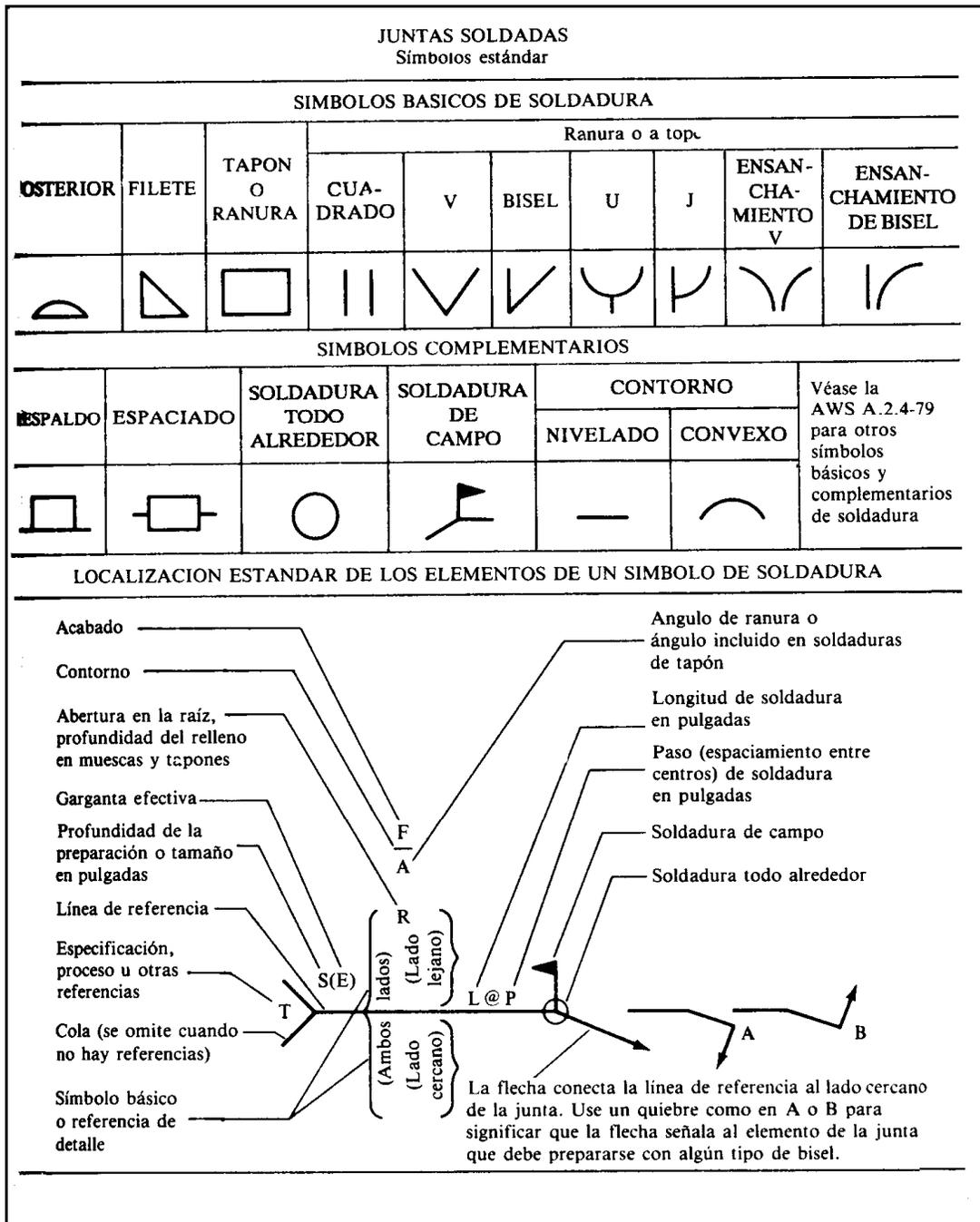


Figura 3.4 Muestra la simbología empleada en soldadura.



Mediante este sistema taquigráfico desarrollado, se proporciona toda la información referente a la soldadura necesaria, con unas cuantas líneas y números, ocupando apenas un pequeño espacio en los planos y dibujos de ingeniería.

Con el uso de estos símbolos se elimina la necesidad de dibujos de las soldaduras y hacer largas notas descriptivas. Si la mayor parte de las soldaduras indicadas en un dibujo son de las mismas dimensiones, puede hacerse uso de una nota y así omitir los símbolos, excepto en las soldaduras fuera de medida.

Para mayores datos puede consultarse la información que proporciona la AWS.

A continuación se presenta un esquema fig. 3.5 que contiene alguno de los símbolos mas usuales de soldaduras de filete, junto con el significado de cada una de las mismas (tanto espesores como lados a soldar).

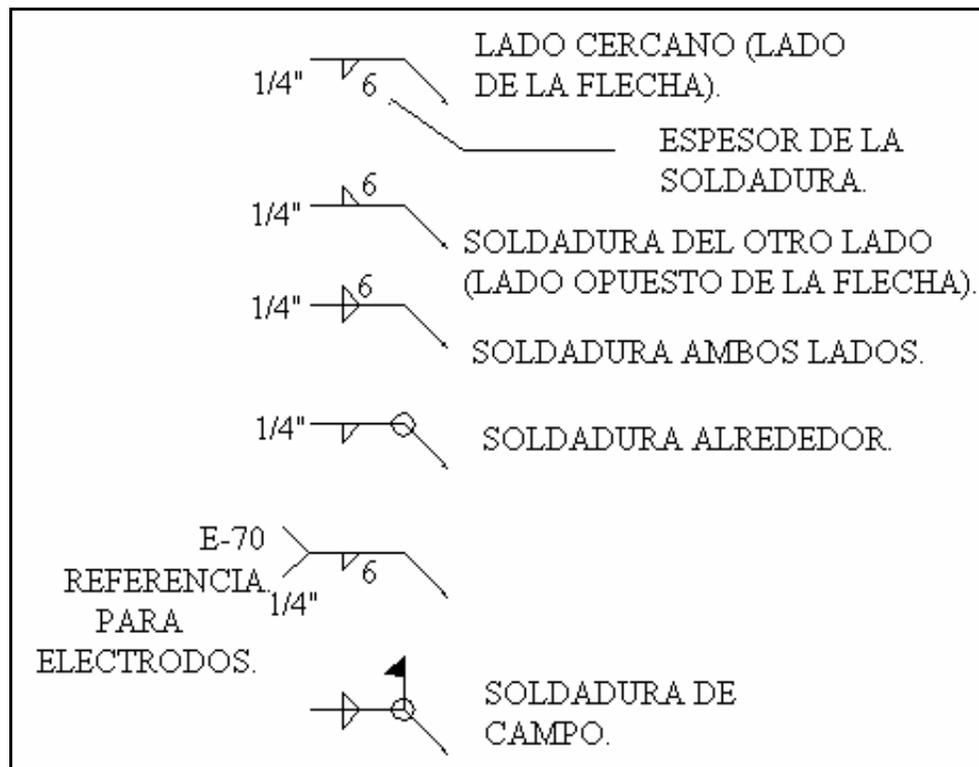


Figura3.5 Símbolos de la soldadura.

La figura 3.6 muestra una soldadura donde se especifica el 100% de penetración.

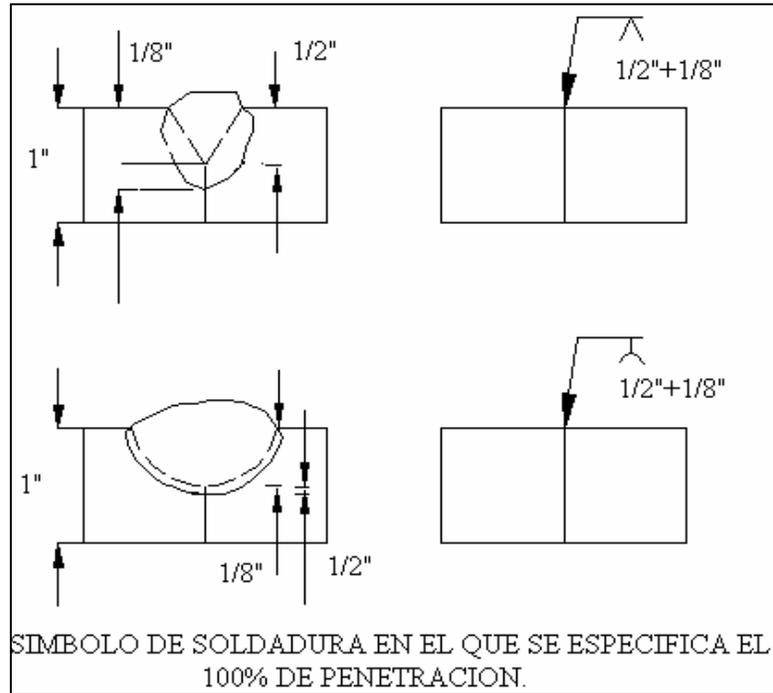


FIGURA 3.6.

En la figura 3.7 puede observarse simbología de otros tipos de soldadura.

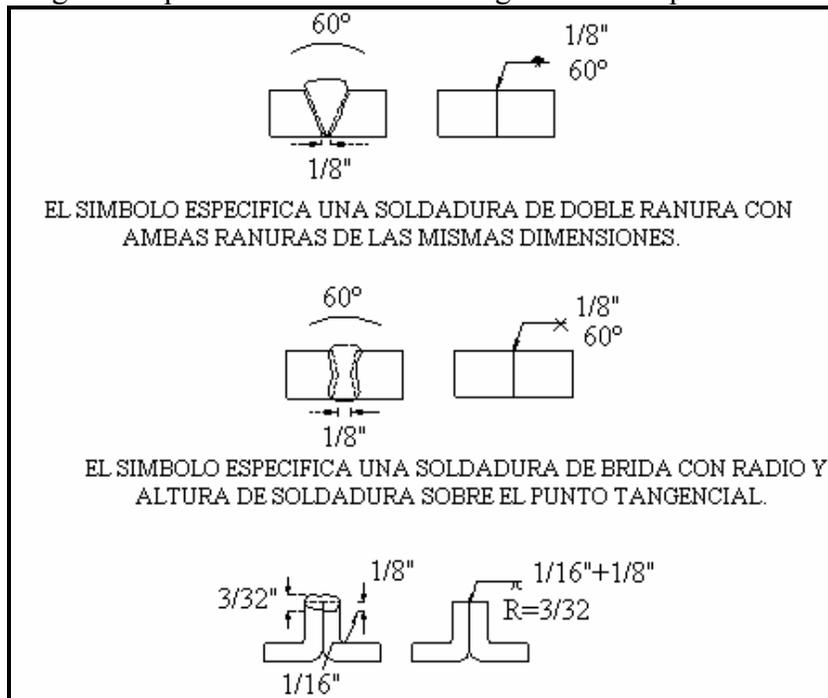


FIGURA.- 3.7.



La figura 3.8, muestra la simbología de una soldadura de penetración en la raíz.

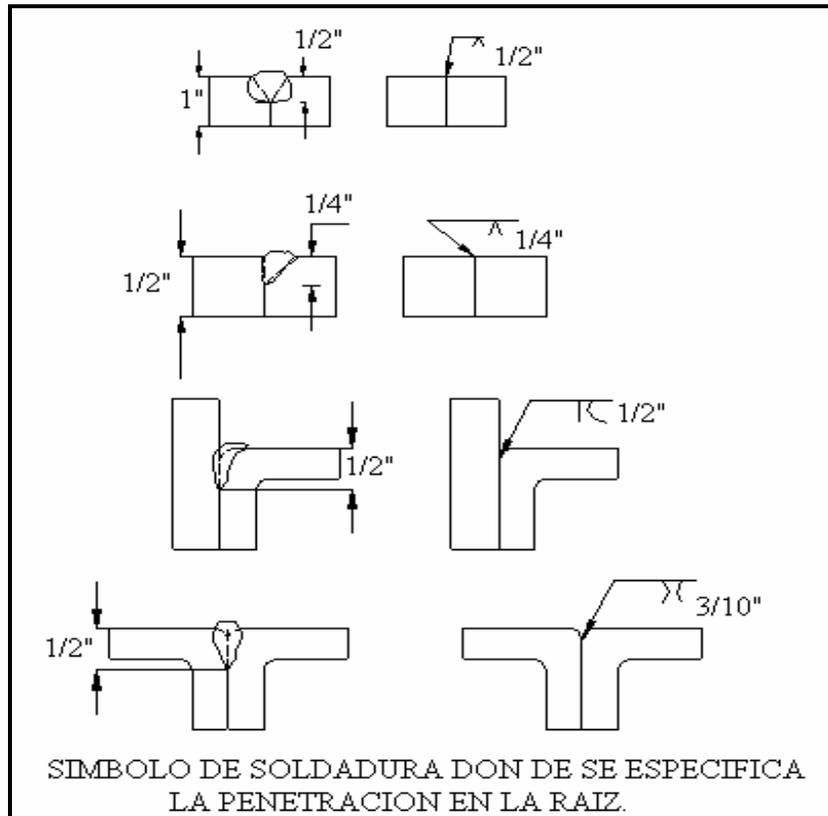


Figura 3.8.



3.4 CLASIFICACIÓN DE LAS SOLDADURAS.

Se tienen diferentes tipos de clasificaciones de soldaduras las cuales en general son:

- A. Por el tipo de soldadura realizada.
- B. Posición de las soldaduras.
- C. Por el tipo de junta.

A. POR TIPO DE SOLDADURA.

Esta clasificación es de acuerdo a la geometría de colocación de soldadura y pueden ser:

- a) Soldadura de filete.
- b) Soldadura de ranura.
- c) Soldadura de tapón.
- d) Soldadura de penetración a tope.

Además existen las soldaduras de muesca que no son muy comunes en el trabajo estructural. En la figura 3.9 podemos observar, la clasificación de soldadura por su tipo.

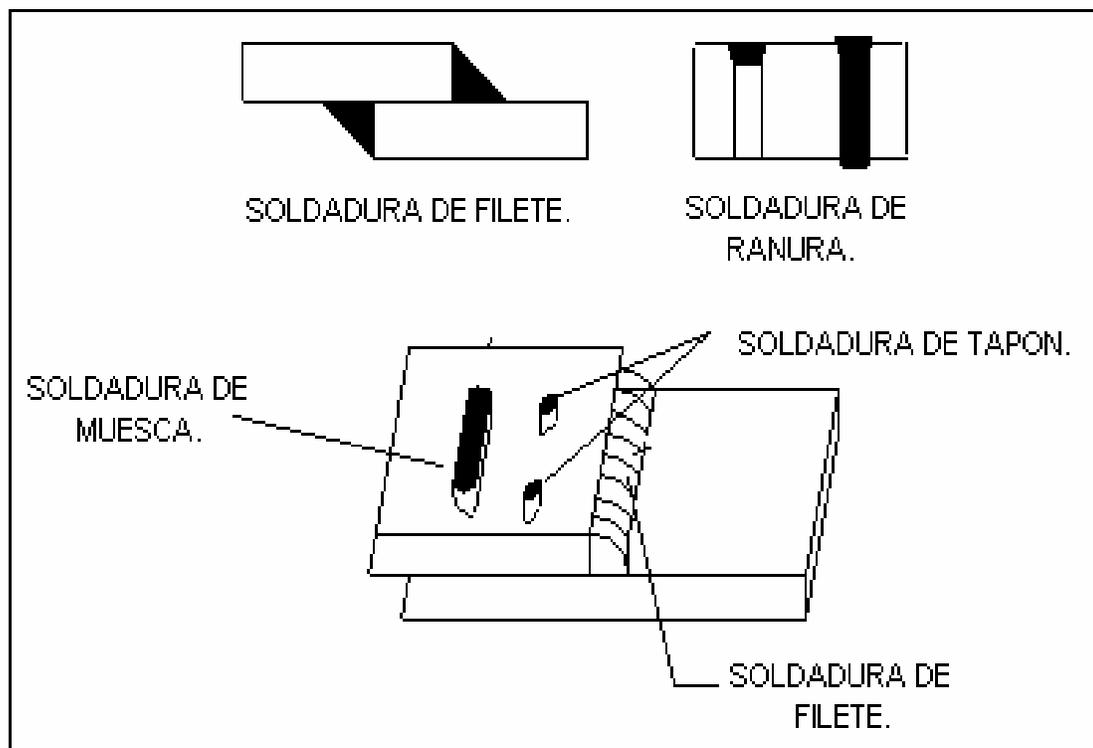


Figura 3.9 Tipos de soldaduras.

a) SOLDADURA DE FILETE.

Este tipo de soldadura ha demostrado ser más débiles que las soldaduras de ranura; sin embargo la mayor parte de las conexiones estructurales se realizan con soldaduras de filete (aproximadamente en un 80 % de los casos).

Las soldaduras de filete se utilizan en los casos en que se puede traslapar los miembros de acero, permitiendo tolerancias mayores en el montaje.

Para realizar un análisis de la soldadura de filete, es necesario basarse en la suposición de que su sección transversal de la soldadura es la de un triángulo rectángulo a 45°, como lo muestra la figura 3.10.

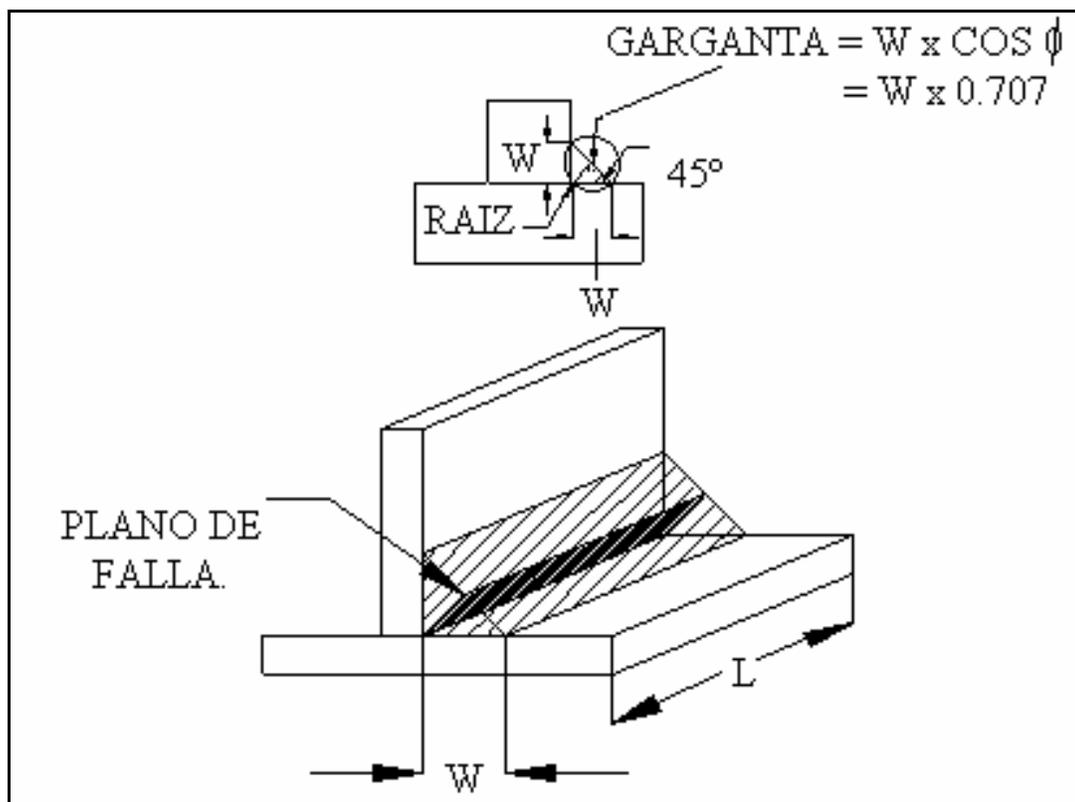


Figura 3.10 Soldadura de filete transversal.



Al realizar cualquier refuerzo, entendiéndose por refuerzo cualquier material agregado fuera de la hipotenusa del triángulo o penetración son despreciados. La dimensión o tamaño de un filete de soldadura se denota por w que representa la longitud de uno de los dos lados iguales de esta sección transversal idealizada.

En la soldadura de filete se manejan tamaños estándar de soldadura las cuales pueden ser cargadas en cualquier dirección en cortante, compresión o ya sea a tensión, es preciso hacer mención que un filete de soldadura es mas débil en cortante y siempre se supone que falla de esta manera.

Esencialmente, se estipula que la falla se debe por cortante sobre un plano a través de la garganta de la soldadura. En soldaduras de filete hechas con el proceso de arco protegido, la garganta es la distancia perpendicular de la esquina o raíz de la soldadura a la hipotenusa y es igual a 0.707 veces el tamaño de la soldadura (el espesor efectivo de la garganta para una soldadura hecha con el proceso de un arco sumergido es mayor).

Al probar una soldadura de filete a ruptura, estas parecen fallar por corte en ángulos aproximadamente de 45° a través de la garganta. Por lo que su resistencia se supone igual al esfuerzo de corte permisible por el área teórica de la garganta de la soldadura. (Ver fig. 3.11).

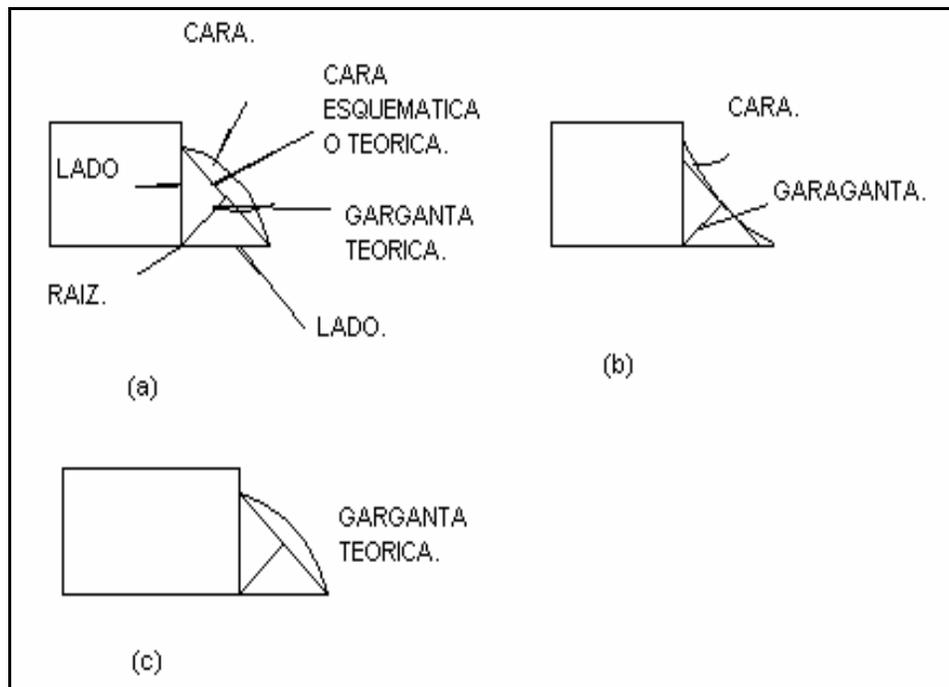


Figura 3.11 Superficie convexa. (b) Superficie convexa. (c) Soldadura de filete de lados desiguales.



Se tiene diferentes valores para soldaduras de filete de lados desiguales. La soldadura de filete de preferencia debe tener una superficie plana o ligeramente convexa, aunque la convexidad de la soldadura no se suma a la resistencia calculada. Esta superficie cóncava podría parecer la forma ideal para la soldadura de filetes, ya que aparentemente los esfuerzos podrían fluir suave y uniformemente alrededor de la esquina con poca concentración de esfuerzo.

Al contraerse un filete cóncavo, en su superficie tiene lugar una tensión que lo tiende a agrietar, en tanto que si es convexa, la contracción no provoca tensión en la superficie exterior, sino al contrario, como la cara se acorta, se produce compresión.

Debe considerarse el detalle con respecto a la forma de las soldaduras de filete, es el ángulo de la soldadura con las piezas que se sueldan. El valor conveniente de este ángulo es aproximadamente de 45°. Para las soldaduras de filete a 45° las dimensiones de los lados son iguales y dichas soldaduras se conocen por la dimensión de sus lados (como soldadura de filete de ¼ plg). En caso de que las dimensiones de los lados sean diferentes para una soldadura (no soldaduras a 45°) se dan las dimensiones de ambos lados para describir la soldadura (como soldadura de filete de ¾ por ½ plg). En la siguiente tabla 3-5, se muestra el tamaño mínimo de la soldadura de filete.

Tabla 3-5.

ESPESOR MÁS GRUESO DE LAS PARTES UNIDAS EN mm.		TAMAÑO MÍNIMO DE LAS SOLDADURAS DE FILETE EN mm.	
Hasta 6 inclusive.	$t \leq \frac{1}{4}$	3	$\frac{1}{8}$ "
Mas de 6 a 13.	$\frac{1}{4} \leq t \leq \frac{1}{2}$	5	$\frac{3}{16}$ "
Mas de 13 a 19.	$\frac{1}{2} \leq t \leq \frac{3}{4}$	6	$\frac{1}{4}$ "
Mas de 19	$t > \frac{3}{4}$	8	$\frac{5}{16}$ "

TAMAÑO MÍNIMO EFECTIVO DE LA SOLDADURA DE FILETE.
TABLA AISC J2.4



b) SOLDADURA DE RANURA (PREPARACIÓN).

Las soldaduras de ranura comprenden alrededor del (15%) de las soldaduras estructurales. Estas son utilizadas cuando los miembros que se conectan están alineados en un mismo plano, el usarlas en cualquier situación implicaría un ensamble perfecto de los miembros por conectar, cosa que lamentablemente no sucede en la estructura común. Debido a esta causa se ha visto a los operadores tirando y golpeando miembros de acero para ubicarlos en una misma posición.

Si se efectúa una penetración completa y las soldaduras de ranura están sujetas a tensión o compresión axial, el esfuerzo en la soldadura se supone igual a la carga, dividida entre el área transversal neta de la soldadura. La figura 3.4 muestra tres tipos de soldadura de ranura. La unión sin preparación a escuadra, mostrada en la parte (a), se utiliza para unir material relativamente delgado, de aproximadamente $\frac{5}{16}$ plg. = 7.9mm de espesor. A medida que el material es mas grueso, se vuelve necesario usar soldaduras de ranura en (V), y de soldaduras de ranura en doble (V) como las ilustradas en las partes (b) y (c) de la figura 3.12, respectivamente.

Es necesario biselar los miembros o preparar los miembros antes de soldarse, para permitir la penetración total de la soldadura.

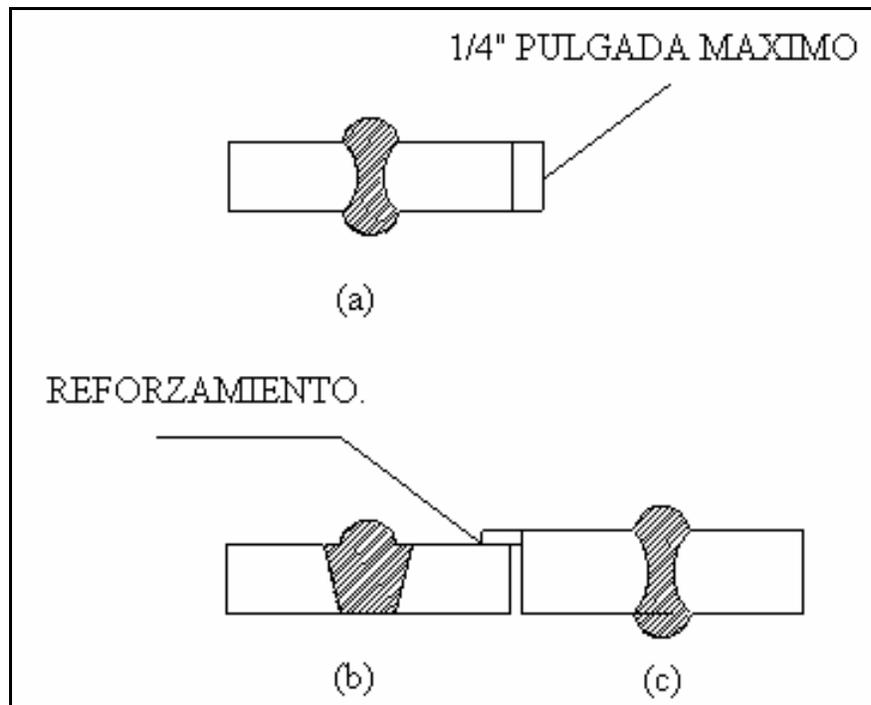


Figura 3.12. Diversos tipos de soldadura de ranura.



Cuando una soldadura de ranura tiene refuerzo, se entiende que tiene un metal de aportación que hace mayor la dimensión de la garganta que la del espesor del material soldado. En función del refuerzo, las soldaduras de ranura se llaman soldaduras de 100%, 125%, 150% etc., según sea el espesor extra en la soldadura. En la siguiente tabla 3-6, se muestra el tamaño mínimo efectivo en una soldadura ranura.

Tabla 3-6 Proporciona el tamaño mínimo efectivo de la garganta en soldaduras de penetración parcial (soldadura a tope) tabla , AISC J2-3

ESPESOR MÁS GRUESO DE LAS PARTES UNIDAS EN MM.		ESPESOR MÍNIMO EFECTIVO DE GARGANTA EN MM.	
Hasta 6 inclusive.	$\frac{1}{4}$ "	3	$\frac{1}{8}$ "
Mas de 6 a 13.	$\frac{1}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ "	5	$\frac{3}{16}$ "
Mas de 13 a 19.	$\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{4}$ "	6	$\frac{1}{4}$ "
Mas de 19 a 38.	$\frac{3}{4}$ " a $1 \frac{1}{2}$ "	8	$\frac{5}{16}$ "
Mas de 38 a 57.	$1 \frac{1}{2}$ " a $2 \frac{1}{4}$ "	10	$\frac{3}{8}$ "
Mas de 57 a 150.	$2 \frac{1}{4}$ " a 6"	13	$\frac{1}{2}$ "
Mas de 150.	Mayor de 6"	16	$\frac{5}{8}$ "

Hay dos razones por la cual se debe tener refuerzo, y estas son:

1. El refuerzo de cierta resistencia extra, porque el metal adicional contraresta los poros y otras irregularidades.
2. La facilidad del soldador al realizar una soldadura un poco más gruesa que el material soldado.

Para el soldador presentaría dificultad, realizar soldaduras perfectamente lisas, sin que hubiera partes ni más gruesas ni más delgadas que el material soldado.

El refuerzo origina soldadura de ranura más fuertes, cuando van a estar sujetas a cargas relativamente estáticas. Sin embargo, cuando la conexión va a estar a cargas repetidas y vibratorias, el refuerzo no resulta tan satisfactorio, ya que la concentración de esfuerzos parece desarrollarse en el refuerzo y contribuye a una falla más rápida. Es recomendable para este tipo de casos, una practica común es suministrar refuerzo y luego rebajarlo enrasándolo con el material conectado.

Enseguida se presentan algunas de las preparaciones necesarias en los bordes, para soldaduras de ranura, se muestran en la figura 3.13. En el inciso (a) se tiene con borde biselado. Cuando se usan estos bordes se presenta el problema de la socavación; esta se puede reducir dándole al bisel una porción recta ver (b) o se utiliza una solera de respaldo como se muestra en (c). Las soleras de respaldo generalmente se hacen a base de placa de cobre de $\frac{1}{4}$ " de espesor.

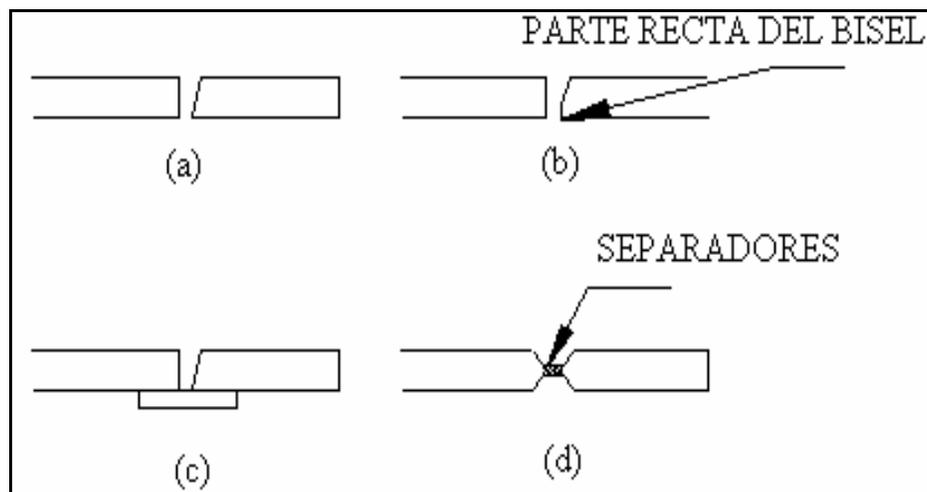


Figura 3.13 Preparaciones en bordes para soldaduras de ranura.

El metal de aportación no se adhiere al cobre y este tiene una muy alta conductividad que resulta útil para remover el exceso de calor y reducir la distorsión. Hay situaciones que se usan respaldos de acero, los que generalmente se dejan para que formen parte de la conexión. Las porciones rectas de los biselados no deben usarse junto con los respaldos, debido al riesgo que se formen bolsas de gas que puedan impedir que se lleve a cabo una penetración completa.

Al usar bordes de doble bisel (d) en ocasiones se introducen separadores para prevenir la socavación; estos se remueven después de soldar por un lado de la junta.

La resistencia al impacto y a esfuerzos repetitivos, y de la cantidad de metal de aporte requerido, se prefieren las soldaduras de ranura o de filete, aunque desde otros puntos de vista no son tan atractivas, por estas causas la mayoría de las soldaduras estructurales son de filete.

La soldadura de ranura presenta esfuerzos residuales más altos y las preparaciones (tales como empalmados y biselado) de los bordes de los miembros por unir, son costosas, teniendo por desventaja la dificultad en la preparación de las piezas para su ensamble en la obra.



B. CLASIFICACIÓN DE LA SOLDADURA POR SU POSICIÓN AL SOLDAR.

La clasificación por posición se refiere a la posición en que se efectúan como:

- a) En una posición plana.
- b) En posición horizontal y vertical.
- c) En la parte superior.

Resultando mas económicas las efectuadas en una posición plana, mientras que las mas costosas son las realizadas en la parte superior. Además realizar soldaduras planas permite al soldador realizarla satisfactoriamente, pero se requiere de muy buenos soldadores para realizar una soldadura en la parte superior.

Aunque las soldaduras planas pueden hacerse automáticamente, gran parte de la soldadura estructural se realiza a mano.

Es importante evitar siempre que se pueda soldar en contra de la fuerza de gravedad, para obtener soldaduras de calidad, y permitir acelerar el proceso, esto a que efectuar soldaduras sobre cabeza puede hacer que los glóbulos de los electrodos fundidos pueden forzarse hacia los cordones de soldadura depositados sobre la parte superior y resultando así buenas soldaduras, pero el proceso puede volverse lento y caro por lo que debe evitarse esta posición siempre que sea posible. Pueden observarse este tipo de soldaduras por medio de la figura 3.14.

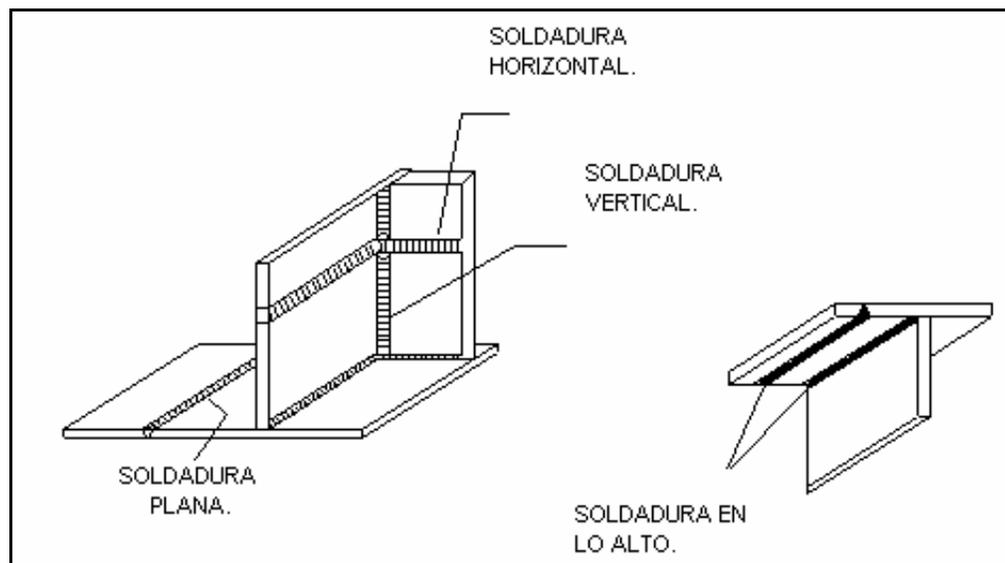


Figura 3.14. Ilustra diversas posiciones de soldadura.



C. CLASIFICACIÓN DE LA SOLDADURA POR EL TIPO DE JUNTA.

Las soldaduras también pueden clasificarse de acuerdo con el tipo de junta usada:

- a) Tope.
- b) Traslapada.
- c) En te de canto.
- d) En esquina etc.

Estos tipos de juntas se muestran en la figura 3.15.

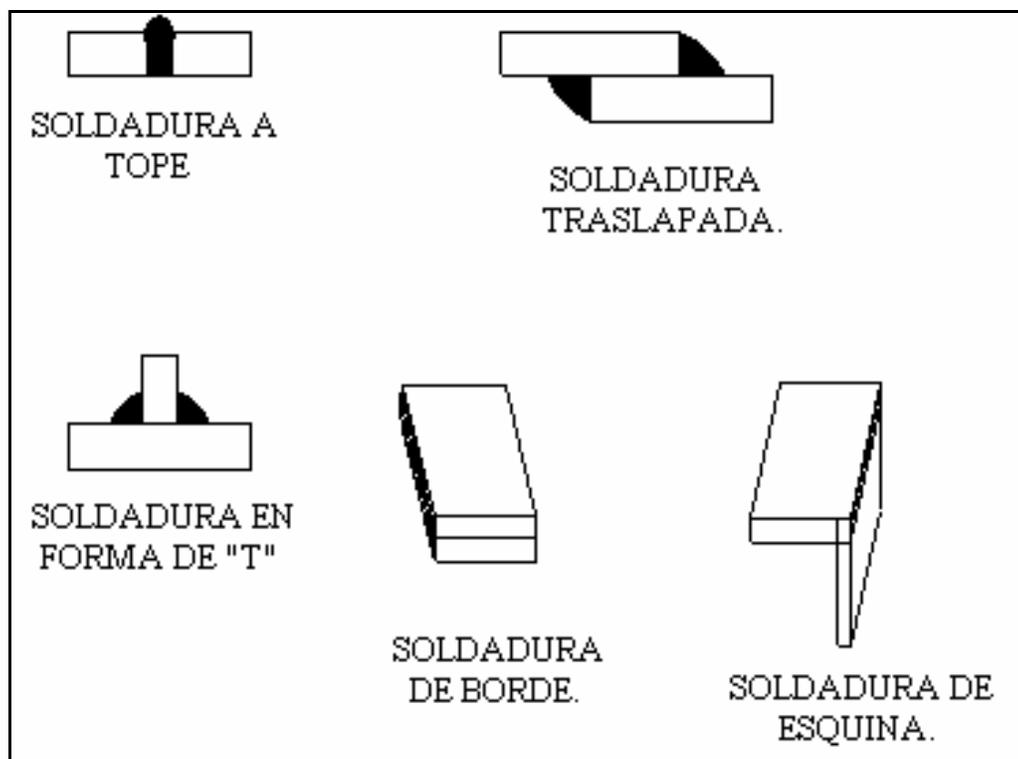


Figura. 3.15. Tipos de juntas.



3.5 INSPECCIÓN DE LAS SOLDADURAS.

Para asegurarse de una buena soldadura en un trabajo determinado, deben seguirse tres pasos:

1. Establecer buenos procedimientos de soldadura.
2. Usar soldadores calificados.
3. Emplear inspectores competentes en taller y en campo.

Cuando se siguen los procedimientos establecidos por la AWS y la AISC para buenas soldaduras y cuando se utilizan los servicios de buenos soldadores (calificados), es seguro que se obtendrán buenos resultados; sin embargo, la seguridad absoluta solo se tendrá cuando se utilicen inspectores capaces y calificados.

Para lograr una buena soldadura existe una serie de factores entre los que pueden mencionarse:

1. La selección apropiada de electrodos.
2. Corriente y voltaje.
3. Propiedades del metal y de aportación.
4. Posición de la soldadura.

Para realizar la verificación y posteriormente la aprobación de las soldaduras existen varios métodos, dentro de los que se pueden mencionar son los siguientes:

3.5.1 INSPECCIÓN VISUAL.

La presencia de un inspector durante el proceso de soldado, es un factor que ayuda a que los soldadores realicen mejor su actividad esto a que ellos consideraran que sabrá apreciar su trabajo al momento de observarlo. Para que una persona llegue a ser un buen inspector, es conveniente que el mismo haya soldado y que haya dedicado bastante tiempo a observar el trabajo de buenos soldadores. En base a esta experiencia, el será capaz de saber si un soldador esta logrando la fusión y penetración satisfactoria.

Un buen inspector debe contar con la capacidad de poder reconocer buenas soldaduras en su forma, dimensiones y apariencia. Un ejemplo, el metal en una buena soldadura se aproximara a su color original después de enfriarse. Si esta se ha calentado demasiado, presentara un tono mohoso o apariencia rojiza. Puede utilizar diversas escalas y escantillones para verificar las dimensiones y formas de la soldadura.

Mediante una buena inspección visual y combinada con la capacidad de la persona que realiza la inspección, dará probablemente una buena indicación de la calidad de las soldaduras, pero no es una fuente de información perfecta por lo que hace a la condición interior de la soldadura.



Existen actualmente diversos métodos para determinar la calidad interna o sanidad de una soldadura. Estos métodos incluyen: tinturas penetrantes y partículas magnéticas, ensayos con ultrasonido y procedimientos radiográficos, los cuales permiten descubrir defectos tales como porosidades, fallas de fusión o presencia de escoria.

3.5.2 LÍQUIDOS PENETRANTES

Existen diversos tipos de tinturas pueden extenderse sobre las superficies de soldaduras; estos líquidos penetraran en cualquier defecto como grietas que se encuentran en la superficie y sean visibles; después de que la tintura ha penetrado en las grietas, se limpia el exceso de esta y se aplica un polvo absorbente, el cual hará que la tintura salga a la superficie y revelara la existencia de la grieta, delineándola en forma visible al ojo humano.

Una variante de este método consiste en usar un líquido fluorescente, que una vez absorbido se hace brillantemente visible bajo al examinarla con luz negra.

3.5.3 PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.

Este proceso consiste en magnetizar eléctricamente la soldadura a inspeccionar, donde los bordes de las grietas superficiales o cercanas a la superficie se vuelven polos magnéticos (norte y sur a cada lado de la grieta) y si se esparce polvo seco de hierro o un líquido con polvo en suspensión, el fantasma magnético es tal que queda detectada la ubicación, forma y aun tamaño de la grieta.

La desventaja que presenta este método es que en un caso de una soldadura realizada con cordones múltiples, el método debe aplicarse para cada cordón.

3.5.4 PRUEBA ULTRASÓNICA.

La aplicación de ultrasonido a la manufactura del acero se ha dado en años recientes, el equipo que se requiere es costoso, el método es bastante útil en la inspección de soldadura.

Este proceso consiste en enviar ondas cónicas a través del material que va a probarse y se reflejan desde el lado opuesto de este; esta onda reflejada es detectada por un tubo de rayos catódicos; esto a que los defectos en la soldadura afectan el tiempo de transmisión del sonido y el operador puede leer el cuadro del tubo, localizar las fallas y conocer que tan importantes son. Es requerimiento pedir interpretación de resultados.



3.5.5 PROCEDIMIENTOS RADIOGRÁFICOS.

Este tipo de procedimiento es costoso, y es utilizado principalmente para verificar soldaduras ocasionales en estructuras importantes. Además permite que se realicen una buena estimación del porcentaje de soldaduras malas en una estructura.

Con el uso de maquinas de rayos X portátiles, donde el acceso no es un problema y el uso de radio cobalto radiactivo para tomar fotografías, son métodos de prueba excelentes pero con la desventaja de ser alto su costo.

Presenta resultados satisfactorios en las soldaduras a tope (por ejemplo; en soldadura de tuberías importantes hechas de acero inoxidable en los proyectos de energía atómica) y para el caso de soldaduras de filete los resultados que arroja no son del todo satisfactorios, esto a que las fotografías tienen un grado de dificultad en su interpretación.

Una desventaja mas de estos métodos es el peligro de la radiactividad, por lo que se requiere de la utilización de procedimientos cuidadosos para proteger tanto a los técnicos como a los trabajadores cercanos. En el trabajo de las construcciones normales, este peligro disminuye con una implementación nocturna, cuando solo unos pocos trabajadores se encuentren cerca del área de inspección. Por lo general se requerirá una estructura muy grande o importante, debido a lo extremadamente costoso del material radiactivo.

Cuando una conexión soldada es realizada correctamente, esta puede resultar mucho más resistente (tal vez 1½ o 2 veces) que las partes conectadas. Como consecuencia, la resistencia real es mucho mayor que la requerida por las especificaciones.

3.6 FALLAS COMUNES EN SOLDADURAS

El uso de una técnica inadecuada o procedimiento en la colocación del material de aportación (electrodo) son medios que conllevan a las fallas en soldaduras, otro medio de origen de una falla es debido a una limpieza incorrecta de la escoria que recubre cada cordón de soldadura antes de depositar, el siguiente cordón de soldadura.

Un medio para reducir la posibilidad de falla es el uso de un calibrador de soldaduras, como el que se ilustra en la figura 3.16.

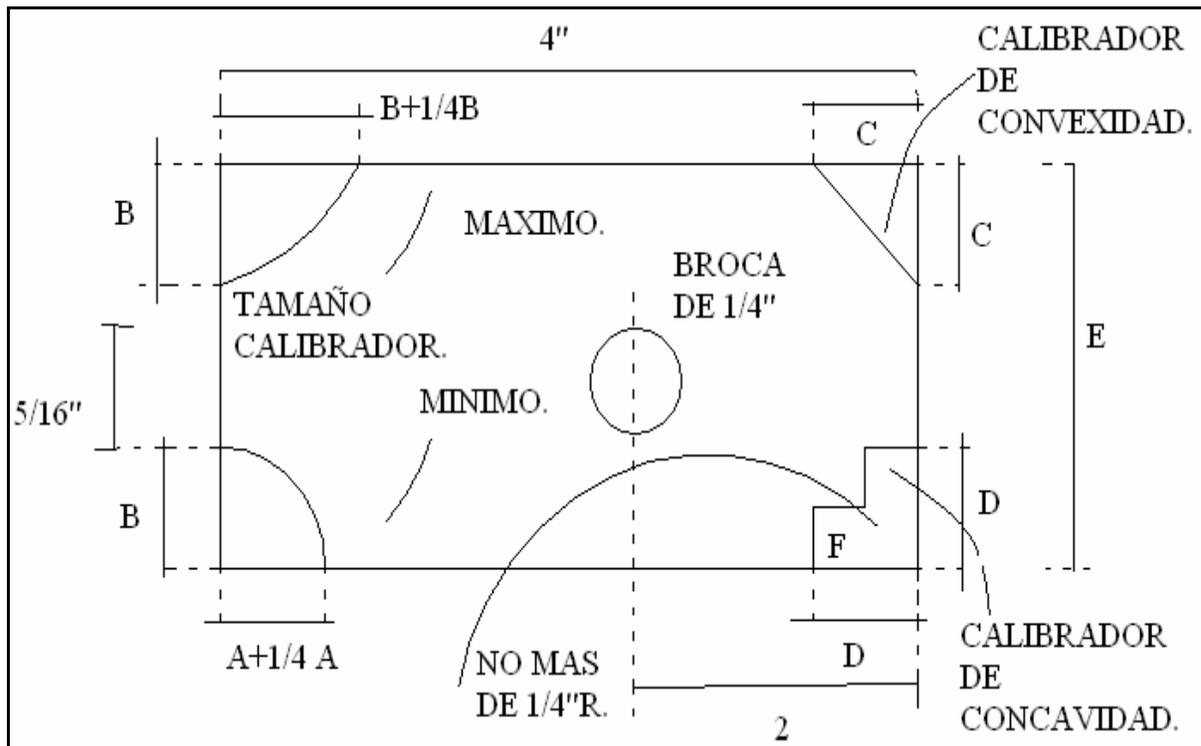


Figura 3.16. Calibrador de soldaduras de filete exclusivamente, el cual permite evitar fallas en la soldadura.



3.6.1 CAUSAS DE DEFECTOS Y POSIBLES CORRECCIONES DE SOLDADURAS FALLADAS.

Se pueden aceptar soldaduras que contengan pequeñas cantidades de poro o inclusiones de escoria de tamaño reducido, las que ocasionan reducciones tolerables en la resistencia estática y en la resistencia a la fatiga de las juntas, pero las inclusiones grandes y angulosas y las concentraciones de escorias o bolsas de gas en áreas reducidas constituyen defectos importantes. (Ver figura 3.17.).

ILUSTRACIÓN DE ALGUNOS TIPOS DE FALLA.

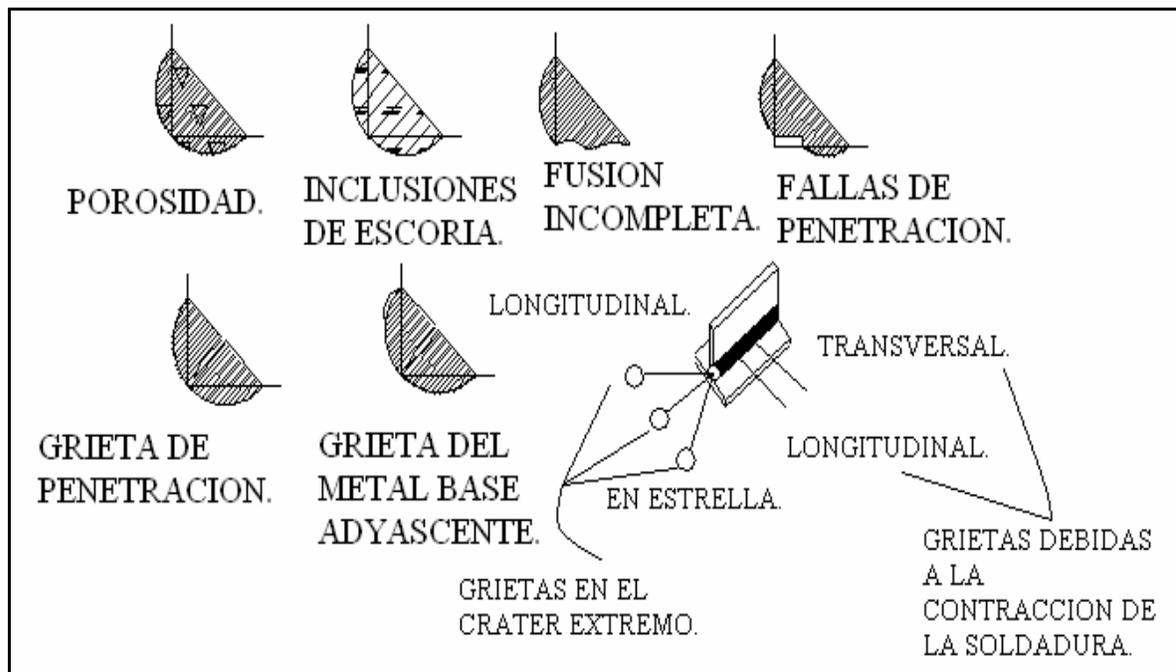


Figura 3.17 Fallas y defectos en la soldadura.



CAUSAS Y CORRECCIONES.

<p>Las causas de la porosidad (P) pueden ser:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Arco corto. 2. Charco insuficiente. 3. Metal base defectuoso. 4. Electrodo inadecuado. 	<p>Correcciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Revisar las impurezas en el metal base. 2. Mantener el charco lo suficiente para eliminar los gases. 3. Usar corriente apropiada. 4. Mover el electrodo en zig-zag. 4.1 Usar el electrodo apropiado. 4.2 Mantener un arco mas largo
<p>Penetración incompleta (F.P) falta de Penetración</p> <p>Causas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mucha velocidad. 2. Electrodo muy grande. 3. Corriente muy baja. 4. Preparación inadecuada. 	<p>Correcciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Usar suficiente corriente para asegurar la penetración. 2. Mover el arco más despacio. 3. Seleccionar el electrodo apropiado. 4. Dejar espacio libre en el fondo.
<p>Soldadura agrietada causas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Electrodo erróneo. 2. Tamaño de la soldadura en desbalance de las piezas. 3. Cordones defectuosos. 4. Preparación ineficiente. 5. Unión rígida. 	<p>Correcciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Precalentar las piezas antes de soldar. 2. Evitar los cordones en cadena. 3. El tamaño de la soldadura debe ser ajustado al tamaño de las piezas.
<p>Fusión incompleta (FF) falta de fusión causas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Velocidad errónea. 2. Preparación defectuosa. 3. Electrodo inapropiado. 4. Selección de corriente errónea. 	<p>Correcciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Escoger cuidadosamente el tamaño y tipo de electrodo. 2. El zig-zag debe ser suficiente para fusionar ambos lados de la punta. 3. La corriente apropiada asegura buen depósito del metal y penetración adecuada. 4. No permitir que el metal depositado sobresalga de los borde

La figura 3.18.- Muestra otros posibles defectos que pueden presentarse en la soldadura.

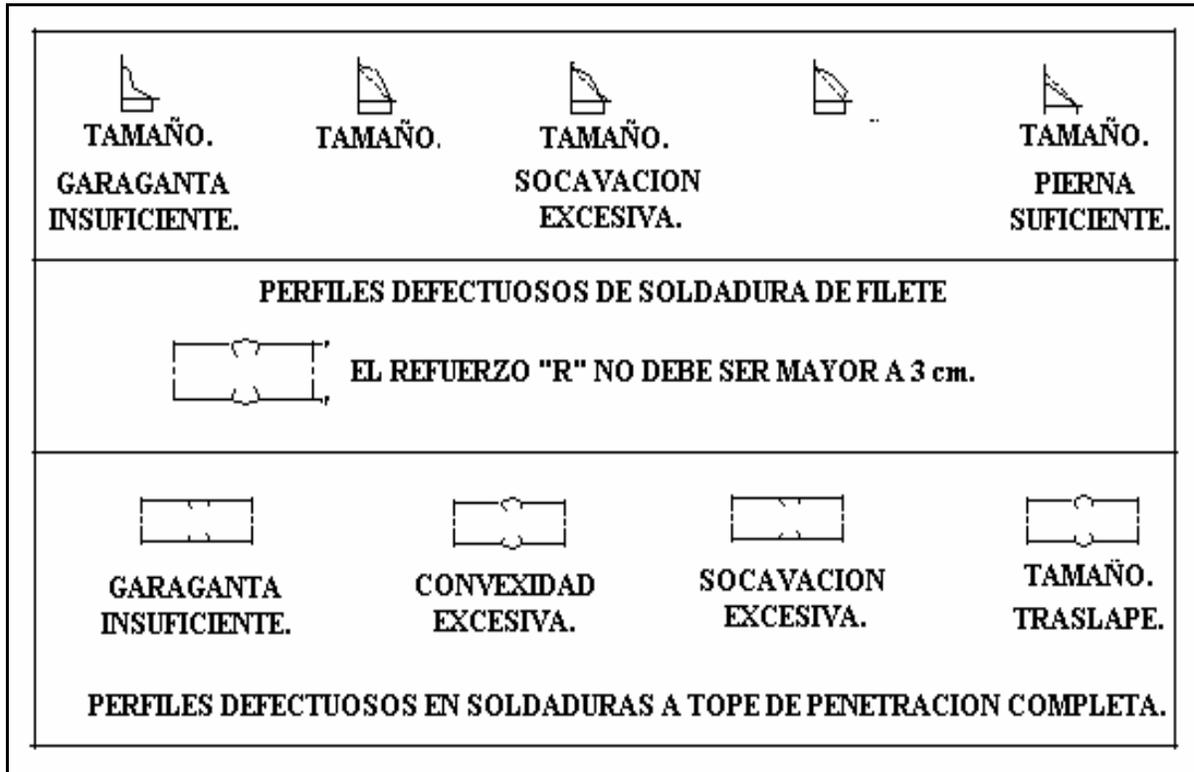


Figura 3.18 Fallas a causa de defectos en los perfiles.

3.6.2 NOMENCLATURA DE DEFECTOS EN SOLDADURA.

<ol style="list-style-type: none"> 1. (CB) Corona baja. 2. (CR)Concavidad en la raíz. 3. (DEL) Doble línea de escoria 4. (DP) Desalineamiento de las placas. 5. (DS) Desalineamiento de la soldadura. 6. (DT) Desalineamiento de los tubos. 7. (IE) Inclusiones de escoria. 8. (LE) Línea de es escoria. 9. (PC) Poro cilíndrico. 10. (PE) Penetración excesiva. 11. (Q) Quemada a través de la raíz 	<ol style="list-style-type: none"> 12. (RC)Rotura de cráter. 13. (RD) Rotura diagonal. 14. (RE) Refuerzo excesivo. 15. (RL)Rotura longitudinal. 16. (RP) Rotura de placa. 17. (RT) Rotura transversal. 18. (S) Socavado en la orilla de la soldadura. 19. (SC) Socavadura entre cordones. 20. (Socavado interno en uno o ambos lados del primer cordón. 21. (SP) Socavadura en la placa.
---	--



3.6.3 FALLAS EN CUANTO AL SOLDADOR

Este medio de falla, se da por la falta de experiencia del soldador, puede llegar a presentarse por alguna equivocación del mismo, al momento de la elección de la soldadura a depositar.

Otra causa es el empleo de un electrodo no correspondiente al indicado. Las fallas de este tipo se deben a distracciones del soldador al momento de efectuar su trabajo.



3.7 RECOMENDACIONES LRFD (DFCR) APLICABLES A LA SOLDADURA.

El LRFD solicita en las soldaduras que el material del electrodo tenga las mismas propiedades del metal base. Con la finalidad de que las propiedades sean comparables y por tanto el metal de aportación sea compatible con el metal base. Ver tabla J2.3 de las especificaciones LRFD.

La resistencia de diseño de una soldadura específica se toma como el menor de los valores $\phi = F_w$; donde F_w ; es la resistencia nominal de la soldadura. Y ϕF_{BM} ; donde ϕF_{BM} ; es la resistencia nominal del metal base.

Para las soldaduras de filete la resistencia nominal por esfuerzos en el área efectiva de la soldadura es $0.60 F_{EXX}$; donde F_{EXX} ; es la resistencia por clasificación del metal base, y ϕ es igual a 0.75.

Si se tiene tensión o compresión paralela al eje de la soldadura, la resistencia nominal del metal base es:

$$F_y \text{ y } \phi = 0.90 \dots\dots\dots \text{EC. 3.1}$$

La resistencia de diseño por cortante de los miembros conectados es:

$$\phi F_n A_{nS} \dots\dots\dots \text{EC.3.2}$$

Donde:

$$\phi = 0.75$$

$$F_n = 0.60$$

F_U Y A_{ns} ; Son el área neta sujeta a cortante.

Los electrodos para la soldadura por arco protegido se designan como E60XX, E70XX, etc. En este sistema de clasificación la letra E significa electrodo y los dos primeros dígitos (60 o 70) indican la resistencia mínima a la tensión de la soldadura en Kg./cm.²

Los dígitos restantes designan la posición para soldar, corriente, polaridad, etc., que es información necesaria para el empleo correcto de un electrodo específico.

Es importante señalar que además de los esfuerzos nominales dados en la tabla J2.3 de las especificaciones LRFD, existen otras recomendaciones del LRFD aplicables a la soldadura; algunas de las más importantes se indican en las especificaciones generales para soldadura.



3.8 CAPACIDAD DE CARGA EN SOLDADURAS.

La capacidad de carga de una soldadura será el menor valor de ϕF_{BM} y $\phi F_W A_W$, cuando sea aplicable. Los valores de ϕ , F_{BM} , y F_W y sus limitaciones se proporcionan en tabla J2.5 en donde:

Donde:

F_{BM} = Capacidad nominal del material base, en $\frac{Kg.}{cm^2}$.

F_W = Capacidad nominal del material del electrodo usado en soldadura, en $\frac{Kg.}{cm^2}$.

A_{BM} = Área transversal del material base, $\frac{Kg.}{cm^2}$.

A_W = Área efectiva de la soldadura, en cm^2 .

ϕ = Factor de resistencia.

Las siguientes tablas proporcionan valores de diseño para diversas clasificaciones de soldadura.

La tabla 3-7 proporciona la resistencia última de soldadura, del tipo filete por cm.

Tabla 3-7

DIÁMETRO		E-60XX	E-70XX
PULGADAS.	mm.	(Kg.)	(Kg.)
1/8"	3	427	498
3/16"	5	641	747
1/4"	6	854	996
5/16"	8	1068	1246
3/8"	9	1280	1496
1/2"	13	1708	1993
5/8"	16	2136	2492



La tabla 3-8 proporciona la resistencia última de soldadura, de penetración completa por cm.

Tabla 3-8

DIÁMETRO		E-60XX	E-70XX
PULGADAS.	mm.	(Kg.)	(Kg.)
1/8"	3	644	752
3/16"	5	967	1128
1/4"	6	1289	1504
5/16"	8	1611	1880
3/8"	9	1934	2256
1/2"	13	2577	3007
5/8"	16	3222	3759

La tabla 3-9 proporciona la resistencia última de soldadura, de penetración parcial fuerza normal por cm.

Tabla 3-9

DIÁMETRO		E-60XX	E-70XX
PULGADAS.	mm.	(Kg.)	(Kg.)
1/8"	3	644	752
3/16"	5	967	1128
1/4"	6	1289	1504
5/16"	8	1611	1880
3/8"	9	1934	2256
1/2"	13	2577	3007
5/8"	16	3222	3759



La tabla 3-10 proporciona valores de resistencia última de soldadura, penetración parcial fuerza paralela por cm.

Tabla.- 3-10

DIÁMETRO		E-60XX	E-70XX
PULGADAS.	mm.	(Kg.)	(Kg.)
1/8"	3	604	705
3/16"	5	906	1057
1/4"	6	1208	1410
5/16"	8	1510	1762
3/8"	9	1813	2116
1/2"	13	2416	2819
5/8"	16	3020	3524



3.9 ESPECIFICACIONES GENERALES PARA SOLDADURA.

1. **La longitud mínima.** de una soldadura de filete no debe ser menor de 4 veces la dimensión nominal del lado de la soldadura.

$$L_{min.}=4D$$

Donde:

D= Dimensión de la soldadura.

Esta limitación no es severa, pero si esta longitud no esta disponible, una longitud mas corta puede emplearse si el tamaño efectivo de la soldadura se toma como un cuarto de su longitud. Ver figura 3.19.

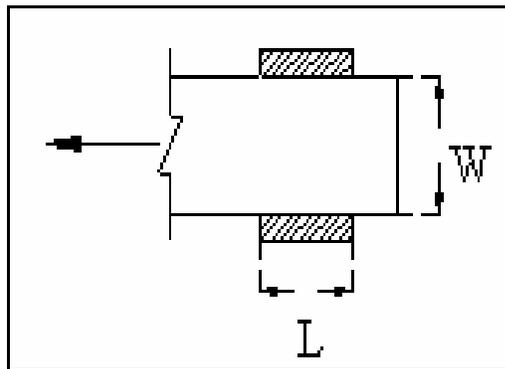


Figura.- 3.19 Muestra la longitud mínima de soldadura.

2. **El tamaño máximo.** de una soldadura de filete a lo largo del material con espesor menor de $\frac{1}{4}$ " (6 mm) será de $\frac{1}{16}$ " (1.6mm). Para material mas grueso el espesor de la soldadura no debe ser mayor que el espesor del material menor a menos que se arregle especialmente para dar el espesor completo de la garganta.
3. **Los filetes permisibles, mínimos.** según LRFD se dan en la tabla 3-11, (tamaño mínimo para soldaduras de filete). El tamaño mínimo practico es $\frac{1}{8}$ ", y mas económico entre $\frac{1}{4}$ " o $\frac{5}{16}$ " que es la máxima que puede hacerse en una pasada.
4. **En remates de extremo.** cuando una soldadura se extiende hasta el extremo de un miembro, ella debe prolongarse alrededor de la esquina, como se muestra en la figura (3.20), la razón de esta prolongación, llamada remate de extremo, es principalmente la de evitar las concentraciones de los esfuerzos y garantizar que el esfuerzo de la soldadura se mantenga en toda su longitud.



El remate debe ser de por lo menos dos veces el tamaño de la soldadura. La longitud de un remate puede ser incluido en el calculo de la capacidad de carga o puede de manera conservadora, ser despreciada.

Las soldaduras pequeñas son, en general, mas baratas que las grandes. El tamaño máximo que puede hacerse con un solo pase de electrodo es de aproximadamente, 5/16 de pulgada y los pases múltiples incrementan el costo. Además para una capacidad de carga dada, aunque una soldadura pequeña debe hacerse mas larga, una soldadura mayor y más corta requerirá más volumen de metal de aportación.

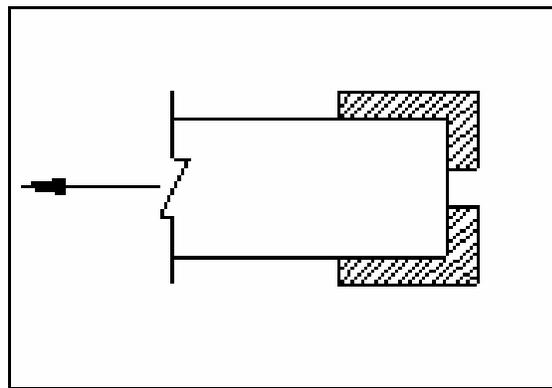


Figura.- 3.20 Muestra un remate de esquina.

La tabla 3-11 proporciona los tamaños mínimos para las soldaduras de filete.

Tabla 3-11 J-2.4

Espesor del material de la parte unida con mayor espesor (plg.)	Tamaño mínimo de la soldadura de filete ^a (Plg.)
Hasta 1/4 inclusive.	1/8
Mayor de 1/4, hasta 1/2 inclusive.	3/16
Mayor de 1/2, hasta 3/4 inclusive.	1/4
Mayor de 3/4.	5/16



La tabla 3-12 o J2.5 proporciona las resistencias nominales de varios tipos de soldaduras: filete, de tapón, de muesca, de ranura con penetración completa y parcial.

Tipos de soldadura y fuerza.	Material.	Factor ϕ de resistencia.	Resistencia nominal F_{BM} o F_W .	Resistencia requerida en la soldadura. (b,c)
Soldadura de ranura con penetración completa.				
Tensión normal al área efectiva.	Base	0.90	Fy	Deben usarse electrodos compatibles con el metal base.
Compresión normal al área efectiva.	Base	0.90	Fy	Pueden usarse electrodos con resistencia igual o menor al de, metal base.
Tensión o compresión paralelas al eje de la soldadura.				
Esfuerzo de corte en el área efectiva.	Base	0.90	0.60Fy	
	Electrodo de soldadura.	0.80	$0.60F_{EXX}$	
Soldadura de ranura con penetración parcial				
Compresión normal al área efectiva.	Base	0.90	Fy	Puede utilizarse un metal de soldadura con un nivel de resistencia igual o menor que de un "acople perfecto".
Tensión o compresión paralelas al eje de la soldadura	Base electrodo de soldadura.	0.75	(e) $0.60F_{EXX}$	
Esfuerzo de corte en el área efectiva.	Base	0.90	Fy	
Tensión normal al área efectiva.	Electrodo de soldadura	0.80	$0.60F_{EXX}$	
Soldadura de filete.				
Esfuerzo en el área efectiva.	Base electrodo de soldadura.	0.75	(f) $0.60F_{EXX}$	Puede utilizarse un metal de soldadura con un nivel de resistencia igual o menor que de un "acople perfecto".
Tracción o compresión paralelas al eje de la soldadura.	Base.	0.90	Fy	
Soldadura de tapón y de caja.				
Esfuerzo cortante paralelo a las superficies unidas (sobre el área efectiva).	Base electrodo de soldadura.	0.75	(e) $0.60F_{EXX}$	Puede utilizarse un metal de soldadura con un nivel de resistencia igual o menor que de un "acople perfecto".



3.10 CONEXIONES SOLDADAS A CORTANTE.

Al diseñar vigas con conexiones soldadas, sujetas a fuerzas cortantes deberán considerarse dos aspectos de importancia:

1. El primer aspecto refiere a que si se requiere una conexión rígida o semi-rígida, es recomendable emplear soportes flexibles que permitan la rotación como apoyo simple del extremo de la viga.
2. El segundo caso que debe ser considerado es si el detalle más simple compatible con los requerimientos de flexibilidad será la mejor solución.

Las conexiones totalmente soldadas o una combinación de soldadura de taller y tornillos de campo, da como resultado detalles más simples que los correspondientes a la conexión atornillada. El desarrollo de conexiones soldadas especiales frecuentemente da como resultado un ahorro en el material y consecuentemente una economía en el costo de las conexiones.

Sin embargo, hay algunas reglas, prácticas recomendables, especificaciones y juicios que aplicar y que deberían ser considerados al diseñar conexiones soldadas, algunas de estas son:

- 1) La longitud del ángulo deberá ser compatible con el peralte de la viga. La longitud máxima es la distancia T menos una longitud que proporcionara suficiente espacio para soldar a lo largo de los bordes superior e inferior de los ángulos. La longitud mínima es la mitad de la dimensión T .
- 2) En caso de existir varias alternativas que satisfacen los requerimientos para la capacidad de la soldadura y la longitud del ángulo, se deberá considerar el siguiente criterio:
 - a) Evitar cuando sea posible soldadura mayor de 8 mm de espesor ya que estas requieren más de una pasada para su realización.
 - b) Es recomendable generalmente usar los ángulos de menor tamaño para efectuar la conexión y menor longitud de soldadura. Si hay una repetición muy grande de la misma conexión es más aconsejable realizar un estudio de costo evaluando todos los factores.



- 3) Cuando se tenga agujeros para tornillos en combinación con soldaduras, los ángulos de conexión se ubicaran en la viga o en el soporte de acero alineando sus líneas de gramil a ellos. Cuando se utilizan ángulos de conexión con soldadura de campo o taller, deberán darse las dimensiones de los agujeros en las alas de los ángulos para los tornillos empleados en el montaje.
- 4) Usualmente se proporcionan agujeros para los tornillos de montaje en los ángulos de conexión. Normalmente se utilizan dos tornillos para soportar la carga muerta de la viga. Los tornillos adicionales sirven para dos propósitos: se colocan para la contingencia de grandes cargas temporales durante el montaje y ayudan a jalar y ajustar los ángulos de conexión al alma de la viga de soporte antes de soldar. Se recomienda tener al menos dos tornillos de montaje para ensamblar ángulos de mas de 30 Cm. De longitud, cuatro tornillos para ensamblar ángulos de mas de 45 Cm. Y seis tornillos para ensamblar ángulos más largos. Teóricamente, esto proporciona la mayor flexibilidad posible cerca de la parte superior de la conexión donde se espera que los ángulos se flexionen lejos del miembro de soporte. Sin embargo, esta práctica no asegura un ajuste exacto del ángulo antes de soldar.
- 5) Es recomendable omitir pintar en áreas donde existen soldaduras de campo. Por especificación A.I.S.C. se establece que al menos que se pida de otra forma en los planos y especificaciones, las superficies que se ubiquen dentro de los 5 Cm. Próximos a cualquier soldadura de campo estén libres de de materiales que podrían efectuar una soldadura adecuada o produzcan humos considerables mientras se esta soldando. Este requerimiento de no pintar no es aplicable a soldaduras de taller, ya que esta actividad se hace normalmente después de que las soldaduras son efectuadas.
- 6) En traves recortadas con ángulos ensamblados deberán se analizadas para la capacidad resistente de la soldadura efectiva VS. La capacidad del bloque a cortante del alma de la trabe.

3.11 CONEXIONES SOLDADAS SUJETAS A FLEXIÓN.

En base a las ilustraciones mostradas en la figura 3.21 y 3.22(b) las cuales muestran una soldadura sometida a una combinación de cortante y flexión.

Para soldaduras cortas de este tipo, la práctica usual es considerar una variación del esfuerzo cortante. No obstante, si el esfuerzo de flexión esta dado por la formula de la flexión, el cortante no varia uniformemente para soldaduras verticales, sino como una parábola con un valor máximo igual a $1\frac{1}{2}$ veces el valor promedio. Este esfuerzo y las variaciones del cortante se muestran en la figura 3.23.

El lector notara que los esfuerzos al cortante máximo y los esfuerzos máximos por flexión ocurren en lugares diferentes. Es probable, por lo tanto, que no se requiera combinar los dos esfuerzos en un punto. Si la soldadura es capaz de resistir por separado el esfuerzo cortante y por momento mas desfavorable, probablemente es satisfactoria.

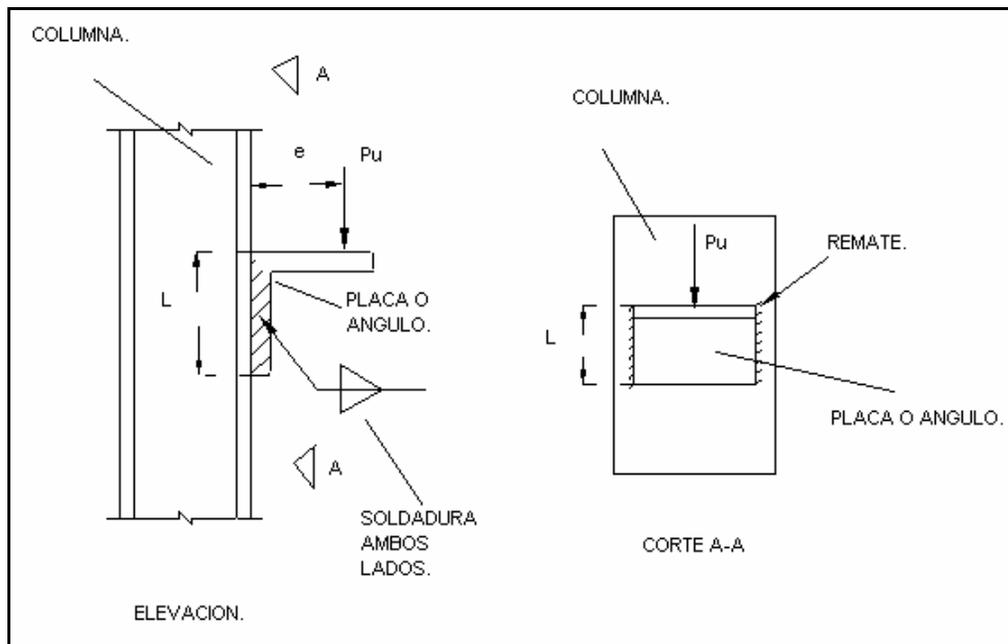


Figura 3.21 Combinación de cortante y flexión.

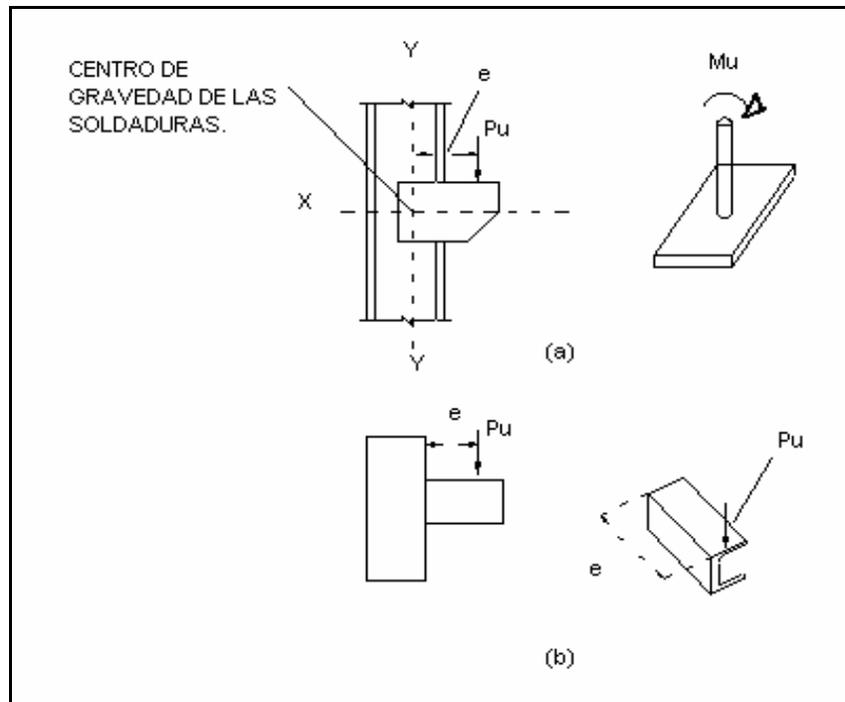


Figura 3.22.- a) Soldaduras sometidas a cortante y torsión. b) Soldaduras sometidas a cortante y flexión.

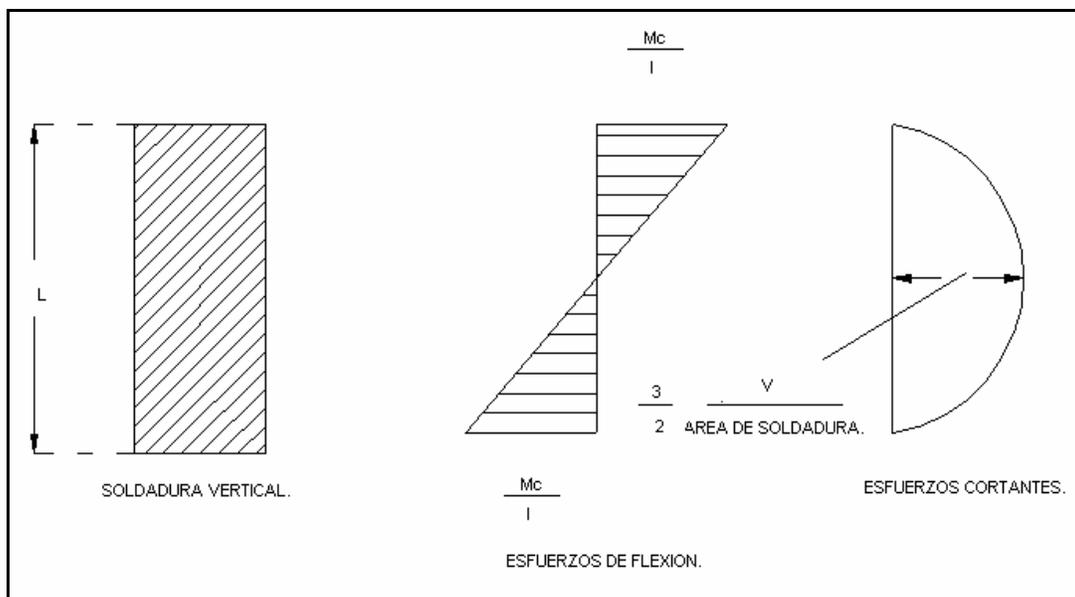


Figura 3.23 Variación de cortante.



3.12 SOLDADURAS SUJETAS A CORTANTE Y TORSIÓN.

Una soldadura de filete si es sometida cotidianamente a la acción de cargas aplicadas excéntricamente, queda sujeta, ya sea a cortante y torsión, o bien a cortante y flexión. La figura 3.22(a) y (b) muestra las dos situaciones respectivamente.

El cortante y la torsión, se observan en la parte (a), mientras que el cortante y la flexión, se pueden observar en la parte (b).

Las especificaciones LRFD proporcionan las resistencias de diseño permisibles de las soldaduras, pero no especifican un método de análisis para estas cuando están cargadas excéntricamente. Se hará mención brevemente del método elástico, el cual permite calcular el cortante y torsión de una soldadura.

3.12.1 MÉTODO ELÁSTICO.

Este método tiene la característica de proporcionar valores conservadores. En este método la fricción o resistencia al deslizamiento entre las partes conectadas se ignora y estas se suponen totalmente rígidas.

Basándonos en la ménsula presentada en la figura 3.22 (a). Las piezas conectadas se suponen, completamente rígidas, como si fueran conexiones remaches. Teniendo como hipótesis que toda la deformación ocurre en la soldadura. La soldadura esta sujeta a una combinación de cortante y torsión, como lo estaba el grupo de remaches, cargados excéntricamente

La torsión que se genera produce un esfuerzo que se puede obtener con la siguiente expresión:

$$f = \frac{Td}{J} \dots\dots\dots \text{EC. 3.3}$$

Donde:

- T = Es el par de torsión.
- d = Es la distancia del centro de gravedad de la soldadura al punto
Que se considera.
- J = Es el momento polar de inercia de la soldadura.

Es recomendable descomponer la fuerza en sus componentes horizontal y vertical. Para las siguientes expresiones, h, v indican las proyecciones horizontal y vertical de la distancia d. Las cuales tienen una gran similitud a las utilizadas para la determinación de esfuerzos en remaches sujetos a torsión).

$$f_h = \frac{Tv}{J} \quad ; \quad f_v = \frac{Th}{J} \dots\dots\dots \text{ECS. 3.4 y 3.5}$$

Las componentes están combinadas con el esfuerzo directo de corte usual, que se considera igual a la reacción dividida entre la longitud total de las soldaduras. Para diseñar una soldadura sujeta a corte y torsión es conveniente considerar una soldadura con esa dimensión. Si la soldadura considerada estuviera sobreesforzada es conveniente una soldadura menor.



Aunque los cálculos podrían, dentro de toda posibilidad, mostrar que la soldadura este sobre esforzada o sub-esforzada, no se tiene que estar repitiendo el proceso matemático para encontrar la dimensión de la soldadura para la cual la carga produce un esfuerzo igual al permisible. El lector notara que el uso de la soldadura de 1 cm. simplifica las unidades, porque 1 cm. de longitud de soldadura, es 1 cm. cuadrado de soldadura y los esfuerzos calculados pueden expresarse tanto en Kg./cm.² o Ton./cm. de longitud. Si los cálculos se basaran en alguna otra dimensión diferente a la unidad de soldadura, se deberá tener mucho cuidado de conservar las unidades correctas, sobre todo al tener dimensión final de soldadura. Para simplificar aun más los cálculos, las soldaduras se suponen localizadas en los bordes a lo largo de los cuales se colocan los filetes, y no en los centros de sus gargantas efectivas. Como las dimensiones de la garganta son pequeñas esta suposición cambia muy poco los resultados.



TEMA 4 CONEXIONES ATORNILLADAS Y SOLDADAS CARGADAS EXCÉNTRICAMENTE.

4.0 INTRODUCCIÓN.

En el caso de conexiones excéntricas la resultante generada por las cargas aplicadas no pasa por el centro de gravedad de los sujetadores o soldadura. Cuando la conexión cuenta con un plano de simetría, se considera al centroide del área de corte de los tornillos se utiliza como un punto de referencia, y la distancia perpendicular de la línea de acción de la carga al centroide se le denominara excentricidad. En muchas ocasiones se desprecia la excentricidad en las conexiones por considerarse un valor pequeño. Esta determinación se basa en el criterio del diseñador.

En las especificaciones LRFD podemos obtener valores que nos permiten calcular resistencias de diseño para tornillos en esta condición, pero no proporcionan o especifican un método de cálculo de fuerzas en los sujetadores, cuando estos son cargados de forma excéntrica. Por lo cual el método de análisis utilizado queda a criterio del proyectista.

En el pasado este problema se ha manejado considerando la hipótesis de que la respuesta carga-deformación de los tornillos es elástica, y de que no se excede el límite de proporcionalidad del material. Sin embargo, se ha demostrado que la relación carga-deformación de un tornillo individual no es elástica y que no posee un esfuerzo cortante bien definido.

El método comúnmente utilizado para el diseño de los grupos de tornillos cargados excéntricamente se basa en la suposición de que estos se comportan de manera elástica, esto es, que la resistencia de cada uno de ellos es proporcional a su distancia al centro de rotación.

Se introduce un aspecto empírico en este procedimiento al aceptar que la excentricidad real del grupo de tornillos puede reemplazarse por una excentricidad efectiva. Este valor reducido se utiliza para proporcionar una carga permisible menos conservadora y más realista para la conexión. En la actualidad existen varios métodos generales que permiten efectuar un análisis para conexiones cargadas excéntricamente, a continuación se dan dos criterios para el diseño de este tipo de conexiones.

1. **Método elástico.** Este método es conservador ya que ignora la fricción o la resistencia al deslizamiento entre las partes conectadas. Y además considera que las partes conectadas son completamente rígidas.
2. **Método de resistencia última.** El método proporciona valores compatibles con los obtenidos en pruebas, teniendo la desventaja de ser muy tedioso.

En las especificaciones LRFD podemos encontrar unas tablas que tienen aplicación para conexiones cargadas excéntricamente, las cuales están basadas en el método de resistencia última, facilitando la solución de la mayor parte de este tipo de problemas.



4.1 CONEXIONES EXCÉNTRICAS ATORNILLADAS A CORTANTE.

Dada la gran variedad de conexiones en estructuras metálicas en muchas ocasiones las conexiones son excéntricas de los casos más comunes, son por ejemplo: las ménsulas.

La conexión de la ménsula de la columna mostrada en la figura 4.1 es un ejemplo de conexión atornillada sometida a un cortante excéntrico. Existen dos formas de solución para este problema: uno es mediante la aplicación del método tradicional.

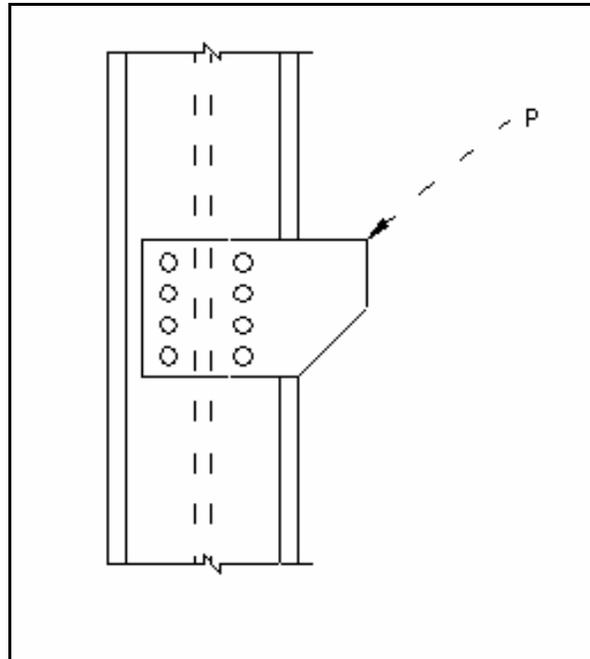


Figura 4.1 Conexión atornillada sometida a corte excéntrico.

MÉTODO DEL ANÁLISIS ELÁSTICO.

Para explicar este método nos basaremos en la figura 4.2 (a), que muestra las áreas de corte de los sujetadores y las cargas se muestran separadas de la columna y de la placa de la ménsula. La carga excéntrica P puede remplazarse por la misma carga al actuar aplicada en el centroide más el par $M = Pe$, donde “e” es la excentricidad. Si efectuamos este reemplazo, la carga será concéntrica y se puede suponer que cada sujetador resiste una porción igual de la carga, dada por $P_c = P / n$, donde n = al numero de sujetadores. Para las encontrar las fuerzas en los sujetadores resultantes del par pueden hallarse considerando los esfuerzos cortantes en los sujetadores son el resultado de la torsión de una sección transversal constituida por las áreas transversales de los sujetadores. Al hacer dicha suposición, el esfuerzo cortante en cada sujetador se encuentra con la formula de torsión:

$$f_v = \frac{Md}{J} \dots\dots\dots \text{EC.4.1}$$

Donde:

d = Es la distancia del centroide del área al punto donde se esta calculando el esfuerzo.

J = Es el momento polar de inercia del área respecto al centroide.

f_v = Es el esfuerzo perpendicular a d .

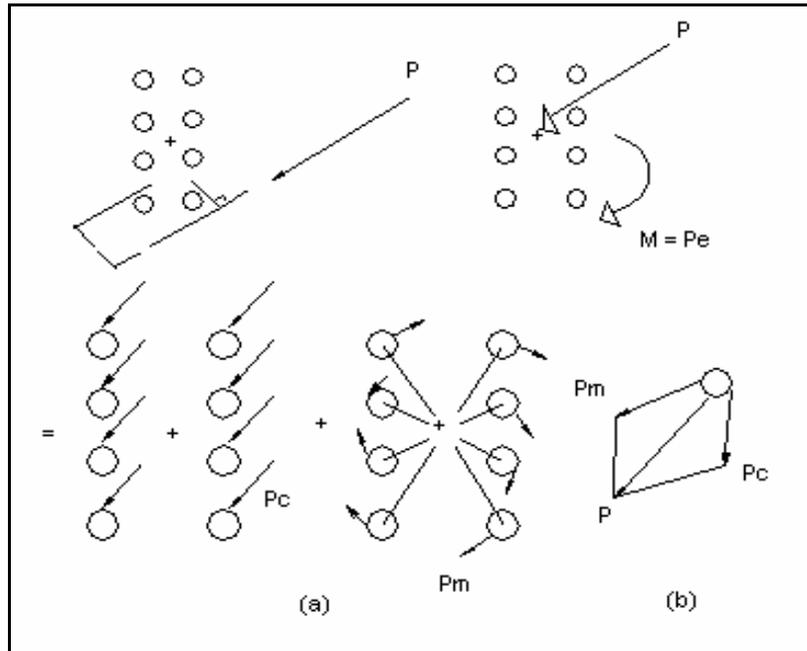


Figura 4.2.- (a) Áreas de corte y las cargas.

Empleando el teorema de los ejes paralelos y despreciando el momento polar de inercia de cada área circular respecto a su propio centroide, J para el área total puede aproximarse como:

$$J = \sum Ad^2 = A \sum d^2 \dots\dots\dots \text{Ec.4.2}$$

Siempre que todos los sujetadores tengan la misma área. La ecuación de torsión puede entonces escribirse como:

$$f_v = \frac{Md}{A \sum d^2} \dots\dots\dots \text{Ec.4.3}$$

Y la fuerza cortante en cada sujetador causada por el par es:

$$P_m = Af_v = A \frac{Md}{A \sum d^2} = \frac{Md}{\sum d^2} \dots\dots\dots \text{Ec.4.4}$$



Las dos componentes de fuerza cortante así determinadas pueden sumarse vectorialmente para obtener la fuerza resultante “p”, como se muestra en la figura 4.2 (b), donde el sujetador inferior derecho se usa como ejemplo. Una vez determinada la resultante máxima, se procede a elegir el tamaño del sujetador que resista esta fuerza. En algunas ocasiones no es posible encontrarse el sujetador crítico por inspección por lo que se requiere hacer cálculos de varias fuerzas.

Es recomendable trabajar en general con las componentes rectangulares de la fuerzas. Para determinar para cada sujetador, sus componentes horizontal y vertical de la fuerza cortante directa resultante son:

$$P_{cx} = \frac{P_x}{n} \quad ; \quad P_{cy} = \frac{P_y}{n} \dots\dots\dots \text{Ecs.4.5 y 4.6}$$

Donde:

P_x y P_y = Son las componentes X y Y de la carga P total en la conexión, como se muestra en la figura 4.3.

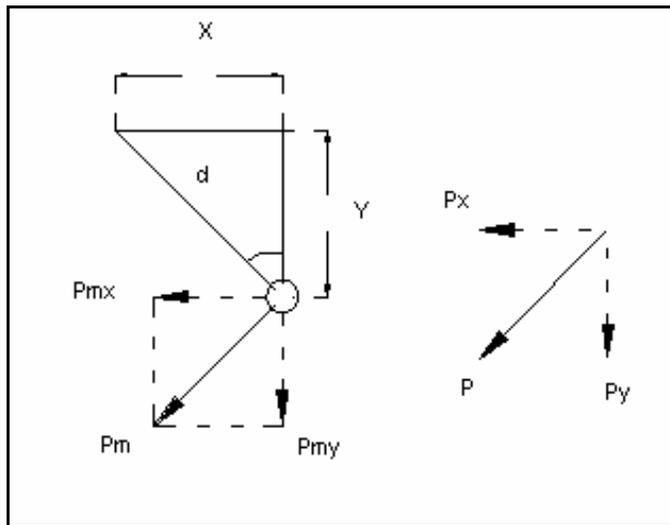


Figura.- 4.3

Las componentes horizontal y vertical causadas por la excentricidad pueden encontrarse como sigue. En términos de las coordenadas X y Y de los centros de las áreas de los sujetadores,

$$\sum d^2 = \sum (X^2 + Y^2) \dots\dots\dots \text{Ec. 4.7}$$



Donde el origen del sistema coordenado esta en el centroide del área cortante total de los sujetadores. La componente X de P_m es:

$$P_{mx} = \frac{y}{d} P_m = \frac{y}{d} \frac{Md}{\sum d^2} = \frac{y}{d} \frac{Md}{\sum (x^2 + y^2)} = \frac{My}{\sum (x^2 + y^2)} \dots \text{Ec.4.8}$$

De manera similar,

$$P_{my} = \frac{Mx}{\sum (x^2 + y^2)} \dots \text{Ec.4.9}$$

Y la fuerza total en el sujetador es:

$$P = \sqrt{(\sum P_x)^2 + (\sum P_y)^2} \dots \text{Ec.4.10}$$

Donde:

$$\sum P_x = P_{cx} + P_{mx} \dots \text{Ec.4.11}$$

$$\sum P_y = P_{cy} + P_{my} \dots \text{Ec.4.12}$$

Si P, la carga aplicada a la conexión, es una carga factorizada, entonces la fuerza “p” sobre el sujetador es la carga factorizada por ser resistida en cortante y aplastamiento, es decir, la resistencia de diseño requerida.

MÉTODO SE RESISTENCIA ULTIMA.

El procedimiento la resistencia ultima de conexión se obtiene al considera una relación carga-deformación no lineal la cual se determina de manera experimental para los sujetadores individuales.

Partiendo de la relación de carga-deformación de un tornillo aislado sometido a cortante doble se puede expresar con la ecuación:

$$R = R_{ult} (1 - e^{-\mu \Delta})^\lambda \dots \text{Ec.4.13}$$

En la cual:

- R = Carga en el tornillo a cualquier deformación dada.
- R_{ULT} = Carga ultima alcanzada por el tornillo.
- Δ = Deformación por cortante, flexión y aplastamiento del tornillo y deformación por aplastamiento local de las placas conectadas.
- $\mu\lambda$ = Son coeficientes de regresión.
- E = Base de los logaritmos naturales.



Para utilizar esta expresión es necesario evaluar las constantes R_{ULT}, μ, λ para el material considerado.

La resistencia última puede determinarse mediante el siguiente procedimiento teórico se basa en las tres hipótesis siguientes:

1. El grupo de tornillos sujetos a carga excéntrica gira con respecto a un centro instantáneo de rotación.
2. La deformación que ocurre en cada uno de los tornillos varía linealmente con su distancia al centro instantáneo de rotación y actúa en dirección perpendicular a dicho radio de rotación del tornillo.
3. Se considera la resistencia última del grupo de tornillos cuando se alcanza la resistencia última del elemento mas alejado al centro de rotación.
4. Aunque el método es completamente general, el caso específico que se desarrollara es en el que la línea de acción de la carga es paralela al eje longitudinal de simetría del grupo.

Este es el caso más común que ocurre en la práctica.

Además se supone que las placas conectadas permanecen rígidas durante la rotación y que las restricciones en los miembros de la conexión no generan rotaciones con respecto a algún punto que no sea el teórico. La mayor parte de las conexiones usadas en la practica cumplen estas condiciones.

Para una configuración dada de tornillos, con “n” separadores y una excentricidad de la carga “e” ver fig. 3, se elige una localización supuesta para el centro instantáneo de rotación, el cual será un punto localizado sobre una línea recta a través del centro de gravedad de la conexión perpendicular a la línea de acción de la carga aplicada y en el lado opuesto del centro de gravedad de la carga.

La distancia del centro instantáneo de rotación de la conexión al centro de gravedad del grupo de tornillos se le llamara r_0 .

Se calculará la distancia del centro de rotación de la conexión a cada uno de los tornillos para poder orientarnos, el eje X de la conexión se toma perpendicular a la línea de acción de la carga externa aplicada con el origen localizado en el centro instantáneo.

Entonces el r_n del n-esimo tornillo será:

$$r_n = \sqrt{X_n^2 + Y_n^2} \dots\dots\dots \text{Ec.4.14}$$



El tornillo con mayor deformación será el más alejado al centro instantáneo. La deformación máxima de este tornillo se supone igual a la deformación obtenida a partir de un ensaye a cortante de un tornillo aislado. Por lo tanto, la deformación de cualquier otro será:

$$\Delta_n = \frac{r_n}{r_{MAX}} \Delta_{max} \dots\dots\dots \text{Ec.4.15}$$

En la cual:

r_{MAX} = Al radio de rotación del tornillo mas alejado del centro instantáneo.

A partir de la relación carga-deformación conocida para los tornillos individuales, se calcula la fuerza resistente de cada uno de los tornillos que actúa perpendicularmente a su radio de rotación por medio de la ecuación.

La componente de la fuerza del tornillo actuando en la dirección opuesta a la carga aplicada exteriormente le llamaremos fuerza vertical R_v . A partir de la geometría de la conexión, la fuerza vertical de cada tornillo será:

$$(R_v)_n = \frac{Y_n}{r_n} R_n \dots\dots\dots \text{Ec.4.16}$$

Para que la conexión se encuentre en equilibrio, se debe satisfacer las ecuaciones de la estática siguientes:

$$\sum F_x = 0 ; \quad \sum F_y = 0 ; \quad \sum M = 0 \dots\dots\dots \text{Ecs. 4.17}$$

La primera condición se satisface automáticamente debido a que no hay fuerzas externas actuando en la conexión para la dirección X, de la tercera condición puede encontrarse la fuerza aplicada externamente P. Tomando la suma de momentos con respecto al centro instantáneo:

$$P(e+r) - \sum_{n=1}^m (r_n * R_n = 0) \dots\dots\dots \text{Ec.4.18}$$

La segunda condición de equilibrio también debe satisfacerse:

$$P - \sum_{n=1}^m (R_v)_n = 0 \dots\dots\dots \text{Ec.4.19}$$

Si esta condición no se satisface, se debe elegir una nueva localización del centro instantáneo repitiendo todo el procedimiento. Cuando se obtiene el valor r_0 con el que se logra el equilibrio de la conexión, el valor de P que satisface esta condición será la carga última asociada con la conexión.

4.2 CONEXIONES EXCÉNTRICAS ATORNILLADAS A CORTANTE MAS TENSION.

La ménsula mostrada en la figura 4.4 formada por un muñón de T estructural, muestra la acción de una carga excéntrica en la ménsula que crea un par que incrementa la tensión en la fila superior de los sujetadores.

Para el caso de tornillos que no tienen tensión inicial, ubicados en la parte superior estarán sometidos a la tensión y los tornillos inferiores no serán afectados. Recibiendo cada sujetador, una parte igual de la carga cortante.

Por otra parte si se trata de tornillos de alta resistencia pretensionados, se presentara una compresión uniforme entre la superficie de contacto entre el patín de la columna y el patín de la ménsula antes de la aplicación de la carga externa.

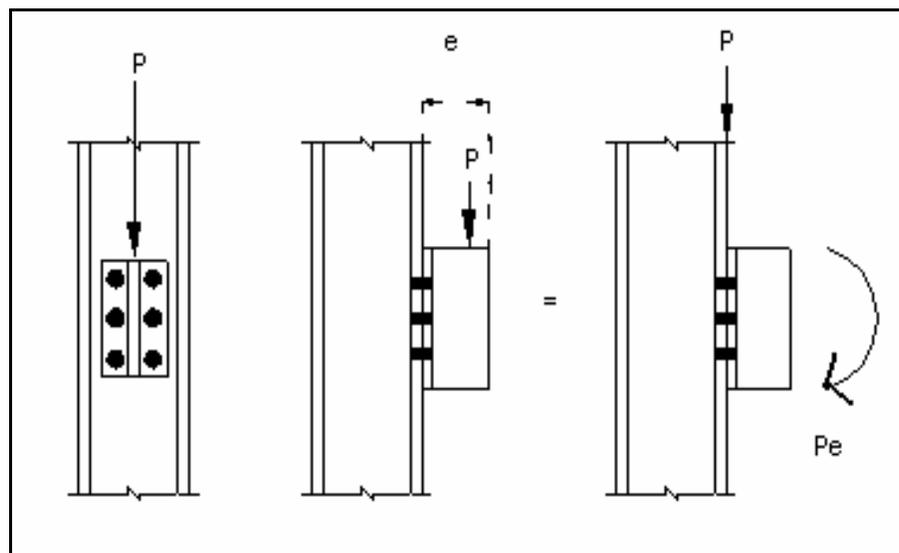


Figura.-4.4

Al presentarse esta compresión la presión de apoyo será igual a la tensión total de los tornillos, dividida entre el área de contacto, en base a como se vaya aplicando la carga P , la compresión en la parte superior ira disminuyendo mientras que en la parte del fondo se presentaran un incremento como se muestra en la figura 4.5 (a).

Una vez que en la parte superior se vence la compresión las componentes se separan por lo que el par P_e lo resistirán las fuerzas de tensión en los tornillos y por la compresión sobre la superficie restante de contacto, tal y como se ve en la figura 4.5 (b). Cuando al acercarse la carga ultima, las fuerzas en los tornillos se aproximaran a sus resistencias últimas de tensión.

El método que se presentara es simplificado y conservador, el cual se basa en suponer el eje neutro de la conexión esta pasando por el centroide de las áreas de los tornillos, quedando sometidos a fuerzas de tensión los tornillos que estén colocados por encima de este eje, mientras que los tornillos ubicados por debajo del eje quedaran sometidos a fuerzas de compresión, como se puede observar en la figura 4.5 (c). Por lo que se supone que cada tornillo a llegado a su valor ultimo de r_{ut} . Como hay dos tornillos en cada nivel ver figura 4.5 (c), cada fuerza se presenta como $2r_{ut}$, resultando de las fuerzas de tensión y compresión un par igual al momento resistente de la conexión.

Para hallar el momento producido por este par se suman los momentos de la fuerzas en los tornillos respecto a cualquier eje conveniente, por ejemplo, el eje neutro. Al igualar este momento resistente al momento aplicado, de la ecuación resultante podrá despejarse la fuerza desconocida r_{ut} de tensión en el tornillo.

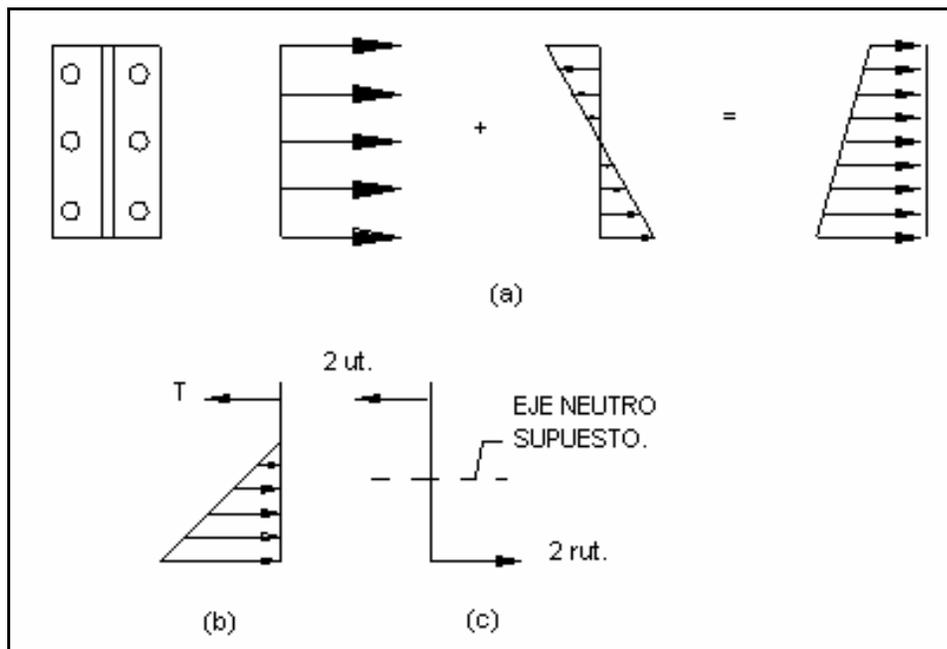


Figura.- 4.5

En conexiones críticas al deslizamiento donde los tornillos están sometidos a tensión, la resistencia por deslizamiento crítico es por, por lo regular, reducida por el factor de las especificaciones AISC. Este factor es aplicado debido al efecto del apriete, y por consiguiente, la fuerza de fricción, se reduce. Para una conexión tipo fricción hay una compresión adicional sobre la parte inferior de la conexión que incrementa la fricción, compensando así la reducción en la parte superior de la conexión. Resultando así que la resistencia por deslizamiento crítico no debe reducirse en este tipo de conexión.

4.3 CONEXIONES EXCÉNTRICAS SOLDADAS A CORTANTE.

El procedimiento de análisis para una conexión soldada es muy parecido al que se realiza en el estudio de conexiones atornilladas, excepto que las longitudes unitarias de la soldadura reemplazan a los sujetadores individuales en los caculos.

Las conexiones soldadas a cortante pueden ser analizadas por métodos elásticos o de resistencia última, como en el caso de una conexión atornillada sometida al mismo tipo de carga.

ANÁLISIS ELÁSTICO.

En la figura 4.6 (a) se puede observar una ménsula y una carga actuando sobre el plano de la soldadura, es decir, en el plano de la garganta, si se efectúa esta pequeña aproximación, la carga será resistida por el área de la soldadura que se presenta en la figura 4.6 (b). Los cálculos pueden simplificarse bastante al utilizar una dimensión unitaria para la garganta. Esta simplificación consiste en que la carga calculada se multiplica por 0.707 veces el tamaño de la soldadura para obtener la carga real.

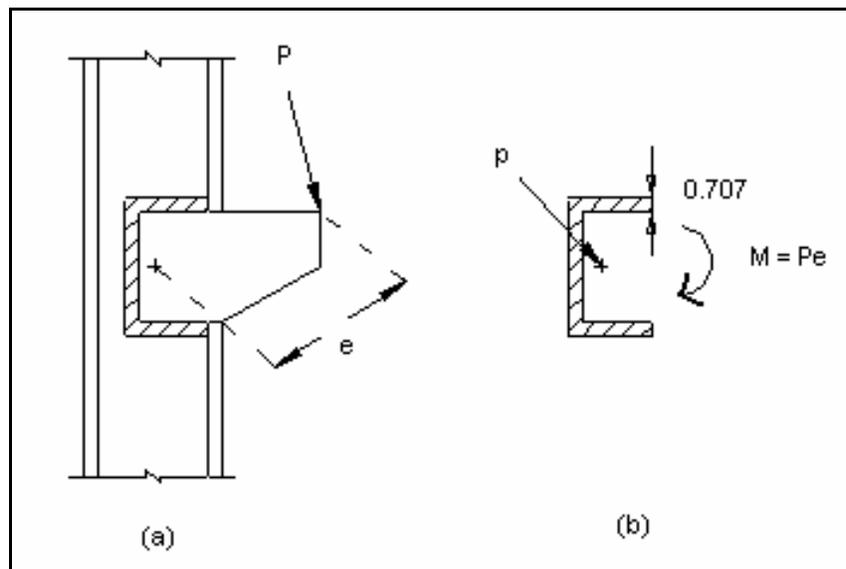


Figura.- 4.6

La presencia de una carga excéntrica, en el plano de la soldadura, produce a la propia soldadura un cortante directo y a un cortante torsionante, al considerar que todos los elementos de la soldadura resisten una porción igual del cortante directo, el esfuerzo cortante directo puede obtenerse con:

$$f_t = \frac{P}{L} f \dots \dots \dots \text{Ec.4.20}$$



Donde:

L= Longitud total de la soldadura y es numéricamente igual al arrea cortante, porque se ha supuesto un tamaño unitario de garganta.

Si utilizamos las componentes rectangulares:

$$f_{1x} = \frac{P_x}{L} \quad y \quad f_{1y} = \frac{P_y}{L} \dots\dots\dots \text{Ecs.4.21}$$

Donde:

P_x y P_y son las componentes X y Y de la carga aplicada.

Para obtener el esfuerzo cortante originado por el par que se encuentra con la formula de la torsión:

$$f_2 = \frac{Md}{j} \dots\dots\dots \text{Ec. 4.22}$$

Donde:

d = Distancia del centroide del área cortante al punto donde se esta calculando el esfuerzo.

J = Momento polar de inercia de tal área.

La figura 4.7 muestra este en la esquina superior derecha de la soldadura dada. En término de sus componentes rectangulares,

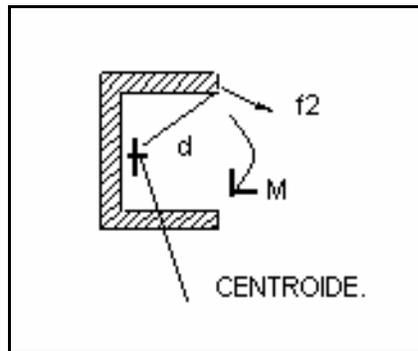


Figura.- 4.7

$$f_{2x} = \frac{My}{j} \quad y \quad f_{2y} = \frac{Mx}{j} \dots\dots\dots \text{Ecs.4.23}$$

Se tiene también:

$$J = \int_A r^2 dA = \int_A (x^2 + y^2) dA = \int_A x^2 dA + \int_A y^2 dA = I_y + I_x \dots\dots\dots \text{Ec.4.24}$$



Donde:

I_x y I_y = Son los momentos de inercia rectangulares del área cortante. Una vez encontradas todas las componentes rectangulares, pueden sumarse para obtener el esfuerzo cortante resultante en el punto de interés, o

$$f_v = \sqrt{(\sum f_x)^2 + (\sum f_y)^2} \dots\dots\dots \text{Ec.4.25}$$

Al igual que sucede con las conexiones atornilladas, la localización crítica para este esfuerzo resultante se determina por la inspección de las magnitudes y las direcciones relativas de las componentes de los esfuerzos cortantes directo y torsionante.

Es importante mencionar que al utilizarse un ancho unitario de la soldadura, los cálculos del centroide y el momento de inercia son los mismos que para una línea. Consideramos los segmentos de la soldadura como segmentos de línea, que suponemos de la misma longitud que el borde de la parte conectada a la que son adyacentes, además de despreciar el momento de inercia de un segmento de línea al eje que coincide con la línea.

ANÁLISIS POR RESISTENCIA ÚLTIMA.

Una conexión excéntrica soldada debe ser diseñada con seguridad por métodos elásticos, pero el factor de seguridad será mayor que el necesario y variara de conexión a conexión. El análisis padece algunas de las mismas desventajas que el método elástico para las conexiones excéntricas atornilladas, incluido el supuesto de una relación lineal carga-deformación en la soldadura. Otro error es el supuesto de que la resistencia de la soldadura es independiente de la dirección de la carga aplicada.

El procedimiento por resistencia última se basa en investigaciones de Butler y otros (1972) y Timler (1984) y se parece mucho al método desarrollado para las conexiones excéntricas atornilladas por Crawford y Kulak (1971).

En vez de considerar a los sujetadores individuales, tratamos a la soldadura continua como un conjunto de segmentos discretos, en la falla, la carga aplicada a la conexión es resistida por fuerzas en cada elemento, con cada fuerza actuando perpendicularmente al radio cruzado del centro instantáneo de rotación al centroide del segmento, como se muestra en la figura 4.8.

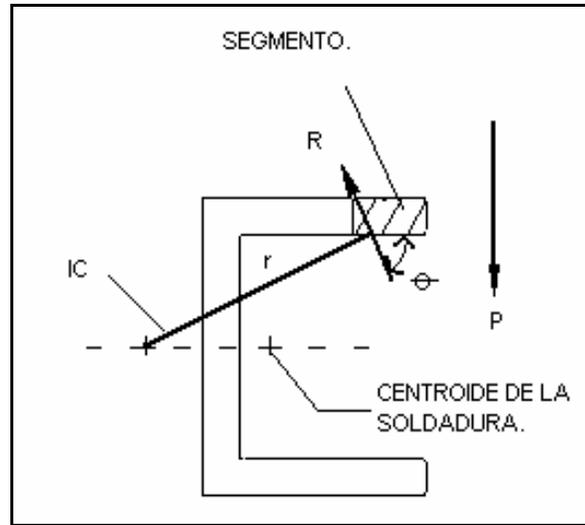


Figura.- 4.8

El concepto es esencialmente el mismo que el empleado para los sujetadores, sin embargo, la determinación de que el elemento tiene la deformación máxima y calcular la fuerza en cada elemento en la falla, es mucho más difícil.

Para la determinación del elemento crítico, se calcula la razón $\Delta_{MAX.}/r$ para cada elemento, donde:

$$\Delta_{MAX} = 1.087w(\theta + 6)^{-0.65} \leq 0.17w \dots\dots\dots \text{Ec.4.27}$$

Donde:

θ = Es el ángulo que la fuerza resistente forma con el eje del segmento de la soldadura (Ver figura 4.8).

w = Tamaño del lado de la soldadura.

r = Distancia del CI al centroide de este segmento.

El elemento con la menor razón es el que alcanza primero su capacidad última. La deformación de los otros elementos se calcula como:

$$\Delta = \frac{r}{r_{MAX.}} \Delta_{MAX.} \dots\dots\dots \text{Ec.4.28}$$

Donde:

r = Distancia radial del elemento.

$$\frac{\Delta_{MAX.}}{r_{MAX.}} = \frac{\Delta}{r} \text{ para el elemento critico. } \dots\dots\dots \text{Ec.4.29}$$



La fuerza resistente para cada elemento puede encontrarse con:

$$R = 0.60F_{EXX} (1.0 + 0.50\text{sen}^{1.5}\phi)[p(1.9 - 0.9p)]^{0.3} \dots\dots\dots\text{Ec.4.30}$$

Donde:

$$F_{EXX} = \text{Resistencia a la tensión del electrodo.}$$

$$p = \frac{\Delta}{\Delta_{MAX}} \dots\dots\dots\text{Ec.4.31}$$

A diferencia del caso atornillado, R es función de Ø. Los cálculos anteriores se basan en la localización supuesta del centro instantáneo de rotación. Si éste es la posición correcta, las ecuaciones de equilibrio serán satisfechas. Los demás detalles son los mismos que para una conexión atornillada.

1.- Encuentre la capacidad de carga con la ecuación

$$\sum M_{IC} = 0 \dots\dots\dots\text{Ec.4.32}$$

Donde CI es el centro instantáneo de rotación.

2.- Si las dos ecuaciones de equilibrio de las fuerzas se satisfacen, la posición supuesta del centro instantáneo y la carga encontrada en el Paso 1 son correctas; si no es así, suponga una nueva posición y repita todo el proceso.

4.4 CONEXIONES EXCÉNTRICAS SOLDADAS A CORTANTE MÁS TENSIÓN.

Un caso en particular es la conexión de una viga a columna, que someten a las soldaduras a cortante mas tensión. Este tipo es una conexión excéntrica y se ilustra en la figura 4.9.

La conexión de trabe con asiento consiste, primordialmente, de una pequeña longitud de ángulo el cual hace la función de un tipo de “ménsula” esto para soportar la trabe. En este tipo de conexión la soldadura que unen este ángulo con la columna debe ser capaz de resistir el momento causado por la excentricidad de la reacción, proporciona una estabilidad torsionante a la viga en su extremo y no ayuda a soportar la reacción.

Este se puede unir al alma de la viga en vez del patín superior. Las conexiones de trabe a ángulo pueden hacerse soldadas o con tornillos y no toman ninguna carga calculada.

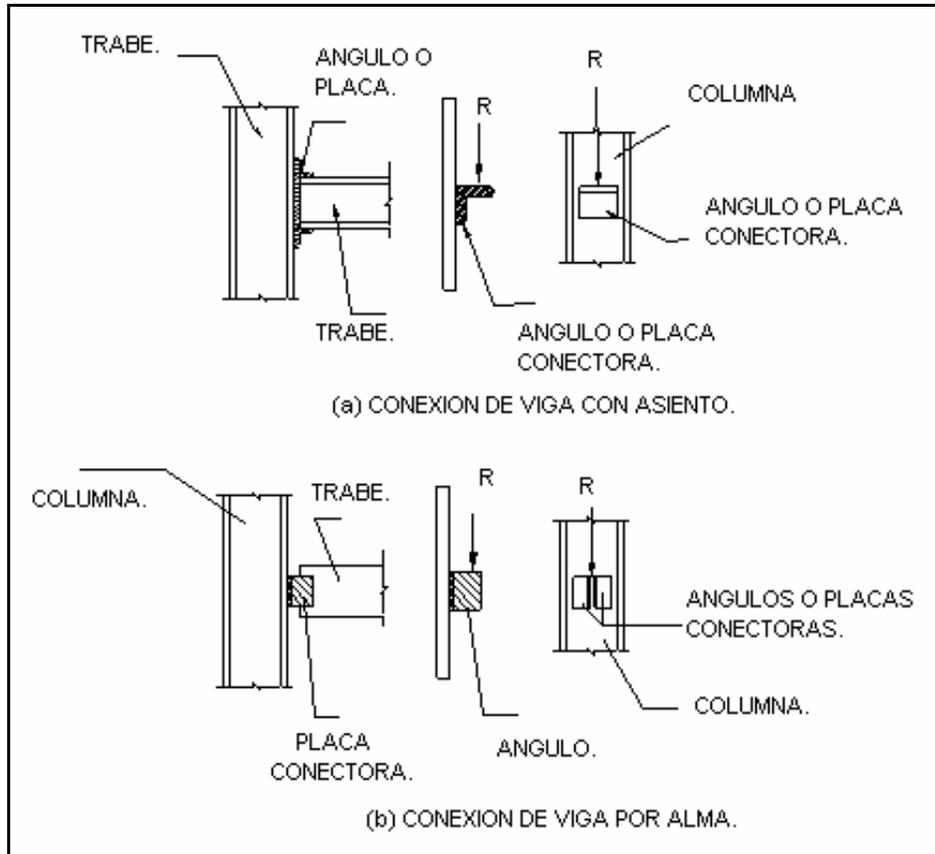


Figura.-4.9

Una conexión de trabe por alma que es muy común, somete las soldaduras verticales de ángulo a columna al mismo tipo de carga que la conexión de trabe sentada. La parte de trabe a ángulo de la conexión es también excéntrica, pero la carga esta en el plano de cortante, por lo que no hay tensión. Tanto la conexión sentada como la trabe por alma tienen sus contrapartes atornilladas.

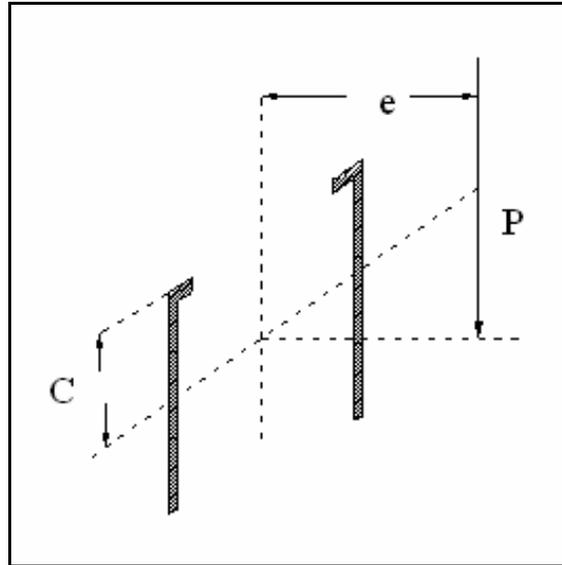


Figura.- 4.10.

Para cada una e las soldaduras analizadas, las soldaduras verticales sobre el patín de la columna están cargadas como se muestra en la figura 4.10. La carga excéntrica P puede reemplazarse por una carga concéntrica P y un par $M = P_e$. El esfuerzo cortante es:

$$f_v = \frac{P}{A} \dots\dots\dots \text{Ec.4.33}$$

Donde:

A = Es el área total de la garganta de la soldadura. El esfuerzo máximo de tensión se calcula con la formula de la flexión.

$$f_t = \frac{M_C}{I} \dots\dots\dots \text{Ec.4.34}$$

Donde:

I = Es el momento de inercia con respecto al eje centroidal del área que consiste en el área total de la garganta.

C = Es la distancia del eje centroidal al punto mas alejado del lado de Tensión.

El esfuerzo máximo resultante se encuentra al sumar estas dos componentes de manera vectorial:

$$f_r = \sqrt{f_v^2 + f_t^2} \dots\dots\dots \text{Ec.4.35}$$

Este esfuerzo esta en ton / cm². Si se emplea una garganta unitaria en los cálculos, el mismo valor numérico se expresa en ton por centímetro lineal. Si f_r se obtiene de las cargas factorizadas, este puede compararse con la resistencia de diseño de una longitud unitaria de la soldadura. Aunque este procedimiento supone un comportamiento elástico, este será conservador al utilizarse en un contexto LRFD.

4.5 CONEXIONES RESISTENTES A MOMENTO.

En la realización de conexiones de trabe y columna y de trabe a trabe, existe algún grado de restricción por momento, aun en las conexiones diseñadas como simples o libre de momento. Puede decirse que es imposible construir una articulación perfectamente de fricción y la mayoría de las conexiones diseñadas para estar libre de momento, fallan al alcanzar tal condición.

Otra dificultad que se encuentra en las conexiones es el poder fabricar una junta perfectamente rígida que sea capaz de soportar el 100% de la capacidad por momento de un miembro a otro. Aunque las conexiones de viga con ángulo o de asiento mostradas en la figura 4.11, podría parecer algo rígidas, ellas transmitirán, en realidad, muy poco momento si los ángulos de la conexión son lo suficientemente flexibles.

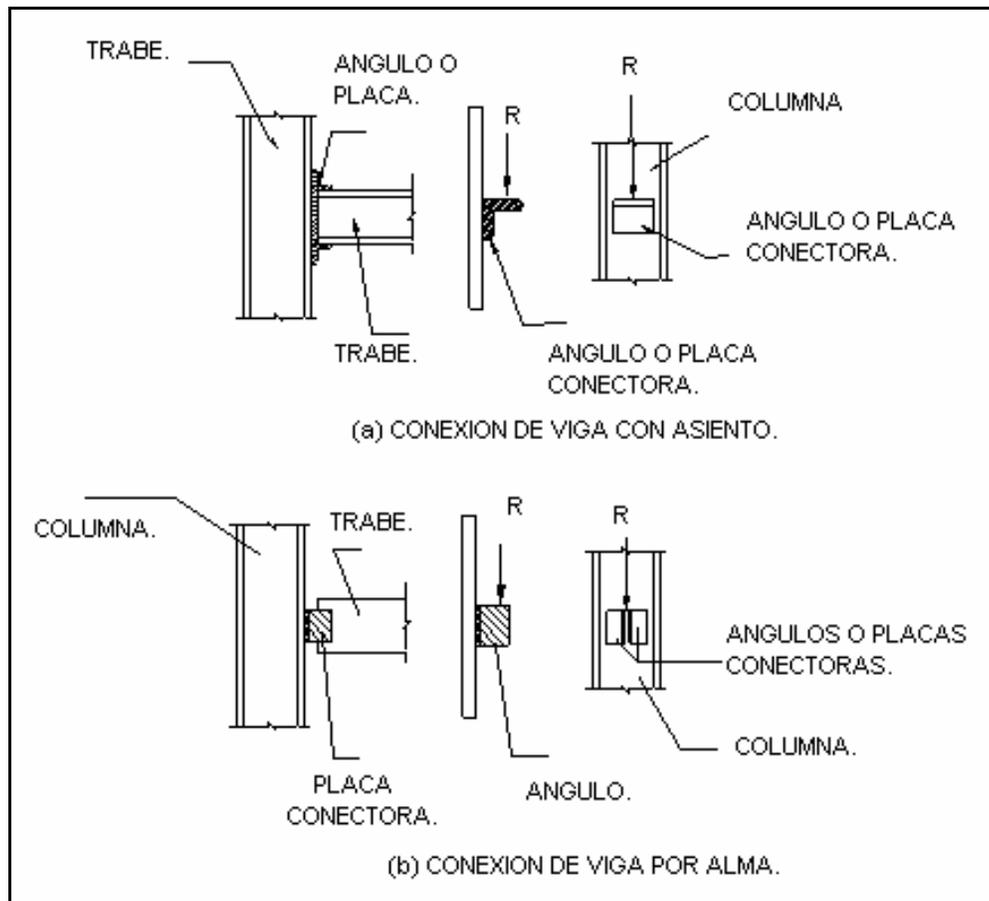


Figura.- 4.11



Las clasificaciones de conexiones a momento, en general son:

TIPO FR- TOTALMENTE RESTRINGIDA (ESTRUCTURACION RIGIDA O CONTINUA).

Este tipo de estructura tiene juntas resistentes a momento, capaces de transmitir cualquier momento que el miembro pueda resistir, sin rotación relativa de los miembros que se pueden unir a los miembros que se pueden unir en la junta. Este tipo de construcción es autorizado sin restricciones. Si el marco se diseña como marco rígido, las conexiones deben ser diseñadas de manera correspondiente, es decir, como conexiones por momento.

TIPO PR- PARCIALMENTE RESTRINGIDA (ESTRUCTURACIÓN SEMIRRIGIDA).

En este tipo de construcción el marco se diseña con base a una cantidad conocida de restricción, intermedia entre simple y rígida en cada junta. En general, la restricción del momento será del orden de entre 20% y 90% de la capacidad por momento del miembro. La principal desventaja de este tipo de estructuración es el requisito de un análisis estructural riguroso que tome en cuenta esta restricción parcial de las juntas.

Quedando implícito en este requisito, esta la necesidad de contar con las curvas de momento rotación para las conexiones.

Haciendo la consideración de despreciar parcial, las trabes pueden tratarse como simplemente apoyadas sin resistencia por momento en las juntas. Las conexiones de trabes enmarcadas o conexiones de trabes por alma y con asiento, mencionadas con anterioridad, caen en esta clasificación. En general, las conexiones que transmiten menos del 20% de la capacidad del miembro se consideran simples. Los soportes de vigas diseñados de esta manera se llaman, a veces, conexiones por cortante, ya que solo la relación o la fuerza cortante de extremo es transmitida.

Cuando se trabaja con marcos con conexiones de cortante estos deben ser arriostrados en el plano del marco, esto debido a que no se tiene “acción de marco” que proporcione una estabilidad lateral. Este arriostramiento puede tomar varias formas: que puede ser miembros en arriostramiento diagonal, muros de cortante o soporte lateral de una estructura adyacente. Respecto a los momentos que resultan debido a las cargas laterales (usualmente por viento o sismo) también son tomados en cuenta en el diseño de las conexiones seleccionadas de viga a columna. Se supone que la conexión actúa como una conexión simple al resistir las cargas muertas y vivas (cargas de gravedad) y como una conexión por momento con capacidad limitada para resistir los momentos por viento. Por lo que la conexión será, en realidad, una conexión parcialmente restringida independientemente de la carga. Si la trabe se diseña como si estuviera simplemente soportada, el momento máximo por carga de gravedad estará sobreestimado y la viga quedara algo sobre diseñada. Habrá ocasiones que los momentos por viento tendrán valores pequeños por lo que el sobre diseño será pequeño. Al emplear este concepto de estructuración simple, las especificaciones requieren que se cumplan con las siguientes condiciones:



1. Aunque las trabes, no estén simplemente apoyadas, ellas deben ser capaces de soportar las cargas de gravedad como si ellas lo estuvieran.
2. Las conexiones y los miembros conectados (trabes columnas) deben ser capaces de resistir los momentos por viento.
3. Las conexiones deben tener suficiente capacidad rotacional inelástica para que los sujetadores o las soldaduras no queden sobrecargados bajo la acción combinada de las cargas de gravedad y viento.

Con la figura 4.11 se muestran varios ejemplos de conexiones por momento que por lo regular son muy utilizadas. Como regla general, la mayor parte del momento transmitido es a través de los patines de la trabe y la mayor parte de la capacidad por momento se desarrolla ahí. En la conexión mostrada con la figura 4.12 (a) tipifica este concepto: Esta figura muestra la placa que conecta el alma de la trabe a la columna es soldada a la columna es soldada en taller a la columna y atornillada en campo a la trabe. Con este arreglo, la trabe se mantiene de forma conveniente en posición, de manera que los patines puedan ser soldados en campo a la columna. La conexión de placa se diseña para resistir solo cortante y ella se encarga de tomar la reacción de la trabe. Las soldaduras de ranura de penetración completa conectan los patines de la viga a la columna y pueden transmitir un momento igual a la capacidad por momento de los patines de la trabe. Para efectuar una conexión por patín, se requiere que una pequeña porción del alma de la trabe se remueva y se use una “barra de respaldo” en cada patín para permitir que toda la soldadura se deposite desde la parte superior. Cuando las soldaduras de los patines se enfrían, ellas se contraen, típicamente $\frac{1}{4}$ ". El desplazamiento longitudinal resultante puede tomarse en cuenta al emplear agujeros ovalados para los tornillos y apretándolos después de que las soldaduras se han enfriado. Este tipo de conexión también utiliza atiesadotes en la columna, los que no son siempre requeridos.

La conexión por momento de la figura (4.12) a, también ilustra una práctica recomendada para el diseño de conexiones: siempre que sea posible, la soldadura debe hacerse en el taller de fabricación y el atornillado tendrá que hacerse en campo. La soldadura de taller es menos costosa y puede controlarse, de mejor manera, su calidad.

En la mayoría de las conexiones por momento de trabe a columna, los miembros son parte de un marco plano y se orientan como se muestra en la figura 4.12 (a), es decir, con las almas en el plano del marco de manera que la flexión de cada miembro es con respecto a su eje mayor. Cuando una trabe debe conectarse al alma de una columna en vez de a su patín (por ejemplo, en un marco espacial) puede emplearse una conexión como la que se muestra en la figura 4.12 (b). Esta conexión es similar a la que se presenta en la figura 4.12 (a) pero requiere el uso de atiesadotes de columna para hacer las conexiones a los patines de la trabe..

Aunque la conexión mostrada en la figura 4.12 es simple en concepto, su ejecución requiere de tolerancias estrechas. Si la trabe es más corta que lo anticipado, la abertura entre la columna y el patín de la trabe puede causar dificultades durante el proceso de soldado, incluso si se emplea una barra de respaldo.

La conexión de tres placas, que se muestra en la figura 4.12 (c) , no tiene esta desventaja adicional de ser completamente soldadas en taller al patín de la columna y atornilladas en campo a la trabe.

Para considerar las variaciones en el peralte de la trabe, por lo regular, alrededor de $\frac{3}{8}$ ". Esta abertura se llena en el patín superior durante el montaje con placas de relleno, que son las placas delgadas de acero utilizadas para lograr el ajuste en las juntas. Las placas de relleno son de dos tipos: convencionales o de "dedos"; estas ultimas se insertan después de que los tornillos están en posición, como se muestra en la figura 4.12 (a), requiere de procedimientos especiales de diseño.

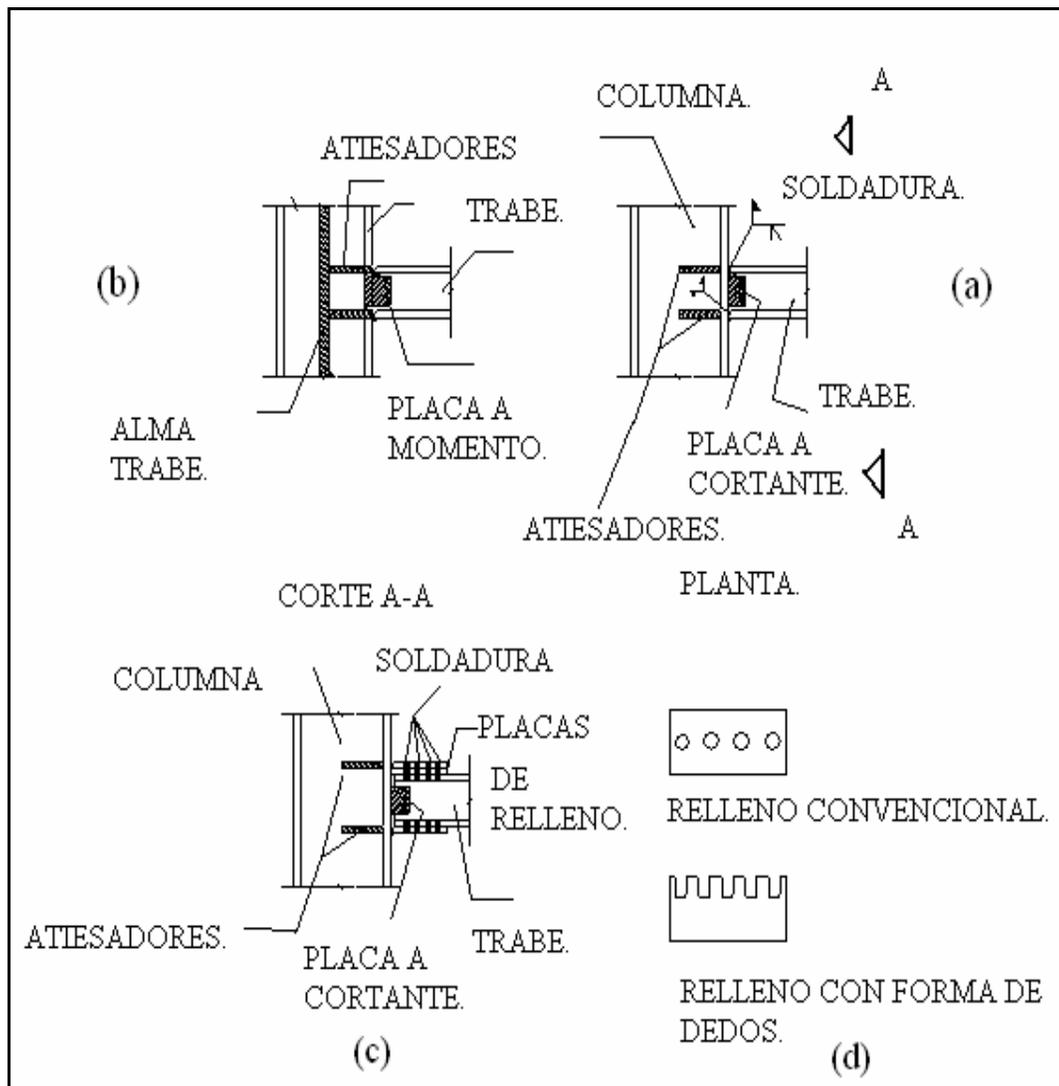


Figura.- 4.12



TEMA 5.-CONCLUSIÓN

El presente trabajo trata de exponer los conceptos básicos de una rama fundamental dentro del diseño de estructuras metálicas las cuales son las conexiones.

Dentro de los métodos de diseño de más uso se encuentra el método LRFD, Load Resistente Factors Design, cada uno de los capítulos trata de abarcar a grandes rasgos los conceptos fundamentales para el diseño de las conexiones.

Los capítulos abarcados consisten en un panorama general de la conexiones así como los tipos de conexiones que se presentan en la practica, y los fundamentos del trabajo estructural de los mismos, es de uso muy cotidiano tanto la soldadura como los tornillos para la solución de las diferentes conexiones, se incluyo solo una reseña acerca de las conexiones remachadas las cuales por diversas razones están en desuso, en tanto la soldadura y los tornillos son de uso muy frecuente, se proporciona una reseña histórica del acero así como sus componentes y los procedimientos de fabricación de los mismos.

Se presenta teoría importante en los capítulos anteriores, que indica el procedimiento que un estructurista o quien realice el diseño de algún tipo de conexión estructural, debe considerar para efectuar una buena identificación de las condiciones de carga a las que va estar expuesta la conexión así como las combinaciones a considerar, para garantizar seguridad en el diseño de cualquier tipo de conexión.

Otro aspecto de suma importancia que este trabajo trata de enfatizar es el proporcionar información necesaria y ejemplos que facilitan al lector identificar perfectamente el tipo de conexión que se requiere o que se debe diseñar, para satisfacer los parámetros de seguridad, dichas conexiones deberán ser diseñadas de acuerdo al trabajo estructural al que este expuesto, como puede ser por cortante, momento, flexión o a la combinación de alguna de estas. Y así efectuar un diseñar correcto, previniendo así posibles fallas en la conexión a diseñar.



TEMA VI.- BIBLIOGRAFÍA.

Bresler, Boris

Diseño de Estructuras de Acero.

Editorial Limusa - Wiley S.A.

MacCormac, Jack C.

Diseño de Estructuras de Acero “Método L.R.F.D.”

Editorial Alfa Omega.

Segui, William T.

Diseño de Estructuras de Acero con L.R.F.D. Segunda edición.

Editorial Internacional Thomson Editores.

Flores Ruiz, José Luís.

Apuntes de Diseño Estructural

Editorial Academia de Estructuras ESIA “Zacatenco”.

López De Heredia, Oscar de Buen.

Apuntes de Diseño Estructural

Facultad de Ingeniería, UNAM.; México, 1995.

López De Heredia Oscar de Buen.

Estructuras de Acero

Editorial Limusa.

Soto Rodríguez, Héctor.

Michael D. Engelhardt

Diseño de Miembros Estructurales de Acero. “Conforme a AISC – LRFD 2001 (Normas 1999). Primera Edición

Editorial Ing. Héctor Soto Rodríguez y Arq. Ma. Elena Maldonado Porras.

Soto Rodríguez, Héctor.

Diseño de Estructuras Metálicas Volumen I Edición Especial.

Editorial Ing. Héctor Soto Rodríguez y Arq. Ma. Elena Maldonado Porras.



Rodríguez Peña, Delfino.

Diseño Práctico de Estructuras de Acero.

Editorial Limusa.

Instituto Mexicano de la Construcción en Acero.

Manual de Construcción en Acero (I.M.C.A. A.C.).

Editorial Limusa.

Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Acero. (Octubre 2004).

Manual “American Institute of Steel Construction”

Manual “American Society for Testing and Materials”